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: ИССЛЕДОВАНИЯ БЕРЕГОВОЙ И ШЕЛЬФОВОЙ ЗОН (XXVIII БЕРЕГОВАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ)

РФФИ
РОССИЙСКИЙ ФОНД
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Российская Академия Наук

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ
И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

г. Севастополь
21–25 сентября 2020 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: ИССЛЕДОВАНИЯ БЕРЕГОВОЙ И ШЕЛЬФОВОЙ ЗОН

(XXVIII БЕРЕГОВАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ)

г. Севастополь
21–25 сентября 2020 г.

Моря России: исследования береговой и шельфовой зон / Тезисы докладов всероссийской научной конференции. – г. Севастополь, 21–25 сентября 2020 г. – Севастополь: ФГБУН ФИЦ МГИ, 2020. – 505 с.
ISBN 978-5-6043409-1-2

В сборнике представлены тезисы докладов научной конференции «Моря России: исследования береговой и шельфовой зон (XXVIII береговая конференция)». Береговая и шельфовая зоны – важный и интенсивно используемый в хозяйственном и рекреационном плане природный ресурс, испытывающий значительную, всё возрастающую антропогенную нагрузку. В настоящее время существует большое количество проектов развития побережья Российской Федерации, реализация которых должна быть обеспечена научно-обоснованными рекомендациями. Целью конференции является обмен результатами фундаментальных исследований динамических процессов в береговой и шельфовой зонах морей России, полученными теоретическими и экспериментальными методами, а также формулировка перспективных задач, стоящих перед океанологическим сообществом в рамках национального проекта «Наука», решение которых будет способствовать устойчивому развитию хозяйственной и рекреационной деятельности в приморских регионах России с минимизацией ущерба окружающей среде.

Всероссийская научная конференция «Моря России: исследования береговой и шельфовой зон» проводится при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках проекта № 20-05-22024 «Научные мероприятия».

Редколлегия:
чл.-корр. РАН, д. геогр. н. *Коновалов С.К.*;
д. геогр. н. *Горячкин Ю.Н.;*
д. геогр. н. *Васечкина Е.Ф*;
к. ф.-м. н. *Алексеев Д.В.;*
Вержевская Л.В.;
Хмара Т.В.

© Коллектив авторов, 2020
© ФГБУН ФИЦ МГИ, 2020

СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

Горячкин Ю.Н. О стратегии использования береговой зоны западного Крыма 28

Долгих Г.И. Лазерно-интерференционные комплексы исследования геосферных процессов..... 30

Крыленко В.В. Российские берега Кавказского побережья Черного моря в начале XXI века..... 31

Моисеенко Т.И. Антропогенно-индуцированные процессы на водосборах Арктических морей 33

Марков А.П., Марков А.М., Маркова М.Г. Проектирование, строительство и опыт эксплуатации берегозащитных сооружений на Южном Берегу Крыма..... 35

Сивков В.В., Ульянова М.О., Бубнова Е.С., Килесо А.В., Коркин А.Е., Крек А.В. Литодинамические и геоэкологические эффекты промышленной добычи янтаря на побережье Балтийского моря..... 39

СЕКЦИЯ 1
«ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МОРСКОЙ СРЕДЫ»

Алексютина Д.М., Мазнев С.В., Огородов С.А. Роль мерзлотных процессов в динамике берегов Карского моря ... 42

Архипкин В.С., Мысленков С.А. Моделирование приливов и штормовых нагонов в Карском море..... 44

Атаджанова О.А., Козлов И.Е. Вихревые структуры в проливе Фрама и вблизи архипелага Шпицберген в зимний период по данным спутниковых наблюдений 46

Баранов В.И., Очередник В.В., Зацепин А.Г., Куклев С.Б., Машура В.В. Модернизированная станция автоматического зондирования водной толщи 47

Баранская А.В., Новикова А.В., Огородов С.А. Динамика берегов острова Белый (Карское море) 49

Баранская А.В. База данных послеледниковых изменений уровня морей Российской Арктики 50

Башарин Д.В., Станкунавичус Г. Надежность метеорологических данных в проекте реанализа XX столетия 52

Белоконь А.Ю., Фомин Вл.Вл. Моделирование распространения длинных волн в прибрежной зоне Черного моря с приложением к проблеме цунами 54

Вергун А.П. Новикова А.В., Огородов С.А. Применение беспилотных летательных аппаратов в исследовании динамики береговой зоны Арктических и Субарктических морей 55

Башмачников И.Л., Козлов И.Е., Петренко Л.А., Глок Н.А., Векерле К. Вихри в проливе Фрама по данным спутниковых альтиметров, радиолокаторов и модели высокого разрешения 57

Букатов А.А., Соловей Н.М., Павленко Е.А. Исследование характеристик свободных внутренних волн в морях русской Арктики на основе современных гидрологических данных 58

Булатов В.В., Владимиров Ю.В. Динамика внутренних гравитационных волн в океане со сдвиговыми течениями 59

Вязилова А.Е., Алексеев Г.В., Харланенкова Н.Е. Влияние глобального потепления на приток речных вод в Арктические моря 61

Вязилова Н.А. О штормовых циклонах, выходящих на европейскую территорию России 63

Годин Е.А., Жук Е.В., Пластун Т.В., Галковская Л.К., Ингеров А.В., Исаева Е.А., Касьяненко Т.Е., Вецало М.П. Банк океанографических данных МГИ: информационная поддержка исследований прибрежной и шельфовой зон Черного моря 65

Голубева Е.Н., Платов Г.А., Крайнева М.В. Исследование особенностей формирования гидрологических и ледовых условий в море Лаптевых в современном климате 67

Голубева Е.Н., Якшина Д.Ф., Платов Г.А. Исследование последствий формирования морских волн тепла для Северного Ледовитого океана и его шельфовых морей 68

Григорьев А.В. Анализ гидрометеорологических условий возникновения экстремального сгона в Таганрогском заливе в ноябре 2019 года 69

Гузенко Р.Б., Миронов Е.У., Харитонов В.В. Развитие технологии термобурения в исследовании крупных ледяных образований на шельфе замерзающих морей..... 70

Даньшина А.В. Использование региональной конфигурации модели NEMO для моделирования природных условий в прибрежных районах Арктического бассейна 72

Дейнего И.Д., Беляев К.П. Усвоение данных наблюдений различной структуры в моделях циркуляции океана 74

Дорофеев В.Л., Сухих Л.И. Циркуляция на северо-западном шельфе Черного моря по результатам физического реанализа 75

Дымова О.А., Демышев С.Г. Анализ трансформации энергии прибрежных вихрей Черного моря на примере 2011 и 2016 гг. 77

Евстигнеева Н.А., Демышев С.Г. Анализ динамических и энергетических характеристик циркуляции у берегов западного Крыма и в районе Севастополя на основе усвоения в численной модели данных наблюдений температуры и солености в 2007–2009 гг..... 78

Елкин Д.Н., Зацепин А.Г. Лабораторное исследование влияния шероховатости и рельефа дна на вдольбереговое даунвеллинговое течение и связанный с ним придонный экмановский слой (лабораторный эксперимент) 80

Ефимов В.В., Яровая Д.А., Комаровская О.И. Мезомасштабный полярный циклон по спутниковым данным и результатам численного моделирования 82

Ефремов О.И., Чухарев А.М. Вихревая вязкость в ветровых волнах и ее роль в формировании дрейфовых течений 82

Зацепин А.Г., Островский А.Г., Волков С.В., Кочетов О.Ю., Швоев Д.А. Результаты разработки автоматизированной станции для оперативного мониторинга Северного Ледовитого океана 85

Зимин А.В., Атаджанова О.А., Коник А.А., Гордеева С.М. Оценка качества воспроизведения термохалинных полей по данным реанализа для Баренцева моря в условиях меняющегося климата 87

Иванов В.В., Фролов И.Е., Фильчук К.В. Трансформация атлантической воды в Баренцевом море в конце зимнего сезона 88

Казаков Д.А., Чухарев А.М., Самодуров А.С. Экспериментальные оценки интенсивности вертикального турбулентного обмена в шельфовой зоне северо-восточной области Черного моря 90

Карцан И.Н. Малые космические аппараты в составе многопозиционной радиолокационной системы обзора морской поверхности 91

Коваленко В.В., Зацепин А.Г., Телегин В.А. О применении системы оперативной океанографии к подводной акустике 93

Кондратьева Д.М., Баранская А.В., Алексютина Д.М., Белова Н.Г., Вергун А.П., Кокин О.В., Мазнев С.В., Маслаков А.А., Новикова А.В., Огородов С.А., Шабанова Н.Н. Атлас абразионной и ледово-экзарационной опасности прибрежно-шельфовой зоны российской Арктики 95

Корзинин Д.В., Горин С.Л., Любицкий Ю.В. Оценка параметров экстраординарного штормового нагона на побережье Западной Камчатки 97

Кориненко А.Е., Малиновский В.В., Дулов В.А., Кудрявцев В.Н. Статистические характеристики обрушений ветровых волн и их связь с диссипацией энергии по данным натурных измерений 99

Коротаев Г.К., Лишаев П.Н., Кныш В.В. Методика совместного восстановления и усвоения в модели циркуляции вод температуры и солености в верхнем слое Черного моря 101

Корчемкина Е.Н., Маньковская Е.В., Ли Р.И. Результаты биооптических исследований в водах Черного моря в период цветения кокколитофорид в 2012 и 2017 гг. 102

Костюков А.Д. Новый взгляд государственной политики России на обоснование границ Арктического шельфа.....104

Кочергин В.С., Кочергин С.В., Станичный С.В. Вариационная ассимиляция спутниковых данных поверхностной концентрации взвешенного вещества в Азовском море.....106

Кубряков А.А., Алескерова А.А., Лишаев П.Н., Медведева А.В., Кубрякова А.А., Чепыженко А.И., Станичный С.В. Прибрежные субмезомасштабные вихри в Черном море и их влияние на перенос взвешенного вещества.....108

Кубряков А.И., Ратнер Ю.Б. Опыт оперативного прогноза динамики вод Севастопольской бухты на основе технологии двойного вложения сеток.....110

Кубрякова Е.А., Кубряков А.А. Формирование глубинного максимума концентрации хлорофилла «а» в результате слабой зимней конвекции в Черном море 111

Кубряков А.А., Станичный С.В. Универсальная связь между вертикальным распределением концентрацией хлорофилла А и фотосинтетически активной радиации (ФАР) в Мировом Океане 113

Кудинов О.Б., Суслин В.В. Профили оптически активных веществ в Черном море по данныМ прямых измерений в 106 рейсе НИС «Профессор Водяницкий» весной 2019 года.....114

Кулаков М.Ю., Фильчук К.В., Фролов И.Е. Диагностический расчет баланса морского льда Северного Ледовитого океана на рубеже XX и XXI веков 115

Ластовенко О.Р. Оценка микропараметров внутреннего и вязкого трения при рапространении поперечной волны в неконсолидированных морских осадках.....117

Лемешко Е.М. долговременная изменчивость уровня Баренцева моря по спутниковым данным 119

Лемешко Е.Е. Оценка трендов уровня Арктического океана по данным Grace и данным измерений 121

Лемешко Е.Е., Полозок А.А., Фомин Вл.Вл. Пространственные характеристики циклонов, вызвавших штормовые нагоны в Таганрогском заливе и дельте Дона.....123

Лисютин В.А., Дегтяр А.Д. оценка микропараметров внутреннего и вязкого трения при распространении звуковой волны в неконсолидированных морских осадках ..124

Лишаев П.Н., Кубрякова Е.А., Кубряков А.А., Мизюк А.И. моделирование биохимических процессов в Черном море на основе объединенной трехмерной модели NEMO-BFM...126

Лобчук О.И., Буканова Т.В., Чубаренко И.П. Свойства холодного промежуточного слоя ранней весной в юго-восточной части Балтийского моря.....127

Магаева А.А. Гидрометеорологические условия Азовского моря в предзимний период 128

Майборода С.А., Казаков С.И., Симонова Ю.В., Метик-Дюнова В.В. Засушливые периоды Южного Берега Крыма.....129

Малахова В.В. Модельная оценка эмиссии метана в атмосферу на шельфе арктических морей.....131

Маленко Ж.В., Ярошенко А.А. Изгибно-гравитационнын волны в море с ледяным покровом 133

Манилюк Ю.В., Лазоренко Д.И., Фомин Вл.Вл. Моделирование сейшевых колебаний в системе севастопольских бухт 135

Маркова Н.В., Демышев С.Г., Дымова О.А., Коршенко Е.А., Сендеров М.В., Ушаков К.В. Особенности глубоководной циркуляции Черного моря на основе мультимодельных расчетов.....136

Марюшкин Ю.А., Гармашов А.В., Толокнов Ю.Н., Коровушкин А.И. Гидрометеорологический мониторинг на Стационарной океанографической платформе в Голубом заливе в 2011–2020 гг. 138

Метик-Диюнова В.В., Казаков С.И., Майборода С.А. Анализ многолетних сезонных трендов температуры воздуха в районе Южного Берега Крыма.....140

Михайличенко С.Ю., Куранов Д.Ю. Использование негидростатической модели SWASH для исследования эволюционной динамики поверхностного волнения в модельном бассейне с переменной топографией дна 142

Михайличенко Т.В., Козлов И.Е. Наблюдения короткопериодных внутренних волн в проливе Фрама по данным последовательных спутниковых РСА измерений 143

Мищенко А.В., Егоров А.Г. Смещение сроков начала ледообразования в начале XXI столетия в арктической шельфовой зоне России по данным полярных станций 145

Морозов А.Н., Маньковская Е.В. Холодный промежуточный слой Черного моря: современное состояние по данным экспедиций 2016–2019 гг. 147

Мухаметов С.С., Архипкин В.С. Водные массы Баренцева моря и их состояние в условиях меняющегося климата.....148

Никольский Н.В., Артамонов Ю.В., Скрипалева Е.А. Внутригодовая изменчивость температурных фронтов в море Скоша по данным реанализа NOAA OI SST.....150

Новикова А.В., Вергун А.П., Огородов С.А. Геоморфологическое строение и динамика берегов Карского моря в районе пгт Диксон (по данным съемки с БПЛА и аэрокосмическим материалам).....152

Огородов С.А., Алексютина Д.М., Баранская А.В., Белова Н.Г., Кокин О.В., Мазнев С.В., Маслаков А.А., Новикова А.В., Разумов С.О., Шабанова Н.Н. Термоабразия морских берегов Российской Арктики.....154

Остроумова Л.П., Евстигнеев В.П., Вишневская И.А. Тепловой баланс Азовского моря под влиянием климатических изменений 156

Павлов М.И., Чухарев А.М. Исследование влияния циркуляции Ленгмюра на турбулентность приповерхностного слоя.....158

Павлова А.В., Архипкин В.С., Мысленков С.А. Оценка воздействия сгонно-нагонных колебаний уровня моря на прибрежную зону северного Каспия 159

Павлушин А.А. Пространственное перераспределение потоков механической энергии в Черном море вследствие β-эффекта (по результатам численного моделирования).....161

Пака В.Т., Голенко М.Н., Журбас В.М., Кондрашов А.А., Корж А.О., Ландер М.Р., Подуфалов А.П. О повышении информативности измерений на гидрологических разрезах в Балтийском море.....163

Погожева М.П., Якушев Е.В., Терский П.Н., Глазов Д.М., Коршенко А.Н., Ханке Г. Оценка загрязнения Баренцева и Белого морей плавающим морским мусором по данным судовых наблюдений в 2019 г. 165

Погребной А.Е. Оценки характеристик пространственно-временной изменчивости напряжения трения ветра над Черным морем на основе реанализов с различным пространственным разрешением 166

Пузина О.С., Кубряков А.А., Мизюк А.И. Спектральный анализ субмезомасштабных течений в шельфовой части Черного моря 168

Ратнер Ю.Б., Фомин В.В., Иванчик М.В., Холод А.Л. Валидация результатов работы и настройка системы прогноза волнения в севастопольском районе Черного моря 169

Ратнер Ю.Б., Кубряков А.И., Иванчик М.В., Мартынов М.В. Автоматизированная система диагноза и прогноза скоростей течений, температуры и солености морской воды в Севастопольской бухте со сверхвысоким пространственным разрешением 171

Репина И.А., Артамонов А.Ю., Пашкин А.Д., Барсков К.В. Взаимодействие атмосферы с морем и сушей в прибрежной зоне: разработка методов расчета характеристик энергообмена.....173

Рубакина В.А., Кубряков А.А., Станичный С.В. Оценка характеристик термического скин-слоя на основе сопоставления спутниковых измерений и данных термопрофилирующих буев.....175

Санников В.Ф. Формирование поля внутренних волн, генерируемых движущейся областью барических образований эллиптической формы 177

Селюженок В.В., Демчев Д.М. Зонирование припая по данным радиолокационной съемки.....178

Сендеров М.В., Мизюк А.И. Влияние потоков тепла на вертикальную халинную стратификацию в Черном море в задаче «сотворения мира».....179

Слепышев А.А., Анкудинов Н.О. Вертикальный перенос импульса внутренними вонами.....181

Соколихина Н.Н., Петров Е.О. Выход тайфунов на Приморье: трансформация и траектории движения 182

Слепчук К.А. Система морских моделирование полей температуры и солености Севастопольской бухты в гидрологическую зиму.....184

Сумкина А.А., Иванов В.В., Киввa К.К., Смирнов А.В. Влияние потоков тепла на изменчивость дат полного очищения ото льда в Баренцевом море 1993–2018 гг. 185

Суркова Г.В., Романенко В.А. Баренцево море: сезонная и многолетняя изменчивость энергообмена с атмосферой.....187

Тузов Ф.К. Определение каскадинга на шельфе морей Бофорта и Лаптевых по данным численного моделирования 189

Федирко А.В., Артамонов Ю.В., Скрипалева Е.А., Гамбарян А.С. Пространственно-временная изменчивость температуры поверхности океана вдоль трансатлантического галса по данным попутных судовых измерений на НЭС «Академик Федоров» 190

Федирко А.В., Артамонов Ю.В., Скрипалева Е.А., Никольский Н.В. Пространственные особенности гидрологической структуры вод северной части Черного моря по данным измерений в 108-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий» 192

Филиппов Ю.Г. Расчеты опасных нагонов в районе устья р. Дон..... 194

Фомин Вл.Вас., Дианский Н.А., Коршенко Е.А., Панасенкова И.И. Ретроспективных расчетов и прогнозов гидрометеорологических характеристик Азовского моря и Керченского пролива 199

Химченко Е.Е., Гончаров В.В., Клювиткин А.А., Островский А.Г. Внутренние волны в северо-восточной части континентального склона Черного моря 200

Холод А.Л., Ратнер Ю.Б., Иванчик М.В., Кубряков А.И. Оценка точности численного моделирования полей температуры и солености в Севастопольском районе Черного моря 202

Цыганова М.В., Лемешко Е.М. Динамика плюма в шельфовой зоне Черного моря..... 204

Чверткова О.И., Замшин В.В., Матросова Е.Р. Жизненный цикл космических данных дистанционного зондирования морей и океанов: облачная парадигма 205

Чухарев А.М., Зубов А.Г., Павленко О.И., Павлов М.И. Характеристики турбулентности верхнего однородного слоя моря в прибрежной зоне 207

Шокуров М.В., Краевская Н.Ю. Линейная теория бризовой циркуляции при произвольном профиле скорости фонового ветра и стратификации..... 209

Шокурова И.Г., Крашенинникова С.Б. Статистика ветровых условий возникновения апвеллинга у Южного Берега Крыма.....210

Шукало Д.М, Шульга Т.Я. Анализ изменчивости температуры и солености Азовского моря и предпроливных зон Черного моря за период 1913–2006 гг.....212

Щербаченко С.В., Кузнецов А.С. Вклад инерционных колебаний течений в динамику прибрежных вод у Южного Берега Крыма в 2017–2019 гг.....214

Юровская М.В., Кудрявцев В.Н., Шапрон Б. Волны в ураганах на основе концепции автомодельного развития ветрового волнения.....216

Юровский Ю.Ю., Дулов В.А. Малогабаритный волнографический буй.....217

СЕКЦИЯ 2
«ФУНДАМНЕТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ В БЕРЕГОВОЙ ЗОНЕ»

Алейникова А.А., Липка О.Н., Андреева А.П. Особенности береговой линии Утришского заповедника.....219

Андреев О.М., Гудошников Ю.П., Драбенко Д.В. Особенности термодинамического моделирования эволюции торосов для шельфовой зоны Арктических морей.....220

Бабаков А.Н., Чубаренко Б.В. Структура результирующего вдольберегового транспорта наносов в восточной части Гданьского залива.....222

Бабаков А.Н., Чубаренко Б.В. Среднемноголетний объем абразии морских берегов Калининградской области.....224

Багаев А.В., Вержевская Л.В., Литвинюк Д.А. Обзор исследований микропластика в России: море, пляжи, донные осадки.....226

Бадюкова Е.Н. История развития юго-восточного побережья Каспийского моря в конце голоцена 228

Белова Н.Г. Пластовые льды: условия формирования, современная динамика и влияние на инфраструктуру побережий Российской Арктики.....230

Беляев П.Ю., Карташёв А.О., Щербаков В.А., Голосной А.С. Результаты геоморфодинамического монито–ринга береговой зоны залива Петра Великого за период 2013–2019.....231

Бессмертный А.Ф. Неблагоприятные экзогенные геологические процессы береговой полосы Крыма – оценка опасности их развития 233

Бобыкина В.П., Чубаренко Б.В., Стонт Ж.И. Отклик берегов Куршской косы (юго-восточная Балтика) на воздействие штормов.....235

Богуславский А.С., Казаков С.И., Берзова И.Г., Хамицевич Н.В. Исследование субмеридиональных литодинамических зон и разгрузки карстовых подземных вод Лименского участка Южного Берега Крыма.....237

Богуславский А.С., Казаков С.И., Лемешко Е.Е., Берзова И.Г. Гидрогеологическая палеореконструкция древних оползней Лименского участка береговой зоны горного Крыма.....239

Большиянов Д.Ю., Макаров А.С., Ашик И.М. Дельты Арктических рек России как результат колебаний уровня моря в прошлом и настоящем.....240

Бровко П.Ф., Васина М.В., Меньчик А.А. Лагуны острова Сахалин: историко-географические аспекты освоения 241

Вахонеев В.В., Соловьев С.Л. К вопросу об уровне моря в районе Керченского пролива в античное время (по результатам археологических исследований античного городища Акра в Восточном Крыму).....243

Волкова Т.А., Мищенко А.А., Кондрашина М.К. К вопросу об использовании терминов береговедения в береговом ландшафтоведении и природопользовании.....245

Вялый Е.А. Классификация конструкций искусственных островов.....247

Галкина М.В. Геолого-геоморфологическое строение закарстованных участков береговой зоны Крыма..... 249

Гогоберидзе Г.Г., Косьян Р.Д., Румянцева Е.А. Оценка устойчивости береговых эко-социо-экономических систем Краснодарского края на основе анализа статистической информации.....251

Гогоберидзе Г.Г., Румянцева Е.А., Шилин М.Б. Классификационные признаки рисков безопасности природопользования в береговой зоне АЗРФ.....253

Горин С.Л., Школьный Д.И. Морфодинамика бара и опыт улучшения судоходных условий в макроприливном устье реки Палана (северо-западная Камчатка).....255

Григорьев А.Н., Попович В.В., Попович Т.В. Результаты анализа современного состояния и качества использования воздушных комплексов сбора пространственных данных, реализующих технологию Lidar в интересах батиметрической и топографической съемки.....257

Григорьев М.Н., Максимов Г.Т. Береговая база данных морей Восточной Сибири 258

Гуров К.И., Удовик В.Ф. Особенности рельефа дна и распределения фракций наносов в береговой зоне пересыпи оз. Сакское.....260

Дикарёв В.А., Тюнин Н.А. Побережье Керченского и Таманского полуостровов в условиях изменения уровня моря.....262

Долотов В.В., Горячкин Ю.Н., Долотов А.В. Основные результаты разработки ГИС по материалам изучения прибрежной зоны Крыма.....264

Домнин Д.А., Граве А.В., Горбунова Ю.А. Инструментальные наблюдения краткосрочной динамики пляжа и выбросов водорослей на северном побережье Калининградской области 266

Дорохов Д.В., Дорохова Е.В., Дудков И.Ю. Особенности формирования рельефа дна и четвертичных отложений юго-восточной Балтики в условиях глобального изменения климата.....268

Дорохов Д.В., Дудков И.Ю., Ежов В.Е. Геоакустические исследования донных ландшафтов с высоким археологическим потенциалом в российском секторе юго-восточной части Балтийского моря, примыкающих лагунах и крупных реках Калининградской области 270

Дорохов Д.В. Средне- и крупномасштабное картографирование донных ландшафтов российского сектора юго-восточной части Балтийского моря.....272

Дорохова Е.В., Дорохов Д.В. Литодинамика и распределение осадков на подводном береговом склоне Самбийского полуострова и Куршской косы (юго-восточная Балтика) 274

Дробиз М.В. Береговые процессы на мысе Таран Калининградской области (по архивным и современным топографическим картам).....276

Дунаев Н.Н., Леонтьев И.О., Афанасьев В.В., Репкина Т.Ю. Специфика строения и развития вулканокластического берега.....277

Есин Н.В., Есин Н.И., Подымов И.С. Абразионные процессы на побережье древних трансгрессивных морей Паратетис и Каспийских 279

Ефремова Т.В., Горячкин Ю.Н., Харитонова Л.В. Оценка техногенной нагрузки на побережье Севастопольского региона 281

Жук Е.В., Годин Е.А., Ингеров А.В., Вецало М.П., Исаева Е.А. Развитие ГИС «Прибрежная зона России в Черном море».....283

Ивлиева О.В., Беспалова Л.А., Кушнир К.В. Эколого-геоморфологическая оценка в структуре природного потенциала российского побережья Азовского моря 285

Исаев В.С., Игнатов Е.И., Аманжуров Р.М., Вербовский В.В., Горшков Е.И., Погорелов А.А. Каширина Е.В., Новиков А.В., Трачук В.В. Инструментальные методы исследования береговых процессов на примере побережья г. Севастополя 287

Карташёв А.О., Анохин В.М., Соколов Г.Н., Щербаков В.А. Изменение положения береговой линии залива Петра Великого по результатам наблюдения за оборонительным и постройками 1941 г. 290

Карташёв А.О., Беляев П.Ю., Голосной А.С. Морфолитодинамика подводного берегового склона некоторых бухт залива Петра Великого (Японское море) в пятилетнем цикле мониторинга 292

Ковалева О.А., Сергеев А.Ю., Рябчук Д.В. Уязвимость береговой зоны восточной части Финского залива к абразионным процессам 293

Корзинин Д.В. Динамика подводного песчаного вала под воздействием штормовых событий редкой повторяемости.....295

Косьян Р.Д., Дивинский Б.В. Проблемы моделирования движения наносов в береговой зоне моря 297

Кравцова В.И., Чалова Е.Р. Картографирование ландшафтно-морфологической структуры Анапской пересыпи.....299

Крыленко Д.В. Разнообразие форм рельефа Анапской пересыпи.....301

Крыленко М.В., Крыленко В.В. Условия возникновения аккумулятивных эоловых форм на Благовещенском останце 303

Кузнецов М.А. Типы морских берегов острова Итуруп (Южные Курилы).....305

Кузнецов М.А., Яковлева А.П., Белова П.М., Смирнова С.В., Луговой Н.Н., Жиндарев Л.А. Современное состояние берегов северной части Калининградского полуострова 307

Леонтьев И.О., Акивис Т.М. Прогнозная оценка влияния бун на песчаный пляж.....309

Лысенко В.И., Шик Н.В., Юрьева Н.Г., Афанасьева В.В., Андрюшин Д.С. Палеогеографические условия формирования триасового вулканизма в юго-западной части горного Крыма.....311

Лякмунд Л.Л. Техническая эксплуатация морских берегоукрепительных и приравненных к ним сооружений...313

Макаров К.Н. Математическое моделирование комплекса пляжеудерживающих сооружений в г. Светлогорске Калининградской области.....314

Мисиров С.А., Магаева А.А. Применение спутниковых данных Corona для анализа динамики береговой линии Таганрогского залива.....316

Муркалов А.Б. Дифференциация материала искусственной отсыпки в береговой зоне Одесского залива (Черное море)..318

Пашкова Н.Г. Инновационные подходы к изучению прибрежно-морских систем с использованием геоморфологических рисков как критерия оценки берегов для нужд природопользования на примере восточной части Южного Берега Крыма.....320

Пеллинен В.А. Современное состояние аккумулятивных берегов озера Байкал 322

Петров В.А., Ярославцев Н.А. Динамика профиля искусственного галечного пляжа в условиях приливо-отливных колебаний уровня моря.....324

Подымов И.С., Подымова Т.М. Об изменениях параметров внутренних гравитационных волн и флуктуаций радона в атмосфере Керченско-Таманского региона перед землетрясениями 326

Подымова Т.М., Подымов И.С. Результаты четырехлетнего мониторинга флуктуаций радона в атмосфере Азово-Черноморского побережья Краснодарского края в аспекте прогноза экстремальных сейсмических событий.....328

Санин А.Ю. К вопросу об управлении природопользованием Приморских территорий Российской Федерации ..330

Сергеев А.Ю., Рябчук Д.В., Ковалева О.А. Литодинамика береговой зоны восточной части Финского залива 332

Сорокин А.Н., Щодро А.Е. Волногасящие сооружения сквозного типа с гибкими элементами и принципы их работы 333

Сушкевич Т.А., Стрелков С.А., Максакова С.В. Передаточный оператор зондирования из космоса береговой линии с учетом поляризации излучения и отклонения от надира 334

Тлявлин Р.М., Тлявлина Г.В. Обследование и мониторинг свободнодеформируемых сооружений инженерной защиты от волнового воздействия 336

Тлявлина Г.В. Литодинамические исследования в прибрежной зоне моря в составе инженерно-гидрометеорологических изысканий 338

Удовик В.Ф. Современное состояние и перспективы защиты берегов Севастопольского региона от волновой абразии 340

Усенков С.М., Евдокимов А.А., Шабалин Н.В. Опыт литодинамических исследований при проведении инженерно-гидрометеорологических изысканий в береговой зоне и на шельфе.....342

Филатова В.Т. Оценка влияния природных и техногенных процессов на формирование сейсмогенных зон в земной коре Мурманской области 344

Хомчановский А.Л. Моделирование береговых процессов на Тихоокеанском побережье Камчатки 346

Шелушинин Ю.А. Оценка возможности искажения масштаба при гидравлическом моделировании волновых процессов.....348

СЕКЦИЯ 3
«ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ УСТЬЕВЫХ, ПРИБРЕЖНЫХ И ШЕЛЬФОВЫХ РАЙОНОВ»

Агаркова-Лях И.В. Растительность пляжей на черноморских берегах Крыма: угрозы и перспективы сохранения 350

Агафонова С.А., Магрицкий Д.В., Фролова Н.Л., Ефимов В.А., Сазонов А.А., Платонов С.В., Василенко А.Н., Попрядухин А.А. Предварительные итоги комплексной экспедиции в устье р. Колымы в 2019 г. 352

Алескерова А.А., Кубряков А.А., Станичный С.В., Лишаев П.Н., Медведева А.В. Цветение цианобактерий в Черном море по спутниковым данным 354

Андросович А.И. Расчет основных гидрофизических полей устья рек Западного Кавказа.....355

Аракелов М.С., Ахсалба А.К., Долгова-Шхалахова А.В., Темиров Д.С. О необходимости оценки рисков снижения устойчивости береговых систем Краснодарского Причерноморья в условиях интенсификации их хозяйственного использования 357

Аракелов М.С., Ахсалба А.К., Долгова-Шхалахова А.В., Липилин Д.А., Марандиди С.И. Комплексная оценка качества прибрежных вод Черного моря в границах Краснодарского края на основе гидрохимических показателей.....359

Бежин Н.А., Довгий И.И. Сорбционное концентрирование стронция и цезия из морской воды 361

Бежин Н.А., Довгий И.И. Выдыш А.А., Янковская В.С. Радиоаналитическое определение ^{210}Pb в морской воде.....363

Бескоровайный А.С., Игумнова Е.М., Тимченко И.Е. Адаптивная модель экологической безопасности морской среды, используемой объектом рекреации.....364

Богуцкая Е.М., Косицкий А.Г. Природные составляющие стока крымских рек и закономерности их пространственного распределения 366

Бортин Н.Н., Милаев В.М., Горчаков А.М., Белевцов А.А. К определению нормативов допустимого воздействия по привносу химических и взвешенных веществ на прибрежные морские акватории Японского моря на примере бухты Золотой рог 368

Бубличенко Ю.Н., Бубличенко А.Г. Современные проблемы Рамсарских территорий региона Финского залива Балтийского моря 370

Букатов А.А. Природный фактор в подводных археологических исследованиях Севастопольских бухт 372

Буфетова М.В. Оценка предельно допустимых потоков тяжелых металлов в Азовское море 374

Валле А.А., Полонский А.Б. Гидрохимические и гидрологические характеристики в северо-западной части Черного моря и в приустьевой зоне Дуная.....376

Вареник А.В., Калинская Д.В., Хоружий Д.С., Мыслина М.А. Закономерности формирования загрязнения пограничного слоя атмосферы над г. Севастополем.....378

Василенко Н.В., Медведева А.В. Экстремальное цветение цианобактерий в Азовском море и южной части Каспийского моря.....379

Вержевская Л.В., Миньковская Р.Я. Динамика антропогенного загрязнения прибрежных вод в связи с активизацией хозяйственной деятельности в Севастопольском регионе.....381

Вержевская Л.В., Рябцев Ю.Н., Цыганова М.В., Рауэн Т.В., Багаев А.В. Междисциплинарное исследование влияния конфигурации городской ливневой канализации в бухте эстуарного типа на состояние береговой зоны.....382

Волкова И.И., Деменина А.Б., Шаплыгина Т.В. Опыт проведения молодежной научной школы на борту исследовательского судна – на пути к «Плавучему университету»...384

Волкова Т.А., Пикалова Н.А. Территориальный туристско-рекреационный комплекс Анапской пересыпи 386

Горбунов П.А. Актуальные вопросы идентификации объектов подводного археологического наследия в акватории Судакской бухты 388

Гребнева Е.А. Климатические характеристики водородного показателя вод приустьевой акватории у р. Дунай и его внутригодовая изменчивость 390

Григорьев А.Г., Жамойда В.А. Использование брома как индикатора палеосолености донных отложений на примере Балтийского, Белого и Восточно-Сибирского морей 392

Довгий И.И., Козловская О.Н., Вертерич А.В., Чайкин Д.Ю. Сезонная изменчивость гидрохимических параметров в очагах субмаринной разгрузки подземных вод у м. Айя....394

Дьяков Н.Н., Мальченко Ю.А., Липченко А.Е., Боброва С.А. Гидрологические и гидрохимические условия шельфовых зон Севастопольского региона в 2019–2020 гг. 395

Ершова А.А., Макеева И.Н., Еремина Т.Р., Татаренко Ю.А. Исследование загрязнения микропластиком Арктических морей.....397

Жигульский В.А., Шуйский В.Ф., Чебыкина Е.Ю., Булышева М.М., Фёдоров В.А., Успенский А.А., Паничев В.В., Былина Т.С., Булышева А.М. Влияние возраста макрофитных зарослей и техногенной нагрузки на их роль в экосистеме восточной части Финского залива 399

Жиляев Д.А., Дьяков Н.Н., Мальченко Ю.А., Тимошенко Т.Ю. Гидролого-гидрохимические условия оз. Чокракское.....400

Замшин В.В., Матросова Е.Р., Харченко В.Д., Ходаева В.Н., Чверткова О.И., Шлюпиков В.А. Пространственное распределение нефтепроявлений в районе шельфа Крымского полуострова по данным комплексного космического мониторинга за 2019 год 402

Ивахов В.М., Привалов В.И., Зинченко А.В., Парамонова Н.Н., Семенец Е.С. Эмиссия метана на мелководье, лабораторный эксперимент.....404

Киввa К.К., Кровнин А.С., Мурый Г.П., Сумкина А.А. Влияние изменений климата на распределение промысловых скоплений северо-восточной арктической трески (Баренцево море).....405

Кириленко Н.Ф., Евстигнеев В.П. Независимые компоненты пространственно-временной организации полей хлорофилла *a* в поверхностном слое на северо-западном шельфе Черного моря 407

Кирюшина А.А., Жукова Л.В., Чикина Л.Г. Использование методов Data Science в оценке степени загрязнения прибрежной зоны морского побережья курортных регионов 409

Коваль М.В., Горин С.Л. Влияние гидролого-морфологических условий на состояние ресурсов анадромных рыб п-ова Камчатка.....411

Козловский В.В., Симакова У.В., Папунов В.Г., Федорович В.С., Терёхина Я.Е., Куликова Д.С., Галаев В.Е., Шабалин Н.В., Колючкина Г.А., Семин В.Л., Любимов И.В., Тимофеев В.А., Мокиевский В.О. Классификация и картографирование донных биотопов государственного природного заповедника Утриш 413

Колючкина Г.А., Семин В.Л., Сергеева Н.Г., Любимов И.В., Басин А.Б., Подымов О.И., Островский А.Г. Современное состояние зообентоса континентального склона северо-восточного побережья Черного моря 415

Кондратьев С.И., Видничук А.В. Причины возникновения локальной гипоксии в водах Севастопольской бухты.....416

Котельянец Е.А. Содержание тяжелых металлов в донных отложениях Каламитского залива (Черное море).....418

Котельянец Е.А., Гуров К.И., Тихонова Е.А., Кондратьев С.И., Забегаев И.А. Распределения загрязняющих веществ в донных отложениях Балаклавской бухты (Черное море) 420

Кравцова В.И., Вахнина О.В., Чалова Е.Р. Картографирование прирусловых отмелей в дельте Енисея по космическим снимкам 422

Кравцова В.И., Вахнина О.В. Картографирование динамики дельты Енисея в начале XXI века по космическим снимкам 424

Краснов Е.В., Баринова Г.М., Рябкова О.И., Ушакова Л.О. Приустьевые геоэкосистемы южной Балтики: проблемы и перспективы современного развития 426

Липченко А.Е., Дьяков Н.Н., Мальченко Ю.А., Белогудов А.А. Изменчивость гидролого-гидрохимического режима залива Донузлав в современный период (2017–2020 гг.) 428

Лысенко В.И., Шик Н.В. Экологические аспекты метановой дегазации на дне бухты Ласпи (ЮБК)....430

Магрицкий Д.В. Опасные гидрологические процессы в устьях рек: классификация, события, риски 432

Макеенко Г.А. Биология крабов Баренцева моря, пораженных панцирной болезнью 434

Мальченко Ю.А., Дьяков Н.Н., Жиляев Д.А., Боброва С.А. Экологический кризис в Северном Крыму (г. Армянск) и возможные пути его решения 436

Лобчук О.И., Килесо А.В. Классификация и распределение морского прибрежного мусора методом OSPAR на пляжах юго-восточной части Балтийского моря 438

Мельникова Е.Б., Серебренников А.Н., Мельников А.В. Сравнительная оценка биологической продуктивности прибрежных вод Крыма на основе биолюминесцентных измерений....439

Миньковская Р.Я. Когда Южный Буг был Борисфеном 441

Мыслина М.А., Орехова Н.А.,Вареник А.В., Козловская О.Н. Особенности распределения биогенных элементов в Севастопольской бухте 442

Огнистая А.В., Тананаев И.Г. Оценка влияния метаболитов микроводорослей Японского моря на патогенные бактерии...444

Орехова Н.А., Куринная Ю.С., Овсяный Е.И., Гуров К.И., Тихонова Е.А. Функционирование морских прибрежных экосистем в условиях антропогенного воздействия 446

Орехова Н.А., Овсяный Е.И. Антропогенная модификация донных отложений прибрежно-шельфовой зоны г. Севастополя в районе разгрузки сточных вод 448

Островский А.Г., Соловьев В.А., Стунжас П.А. Сезонная изменчивость запаса кислорода в присклоновых водах северо-восточной части Черного моря по данным заякоренного профилографа Аквалог и буев-профилемеров Арго 449

Остроумова Л.П., Соловьева Л.Н., Вишневская И.А. Изменчивость пресного стока, поступающего в Азовское море из устьевых областей Дона и Кубани под влиянием климатических и антропогенных факторов 450

Панкеева Т.В., Миронова Н.В. Пространственное распределение макрофитобентоса в ландшафтах заказника «Караньский» 452

Панченко Е.Д. Моделирование проникновения осолоненных вод в устья малых рек бассейна Белого моря.....454

Петров К.М. Литогенный фактор в формировании и распространении донных биоценозов (Апшеронский архипелаг, Каспийское море).....456

Ратнер Ю.Б., Дорофеев В.Л., Орехова Н.А., Иванчик М.В., Вареник А.В. Сопоставление результатов расчетов концентрации фитопланктона, нитратов, сероводорода и растворенного кислорода в Черном море по биологической модели МГИ с данными контактных измерений НИС «Профессор Водяницкий» и буев Био Арго 460

Румянцева Е.А., Гогоберидзе Г.Г. Анализ состояния и перспектив социально-экономического развития приморских Арктических регионов Российской Федерации 462

Рябовая В.О. Развитие систем мониторинга Черного моря на основе оптимизации их функциональной нагрузки.....464

Рябкова О.И., Баринова Г.М., Краснов Е.В. Проблемы комплексного экологического мониторинга пляжей на северном побережье Калининградской области.....466

Рябовая В.О., Холод А.Л. Повышение эффективности функционирования подсистем в оперативной системе анализа и прогноза состояния Черного моря 468

Савоськин В.М., Андросович А.И. Оценка целесообразности учета водного баланса р. Сухая.....470

Свищев С.В., Игумнова Е.М., Тимченко И.Е. Моделирование пространственно-временных сценариев потребления рекреационных ресурсов прибрежной зоны Севастополя.....472

Свищев С.В., Кубряков А.А. Влияние зимнего выхолаживания на динамику растворенного кислорода по данным буев Био-Арго.....474

Совга Е.Е., Ерёмина Е.С., Станичный С.В. Динамика фитогенных берегов в заливе Сиваш по спутниковым данным 476

Стонт Ж.И., Ульянова М.О. Влияние штормовой активности на объекты морского наследия побережья Калининградской области.....477

Тевс К.О., Шевченко О.Г. «Цветение» микроводорослей в прибрежных водах бухты Парис (залив Петра Великого, Японское море).....479

Терский П.Н., Горин С.Л., Панченко Е.Д., Попрядухин А.А. Основные черты зимнего режима в устье р. Варзуги (Кольский полуостров, бассейн Белого моря).....481

Тимошенко Т.Ю., Дьяков Н.Н., Мальченко Ю.А., Жиляев С.А. Проблемы сохранения аквального комплекса Опукского природного заповедника 483

Тимченко И.Е., Игумнова Е.М., Свищев С.В. Адаптивная модель ресурсной емкости прибрежной зоны моря 485

Ульянова М.О., Баширова Л.Д., Сивков В.В., Волкова И.И., Шаплыгина Т.В. Включение объектов морского культурного наследия в пространственное планирование прибрежной зоны Калининградской области.....487

Филиппова Т.А., Васечкина Е.Ф. Применение имитационной модели донного фитоценоза для оценки экологического состояния водного объекта.....489

Чикин А.Л., Клещенков А.В., Чикина Л.Г. Численное исследование гидрологии дельтовой области Дона 491

Чикина Л.Г., Чикин А.Л. Тестовые расчеты на модели поступления соленой воды из Таганрогского залива в дельту Дона.....493

Шоларь С.А., Степанова О.А., Стельмах Л.В. Изучение влияния вирусного лизиса кокколитофориды *Emiliania huxleyi* на прозрачность морской воды.....494

Перечень организаций 497

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

О СТРАТЕГИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ ЗАПАДНОГО КРЫМА

Горячкин Ю.Н.

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

Ключевые слова: Западный Крым, природопользование, стратегия, берегозащитные сооружения.

Западное побережье Крыма, от Севастопольской бухты до Каркинитского залива фактически последний резерв рекреационного развития полуострова. В последние годы наметилась устойчивая тенденция увеличения сюда потока отдыхающих, которых привлекают естественные пляжи, чистое море и сохранившаяся первозданная природа, т.е. то, что во многом утрачено на Южном берегу Крыма (ЮБК). Учитывая эту тенденцию, практически одновременно появился ряд проектов освоения территорий, и прежде всего, пользующихся наибольшей популярностью естественных песчаных пляжей. Так существуют планы застройки Бакальской косы, пересыпи в с. Оленевка, урочища Беляус у оз. Донузлав, анонсированы планы создать уникальную по длине непрерывную бетонную набережную от с. Поповка до г. Саки (!?). В г. Саки в стадии строительства на песчано-галечном пляже бетонная набережная длиной 8 км. Проектируются и строятся набережные в г. Евпатории и в с. Береговое, намечается строительство набережной в пгт Николаевка. Также существуют планы строительства яхтенных марин и восстановления существовавших при СССР причалов местных морских линий. Все эти мероприятия активно пропагандируются в СМИ администрациями прибрежных поселений, однако встречают резкое неприятие

их жителей, ввиду реального и потенциального ухудшения рекреационной привлекательности пляжной зоны. Отличительная черта всех перечисленных проектов – отсутствие научной проработки исходных положений и проектных решений, игнорирование мирового и отечественного (в том числе и для данного района) опыта.

Неоправданное стремление «облагородить» берег бетонными сооружениями, игнорирование особенностей литодинамики и механическое перенесение проектных решений, реализованных на ЮБК в Западный Крым в 80–90 гг. прошлого века дорого обошлось государству. Значительное количество гидротехнических сооружений было уничтожено штормами и представляет собой аварийную территорию, где запрещена рекреационная деятельность. Попытки защитить только «свой» участок берега и продолжавшееся в последующем несанкционированное строительство в зоне пляжей привели к тому, что в настоящее время берег во многих местах представлен «каменным хаосом». Такие проблемные территории расположены в курортных зонах Евпатории, Саки, Николаевки, Песчаного и Берегового. Собственно, новые проекты в основном и направлены на их восстановление. Однако намечаемые точечные мероприятия, как доказала практика, могут ухудшить состояние пляжей и привести к новым затратам, что и происходит сегодня при возведении набережных г. Евпатории и г. Саки. Проектировщики относятся формально к поставленной задаче, не поднимаясь до уровня сегодняшнего дня, не понимая уникальность и ценность берегов и ландшафтов Крыма. Строятся поперечные пляжеудерживающие сооружения, волноломы сомнительной, не апробированной на практике, конструкции. Капитальные бетонные сооружения проектируются и возводятся прямо на пляжах, при этом уничтожаются дюны и прибрежная растительность, которые являются естественной защитой пляжей. Вместе с тем, общемировой практикой является, наоборот, создание искусственных дюн, где они утрачены и отказ от бетона и капитальных сооружений на пляжах. Стратегия расширения рекреационной деятельности в Западном Крыму должна основываться на тщательной научной проработке, учете особенностей литодинамики всего побережья. В настоящее время суще-

ствует объективная необходимость в научном обосновании развития этой территории и проектов строительства, учитывающих интересы всех субъектов собственности, при этом необходимо шире использовать опыт и знания местных специалистов.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2019-0004 и гранта РФФИ 18-45-920021 р_а.

ЛАЗЕРНО-ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫЕ КОМПЛЕКСЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ

Долгих Г.И.

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

Ключевые слова: лазерный деформограф, лазерный нанобарограф, лазерный измеритель вариаций гидросферного давления, взаимодействие геосфер, инфразвук.

В докладе рассмотрены некоторые конструктивные особенности лазерных деформографов, лазерных нанобарографов и лазерных измерителей вариаций гидросферного давления, предназначенных для измерения вариаций деформаций земной коры, колебаний атмосферного и гидросферного давлений в частотном диапазоне от 0 (условно) до 1000 Гц с фоновой точностью. Кроме того, рассмотрены конструктивные особенности и условия использования автономных и мобильных лазерно-интерференционных систем. На основе данных установок созданы лазерно-интерференционные комплексы, предназначенные для изучения природы возникновения, развития и трансформации геосферных процессов системы «атмосфера-гидросфера-литосфера». При обработке полученных синхронных экспериментальных данных лазерно-интерференционного комплекса, установленного на м. Шульца (Приморский край, Японское море) изучены особенности возникновения и развития колебаний и волн, регистрируемых данными установками в диапазоне инфрагравитационных морских волн, внутренних и поверхностных морских волн, сейш.

Рассмотрены особенности возникновения и пеленгования микросейсмических колебаний диапазона «голос моря», генерируемых тропическими циклонами. При обработке и анализе полученных экспериментальных данных развит деформационный метод определения цунамигенности землетрясений, описаны физические особенности их возникновения их деформационных предвестников.

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

РОССИЙСКИЕ БЕРЕГА КАВКАЗСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ ЧЕРНОГО МОРЯ В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА

Крыленко В.В.

ИО РАН, г. Москва, Россия
krylenko.slava@gmail.com

Ключевые слова: Черное море, морские берега, берегозащита, природопользование.

Черноморское побережье Кавказа – один из первых участков, на котором отрабатывалась практика изучения и создавалась теория развития морских берегов, применялись технологии как локальной, так и комплексной защиты берега. В XX веке в берегозащите (за редкими исключениями) преобладал подход «борьбы с морем» – действию волн противопоставлялся железобетон. Для «рекреационных» участков берега использовалось компромиссное решение – создание ячеек из бетонных бун с искусственным пополнением пляжей в них.

В конце XX века произошли кардинальные изменения в системе принятия решений о целесообразности и технологиях защиты берега. Вместес СССР в прошлое ушли генеральные схемы берегозащиты, финансируемой государством, защита берега начала осуществляться локально и преимущественно на частные средства. Все чаще, хотя не далеко всегда, предпочтение стало

отдаваться решениям, учитывающим природные условия, экономическую эффективность и даже эстетические требования к виду морского берега.

Наиболее ярким примером таких решений стало создание искусственных пляжей под защитой каменно-набросных оградительных сооружений. Первыми «ласточками» стали проекты пляжей рекреационных объектов, впоследствии метод стал применяться для защиты протяженных участков берега. В 2008–2009 гг. выполнено строительство цепочки каменно-набросных бун к ЮВ от Туапсе, что позволило не только надежнее защитить железную дорогу, но и существенно расширило рекреационные возможности г. Туапсе.

Абразионные берега, сложенные флишем, составляют наибольшую часть рассматриваемого побережья. Множество природных и социально-экономических факторов определили существенные отличия отдельных участков по природным особенностям и степени их освоения. Наиболее сохранны берега п-ова Абрау и массива Туапхат, где в первозданном виде сохранились рельеф и растительность клифов. Наиболее техногенно изменены берега к югу от Туапсе. Севернее освоены и будут осваиваться берега вблизи крупных курортов. Благодаря небольшим размерам литодинамических ячеек техногенная трансформация отдельных участков при строительстве новых пляжей тут не несет угрозы смежным участкам берега.

Печальная судьба постигла берег Имеретинской низменности. Пляж полного профиля, сложенный выносами р. Мзымта, обеспечивал защиту территории от большей части штормов. На фоне техногенного сокращения твердого стока рек происходили локальные размывы, но до 2008 г. сохранялась возможность обеспечить природную устойчивость берега путем восстановления пляжей полного профиля. В ходе подготовки Сочинской Олимпиады было принято «государственное» решение о строительстве порта вблизи устья Мзымты и берегоукреплении. Проект был реализован, и теперь берег тут может развиваться исключительно в техногенных условиях.

Благополучно пока складывается судьба песчаной Анапской пересыпи протяженностью около 50 км, на которой пока не было реализовано каких-либо попыток «защитить» ее. Несмотря на ряд

негативных явлений природного или антропогенного генезиса, берег пересыпи находится в состоянии динамического равновесия. Если учитывать природную изменчивость при размещении рекреационных объектов, а не бороться с ней, высокая динамика берега не будет препятствием для его эффективного хозяйственного использования.

Анализ современного состояния берегов Черного моря проведен в ходе выполнения темы госзадания № 0149-2019-0014. Детальная информация по отдельным участкам берегов получена при поддержке РФФИ (проекты 18-05-00333, 19-05-00716, 19-45-230004) и РНФ (проект 20-17-00060).

АНТРОПОГЕННО-ИНДУЦИРОВАННЫЕ ПРОЦЕССЫ НА ВОДОСБОРАХ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ

Моисеенко Т.И.

ГЕОХИ РАН, г. Москва, Россия
moiseenko.ti@gmail.com

Ключевые слова: арктические регионы, воды суши, закисление, металлы, эвтрофирование, долговременные тенденции, биодоступность и нормирование.

Арктические регионы являются особо уязвимыми к антропогенным факторам в силу низкого уровня масс- и энергообменов в холодных широтах. Доказано, что трансграничные атмосферные переносы в Арктику наряду с локальными источниками влияют на состояние всей водосборной системы, приводя к развитию антропогенно-индуцированных процессов в водах суши, таких как закисление, загрязнение токсичными металлами и эвтрофирование вод. В арктической прибрежной зоне распространены многочисленные малые озера преимущественного атмосферного питания. При условии отсутствия прямых источников загрязнения, они являются хорошими индикаторами воздушного распространения кислотообразующих веществ и металлов в региональном и глобальном масштабах, а также отражают потепление климата.

Представлены результаты исследований геохимических процессов, развивающимся на водосборах арктического бассейна – Кольского региона, Ямало-Ненецкого округа и Норильского района.

Доказано, что закисление вод развивается под влиянием атмосферного поступления на водосборы кислотообразующих веществ от медно-никелевых комбинатов на Кольском Севере и вследствие сжигания попутного газа при добыче углеводородного сырья в Западной Сибири, воды суши Норильского региона устойчивы к закислению благодаря особенностей геологической структуры, слагающих водосборы. Для оценки последствий выпадения кислот рассчитаны критические нагрузки и их превышение на основе метода «SteadyStateWaterChemistry (SSWC)». Превышение критических нагрузок составляло для 56 % от исследованных озер на Кольском Севере и 12,8 % – в Западной Сибири.

Показано, что под влиянием воздушного загрязнения в водах озер формируются повышенные концентрации многих элементов. Для оценки антропогенного влияния на воды исследованных территорий был рассчитан фактор обогащения вод элементами (EnrichmentFactors, EF). Самые высокие значения EF были характерны для вод Норильского региона (Re, Ni, V, Cu, Cd, Mo, Sb). Для вод Западной Сибири в зонах тундры и лесотундры наибольшие факторы обогащения составили для Pb, V, As, Sb и особенно Mo. В озерах зоны тундры и лесотундры Кольского региона более высокие значения EF для Ni, Cd, As, Sb и особенно Se, что отражает влияние промышленной деятельности в этом регионе. Расчет EF продемонстрировал его высокую эффективность для оценки обогащения вод редкими элементами, включая и высокотоксичные.

Анализ долговременных тенденций изменений геохимии вод суши (1990–2018 гг.) на Кольском Севере показывает тенденции снижения закисления вод, восстановления кислотонейтрализующей способности вод (ANC) и снижения содержаний металлов. В то же время выявлены процессы нарастания содержаний органического вещества и фосфора в водах суши, а также снижения насыщения вод кальцием. Экстраполяция этих данных на водо-

сборную систему всего арктического бассейна показало тенденции к возможному изменению стока катионов и увеличению стока органического вещества за последние 30 лет.

На основе исследований форм миграции и биодоступности токсичных элементов предложены значения критических содержаний металлов в северных низко-минерализованных водах арктического региона.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 18-05-60012.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ, СТРОИТЕЛЬСТВО И ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ БЕРЕГОЗАЩИТНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ЮЖНОМ БЕРЕГУ КРЫМА

Марков А.П., Марков А.М., Маркова М.Г.

ООО «КрымТехПроект», г. Ялта, Россия
alexei.markovf@mail.ru

Ключевые слова: Южный берег Крыма, берегозащитные сооружения, проектирование, опыт эксплуатации.

Основные работы по защите береговой полосы на южном берегу Крыма (ЮБК) начались в 60-х гг. XX в. Первые буны с искусственным пляжем из каменного материала крупной фракции (до 150 мм) были построены в пгт Форос и пгт Кореиз (санаторий «Днепр») в 1960 г. Дефицит территории для рекреации в совокупности с активными оползневыми процессами, потребовали применения оригинальных решений, одним из которых явилось создание комплекса берегозащитных и противооползневых сооружений, включающего набережную с системой дренажей, искусственный пляж и буны. Впервые такое решение было реализовано на практике для пляжа Массандра (г. Ялта) в 1966 г., при этом без серьезных ремонтов построенные сооружения эксплуатируются по настоящее время. Реализованная схема была признана успешной и в дальнейшем была применена и на других

участках ЮБК. Одной из основных организаций, обеспечивающих проектирование берегозащитных конструкций и противооползневых сооружений, с начала 60-х гг. стал Ялтинский филиал института «Укрюжгидрокоммунстрой». В это время велась системная работа по изучению береговых процессов и координация усилий научных, проектных и строительных организаций различной ведомственной принадлежности по выработке оптимальных технических решений. Не все из них были удачными, а оптимальные пути вырабатывались путем строительства опытных участков с последующим их мониторингом.

Так при эксплуатации выяснилось низкая эффективность, а зачастую и вред в условиях ЮБК конструкции комплекса активной берегозащиты в виде бун (траверсов) и волноломов с отметкой верха волнолома -1,0–1,5 м, предложенной ЦНИИС им. Жданова (г. Сочи) и реализованное на ряде участков берега. Во время шторма пляж оттягивался под волнолом, и при обрушении волны на волноломе забрасывался на морскую грань волнолома, безвозвратно уходя на глубину. Кроме того, волноломы препятствовали водообмену и способствовали созданию застойных зон в межбунном отсеке. В результате конструктивное решение с волноломами было оценено как неэффективное, и к концу 80-х гг. практически все волноломы были разобраны.

К началу 70-х гг. при строительстве берегозащитных сооружений появилась необходимость создания пляжей на приглубых участках с уклонами дна, которые не обеспечивали устойчивость подводной зоны пляжа. Специалистами проектно-изыскательского института «Фундаментпроект» (г. Москва) было предложено устройство подводного банкета из кладки массивов с отметкой верха банкета –4,5–5,0 м. Это техническое решение позволило создать искусственные пляжи там, где ранее это казалось невозможным, например, на побережье пгт Мисхор. Конструкция оказалась очень удачной и при качественном исполнении она надежно обеспечивает сохранение пляжа в межбунном отсеке.

К концу 80-х гг. XX в. наличие научно-обоснованной стратегии и специально разработанных технологий строительства позволило выполнить существенный объем строительных работ, создать основу для курортного и рекреационного комплекса

Крыма, защитить десятки километров берега. При проектировании там, где это было возможным, старались минимально воздействовать на природную среду. В качестве примера можно привести свободный пляж в Коктебельской бухте, участок свободного пляжа на восточной границе Профессорского (Рабочего) уголка в г. Алушта. К 1988 г. была подготовлена «Региональная схема инженерной защиты Черноморского побережья Крымской области", которая должна была послужить основой для дальнейшего развития прибрежных территорий Крыма.

Считаем необходимым упомянуть о двух технических решениях, которые себя хорошо зарекомендовали и позволили повысить эффективность и надежность берегозащитных конструкций. Это создание так называемого цоколя пляжа, отмостки перед гидротехнической стеной со стороны моря, выполняемого из камня весом до 1,0 т на отметке +1,0 БС. В период строительства и при ремонтных работах в береговой зоне цоколь обеспечивал основание для перемещения техники, а в период эксплуатации за счет пустотности и веса камня, слагающего цоколь, усиливал волногасящие характеристики пляжа и препятствовал подмыву гидротехнической стены во время штормов близких или даже превышающих расчетный. Также было предложено использовать в головных частях буны специально разработанные массивы серии МН (два массива МН нижнего курса при установке образуют паз глубиной 0,5 метра, куда устанавливается массив верхнего курса). Авторам неизвестно ни одного случая разрушения головных частей бун, построенных с применением этого типа массивов.

Развитие рекреационной сферы на ЮБК требовало создание все новых пляжных зон. Иногда, по требованию заказчиков, хорошо отработанная схема искусственного пляжа с бунами и набережной применялась на мысовых участках. Отсутствие должного обслуживания сооружений (пополнение пляжа) и активное волновое воздействие привело к повреждению таких конструкций на различных участках ЮБК. Также серьезно навредил сооружениям катастрофический шторм 1992 г., особенно там, где в головных частях бун не была проведена замена обычных массивов нижних курсов на массивы МН. В последнее время нами сов-

местно с Ю.П. Дудинским была разработана и внедрена в практическую деятельность технология ремонта и строительства бун с помощью монолитного бетонирования. Использование предложенных решений позволило существенно снизить стоимость выполняемых работ, полностью или почти полностью исключить из производственного процесса плавсредства (плавкран, буксиры, баржи) и повысить устойчивость конструкций за счет увеличение массы отдельных блоков.

К сожалению, период после распада СССР можно охарактеризовать как период потерь и отступлений на фронте борьбы за сохранность берегов Крыма в целом и ЮБК в частности.

После воссоединения с Россией руководство РФ, понимая важность и необходимость обеспечения защиты берегов Крыма, от опасных природных процессов в рамках ФЦП «Социально-экономическое развитие Республики Крым и г. Севастополя до 2022 г.» начало финансировать работы по восстановлению берегоукрепительных сооружений. Так на сегодняшний день на ЮБК реализуется проекты «Реконструкция берегоукрепительных сооружений санатория «Пионер», в пгт Симеиз, РК», проект реконструкции пляжа «Солнечный» (г. Ялта), подготовлен проект по восстановление берегозащитных сооружений в Никитском ботаническом саду и ряд других. К сожалению, существующее положение таково, что тендеры на выполнение проектов выигрывают организации, не имеющие практического опыта в условиях ЮБК. Это приводит к тому, что не учитывается существующий положительный опыт проектирования, строительства и эксплуатации берегоукрепительных сооружений, накопленный на протяжении десятков лет. Нужно отметить, что анализ технической документации проектов показывает, что проводимые изыскания и проработка проектов крайне поверхностно, а проектные решения, мягко говоря, сомнительны. Так в них применятся набросные конструкции, волноломы и так называемые искусственные мысы, что для ЮБК является давно пройденным этапом, который получил соответствующую негативную оценку десятки лет назад и от чего, вполне обоснованно, отказались. По нашему мнению, при дефиците прибрежной территории на ЮБК, использование набросных конструкций существенно снижает рекреационные

возможности берега, создает прямую опасность жизни отдыхающих. Также вызывают серьезные опасения сами конструкции волноломов. Фактически не апробировав их на натуре, проектанты запустили эту конструкцию в серию, использовав ее сразу в нескольких проектах с совершенно различными природными условиями. К сожалению, экспертиза этих проектов формальная, к ней не привлекаются крымские специалисты, что может пагубно сказаться в будущем. Для тех, кто работает и живет на ЮБК, понятно, что главным экспертом построенных сооружений будет море. Оно укажет на ошибки в проектировании, при их наличии, проверит на прочность и расставит все на свои места в прямом и переносном смысле. Только кто ответит за потраченные государственные средства?

ЛИТОДИНАМИЧЕСКИЕ И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ДОБЫЧИ ЯНТАРЯ НА ПОБЕРЕЖЬЕ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

Сивков В.В. [1,2], Ульянова М.О. [1,2], Бубнова Е.С. [1], Килесо А.В. [1,2], Коркин А.Е. [2], Крек А.В. [1]

[1] ИО РАН, г. Москва, Россия
[2] БФУ, г. Калининград, Россия
marioches@mail.ru

Ключевые слова: взвешенное вещество, пульпа, пляжи, добыча янтаря, Балтийское море, тяжелые металлы, донные осадки.

Промышленная добыча янтаря на западном побережье Калининградской области оказывает воздействие на состояние прибрежной экосистемы, так как технологический процесс добычи предусматривает сброс вскрышной породы и хвостов обогащения на пляж и в море. Объемы сброса сопоставимы с объемами твердого речного стока Вислы – крупнейшей реки юго-восточной Прибалтики, а также с объемом осадочного вещества, поступающего в море в результате абразии берегов и подводного берегового склона.

В районе сброса породы (пульпы) из янтарного карьера исследовалась концентрации взвеси в морской воде и динамика техногенного пляжа, а также концентрация в донных осадках тяжелых металлов (Cr, Co, Ni, Cu, Pb, Zn). Исследование динамики береговой линии выполнено по материалам маркшейдерских съемок (2014–2018 гг.). Математическое моделирование распространения взвеси от места сброса пульпы было выполнено с использованием гидродинамической модели SHYFEM.

Максимальные концентрации взвеси отмечены в приурезовой полосе моря при западных и восточных ветрах вблизи участков сброса пульпового материала. За период съемок с февраля по июль 2019 г. максимальный объем воды с концентрацией >10 мг/л достигал 6,6 млн. $м^3$, покрывая при этом участок дна площадью 1,61 $км^2$. Минимальный объем воды с такой же концентрацией взвеси был на три порядка меньше (0,006 млн. $м^3$). При этом ему соответствовал участок дна площадью всего 0,01 $км^2$. Экстремально высокие концентрации взвеси, превышающие 100 мг/л, были отмечены всего три раза, и им соответствовали участки дна площадью около 0,5–0,6 $км^2$.

В весенне-осенний период, когда происходит сброс пульпы, отмечено нарастание пляжа со скоростью до 216 $м^3$/день, при среднем значении в 77 $м^3$/день. Вдольбереговые течения, трассируемые тонкой взвесью, переносят в придонном слое также и песчаную фракцию пульпы (сальтация), и тем самым распределяют осадочный материал по пляжу на значительном удалении (до 25 км) от места поступления пульпы на пляж. По результатам математического моделирования показано, что при северных, северо-западных и восточных ветрах формируется вдольбереговой перенос взвеси в южном направлении, а при западном и южных – в северном. В реальности распределение взвеси осложняется субмезомасштабными гидрофизическими процессами. В зимний период, когда добыча янтаря не ведется, и сброс пульпы не производится, происходит интенсивный размыв рассматриваемого участка пляжа – в среднем 297 $м^3$/день. Также отмечены эпизоды экстремального размыва пляжа, обусловленного штормами.

Таким образом, ареалы высоких, экологически значимых концентраций техногенной взвеси имеют сезонное и локальное рас-

пространение, связанное с консолидированным сбросом на малой площади, а устойчивость пляжей на западном побережье Калининградской области, в том числе имеющих статус «голубой флаг», критически зависит от поступления техногенного материала песчаной фракции.

Показано также, что содержание тяжелых металлов во вскрышных породах карьера и янтареносной «голубой земле» сопоставимо с их содержанием в породах береговых абразионных уступов, являющихся естественными источниками осадочного вещества для моря. Поэтому повышенные содержания тяжелых металлов в донных осадках береговой зоны моря не могут считаться техногенным загрязнением.

СЕКЦИЯ 1
«ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МОРСКОЙ СРЕДЫ»

РОЛЬ МЕРЗЛОТНЫХ ПРОЦЕССОВ В ДИНАМИКЕ БЕРЕГОВ КАРСКОГО МОРЯ

Алексютина Д.М., Мазнев С.В., Огородов С.А.

МГУ, г. Москва, Россия
aleksyutina@gmail.com

Ключевые слова: динамика берегов, криолитозона, термоэрозия, термоденудация, термоабразия, термокарст.

Изменение климата в связи с глобальным потеплением более активно проявляется в полярных областях, чем в умеренных широтах. Для успешного освоения и рационального хозяйственного использования арктических берегов в условиях изменяющегося климата важно иметь представления о реальных природных условиях этого региона, в том числе необходимо понимание особенностей протекания характерных криогенных процессов и их влияние на преобразование природной среды. Целью исследований было проведение количественной оценки вклада геокриологических процессов и явлений в скорость отступания береговой линии.

Роль мерзлотных процессов была оценена для Уральского берега Байдарацкой губы Карского моря. Ключевой участок имел протяженность 5 км. Территория исследований характеризуется сплошным распространением ММП, среднегодовой температурой грунтов –4…–5 °С. В геоморфологическом плане можно выделить следующие уровни: пляж, лайда до 4 м высотой (низкая поверхность, затапливаемая в период нагонов и штормов), поверхность высотой 4–5 м, и поверхность высотой 5–15 м.

Отступание берегов определялось на основе данных маршрутных наблюдений по выбранным профилям, а также на основе дешифрирования АФС и КФС бровки берегового обрыва разных

лет. Данные дистанционного зондирования Земли позволили выделить участки берега, на которых были развиты различные преобладающие мерзлотные процессы: с преобладанием термоденудационных процессов, с преобладанием термоэрозионных процессов, с преобладанием термокарстовых процессов.

На термоденудационных участках берега смещение положения бровки обрыва за счет различных гравитационных процессов (стекания, сползания, обрушения, осыпания и др.) происходит равномерно из года в год. За 8-летний период времени (2005–2013 гг.) скорости отступания зависели от геолого-геоморфологического строения берега. Темпы отступания бровки высокой и низкой поверхности практически одинаковы и составляют 0,5–0,6 м/год за период 2012–2016 гг. и за период 2015–2017 гг., при практически неподвижном береговом уступе в пределах лайды. Область с преобладанием термоэрозионных процессов характеризуется наличием многочисленных карманов и врезов, формирующихся при вытаивании полигонально-жильных льдов. Смещение положения бровки происходит неравномерно, периодически затухая в некоторые годы и резко активизируясь в другие. Из-за такого непостоянства средняя скорость разрушения берега для относительно длительного периода наблюдений (8 лет) оказалась ниже, чем скорость отступания берега на участках развития процесса термоденудации в тот же период. Однако для более кратковременных интервалов темпы отступания берега под влиянием термоэрозии оказываются выше, чем под влиянием термоденудации. Третий тип участка характеризуется развитием термокарстовых озер и целиком приурочен к лайде. Отступание берега здесь может происходить по смешанному механизму: отступание за счет термоабразии время от времени сменяется скачкообразным преобразованием береговой линии при спуске термокарстовых озер. Темпы смещения бровки уступа достигали десятки метров в год, однако после этого эта область стабилизировалась на долгие годы, когда происходило постепенное выравнивание береговой линии. Таким образом была проведена количественная оценка влияния различных криогенных процессов на динамику Уральского берега Байдарацкой губы Карского моря

Работа выполнена при поддержке гранта президента для молодых кандидатов наук МК-407.2019.5.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИЛИВОВ И ШТОРМОВЫХ НАГОНОВ В КАРСКОМ МОРЕ

Архипкин В.С., Мысленков С.А.

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

Ключевые слова: колебания уровня моря, приливы, нагоны, Карское море, моделирование, модель ADCIRC.

Для моделирования приливов и штормовых нагонов в Карском море применялась модель ADCIRC. В работе использовалась двумерная версия этой модели. Расчетная триангуляционная сетка для Карского моря была построена методом «paving». Размер ячеек этой сетки изменяется от 15 км в центре моря до 500 м в прибрежной зоне. В архипелаге Норденшельда и в некоторых других местах размер ячеек уменьшается до 250 м. В итоге получилось 66 290 узлов сетки. Рельеф дна в узлах сетки рассчитывался методом линейной триангуляции. Входными данными для нее послужили 512300 отметок глубин, оцифрованных по разным навигационным картам.

Расчетная область имеет несколько открытых границ. На северной границе задавались приливные составляющие (амплитуда и фаза гармоник M2, S2, N2, K2, K1, O1, P1, Q1), взятые из базы данных приливов FES2004. В проливах Карские ворота, Вилькицкого, Шокальского и Маточкин шар задавалось граничное условие свободного прохождения волн. На берегу принимались условия нулевого нормального потока к берегу и тангенциальное скольжение. Придонное трение рассчитывалось согласно формулировке квадратичного закона трения: Безразмерный коэффициент придонного трения принимался постоянным и равным 0,025. Коэффициент горизонтальной турбулентной вязкости также задавался постоянным – 2 $м^2/с$. Речной сток не задавался.

Для учета морского льда при моделировании колебаний уровня в Карском море были использованы поля концентрации льда из базы OSI-450. Дискретность по времени одни сутки, по пространству 25 км. Анализ полей концентрации льда показал,

что моделирование штормовых нагонов в Карском море целесообразно проводить лишь с середины июня по середину ноября. В другие месяца это море почти полностью покрыто льдом. Наиболее свободным ото льда месяцем в Карском море является сентябрь.

Для выявления особенностей приливных колебаний уровня моря в изучаемой акватории был проведен модельный эксперимент, где в качестве единственной вынуждающей силы, задавались приливные колебания на северной, открытой границе расчетной области. Расчеты проводились за период с 1 июня по 31 октября 2010 г. Подтвердился факт, что приливные волны в Карское море приходят с севера из центральных районов Северного Ледовитого океана, причем траектория движения волны, приходящей с севера, разделяется на две: одна идет сразу на юг; другая огибает архипелаг Франца Иосифа и затем движется на юг к архипелагу Новая Земля. Здесь она захватывается у восточного берега архипелага и движется вдоль него в виде волны Кельвина. Далее она входит в Байдарацкую губу, в ней разворачивается и движется на север вдоль западного берега п-ова Ямал, огибает о-в Белый и входит в Обскую и Гыданскую губы и Енисейский залив, причем прижимаясь к западным их берегам.

Самая большая величина прилива обнаружена в вершине Байдарацкой губы. Здесь она достигает значений до 2 м. В других районах Карского моря она значительно меньше – в пределах от 0,2 до 0,7 м. Высота нагонов же может быть значительно больше. Это показало моделирование штормовых нагонов за тот же период. Входными данными для модели послужили поля ветра и атмосферного давления, взятые из реанализа NCEP/NCAR. Возьмем для примера Обскую губу. В ней величина прилива изменяется от 0,7 м на севере до 0,15 м на юге. Если принять за штормовые нагоны превышения уровня больше 1 м, то таких случаев за период моделирования здесь было отмечено 4, при этом наибольшая высота нагона превышала 2 м.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ №18-05-60147 (штормовые нагоны) и госзадания «Изменение динамики и структуры вод морей и океанов» (приливные колебания уровня).

ВИХРЕВЫЕ СТРУКТУРЫ В ПРОЛИВЕ ФРАМА И ВБЛИЗИ АРХИПЕЛАГА ШПИЦБЕРГЕН В ЗИМНИЙ ПЕРИОД ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Атаджанова О.А. [1], Козлов И.Е. [2]

[1]ИО РАН, г. Москва, Россия
[2]МГИ, г. Севастополь, Россия
oksana.atadzhanova@gmail.com

Ключевые слова: пролив Фрама, архипелаг Шпицберген, океанские вихри, прикромочная ледовая зона, субмезомасштаб, Северный Ледовитый океан, спутниковые РСА изображения.

В данной работе для района пр. Фрама и окрестностей арх. Шпицберген выполнен анализ особенностей распространения поверхностных проявлений вихрей (ППВ) и их пространственно-временных характеристик за зимний период 2007 и 2018 гг. В качестве исходных данных с декабря 2006 г. по март 2007 г. было использовано свыше 200 спутниковых радиолокационных изображений (РЛИ) Envisat ASAR, а для зимнего периода 2018 г. – было проанализировано около 1000 РЛИ Sentinel-1 A/B.

По данным за зимний период 2006/2007 гг. преимущественно регистрировались вихри прикромочной зоны (94 % от общего числа). Такие ППВ формируются за счет горизонтального перераспределения разреженного льда. На участках открытой воды вихри отмечались крайне редко, что, по-видимому, обусловлено более сильными ветрами в зимний период, ограничивающими идентификацию вихрей на РЛИ. Зарегистрированные ППВ имели диаметр от 1 км до 67 км и преимущественно циклонический тип.

Свыше 60 % вихрей имеют диаметр менее 10 км и регистрируются на шельфе. Более крупные вихри диаметром >20 км наблюдаются вдоль прикромочной зоны над глубинами >1000 м. Районы высокой повторяемости ППВ приходятся на области прикромочной зоны в западной части пр. Фрама, вблизи о. Надежды, пр. Стур-Фьорд и севернее о. Медвежий.

Сравнение полученных результатов с аналогичными за летний сезон 2007 г. в проливе Фрама позволило выявить частичное совпадение районов регистрации вихрей. При этом схожая статистика о размерах вихрей прикромочной зоны и преобладании циклонических вихрей отмечалась в других арктических районах.

Результаты по зимнему периоду 2017/2018, а также сравнительный анализ за оба периода будут представлены в докладе.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-35-20078 мол_а_вед и государственного задания № 0149-2019-0015.

МОДЕРНИЗИРОВАННАЯ СТАНЦИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ВОДНОЙ ТОЛЩИ

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

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

Ключевые слова: Полигон «Геленджик» ИО РАН, термическая стратификация, донная автоматическая станция, долговременные измерения, оперативная океанография.

На Полигоне «Геленджик» ИО РАН с 2019 г. в состав подводной многофункциональной комплексной станции внедрена подводная лебедка или стационарная станция вертикального зондирования (ССВЗ). ССВЗ была разработана в 2018–2019 гг. в ЮО ИО РАН для проведения долговременных, автоматических измерений с онлайн передачей данных в береговой центр.

Основу ССВЗ составляет подводная лебедка с неподвижным барабаном, что позволило использовать систему передачи данных без токосъемника. Токосъемник, это труднореализуемый и дорогостоящий узел в составе любого лебедочного комплекса, а подводного в особенности.

Для первого макета был выбран широкий барабан с укладкой кабеля по принципу улитки в один ряд. Такое размещение кабеля ограничивает его длину (всего до нескольких десятков метров). Можно было увеличить длину наматываемого кабеля за счет большего диаметра барабана, но это бы привело к неоправданному росту потребляемой энергии при работе лебедки.

В дальнейшей модернизации ССЗВ был использован неподвижный барабан малого диаметра с многорядным способом намотки. В таком варианте значительно увеличивается длина наматываемого кабеля (до нескольких сотен метров), а за счет малого плеча разматывающего механизма – в несколько раз понизились затраты потребляемой лебедкой энергии.

На данный момент была разработана и находится в стадии макетирования новая система с неподвижным барабаном. В новой системе был применен опыт предыдущих лет и добавлены оригинальные решения, которые позволили сделать барабан многорядным. В частности, был применен вертикальный тросоукладчик, приводимый в движение от основной шестерни. За счет многорядного барабана существенно уменьшились размеры самой лебедки, это позволило заключить лебедку в жесткий защитный купол, который, в свою очередь, уменьшил попадание на механизмы лебедки осадков и различных организмов, обитающих в водной среде.

В результате проведенных инженерно-технических изысканий был получен принципиально новый тип измерительного средства, улучшающего качество проводимых экспериментов и повышающего информативность получаемых данных. В будущем планируется эту систему перевести в разряд автономных систем и снабдить беспроводной связью с берегом. Это даст возможность оперативно следить за состоянием водной среды, а также определять работоспособность приборов и вовремя проводить регламентное обслуживание.

Работы выполнены в рамках темы госбюджета 0149-2019-0014, 0149-2019-0004 и при поддержке грантов РФФИ 20-05-00496, РФФИ 19-45-230002.

ДИНАМИКА БЕРЕГОВ ОСТРОВА БЕЛЫЙ (КАРСКОЕ МОРЕ)

Баранская А.В., Новикова А.В., Огородов С.А.

МГУ, г. Москва, Россия
alisa.baranskaya@yandex.ru

Ключевые слова: Арктика, термоабразия, остров Белый, отступание берегов.

Остров Белый – северное продолжение п-ова Ямал, окруженное со всех сторон водами Карского моря. Его берега сложены многолетнемерзлыми породами со значительной долей жильных льдов, что способствует быстрому их разрушению под действием волн и таяния мерзлых уступов. Современное изменение климата способствует усилению как термического воздействия за счет повышения температуры, особенно заметного в высоких широтах, так и волнового воздействия за счет увеличения безледного периода и длины разгона волн. Если в середине XX века волны воздействовали на берега лишь в течение краткого времени (иногда меньше месяца), то в XXI веке безледный период длится до трех месяцев, что значительно увеличивает нагрузку на берега. С учетом значительной льдистости и низкой высоты уступов берега острова Белого подвергаются высокому риску размыва.

Для анализа динамики западного и восточного побережий острова Белый были использованы данные Corona KH-4 1969 г. (пространственное разрешение 2,6 м) и сцены ArcticDEM, построенные по снимкам World-View-3 и World-View-2 2016 г. (2 м). Снимки Corona были привязаны к ЦМР с помощью большого количества точек и функции Spline в ПО ArcGIS 10.5 [ESRI Inc., Redlands, CA, USA]. По снимкам и ЦМР проведена оцифровка бровки берегового уступа на абразионных участках, с помощью приложения DSAS 5.0 [Digital Shoreline Analysis System, Himmelstoss et al., 2018], рассчитаны скорости отступания по профилям, рассчитаны погрешности определяемых скоростей.

Скорости термоабразии берегов острова Белого составили от 0,5 до 4,4 м/г, средняя скорость 1,6 м/г (±0,2 м/г). На редких аккумулятивных участках наблюдается проградация берега со средней скоростью 2,2 м/г. Максимальное отступание (до 4,3 м/г) наблюдается на участке восточного побережья острова, для которого характерны высокая льдистость отложений и высокое содержание жильных льдов. Однако средние скорости отступания восточного побережья (1,2 м/г) несколько ниже западных (1,9 м/г). Максимальные скорости превышают средние показатели скоростей термоабразии берегов Карского моря, к примеру, в районе пос. Харасавэй они составляли до 3,2 м/год с 1960-х гг., на Уральском берегу Байдарацкой губы – до 2,5 м/год с 1960-х гг. В районе залива Крузенштерна, закрытого от действия морских волн островами, максимальные скорости разрушения составили еще меньше: до 1,6 м/год с 1960-х, а на Ямальском берегу Байдарацкой губы – до 1 м/год с 1960-х.

Исследование выполнено в рамках проекта РНФ 16-17-00034.

БАЗА ДАННЫХ ПОСЛЕЛЕДНИКОВЫХ ИЗМЕНЕНИЙ УРОВНЯ МОРЕЙ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

Баранская А.В.

МГУ, г. Москва, Россия
alisa.baranskaya@yandex.ru

Ключевые слова: Арктика, уровень моря, гляциоизостазия.

Значительная часть арктических морей России находится в пределах шельфа, поэтому в недалеком геологическом прошлом ключевую роль в изменении береговой линии сыграли изменения уровня моря и вертикальные движения земной коры суши и дна. Задача исследования – реконструкция изменений относительного уровня моря на берегах арктических морей России со времени максимума последнего оледенения, их механизмов и факторов. Была собрана база данных изменений относительного уровня

моря в Российской Арктике в конце позднего плейстоцена-голоцене. Она охватывает временной интервал от максимума последнего оледенения (25 тыс. лет назад) до наших дней и состоит из 634 точек. Структура приведена к стандартному виду, согласно международным протоколам [Hijma, M.P., Engelhart, S.E., Tornqvist, T.E., Horton, B.P., Hu, P., Hill, D.F., 2015. A protocol for a geological sea-level database, in: Shennan, I., Long, A.J., Horton, B.P. (Eds.), Handbook of Sea-level Research. John Wiley & Sons, Ltd, New York, 536–553]. Присутствуют сведения о географическом положении каждой точки, высоте индикаторов над уровнем моря, датированном материале, глубине его залегания, геологическом разрезе, выше- и нижележащих слоях.

Точки разделены на 26 районов согласно своему географическому положению, удаленности от центров оледенения, геоморфологическим, палеогеографическим и тектоническим особенностям. Построены графики изменения относительного уровня моря, установлены закономерности его пространственной и временной изменчивости. Выявлено, что районы, перекрывавшиеся ледниковыми щитами (Балтийский щит, Земля Франца-Иосифа, Новая Земля), испытывают преимущественное падение уровня моря за счет гляциоизостатического понятия суши; области вокруг краев древнего ледника (берега Печорского моря, север Ямала и Гыдана) характеризуются подъемом относительного уровня моря в течение всего голоцена, а регионы, удаленные от центров оледенения (море Лаптевых, южная часть Ямала и Гыдана), испытали подъем уровня моря до первых метров над современным с последующим медленным падением. Проведено сравнение данных из базы с результатами численных моделей гляциоизостатической компенсации ICE-6G_C VM5a [Argus, D. F.,W. R. Peltier, R. Drummond, and A.W.Moore (2014), The Antarctic component of postglacial rebound Model ICE-6G_C (VM5a) based upon GPS positioning, exposure age dating of ice thicknesses and sea level histories, Geophys. J. Int., 198, 537–563; Peltier, W.R., Argus, D.F., Drummond, R., 2015. Space geodesy constrains ice age terminal deglaciation: the global ICE-6G_C (VM5a) model. J. Geophys. Res. Solid Earth, 120] и ICE-7G_NA VM7 [Roy, K., Peltier, W.R., 2017. Space-geodetic and water level gauge constraints on continental uplift and tilting over North America: Regional convergence of the ICE-6G

C (VM5a/VM6) models. Geophysical Journal International, 210(2), 1115-1142], а также с использованием моделей с 3D-неоднородностями параметров литосферы и мантии [Li, T., & Wu, P. (2018). Laterally heterogeneous lithosphere, asthenosphere and sub-lithospheric properties under Laurentia and Fennoscandia from Glacial Isostatic Adjustment. Geophysical Journal International, 216(3), 1633–1647]. Результаты показали значительную сходимость, однако присутствуют и несоответствия, которые могут быть вызваны, в частности, локальными дифференцированными тектоническими движениями.

Исследование выполнено в рамках проекта РФФИ 20-35-70002.

НАДЕЖНОСТЬ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ В ПРОЕКТЕ РЕАНАЛИЗА XX СТОЛЕТИЯ

Башарин Д.В. [1], Станкунавичус Г. [2]

[1] МГИ, г. Севастополь, Россия,
[2] Вильнюсский университет, г. Вильнюс, Литва
dbasharin@rambler.ru

Ключевые слова: приземная температура воздуха, геопотенциальная высота 500гПа, надежность данных в реанализе XX столетия, Атлантико-Европейский регион.

Многочисленные спутниковые наблюдения, которые начали активно производится с конца 70-х годов прошлого столетия, стали усваиваться в многочисленных климатических реанализах. Это привело к тому, что точность данных реанализов стала несравнима между периодами до спутниковых наблюдений и после их осуществления. В связи с этим был выполнен проект по созданию нового, долговременного реанализа XX столетия (20CR) с двухградусным пространственным разрешением [esrl.noaa.gov/psd/data/].

Проект 20CR известен тем, что в нем происходит только усвоение данных о среднемесячной поверхностной температуры воды Мирового океана и концентрации морского льда, а также

срочных длительных данных о приземном давлении с сети гидрометеорологических станций продолжительностью более, чем за столетие. Таким образом, появился важный, длительный реанализ для анализа климатической системы. Однако можно обнаружить, что количество усвоенных данных о приземном давлении отличается на несколько порядков в начале и в конце прошлого столетия, т.е. главным образом примерно до 1950 г. и после него. Это связано с активной развертыванием и совершенствованием наблюдательной сети с середины прошлого века. Таким образом, возникает вопрос о надежности данных в различные периоды (до и после 1950 г.) этого длительного реанализа. Оказалась ли существенной такая разница в количестве усвоенных данных для некоторых расчетных величин таких как приземная температура воздуха (ПТВ) и геопотенциальная высота 500 гПа (Н500) с 1871 по 2012 гг.? Эти вопросы и были рассмотрены в работе.

Анализ, проведенный в работе, показал, что данные ПТВ и Н500 реанализа в периоды до 1950 года и после него хорошо соотносятся с данными наблюдений на метеостанциях в регионе Евразии. Эти длительные наблюдения, как минимум с начала прошлого века, были получены с климатической базы данных «Climate Explorer» для станций: Киев, Вильнюс, Берлин, Милан, Казань, Благовещенск, Томск, Борзя, Париж, Якутск, Одесса, Чита. Для Н500 – для большинства этих же станций. По станциям средние коэффициенты корреляции между ежедневными данными реанализа и наблюдениями варьируются примерно от 0,47 до 0,95 в период с конца предыдущего века до 1950 гг. и от 0,8 до 0,99 после 1950 до 2012 гг. Среднее отличие дневных данных реанализа ПТВ и Н500 от наблюдений может достигать нескольких градусов и нескольких десятков геопотенциальных метров (гпм) в течении различных месяцев года, что может иногда встречаться и в других реанализах: ERA/JRA. Отметим, что эта разница сильно растет и становится максимальной в отдельные месяцы весеннее-летнего сезона года, достигая 2–3 °С для ПТВ и 30 гпм для Н500. Причем эти различия меньшие для региона станций, расположенных в Западной части Евразии по сравнению с регионом Восточной Евразии. В работе также сравнивались климатические характеристики, глобальные линейные тренды ПТВ, ча-

стота блокирующих ситуаций в Атлантико-Европейском регионе, полученные на основе реанализа 20CR и по другим данными. Таким образом, полученные результаты подтверждают обоснованность современного подхода, использованного в проекте 20CR, и демонстрируют достаточно хорошую надежность результатов реанализа, хотя и имеет отдельные недостатки. Работа выполнена по теме госзадания 0827-2019-0001.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ДЛИННЫХ ВОЛН В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ЧЕРНОГО МОРЯ С ПРИЛОЖЕНИЕМ К ПРОБЛЕМЕ ЦУНАМИ

Белоконь А.Ю., Фомин Вл.Вл.

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

Ключевые слова: численное моделирование, черноморские цунами, амплитудные характеристики волн цунами, безопасность черноморского побережья.

Черноморский бассейн относится к региону с редким проявлением цунами. К тому же, волны цунами здесь имеют небольшую высоту и их трудно отличить от штормовых. Однако они обладают более мощной разрушительной энергией и могут появляться внезапно, нанося непоправимый урон побережью и даже здоровью людей. С целью обеспечения безопасности прибрежных зон Черного моря необходимо исследовать особенности этого опасного природного явления. Актуальной остается задача предупреждения цунами и определение наиболее подверженных его воздействию участков побережья. Из-за скудности сведений о черноморских цунами решение можно найти с помощью численного моделирования.

Настоящая работа посвящена исследованию волн цунами в прибрежных районах Черного моря. Выполнено численное моделирование распространения волн из очагов, вызванных землетрясениями различной локации и магнитуды. В ряде пунктов вдоль

черноморского побережья с помощью виртуальных мареографов рассчитаны колебания уровня моря. Эти мареограммы использовались в качестве граничных условий для подробного исследования эволюции волн цунами в прибрежных черноморских районах. Показана связь амплитудных характеристик волн с рельефными особенностями Черного моря.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2019-0004 (шифр «Прибрежные исследования»), а также при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №18-45-920019.

ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В ИССЛЕДОВАНИИ ДИНАМИКИ БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ АРКТИЧЕСКИХ И СУБАРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ

Вергун А.П. Новикова А.В., Огородов С.А.

МГУ, г. Москва, Россия
alvergun@mail.ru

Ключевые слова: Прибрежно-шельфовая зона, опасные процессы, беспилотные летательные аппараты.

Развитие аэрофотосъемочных технологий с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) открыло новые возможности в исследовании динамики берегов. При проведении исследований в труднодоступных Арктических и Субарктических регионах преимущества БПЛА становятся особенно актуальными, а совместное их и использование с высокоточными приемниками глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) позволяют за короткий промежуток времени получить результат превосходящий по разрешению и точности материалы космической съемки.

В работе рассматриваются результаты сопоставления двух аэрофотосъемок с временным промежутком в 1 год на примере Охотского моря на о. Сахалин. Участок съемки охватывает береговую зону и прибрежную часть морской террасы. Съемка была

произведена дважды в летний период. В первый год съемка была произведена в августе, во второй – в июне. Разрешение цифровой модели рельефа, полученной по результатам съемки составляет 2 см. Точность привязки наземных контрольных точек имеет сопоставимую точность. Это позволяет произвести сравнение цифровых моделей местности (ЦММ) за два года. В это же время была проведена контрольная съемка морфолитодинамических створов с шагом в 100 м.

На ЦММ отчетливо выделяются два гипсометрических уровня – пляж и терраса. В ходе визуального сравнения за два года были обнаружены различия в полях высот, которые особенно заметны в пределах террасы. Это объясняется наличием растительности на террасе. В июне на кустарниках еще нет такой густой листвы, как в августе, поэтому снятая поверхность получилась гипсометрически ниже. В августе, наоборот, листва создавала собственную поверхность, которая и была снята. Интересно, что на ЦММ августа лучше читаются вдольбереговые валы, к которым, вероятно, приурочена кустарниковая растительность.

Сопоставление результатов аэрофотосъемки с инструментальными исследованиями показало хорошую сходимость результатов. Это позволяет говорить о высокой достоверности ЦММ. Однако на некоторых участках обнаружено отступание берега на участках, расположенных между створами морфолитодинамической съемки.

Результат сопоставления разновременных съемок позволяет сделать следующие выводы. Ареалы одинаковых вертикальных деформаций на пляже имеют форму узких вдольбереговых полос. Ареалы максимальных деформаций (особенно отрицательных) имеют ограниченное распространение. Основные деформации пляжа связаны с размывом и формированием береговых валов и достигают –1,0…+1,5 м. Кроме того, на отдельных участках отмечается воздействие эоловой аккумуляции. Во многих случаях размер данных ареалов не превышает 100м и не отображается на морфолитодинамических створах. Эти процессы возможно исследовать только при проведении площадной съемки. Аналогичные результаты получены при сравнении результатов расчета объемов вынесенного материала. Таким образом можно говорить о высокой эффективности использовании БПЛА при исследовании динамики береговой зоны.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ, проект № 16-17-00034-П.

ВИХРИ В ПРОЛИВЕ ФРАМА ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ АЛЬТИМЕТРОВ, РАДИОЛОКАТОРОВ И МОДЕЛИ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

Башмачников И.Л. [1], Козлов И.Е. [2], Петренко Л.А. [2], Глок Н.А. [3], Векерле К. [4]

[1]МГИ, г. Севастополь, Россия
[2]СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия
[3] ААНИИ, г. Санкт-Петербург, Россия
[4] AWI, г. Бремерхафен, Германия
oksana.atadzhanova@gmail.com

Ключевые слова: пролив Фрама, архипелаг Шпицберген, океанские вихри, прикромочная ледовая зона, субмезомасштаб, Северный Ледовитый океан, спутниковые РСА изображения.

В настоящей работе выполнен анализ динамических характеристик вихрей в северной части Гренландского моря и проливе Фрама на основе данных спутниковых альтиметров, радиолокаторов с синтезированной апертурой (РСА) и региональной версии модели FESOM высокого разрешения (с шагом сетки около 1 км). В районе исследований вихри играют важную роль в горизонтальном переносе относительно более теплых и соленых атлантических вод, их поступлении в глубоководную часть арктического бассейна и рециркуляции в проливе Фрама.

В работе показано, что на основе анализа данных спутниковых альтиметров и РСА выделяются две категории вихрей, существенно отличные друг от друга по своим размерам. Так по данным спутниковых альтиметров выделяются крупные мезомасштабные вихри с радиусом около 30–50 км, а по данным РСА – преимущественно малые мезомасштабные и субмезомасштабные вихри с радиусом от 1 до 15–20 км.

Для крупных мезомасштабных вихрей количество циклонов и антициклонов примерно одинаково, тогда как для вихрей меньшего размера наблюдается четкое доминирование циклонических вихрей. В работе также обсуждаются преимущества и недостатки каждого из методов и проводится кросс-валидация полученных результатов с результатами численной модели FESOM высокого разрешения.

Отмечается, что наиболее интенсивные вихри сконцентрированы вблизи основных течений в северной части района исследований. Траектории вихрей совпадают с направлением средних течений. На сезонных масштабах большее количество интенсивных мезомасштабных вихрей наблюдается в зимний период, что обусловлено общей интенсификацией течений в этот период. Результаты моделирования также показывают существенное увеличением малых субмезомасштабных вихрей в конце весны-начале лета, что обусловлено диссипацией более крупных вихрей в то время, как поздней осенью наблюдается обратная тенденция.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-35-20078 мол_а_вед.

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СВОБОДНЫХ ВНУТРЕННИХ ВОЛН В МОРЯХ РУССКОЙ АРКТИКИ НА ОСНОВЕ СОВРЕМЕННЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ

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

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

Ключевые слова: арктические моря, частота плавучести, внутренние волны, собственный период, вертикальная составляющая скорости.

На основе линеаризованных уравнений движения идеальной, несжимаемой, непрерывно стратифицированной жидкости выполнено исследование фазовых характеристик и вертикальной структуры свободных внутренних волн в Баренцевом, Карском, Лаптевых и Восточно-Сибирском морях. В результате решения основной краевой задачи типа Штурма-Лиувилля рассчитаны собственные частоты, собственные периоды и амплитуды вертикальной составляющей скорости внутренних волн. Для расчета поля плотности использовались данные реанализа World Ocean Atlas 2018 о температуре и солености за период 1955–2018 гг. с разрешением 0,25°×0,25°.

Выполнен анализ зависимости фазовых характеристик, амплитуд вертикальной составляющей скорости внутренних волн от изменчивости вертикальной структуры поля плотности в исследуемых морях.

Показано, что в месяцы максимальных градиентов плотности наблюдаются самые высокочастотные и самые короткопериодные внутренние волны. В Баренцевом море во внутригодовом цикле максимум осредненной частоты плавучести по глубине достигает наибольших значений в июле и августе, в Карском море – с июля по сентябрь и в ноябре, в море Лаптевых – в июне и октябре, в Восточно-Сибирском море – в июле. В эти же месяцы наблюдаются максимальные значения осредненных собственных частот, минимальные значения осредненных собственных периодов и осредненных максимумов амплитуд вертикальной составляющей скорости внутренних волн. Наиболее интенсивное волновое движение вод наблюдается в месяцы наименьших градиентов плотности: в Баренцевом и Карском морях – в марте, в море Лаптевых и Восточно-Сибирском море – в апреле.

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

ДИНАМИКА ВНУТРЕННИХ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН В ОКЕАНЕ СО СДВИГОВЫМИ ТЕЧЕНИЯМИ

Булатов В.В., Владимиров Ю.В.

ИПМех РАН, г. Москва, Россия
internalwave@mail.ru

Ключевые слова: внутренние гравитационные волны, стратифицированный океан, сдвиговые течения, асимптотики.

Среди большого многообразия наблюдаемых волновых процессов различной физической природы в океане и атмосфере Земли особое место вызывает взаимодействие возбуждаемых волн с гидродинамическими потоками. Движение стратифицированной среды является одним из основных факторов, влияющих

на динамику внутренних гравитационных волн, как в естественных условиях, так и в технических устройствах. В линейном приближении существующие подходы к описанию волновой картины возбуждаемых полей внутренних гравитационных волн основаны на представлении волновых полей интегралами Фурье и их асимптотическом анализе.

В реальных океанических условиях необходимо рассматривать внутренние гравитационные волны, распространяющиеся на фоне средних течений с вертикальным сдвигом скорости, причем вариация скорости по вертикали составляет десятки см/сек и м/сек, то есть имеет тот же порядок, что и максимальные скорости внутренних гравитационных волн. Такие течения должны существенно сказываться на распространении внутренних гравитационных волн. Для моделирования генерации внутренних гравитационных волн точечным источником в реальном океане можно считать крутой склон поперечного хребта в проливах, который обтекается сдвиговым течением и периодическим приливным течением. Если масштаб изменения течений по горизонтали много больше длин внутренних гравитационных волн, а масштаб временной изменчивости много больше периодов внутренних волн, то естественной математической моделью является случай стационарных и горизонтальных однородных сдвиговых течений. Точечным нестационарным источником генерации в реальном океане можно считать крутой склон поперечного хребта в проливах, который обтекается сдвиговым течением и периодическим приливным течением. Такой подход является физически обоснованным для решения многих задач моделирования генерации внутренних гравитационных волн в океане с учетом сдвиговых течений.

Целью настоящей работы является построение аналитических решений, описывающих поля внутренних гравитационных волн от осциллирующего источника возмущений в стратифицированной среде с учетом сдвиговых течений. Для решения задачи использовано постоянное распределение частоты плавучести и линейная зависимость сдвигового течения от глубины. Получены аналитические выражения, описывающие дисперсионные зависимости, которые выражаются через модифицированную функцию Бесселя мнимого индекса. При выполнении условия устойчивости Майлса и больших числах Ричардсона для построения аналитических решений были использованы дебаевские асимптотики модифицированной функции Бесселя мнимого индекса.

Изучены свойства дисперсионного уравнения и исследованы основные аналитические свойства дисперсионных кривых. В приближении стационарной фазы построены интегральные представления решений для дальних волновых полей. Численно рассчитаны фазовые картины возбуждаемых полей внутренних гравитационных волн для данной модели волновой генерации. Полученные результаты показывают значительную зависимость фазовой структуры возбуждаемых волновых полей от соотношения амплитуд придонного и приповерхностного течений для различных гидрологических моделей.

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

ВЛИЯНИЕ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ НА ПРИТОК РЕЧНЫХ ВОД В АРКТИЧЕСКИЕ МОРЯ

Вязилова А.Е., Алексеев Г.В., Харланенкова Н.Е.

ААНИИ, г. Санкт-Петербург, Россия
vae@aari.ru

Ключевые слова: глобальное потепление, Северный Ледовитый океан, речной сток.

Одним из основных компонентов пресноводного баланса Северного Ледовитого океана является речной сток. Относительно причин изменений стока нет единого мнения, в частности, относительно роли атмосферной циркуляции и связанных с ней изменений в осадках и температуре воздуха на водосборных бассейнах и их влияния на сток.

Цель исследования – оценить влияние глобальных и региональных изменений атмосферной циркуляции, осадков, температуры воздуха на речной сток в Северный Ледовитый океан.

Циркумполярный речной сток в Северный Ледовитый океан оценивался как сумма стоков шести наиболее крупных рек – Оби, Енисея, Лены, Колымы, Индигирки, Маккензи. При этом сток трех крупнейших сибирских рек составляет половину среднего за год притока речных вод в арктические моря.

По данным среднемесячной приповерхностной температуры воздуха были рассчитаны индексы зональной, меридиональной и общей циркуляции на Северном полушарии. Для оценки связей между климатическими параметрами и повторяемости больших и малых значений использовались методы многомерного взаимно-корреляционного анализа и построение гистограмм повторяемости менее 10 % и более 90 % обеспеченности.

Показано, что климатические условия в районах водосборов рассматриваемых рек находятся под влиянием атмосферной циркуляции, приносящей тепло, влагу и осадки. Атмосферные переносы влияют на климатические условия более всего в холодную часть года, особенно в ноябре и марте. Летом усиление зональной циркуляции сопровождается понижением температуры воздуха в районах водосборов, а меридиональные переносы повышают температуру. Большее влияние на климатические условия в районах водосборов Оби, Лены и Енисея оказывает зональный перенос, а в районах водосборов Колымы и Маккензи – меридиональный перенос.

Влияние изменений температуры воздуха на речной сток наиболее заметно в мае, когда речные расходы возрастают, как и весенние температуры воздуха во всех районах водосборов. Наибольшее влияние на сток оказывает рост средних за год осадков, особенно на сток Лены. Значимое влияние оказывают средние осадки в июле на сток в августе, а также средние осадки в августе на сток в сентябре.

Средние и суммарные за год расходы рассматриваемых рек увеличиваются, а максимальные расходы рек уменьшаются. Циркумполярный среднегодовой сток шести рек с 1979 по 2019 г. растет, максимальное значение наблюдалось в 2007 г.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ (проект 18-05-60107).

О ШТОРМОВЫХ ЦИКЛОНАХ, ВЫХОДЯЩИХ НА ЕВРОПЕЙСКУЮ ТЕРРИТОРИЮ РОССИИ

Вязилова Н.А.

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

Ключевые слова: штормовые циклоны, районы генезиса циклонов, опасная скорость ветра.

В изучении процессов, происходящих в климатической системе береговой зоны морей России, важное место занимает изучение особенностей изменения атмосферных процессов, и, прежде всего, циклонической и штормовой активности. К штормам относят циклоны, которые сопровождаются высокими скоростями ветра. Целью настоящей работы является сравнение количества и характеристик штормовых циклонов, выходящих на европейскую территорию России (ЕТР) из различных районов генезиса, в зимнюю и летнюю половину года за период исследования с 1979 по 2018 гг., а также особенностей пространственного распределения плотности траекторий циклонов и плотности наблюдений штормовой скорости ветра в них на ЕТР в зависимости от района генезиса штормов.

Центры циклонов и траектории их смещения рассчитаны на основе метода автоматической идентификации по 6-часовым данным атмосферного давления на уровне моря (MSLP) в узлах сетки 2,5°×2,5° архива Национального Метеорологического центра США, реанализа-2 NCAR/NCEP DOE, для анализа скорости приземного ветра в районах циклонов использовались 6-часовые данные составляющих скорости ветра на поверхности 925 гПа. Для анализа отбирались только траектории циклонов, выходящие на европейскую территорию России (ЕТР), имеющие длину жизни от 2 суток и более, и сопровождавшиеся штормовой скоростью ветра от 17,2 м/с.

Согласно результатам исследования, около 70 % всех умеренных и около 58 % жестоких штормов, с опасной скоростью ветра более 24,5 м/с, вышедших на ЕТР за период исследования, имели начало в районах Балтийского и Северного морей. Циклоны из этих районов генезиса обеспечивают высокую плотность наблюдений штормовой скорости ветра в северо-западных, западных, и центральных районах ЕТР. Интегральная плотность наблюдений опасной скорости ветра за период исследования в отдельных пунктах указанного региона превышает 35 случаев за период исследования. В южных районах европейской части России, в причерноморском и прикаспийском регионах, штормовую погоду обеспечивают, прежде всего, средиземноморские циклоны, выходящие на ЕТР как с западной, так и с восточной части Средиземного моря. На долю средиземноморских циклонов приходится около 15 % умеренных и около 37 % жестоких штормов, выходящих на ЕТР. Южные циклоны отличаются развитием штормовой скорости ветра на фоне относительно умеренного давления в центрах циклонов. Повышенной плотностью наблюдений штормовой скорости ветра отличается приполярный регион России. Значительный вклад в количество случаев штормовой скорости ветра в данном регионе, наряду с полярными циклонами, выходящими на побережье с акватории Баренцева и Норвежского морей, вносят циклоны, приходящие с акватории Балтики.

Сравнение пространственного положения траекторий циклонов, выходящих на ЕТР из различных районов генезиса, и штормовой скорости ветра в них, показывает, что положение зоны штормовой скорости сдвинуто в более южные широты, относительно линии смещения циклонов, как в зимнюю, так и летнюю половину года.

В летний сезон количество штормовых циклонов, выходящих на ЕТР из всех районов генезиса, существенно больше по сравнению с зимними месяцами, возрастает доля штормов с опасной скоростью ветра более 24,5 м/с и экстремально низким атмосферным давлением.

БАНК ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ ДАННЫХ МГИ: ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИБРЕЖНОЙ И ШЕЛЬФОВОЙ ЗОН ЧЕРНОГО МОРЯ

Годин Е.А., Жук Е.В., Пластун Т.В., Галковская Л.К., Ингеров А.В., Исаева Е.А., Касьяненко Т.Е., Вецало М.П.

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

Ключевые слова: база данных, Черное море, прибрежная зона, геоинформационная система, сайт.

Прибрежные и шельфовые зоны морей и океанов активно используются в хозяйственной деятельности, испытывая при этом значительную антропогенную нагрузку. Исследования и анализ их состояния имеют особое значение и требуют надежной информационной поддержки. Это предполагает формирование специализированных баз данных, разработку различных информационных продуктов, а также создание сайтов как инструмента информирования всех заинтересованных сторон и обеспечения взаимодействия между ними.

В рамках национальных и международных проектов в Банке океанографических данных ФГБУН ФИЦ МГИ накоплен значительный опыт работ в этих направлениях. В последние годы особое внимание в БОД МГИ уделялось вопросам информационной поддержки исследований прибрежной и шельфовой зон российского сектора Черного моря.

В БОД МГИ разработана структура специализированной базы данных прибрежной зоны моря, которая предполагает наличие двух блоков – океанографических данных и данных прибрежных исследований. Первый из них включает базы гидрологических, гидрохимических, дрифтерных, гидрооптических и других данных (до изобаты 200 м), второй содержит данные, полученные в ходе прибрежных исследований. Структура базы данных является открытой, что позволяет как пополнять существующие базы данных, так и интегрировать новые базы по различным параметрам и формировать дополнительные блоки.

В настоящее время отдельные базы океанографического блока содержат данные соответствующих наблюдений, выполненных в российском секторе Черного моря за весь период наблюдений: гидрология – 56 тысяч станций, гидрохимия – 11 тысяч станций, течения – более 120 буйковых постановок и около 600 ADCP станций, дрифтеры – около 4 тысяч наблюдений поверхностной температуры и течений и около 200 профилей температуры, гидрооптика – более 12 тысяч наблюдений прозрачности и цветности морской воды.

Специализированные базы могут формироваться и в соответствии с целями конкретных исследований, например, Севастопольской бухты, Каламитского залива, прибрежных вод Гераклейского п-ова, а также для решения прикладных задач.

Геоинформационные системы (ГИС) являются эффективным инструментом работы с данными и их комплексной визуализации. Примером этого является разрабатываемая в БОД МГИ ГИС «Прибрежная зона России в Черном море». В ней реализуется упомянутая выше структура специализированной базы данных, модифицированная за счет интеграции блока «Социоэкономические данные». Создаваемая ГИС может быть использована при проведении научных исследований, выработке управленческих решений, а также в образовательных целях.

Функционирующий более двух лет сайт «Морские берега Крыма» (http://coast-crimea.ru/) зарекомендовал себя как удобный и надежный инструмент информирования ученых, практиков и широкой общественности о современном состоянии, существующих проблемах и исследованиях побережья Крыма. В настоящее время информация на сайте представлена в 10 разделах. Размещение альбома-монографии Ю.Н. Горячкина и В.В. Долотова «Морские берега Крыма» в разделе «Исследования» обеспечило доступ к нему максимально широкому кругу пользователей. Об интересе к сайту свидетельствуют цифры – более 175 тысяч обращений из 28 стран (по состоянию на 10 июля 2020 года).

Работы выполняются в рамках государственного задания по теме № 0827-2019-0004 при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 14-45-01525.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ И ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ В МОРЕ ЛАПТЕВЫХ В СОВРЕМЕННОМ КЛИМАТЕ

Голубева Е.Н., Платов Г.А., Крайнева М.В.

ИВМиМГ СО РАН, г. Новосибирск, Россия
elen@ommfao.sscc.ru

Ключевые слова: море Лаптевых, циркуляция вод, климатическая изменчивость, численное моделирование.

Море Лаптевых всегда считалось одним из самых суровых арктических морей. В настоящем столетии оно находится под пристальным вниманием исследователей, поскольку в регионе отчетливо проявляются климатические изменения (разрушение берегов, повышение температуры придонного слоя моря, увеличение продолжительности безледового периода).

Более ранние сроки освобождения от ледяного покрова, характерные для последних десятилетий, способствуют прогреву поверхностных вод и усилению роли ветра в формировании летней циркуляции моря. Последнее, в свою очередь, отражается на распределении пресной воды реки Лены в зависимости от типа циркуляции и на формировании термохалинной структуры вод моря.

Межгодовая изменчивость гидрологических и ледовых полей моря Лаптевых, вызванная изменчивостью динамики атмосферы, исследовалась на основе численных экспериментов, проведенных с использованием трехмерной крупномасштабной модели океана и морского льда Северного Ледовитого океана и Северной Атлантики, разработанной в ИВМиМГ СО РАН, и данных реанализа атмосферы с 1948 г. по настоящее время. Результаты численного моделирования показывают различие в формировании ледовых и гидрологических полей в прошлом столетии и в настоящее время. Численная модель показывает повышение теплосодержания моря в последние два десятилетия по сравнению с периодом 1960–1999 гг. На основе анализа результатов моделирования мы показали возможность поступления тепла, накопленного летом в поверхностных слоях моря, в более глубокие слои. Данные моделирования показывают, что при определенном типе

летней атмосферной циркуляции, способствующем установлению вдольбереговой циркуляции вод, тепло поверхностного слоя интенсивно проникает в придонный слой моря. Положительные аномалии тепла, сформировавшись в придонном слое, могут сохраняться в течение зимнего сезона, а также переноситься из области формирования в другие районы шельфовой области придонными течениями.

Исследование проводится при поддержке РФФИ, грант №20-05-00536А.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОСЛЕДСТВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ МОРСКИХ ВОЛН ТЕПЛА ДЛЯ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА И ЕГО ШЕЛЬФОВЫХ МОРЕЙ

Голубева Е.Н., Якшина Д.Ф., Платов Г.А.

ИВМиМГ СО РАН, г. Новосибирск, Россия
elen@ommfao.sscc.ru

Ключевые слова: Северный Ледовитый океан, климатическая изменчивость, численное моделирование.

Продолжительные периоды аномально высокой температуры в обширной части океана все чаще регистрируются в последние десятилетия. Для обозначения этого явления был введен термин «Морские волны тепла» (МВТ) по аналогии с атмосферными процессами. Очевидно, что аномально высокая температура океана наиболее влияет на состояние морских экосистем. В северном полушарии наиболее значимыми МВТ в последние годы считаются события в северо-западной части Атлантики в 2012 г. и на северо-востоке Тихого океана 2013–2016, 2019 г. Аномально высокая температура над территорией Восточной Сибири летом 2020 способствовала раннему освобождению моря Лаптевых от ледяного покрова и повышению поверхностной температуры на акватории моря. Возможно, что это явление в дальнейшем будет также квалифицировано как одно из МВТ.

В настоящей работе мы пытались понять, насколько обозначенные процессы могут влиять на состояние арктического морского льда и выявить пространственно-временные масштабы су-

ществования аномалий тепла за пределами области их формирования. Для проведения исследований мы использовали трехмерную численную модель океана и морского льда, разработанную в ИВМиМГ СОРАН и данные реанализа атмосферы. Учитывая связь Северного Ледовитого океана через проливы с Северной Атлантикой и Северной частью Тихого океана посредством системы течений, мы прослеживаем распространение теплого сигнала из областей МВТ, находящихся за пределами Арктического бассейна. Серия численных экспериментов, направленная на исследование чувствительности модельных полей к повышению температуры в отдельно выделенном регионе, показывает, что область влияния аномалий тепла, поступающих в Арктический бассейн, зависит от динамического состояния атмосферы. При поступлении аномально теплых вод из Атлантического и Тихого океанов на прилегающей акватории арктических шельфовых морей возможны задержки образования ледяного покрова, а также формирование полыньи вдоль материкового склона Евразийского бассейна.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, грант №19-17-00154.

АНАЛИЗ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЭКСТРЕМАЛЬНОГО СГОНА В ТАГАНРОГСКОМ ЗАЛИВЕ В НОЯБРЕ 2019 ГОДА

Григорьев А.В.

ГОИН, г. Москва, Россия
ag-privat@mail.ru

Ключевые слова: Азовское море, Таганрогский залив, гидрометеорологические условия, синоптическая ситуация, экстремальный сгон.

Катастрофический сгон в Таганрогском заливе был обусловлен достаточно редкой атмосферной конфигурацией барического и связанного с ним ветрового поля. Над Европейской частью Рос-

сии сформировался обширный гребень высокого давления, обеспечивший мощный заток холодного арктического воздуха вплоть до акватории Азовского моря, оказавшейся на его южной периферии. Над восточной областью Черного моря формируется циклонический круговорот. Азовское море оказалось под совместным влиянием периферийных областей обоих динамических образований с максимальными скоростями ветра провоцирующих сгон румбов (В, СВ) в их пограничной зоне.

Обращено внимание на важную физическую причину возникновения подобной барической ситуации над Черным морем. В осенний период года при затоках холодного воздуха в Азово-Черноморский регион над ним формируется область циклонической завихренности. Ее возникновение обусловлено положительной разницей температур вода-воздух в подобных случаях. Тогда Черное море, благодаря большому теплозапасу, является относительно крупномасштабного барического поля «точечным» источником нагрева атмосферы «снизу», что провоцирует неустойчивое состояние атмосферы в регионе и формирование циклонической циркуляции ветра.

Согласно выполненным расчетам, сгон, подобный случившемуся в ноябре 2019 г., вероятен примерно 1 раз в 25 лет.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №18-05-80025.

РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИИ ТЕРМОБУРЕНИЯ В ИССЛЕДОВАНИИ КРУПНЫХ ЛЕДЯНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ НА ШЕЛЬФЕ ЗАМЕРЗАЮЩИХ МОРЕЙ

Гузенко Р.Б., Миронов Е.У., Харитонов В.В.

ААНИИ, г. Санкт-Петербург, Россия
guzenko@aari.ru

Ключевые слова: торос, стамуха, внутренняя структура, консолидированный слой, пористость.

Освоение ресурсов шельфа замерзающих морей сопряжено с исследованием ледяного покрова – главного препятствия для судоходства и возможной угрозы для инженерных конструкций на

шельфе и берегу. Наибольший интерес как потенциальные источники опасности для морской инфраструктуры представляют собой характерные для шельфа крупные ледяные образования (ЛО) – торосы и стамухи. Очевидно, что для оценки возможной нагрузки на сооружение, недостаточно знать только общие размеры, а необходимо иметь информацию о характеристиках внутреннего строения ЛО: прежде всего, о пористости, т.е. относительном содержании полостей в ЛО, и консолидированном слое (КС), связывающим отдельные фрагменты тороса или стамухи в единый монолит. Именно характеристики КС определяют основную нагрузку ЛО на морское сооружение.

Чтобы получать достоверные данные о внутренней структуре ЛО в конце 20 века в ААНИИ под руководством В.А. Морева была разработана технология термобурения с записью скорости бурения на электронный носитель. Анализ записей скорости бурения, полученных с высокой дискретностью, позволяет получать детальную информацию о положении слоев льда разной плотности и полостей внутри ЛО. Впервые эта технология (как электробурение) прошла апробацию в исследовании ЛО Печорского моря в 1996 г. Впоследствии электротермобурение использовалось для изучения торосов и стамух на шельфе морей Охотского (1998 г.), Каспийского (2001–2004, 2006, 2013 гг.), Карского (2004, 2005, 2007, 2009 гг.), а также на дрейфующих станциях Северный Полюс (начиная с СП-32). В настоящее время основным инструментом исследования внутренней структуры ЛО является водяное термобурение, сохранившее ключевую особенность технологии – запись скорости бурения на электронный носитель, но позволившее существенно повысить производительность. Водяное бурение использовалось на шельфе морей Охотского (2006 г.), Каспийского (2008 г.), Карского (2010, 2013–2015 гг.), Лаптевых (2014–2019 гг.), Восточно-Сибирского (2014, 2015 гг.). Разработанная в ААНИИ технология является уникальной и до сих пор остается, по сути, безальтернативным методом получения подробной и достоверной информации о внутренней структуре ЛО. С помощью этой технологии было исследовано более двухсот торосов и стамух, пройдено около 10 000 скважин с записью бурения. Полученный объем информации позволил провести сравнительный анализ разных типов ЛО в различных

регионах и выявить новые закономерности внутреннего строения торосов и стамух, в том числе:

– установить связь между толщиной КС и суммой градусо-дней мороза, характеризующей температурный режим региона, получив соответствующие регрессионные выражения для торосов и стамух;

– получить распределения толщин КС для ЛО разных типов и регионов, подобрав им теоретические законы (в большинстве случаев лучшую аппроксимацию дала функция Вейбулла);

– определить закономерности распределения КС внутри тороса и выявить, что наиболее толстый КС соответствует области, объединяющей парус и зону максимального киля и обладающей наибольшей общей толщиной льда;

– получить осредненные пространственные распределения пористости в ЛО, показывающие ее увеличение с высотой в парусе и с глубиной в киле; определить характерные значения пористости в разных частях и типах ЛО.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта № 18-05-60109.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕГИОНАЛЬНОЙ КОНФИГУРАЦИИ МОДЕЛИ NEMO ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ В ПРИБРЕЖНЫХ РАЙОНАХ АРКТИЧЕСКОГО БАССЕЙНА

Даньшина А.В.

ААНИИ, г. Санкт-Петербург, Россия
danshina@aari.ru

Ключевые слова: Арктический бассейн, численное моделирование, модели океана, прибрежная зона.

На сегодняшний день численное моделирование с использованием современных моделей океана позволяет рассчитывать гидрофизические и гидродинамические характеристики с высоким пространственно-временным разрешением. В представляемой

работе для моделирования природных условий в прибрежных районах Северного Ледовитого океана использовалась региональная конфигурация модели NEMO. Данная конфигурация модели NEMO была адаптирована под условия арктического региона, позволяя получать гидрофизические параметры с дискретностью по пространству менее 3 км. Поскольку модельный комплекс NEMO (англ. The Nucleus for European Modelling of the Ocean) достаточно хорошо известен в научном сообществе и широко используется для решения задач по изучению климата и в прогностических расчетах, то основное внимание будет уделено заданию граничных условий, а не самому описанию используемых примитивных уравнений и схем параметризации физических процессов.

Региональная конфигурация модели имеет две открытые границы и построена на разработанной для Арктического бассейна криволинейной ортогональной расчетной сетке.

На границе раздела океан-атмосфера потоки были получены по балк-формулам CORE с использованием данных полей атмосферного реанализа Европейского центра среднесрочного прогноза погоды ECMWF.

Начальные условия и условия на открытых границах в основном были заданы при помощи интерполяции в соответствующие узлы расчетной сетки данных океанского реанализа MERCATOR и данных численных расчетов глобальной конфигурации модели NEMO с грубым пространственным разрешением. В конфигурации модели для Арктического региона также учитывается влияние приливов посредством введения 13 приливных гармоник. Эти гармоники были вычислены на инверсионной приливной модели TPXO7.2.

На основе данных численных экспериментов, затрагивающих период с 2000 по 2019 гг., показано как менялись некоторые природные условия в прибрежных районах Арктического бассейна в период сокращения ледяного покрова.

УСВОЕНИЕ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ РАЗЛИЧНОЙ СТРУКТУРЫ В МОДЕЛЯХ ЦИРКУЛЯЦИИ ОКЕАНА

Дейнего И.Д., Беляев К.П.

ООО «Арктический Научный Центр», г. Москва, Россия
ИО РАН, г. Москва, Россия
deinego182@gmail.com

Ключевые слова: математическая модель, динамико-стохастическая ассимиляция, обобщенный фильтр Калмана, Арктический шельф.

Разработка методов усвоения гидрофизических данных наблюдения как одна из самых актуальных областей современной океанологии, в частности позволяет успешно решать задачу коррекции модельного решения. То есть корректировать модельное решение гидрофизического состояния океана таким образом, чтобы оно максимально соответствовала наблюдаемым данным, с учетом их структуры и достоверности, и соответственно повышать прогностические качества исследуемой модели.

Высокие прогностические качества математических гидрофизических моделей, достижимые методами усвоения данных наблюдений, представляют особый интерес с точки зрения добычи и транспортировки полезных ископаемых, прежде всего углеводородов, а также в зонах экологического мониторинга, рыбного промысла, защитных сооружений.

Основной темой работы является нестандартная реализация метода Ансамблевого Фильтра Калмана для усвоения данных различной структуры в моделях циркуляции океана высокого разрешения с использованием разложения на естественные ортогональные функции.

Будут представлены результаты усвоения регулярных сеточных данных спутниковой альтиметрии и различных гидрофизических данных, полученных в результате экспедиции Института и имеющие четырехмерную структуру. Данные расчеты проведены для одной и той же модели INMOM для южного бассейна

Атлантического океана. На их примере будут рассмотрены различия в технических особенностях реализации метода для каждой структуры данных наблюдения, различия в эффективности и ограничения в области применения.

Будет продемонстрировано как данный опыт усвоения данных с учетом их структуры будет перенесен на Российский Арктический бассейн, где для модели метео-гидрофизического режима будет осуществлено усвоение данных серии из 16 притопленных буйковых станций, установленных в морях Арктического шельфа. Данные серии буйковых станций также имеют четырехмерную структуру, малую степень покрытия полигона моделирования, однако, распределенные с относительной равномерностью в морях Карском, Лаптевых и Чукотском, будут позволять делать выводы о пространственных корреляциях мезо- и макромасштаба.

ЦИРКУЛЯЦИЯ НА СЕВЕРО-ЗАПАДНОМ ШЕЛЬФЕ ЧЕРНОГО МОРЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ФИЗИЧЕСКОГО РЕАНАЛИЗА

Дорофеев В.Л., Сухих Л.И.

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

Ключевые слова: Черное море, циркуляция, реанализ, северо-западный шельф.

Основная часть шельфовой зоны Черного моря приходится на северо-западный шельф (СЗШ), занимающий шестнадцать процентов площади поверхности бассейна. Основная масса пресной воды со стоками рек поступает на СЗШ, что определяет важное значение этого региона для формирования термохалинной и биогеохимической структуры вод Черного моря. Циркуляция вод на СЗШ имеет свои особенности по сравнению с глубоководной частью моря. В представленной работе анализируется циркуляции вод на СЗШ на основе результатов физического реанализа, выполненного для более чем двадцатилетний период.

В качестве основы реанализа использовался вариант модели циркуляции Черного моря МГИ с горизонтальным пространственным шагом 4,8 км. По вертикали модель содержит 35 расчетных z-уровней. При выполнении реанализа ассимилировались спутниковые данные температуры поверхности моря и аномалии возвышения свободной поверхности. Также в глубоководной части бассейна использовалась процедура ассимиляции среднегодовых профилей температуры и солености для поддержания базовой стратификации бассейна.

Для изучения общих свойств циркуляции вод на северо-западном шельфе поля течений и гидрологические поля, полученные при выполнении реанализа, были усреднены за месячный период, и в дальнейшем анализе использовались среднемесячные значения гидродинамических полей.

Поверхностные течения на СЗШ направлены, в основном, на юго-запад. Вдоль западного берега образуется компенсационное течение, направленное к югу, за исключением летних месяцев, когда воздействие ветра существенно ослабевает. Характерной особенностью вод возле западного берега является сильная горизонтальная стратификация, вызванная поступлением пресной воды со стоками рек, главным образом Дуная. В зимний сезон горизонтальная стратификация проявляется наиболее ярко. В результате, в зимние месяцы в поверхностном слое моря наблюдается вдольбереговое интенсивное струйное течение, направленное к югу. В летний сезон область распресненных вод расширяется, и горизонтальный градиент плотности уменьшается. В этот период выраженного вдольберегового течения не наблюдается. Интересной особенностью циркуляции на СЗШ является наличие вдольберегового струйного противотечения, направленного к северу. Центр этого противотечения расположен примерно на горизонте 20 метров. Его глубина меняется в разные сезоны, но само противотечение наблюдается в течение всего года. Описанная схема циркуляции на СЗШ основа на среднемесячных климатических полях. В то же время, для конкретного года картина циркуляции может существенно меняться. Она зависит не только от ветрового воздействия, но и от водообмена через границу шельфа с глубоководной частью бассейна, в частности от положения струи Основного Черноморского течения.

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

АНАЛИЗ ТРАНСФОРМАЦИИ ЭНЕРГИИ ПРИБРЕЖНЫХ ВИХРЕЙ ЧЕРНОГО МОРЯ НА ПРИМЕРЕ 2011 И 2016 ГГ.

Дымова О.А., Демышев С.Г.

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

Ключевые слова: Черное море, моделирование, вихревая кинетическая энергия, баротропная и бароклинная неустойчивость.

В работе на основе вихреразрешающей модели МГИ проведено три численных эксперимента по моделированию циркуляции Черного моря с использованием климатического форсинга (эксперимент 1) и квазиреальных атмосферных данных за 2011 и 2016 гг. (эксперименты 2 и 3). В каждом эксперименте рассчитаны трехмерные поля среднесуточных значений термогидродинамических характеристик и интегральные величины компонентов энергетического цикла. Для исследования механизмов изменчивости циркуляции анализируются среднегодовые энергетические циклы, а также скорость трансформации энергии вследствие баротропной и бароклинной неустойчивости.

Установлено, что под воздействием гладкого среднеклиматического ветра в Черном море сформировалась наиболее мощная и устойчивая струя Основного черноморского течения (ОЧТ) и кинетическая энергия среднего течения была максимальной по результатам трех экспериментов. Мезомасштабная вихревая активность была сосредоточена преимущественно в зонах Севастопольского и Батумского антициклонов. Генерация вихрей здесь происходила в результате совместного влияния как бароклинной, так и баротропной неустойчивости течений.

В экспериментах с реальным форсингом выявлено увеличение вихревой кинетической энергии по сравнению с климатическими данными, при этом зоны максимумов сместились в центральную часть моря. Использование реального быстро меняющегося ветра привело к ослаблению среднего течения. Анализ скоростей течений и карт приводного ветра показал уменьшение ветрового воздействия в 2016 г. по сравнению с 2011 г. в результате чего

наблюдалось интенсивное меандрирование струи, нарушение целостности ОЧТ и формирование циклонических и антициклонических вихрей в абиссальной части моря. Мезомасштабные вихри, возникавшие около Анатолийского побережья летом 2016 г., оказывали слабое влияние на Батумский антициклон. Вследствие этого Батумский антициклон был гораздо слабее, имел меньший радиус и меньшее время жизни по сравнению с данными за 2011 г.

Анализ интегральных величин энергии и скорости преобразования энергии показал, что в 2011 г. рост вихревой кинетической энергии был обусловлен преимущественно притоком от среднего течения за счет баротропной неустойчивости, а в 2016 г. наибольший вклад в вихревую кинетическую энергию давал поток вихревой доступной потенциальной энергии вследствие интенсификации процессов бароклинной неустойчивости.

Эксперименты 1 и 3 проведены в рамках госзадания по теме № 0827-2019-0003. Эксперимент 2 выполнен при финансовой поддержке РФФИ, грант №18-05-00353.

АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКИХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЦИРКУЛЯЦИИ У БЕРЕГОВ ЗАПАДНОГО КРЫМА И В РАЙОНЕ СЕВАСТОПОЛЯ НА ОСНОВЕ УСВОЕНИЯ В ЧИСЛЕННОЙ МОДЕЛИ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И СОЛЕНОСТИ В 2007–2009 ГГ.

Евстигнеева Н.А., Демышев С.Г.

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

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

Данное исследование посвящено анализу результатов численного моделирования прибрежной циркуляции Черного моря на

основе ассимиляции в гидродинамической модели данных измерений температуры и солености, а также определению закономерностей формирования особенностей циркуляции для различных сезонов года (на примере гидрологических съемок 2007–2009 гг.).

Непрерывные по времени и пространству поля уровня, скорости течений, поля температуры, солености, температуры, солености, а также энергетических компонентов в уравнениях бюджета кинетической и потенциальной энергий 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 солености на НИС «Эксперимент» в осенний период 2007 г. и на НИС «Сапфир» в весенний период 2009 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. Использовалась процедура ассимиляции данных наблюдений с учетом неоднородности и неизотропности оценок полей температуры и солености, основанная на модифицированном фильтре Калмана.

По результатам расчета получено, что ветровой режим оказывал большое влияние на формирование циркуляции рассматриваемого района. Под действием юго-западного ветра в период с 14 по 18 сентября 2007 г. основное движение поверхностных течений – восточное. Под влиянием северных и северо-восточных ветров, действующих с 19 по 24 сентября 2007 г., поверхностные течения были направлены на запад. Под действием преобладающего северо-восточного ветра в период с 29 апреля по 2 мая 2009 г. основное движение течений в верхнем слое воды – западное.

По результатам расчета в осенний период 2007 г. были отмечены следующие особенности циркуляции: антициклонический вихрь с радиусом около 15 км в верхнем слое воды в Каламитском заливе, антициклонический вихрь с радиусом около 15 км во всем слое воды между 32,2 и 32,4° в. д., связанный с меандрированием Основного Черноморского течения. 22 и 23 сентября в верхнем 36-метровом слое усилилось течение вблизи г. Севастополь и вдоль западного берега Крыма, направленное на север и

северо-запад. Вдоль побережья в течение всего расчета могли генерироваться антициклонические и циклонические вихри малых масштабов в верхнем слое.

По результатам расчета в весенний период 2009 г. получен антициклонический вихрь с радиусом около 10 км 1–2 мая в верхнем слое воды в Каламитском заливе. Так как в рассматриваемый период преобладало интенсивное ветровое воздействие, мезомасштабные вихревые образования были слабо выражены. Вдоль побережья субмезомасштабные вихри не формировались.

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

ЛАБОРАТОРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ И РЕЛЬЕФА ДНА НА ВДОЛЬБЕРЕГОВОЕ ДАУНВЕЛЛИНГОВОЕ ТЕЧЕНИЕ И СВЯЗАННЫЙ С НИМ ПРИДОННЫЙ ЭКМАНОВСКИЙ СЛОЙ (ЛАБОРАТОРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ)

Елкин Д.Н., Зацепин А.Г.

ИО РАН
dmelkin@mail.ru

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

Вдольбереговое 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 работы – изучение динамики даунвеллингового вдольберегового течения и связанного с ним ПЭС на шероховатом наклонном дне, и при наличии хребта, при наличии и в отсутствии стратификации.

Опыты проводились в цилиндрическом бассейне, расположенном на вращающейся платформе, заполненном пресной водой или водой определенной солености до уровня кольцевого источника. В центре бассейна: усеченный конус с нижним основанием на дне. В опытах с хребтом: на поверхность конуса вдоль образующей прикрепляется тонкая вертикальная пластинка треугольной формы, с острым углом у верхнего основания конуса. Для создания шероховатости боковая поверхность конуса покрыта ковриком, вышитым бисером – мелкими шариками, создающими шероховатость наклонного дна. В центре верхнего основания усеченного конуса: отверстие, соединенное шлангом с сосудом Мариотта заполненном пресной водой подкрашенной красителем. Над верхним основанием: пустотелый цилиндр с щелью – кольцевой источник, через который из сосуда Мариотта подается вода в бассейн. 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.

Если вода в бассейне пресная, распространения ПЭС вниз по поверхности конуса происходило квазиламинарным образом. С ростом размера шероховатости скорость опускания воды в ПЭС убывает, толщина ПЭС – возрастает. При наличии хребта: скорость опускания воды в ПЭС меньше, толщина ПЭС – больше, возле хребта вода в ПЭС опускалась значительно глубже.

При небольшой солености воды в бассейне: наклонный фронт течения достигал поверхности конуса и формировался ПЭС с опусканием менее плотной воды по склону. Со временем ПЭС испытывал конвективную неустойчивость: в нем формировались

кольцевые валы, которые распадались на трехмерные вихри, в которых вода медленно поднималась, вплоть до свободной поверхности жидкости. Шероховатость дна, или хребет значительно интенсифицировала процесс конвекции.

В некоторых опытах производились зондирования водной среды микродатчиком электропроводности. Датчик равномерно опускался, а затем поднимался и регистрировал вертикальное распределение солености. В ПЭС, толщиной около 1 см, соленость уменьшается квазилинейно по направлению ко дну, а выше ПЭС значение солености постоянное. Значения толщин ПЭС хорошо согласуются с ранее выполненными расчетами его толщины.

При большой солености воды в бассейне: 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 финансовой поддержке гранта РФФИ № 20-05-00496.

МЕЗОМАСШТАБНЫЙ ПОЛЯРНЫЙ ЦИКЛОН ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ И РЕЗУЛЬТАТАМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Ефимов В.В., Яровая Д.А., Комаровская О.И.

МГИ, г. Севастополь, Россия
vefim38@mail.ru

Ключевые слова: полярный циклон, Арктика, численное моделирование, теплообмен.

Исследуется мезомасштабный полярный циклон, который наблюдался в Арктическом регионе более 2 суток в период с 18 по 20 января 2017 г. Циклон возник к северу от Исландии и прошел более 2000 км от места своего зарождения до Баренцева моря. Рассмотрены спутниковые данные о полях приводного

ветра, температуры поверхности моря, потоков явного и скрытого тепла от поверхности моря, а также данные реанализа ERA5. Сделан вывод, что усиление циклона связано с холодным вторжением 19–20 января в районе о. Шпицберген. Циклон воспроизведен с помощью полярной версии численной модели атмосферной циркуляции WRF. По результатам моделирования построена траектория движения циклона, описаны поля ветра и температуры в развитом циклоне. Показано, что даже на стадии наибольшего развития циклон являлся мелким приповерхностным вихрем, обладающим теплым ядром, сформировавшимся вследствие вертикальной циркуляции. Проведено сравнение величин потоков тепла в данном циклоне с характерными величинами в тропическом урагане. Для оценки скорости затухания циклона проведены и описаны численные эксперименты по чувствительности с отключением выделения тепла при конденсации водяного пара в конвективных потоках и явного и скрытого тепла от поверхности океана.

Чтобы выявить реакцию циклона непосредственно на изменения в модели, все эксперименты начинались только после достижения циклоном зрелой стадии в 0 ч 20 января. Проведено пять экспериментов, в которых отключался: 1) только поток явного тепла, 2) только поток скрытого тепла, 3) оба потока тепла, 4) теплообмен при фазовых переходах в атмосфере, 5) оба потока тепла и теплообмен при фазовых переходах. В качестве меры интенсивности циклона использовалось давление на уровне моря в центре.

Показано, что во всех экспериментах интенсивность циклона, а также максимальная скорость ветра на нижнем уровне модели уменьшились. Уменьшение интенсивности было примерно одинаковым в экспериментах 1 и 2, т. е. на зрелой стадии потоки явного и скрытого тепла для рассматриваемого циклона были одинаково важны. В экспериментах 1, 3 и 5, в которых был отключен поток явного тепла, значительно увеличилась устойчивость атмосферы, т. к. уменьшилась температура воздуха на нижнем уровне модели. В эксперименте 4 пограничный слой стал более неустойчивым, т. к. испарение осадков в модели не сопровождалось поглощением тепла. Обнаружено, что, несмотря на уменьшение интенсивности и максимальной приповерхностной скорости ветра, интегральная кинетическая энергия циклона в экспериментах 1,

3 и 5 возросла. Рассмотрена наиболее вероятная причина такой реакции циклона, а именно – уменьшение диссипации энергии в приповерхностном слое в связи с увеличением устойчивости атмосферы.

ВИХРЕВАЯ ВЯЗКОСТЬ В ВЕТРОВЫХ ВОЛНАХ И ЕЕ РОЛЬ В ФОРМИРОВАНИИ ДРЕЙФОВЫХ ТЕЧЕНИЙ

Ефремов О.И., Чухарев А.М.

МГИ, г. Севастополь, Россия
efremov39@list.ru

Ключевые слова: комплекс аппаратуры, вихревые волны, когерентные структуры, вертикальное перемешивание.

Кинетическое рассмотрение процессов генерации и затухания ветровых волн позволяет построить соответствующую модель структуры формируемых волнами вихревых движений, периоды которых находятся в интервале примерно от одной до четырех минут, определяемом расчетными значениями суммарной крутизны ветровых волн.

Поверхностные вихревые волны продуцируют медленные вращения частиц жидкости, которые трудно обнаружить прямыми измерениями. Косвенно элементы низкочастотного перемешивания удается выявить, исследуя когерентность между модулем горизонтальной скорости и температурой по данным комплекса аппаратуры «Сигма» и «Восток-М».

По аналогии с турбулентной вязкостью, можно ввести среднеквадратическое значение флуктуаций скорости в вихрях, характерный масштаб вихрей, кинетическую энергию волновых вихрей на единицу массы и среднюю частоту генерируемых волнами вихрей. Решающим фактором для оценки перемешивающего воздействия индуцированной волнами завихренности является средний размер вихря, который сравним с характерной амплитудой волн и более чем на порядок превосходит средний масштаб турбулентности в подповерхностном слое.

Волновая вязкость значительно превышает турбулентную. Кроме того, поперечный по отношению к ветру коэффициент вязкости при ветрах до 20 м/с оказывается существенно меньше продольного коэффициента. В кинетической модели активной части стационарного спектра ветровых волн передача импульса от ветра к водной массе характеризуется ускорением a_M, которое можно назвать ветровым ускорением. Учет формируемого при автомодельном затухании ветровых волн ускорения водных масс $a_M = 4{,}53 \cdot 10^{-5}$ м/с^2 приводит к коррекции обычной задачи об определении установившихся дрейфовых течений в горизонтально однородном глубоком море, вызванных ветром постоянной силы U.

Наличие правой части в первом уравнении модели приводит к появлению частного решения, которое является плоским течением и в северном полушарии повернуто вправо от направления ветра. Экмановская спиральная составляющая течения находится на основе решения однородной задачи с учетом различия в коэффициентах продольного и поперечного трения K_{zu} и K_{zv}.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 15-05-00984.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СТАНЦИИ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО МОНИТОРИНГА СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА

Зацепин А.Г., Островский А.Г., Волков С.В., Кочетов О.Ю., Швоев Д.А.

ИО РАН, г. Москва, Россия
zatsepin@ocean.ru

Ключевые слова: станция ледового базирования, автоматизированная 3-х уровневая система измерений, долговременный мониторинг, оперативная океанография Северного Ледовитого океана.

В докладе представлены предварительные результаты разработки автоматизированной 3-уровневой (верхний слой океана – лед – приземный слой атмосферы) системы оперативного мони-

торинга Северного Ледовитого океана. Для мониторинга состояния морской среды предлагается передовая технология подледных зондирований с помощью автономных роботизированных комплексов. Данная технология должна быть реализована в создании действующего макета автономной ледовой дрейфующей станции, состоящей из: 1) подводного перемещающегося вверх-вниз носителя, который оснащен СТД-зондом и акустическим доплеровским профилографом течений (носитель перемещается по тросу с грузом на конце, опущенном с ледовой платформы, а данные с носителя передаются оперативно на соответствующий плавучий модуль на ледовой платформе с помощью индуктивной врезки в ходовой трос), 2) метеостанции (температура воздуха + атмосферное давление) с системой спутниковой связи Гонец-М или Iridium и навигации GPS/Глонасс на плавучем буе-держателе, размещенном на ледовой платформе.

Автономная ледовая дрейфующая станция разрабатывается в России впервые. Разработка будет основана на опыте создания заякоренного автоматического мобильного зонда-профилографа [Ostrovskii, Zatsepin. 2011; Островский и др., 2013]. Данный зонд, разработанный в ИО РАН, производится уже более 8 лет, продавался в различные страны, работал в различных морях Европы и Азии, на юге и на севере, в том числе, в Карском море. Наиболее долго и плодотворно он работал на Черном море, в составе автономных станций, размещенных на гидрофизическом полигоне ИО РАН в районе Геленджика [Зацепин и др., 2014].

Результатом массового практического использования автономных дрейфующих ледовых станций может явиться создание системы оперативной океанографии Арктики. С помощью этой сети будут изучены разномасштабные закономерности эволюции морского ледяного покрова в условиях глобальных климатических изменений, в том числе, в целях оптимизации системы развертывания и поддержания сети оперативных наблюдений. Многолетнее использование предлагаемой автоматизированной мониторинговой системы позволит проследить изменения климата Арктики в первой половине XXI века в трех средах: воздушной, ледяном покрове и морской водной толще.

Работа выполнена в рамках госбюджетной темы 0149-2019-0011 и при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-05-60124.

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ТЕРМОХАЛИННЫХ ПОЛЕЙ ПО ДАННЫМ РЕАНАЛИЗА ДЛЯ БАРЕНЦЕВА МОРЯ В УСЛОВИЯХ МЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА

Зимин А.В. [1,2], Атаджанова О.А. [1], Коник А.А.[1,2], Гордеева С.М. [1]

[1] ИО РАН, г. Москва, Россия
[2] СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия
zimin2@mail.ru

Ключевые слова: температура, соленость, in situ измерения, GHRSST OSTIA, MERCATOR PSY4QV3R1, CMEMS GLORIS12v1, WOA 2013, корреляция, модифицированное расстояние Хаусдорфа, Баренцево море.

В докладе приведены результаты количественного сопоставления полей температуры и солености, полученных по результатам океанографических судовых измерений, с данными из глобальных океанологических баз.

В качестве эталонных значений выступили результаты судовых контактных измерений температуры и солености, выполненных на полигоне в юго-западной части Баренцева моря с 29 октября по 2 ноября 2018 г. в рамках 74-го рейса на НИС «Академик Мстислав Келдыш». Для сравнения привлекались поля с теми же характеристиками из продуктов (глобальных баз данных) MERCATOR PSY4QV3R1, CMEMS GLORIS12v1, World Ocean Atlas 2013, GHRSST OSTIA на горизонтах от 0 до 100 м.

Проводилось сравнение по средним и дисперсиям; оценивались аномалии, пространственная корреляция и функция расхождения относительно данных наблюдений; для определенных изолиний рассчитывалось модифицированное расстояние Хаусдорфа.

Показано, что среди рассматриваемых наборов данных отсутствует продукт, оптимально описывающий термохалинные характеристики всей водной толщи на акватории Баренцева моря в осенний период времени. Основные отличия у всех продуктов

проявляются в описании распределения температуры. Поля солености воспроизводятся рассмотренными глобальными базами в целом лучше, чем поля температуры.

Лучшее совпадение температуры поверхности с судовыми данными отмечается у продукта GHRSST OSTIA, который представляет собой массив температуры поверхности моря.

Из продуктов, содержащих глубоководные данные, наиболее достоверным можно назвать CMEMS GLORYS12V1, но со значительными допущениями.

Полученные результаты показали, что при описании изменчивости гидрологических условий на акватории арктических морей еще рано полностью опираться на данные глобальных океанографических баз, несмотря на их охват и регулярность обновления. Использование данных из продуктов требует их тщательной верификации и взвешенного подхода.

Исследование выполнено в рамках государственного задания № 0149-2019-0015.

ТРАНСФОРМАЦИЯ АТЛАНТИЧЕСКОЙ ВОДЫ В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ В КОНЦЕ ЗИМНЕГО СЕЗОНА

Иванов В.В. [1,2], Фролов И.Е. [2], Фильчук К.В. [2]

[1]МГУ, г. Москва, Россия
[2]ААНИИ, г. Санкт-Петербург, Россия
vladimir.ivanov@aari.ru

Ключевые слова: Баренцево море, водные массы, морские течения, взаимодействия океана и атмосферы, морской лед.

В последние несколько лет тема ускоренной потери морского льда и связанных с этим изменений вертикальной структуры водных масс в восточно-атлантическом секторе Северного Ледовитого океана, включая Баренцево море и западную часть бассейна Нансена, обсуждалась в целом ряде исследований. Этот регион

даже получил название «горячая точка Арктического потепления» из-за экстремального отступления морского льда и явных признаков изменения вертикальной гидрологической структуры от арктического типа к субарктическому. Постепенное повышение температуры и солености в этой области наблюдается с середины 2000-х гг. Эта тенденция гипотетически связана с общим уменьшением объема морского льда в Северном Ледовитом океане, что приводит к уменьшению импорта льда в Баренцевом море, повышению солености, ослаблению плотностной стратификации, усилению вертикального перемешивания и увеличению переноса тепла и соли из глубин к верхнему перемешанному слою. Результатом таких изменений является дальнейшее сокращение площади морского льда, то есть реализация положительной обратной связи, которую условно принято называть «атлантификацией».

В связи с тем, что Баренцево море является относительно неглубоким бассейном, процесс атлантификации может развиваться здесь гораздо быстрее, чем в глубоком бассейне Нансена. Таким образом, теоретически гидрологический режим в северной части Баренцева моря может быстро трансформироваться в режим, наблюдаемый в морях Северо-Европейского бассейна, характерной чертой которого является круглогодичное отсутствие ледяного покрова с дискуссионными последствиями для локального климата и экосистемы. По очевидным причинам исторические наблюдения в Баренцевом море в основном охватывают летний сезон. В докладе представлены редкие океанографические данные, собранные в конце зимы – начале весны 2019 г. в экспедиции «Трансарктика-2019, первый этап» на НЭС «Академик Трешников». Измерения проводились на океанографических разрезах от границы между Норвежским морем и Баренцевым морем до границы между Баренцевым и Карским морем, а также на океанографическом полигоне в северо-восточной части моря. Выполненная океанографическая съемка позволила оценить характер трансформации атлантической воды в Баренцевом море в конце зимнего сезона.

Отличительной чертой наблюдаемых изменений является гомогенизация придонной части водной толщи с сохраняющейся

стратификацией в верхней части. Вероятным объяснением таких структурных сдвигов является доминирование шельфовой конвекции и каскадинга (гравитационного стекания плотной воды вдоль уклонов рельефа дна) над конвекцией открытого моря. В этом случае полной гомогенизации толщи воды не происходит, так как конвекция в открытом море затруднена из-за сильной стратификации в поверхностном слое, которая поддерживается таянием импортируемого морского льда в относительно теплой воде.

Исследование выполнено при поддержке грантов РФФИ 18-05-60048 и 18-05-60083.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ОЦЕНКИ ИНТЕНСИВНОСТИ ВЕРТИКАЛЬНОГО ТУРБУЛЕНТНОГО ОБМЕНА В ШЕЛЬФОВОЙ ЗОНЕ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ОБЛАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ

Казаков Д.А., Чухарев А.М., Самодуров А.С.

МГИ, г. Севастополь, Россия
engineer.dk@mail.ru

Ключевые слова: диссипация энергии, стратифицированные слои, вертикальный турбулентный обмен, частота плавучести, измерительный комплекс, модели турбулентного обмена, Прикерченский участок.

В работе исследована внутригодовая изменчивость коэффициента вертикального турбулентного обмена в верхних стратифицированных слоях Черного моря по экспериментальным данным о микроструктуре физических полей, полученных с помощью зондирующего комплекса «Сигма-1». Расчет коэффициента проводился по вертикальным спектрам пульсаций градиента температуры и горизонтальным пульсациям скорости. На основе 1.5*D* модели вертикального обмена в глубоководной области Черного моря была установлена зависимость коэффициента вертикальной

турбулентной диффузии K от частоты плавучести N в нижней стратифицированной части деятельного слоя. Данные собраны во время экспедиций за период 2016–2019 гг. в различные гидрологические сезоны и охватывают северо-восточную область Черного моря в районе Прикерченского участка шельфа.

Проведенный анализ данных измерений позволяет провести оценку вертикальных потоков тепла, соли и других растворенных химических и биологических веществ в зависимости от стратификации в исследуемой области Черного моря.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-05-00664.

МАЛЫЕ КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ В СОСТАВЕ МНОГОПОЗИЦИОННОЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОБЗОРА МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Карцан И.Н.

МГИ, г. Севастополь, Россия
kartsan2003@mail.ru

Ключевые слова: малые космические аппараты, антенна с синтезированной апертурой, радиолокационная подсветка.

В наше время огромный интерес в стране и за рубежом проявляется к разработкам и созданию радиолокационных систем обзора морской поверхности космического базирования, использующих принцип синтезирования апертуры антенны. Известны огромные преимущества и неоспоримые факты радиолокационных средств и наблюдения: всепогодность, высокая оперативность и информативность, большие дальности наблюдения. Активно ведутся разработки космических радиолокационных систем с синтезированной апертурой, антенны третьего поколения, основными особенностями которых являются:

– применение в качестве носителей малые космические аппараты (массой до 1 000 кг);

– зондирование поверхности в одном-двух частотных диапазонах;

– использование нескольких поляриметрических каналов приема;

– наличие режима селекции движущихся целей;

– наличие режима интерферометрической съемки;

– ширина полосы захвата от 2–5 до 300–500 км;

– высокая разрешающая способность – от единиц метров до 100–150 м.;

– высокие скорости передачи радиолокационной информации в центр обработки до 300–600 Мбит/с;

Существенное расширение возможностей таких систем по освещению обстановки за счет создания на их основе многопозиционных радиолокаторов с синтезированной апертурой (МП РСА).

При установке передатчика МП РСА на борт космического аппарата, а приемника – на борт малого космического аппарата позволит значительно расширить возможности синтезированной апертуры по сравнению с однопозиционными системами:

– высокая скрытность приемной позиции;

– устойчивость к отдельным видам пассивных помех;

– способность использовать в качестве зондирующего сигнала как импульсные, так и непрерывные сигналы;

– возможность получения одновременно независимых многоракурсных радиолокационных изображений наблюдаемого участка морской поверхности;

– приемлемая разрешающая способность;

– возможность в качестве зондирующего использовать широкополосный непрерывный сигнал с априорно неизвестным законом модуляции, применяя принцип взаимокорреляционной обработки отраженного и прямого сигналов;

– возможность существенного снижения габаритов и массы носителей приемника системы синтезированной апертуры.

При построении космической МП РСА в качестве носителя передатчика могут быть использованы либо специально разработанные для этой цели космические аппараты радиолокационной подсветки, либо космические аппараты, входящие в состав какой-либо из функционирующих орбитальных группировок, с

бортовым передатчиком, сигналы которых удовлетворяют предъявляемым к МП РСА требованиям.

Второй вариант предпочтителен, вследствие очевидных экономических преимуществ и большой гибкости при выборе космических аппаратов носителя передатчика, поскольку некоторые типы функционирующих космических аппаратов независимо от вида орбиты и целевого назначения могут рассматривается в данной постановке как носители передатчиков космического базирования, т. е. как элементы структуры при создании МП РСА.

О ПРИМЕНЕНИИ СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОЙ ОКЕАНОГРАФИИ К ПОДВОДНОЙ АКУСТИКЕ

Коваленко В.В. [1], Зацепин А.Г. [1], Телегин В.А. [1,2]

[1] ИО РАН, г. Москва, Россия
[2] ИЗМИРАН, г. Троицк, г. Москва, Россия
hydrophys@mail.ru

Ключевые слова: оперативная океанография, прикладное значение, состояние океанической среды, текущее оценивание, прогноз, ретроспективные оценки, модели акустического и неакустического подводного наблюдения.

В России завершается процесс осознания необходимости создания национальных систем оперативной океанографии (СОО). Вместе с тем, какой-либо концепции создания таких систем в стране до сих пор нет. Настоящая работа рассматривается ее авторами, как способствующая продвижению в отношении разработки такой концепции.

Согласно имеющимся представлениям под оперативной океанографией понимается деятельность, направленная на систематическое и долговременное получение данных о состоянии океана и атмосферы, интерпретацию этих данных и их распространение. Получаемая в результате такой деятельности продукция, включает три следующих части:

1) текущие оценки состояния океана, обеспечивающие точное воспроизведение его свойств в настоящем времени, включая биологические ресурсы;

2) прогноз, обеспечивающий непрерывное оценивание будущего состояния океанической среды на максимально возможный временной интервал;

3) ретроспективные оценки состояния океана на основе ранее собранных данных, позволяющие выделять характерные тренды и изменения».

К важному дополнению указанного определения можно отнести то, которое трактует оперативную океанографию, как новую ветвь современной океанологической науки, имеющую важное прикладное значение. Объединение наблюдений (которых всегда мало) и моделей геофизической гидродинамики посредством названных ассимиляцией процедур взаимной подгонки данных и моделей позволяет получить принципиально новый продукт в виде обновляемого во времени трехмерного представления свойств изменчивой по пространству и времени океанической среды. Это новое качество касается и прикладных аспектов океанологии, и фундаментальных исследований. В частности, значимость инструментария оперативной океанографии для фундаментальных исследований заключается в корректировке призванных описывать реальность моделей, т.е. получения не только данных наблюдений, но и собственно базовых знаний.

В соответствии с приведенным выше определением системы оперативной океанографии ее важным назначением является решение конечных прикладных задач. Это – принципиальное обстоятельство. Данные о морской среде не должны рассматриваться в качестве конечного продукта.

Такими прикладными моделями могут быть модели экосистем, модели распространения загрязнений, возникновения опасных явлений.

В качестве базового примера в докладе рассматривается связь систем оперативной океанографии и акустики. В этой составной системе будет представлена вся цепочка взаимосвязей от состояния океанической среды до показателей акустического наблюдения.

Работа выполнена в рамках темы госбюджета 0149-2019-0004 и при поддержке гранта РНФ 20-17-00167.

АТЛАС АБРАЗИОННОЙ И ЛЕДОВО-ЭКЗАРАЦИОННОЙ ОПАСНОСТИ ПРИБРЕЖНО-ШЕЛЬФОВОЙ ЗОНЫ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

Кондратьева Д.М., Баранская А.В., Алексютина Д.М., Белова Н.Г., Вергун А.П., Кокин О.В., Мазнев С.В., Маслаков А.А., Новикова А.В., Огородов С.А., Шабанова Н.Н.

МГУ, г. Москва, Россия
dasha.inf@mail.ru

Ключевые слова: Арктика, прибрежно-шельфовая зона, опасные процессы, термоабразия, экзарация.

Для систематизации и обобщения знаний об опасных рельефообразующих процессах, развитых в прибрежно-шельфовой зоне морей Российской Арктики, на базе НИЛ геоэкологии Севера географического факультета МГУ в рамках проекта Российского научного фонда ведется разработка электронного атласа абразионной и ледово-экзарационной опасности прибрежно-шельфовой зоны.

Атлас состоит из одного тома, включающего два раздела. Первый раздел – вводно-методический – состоит из обширной текстовой части и ряда обзорных тематических карт Российской Арктики: «Литолого-геоморфологическое строение побережья»; «Геокриология побережья и шельфа»; «Изменения относительного уровня моря и вертикальные движения земной коры»; «Сезонное нарастание и таяние ледяного покрова»; «Строение ледяного покрова»; «Источники и ареалы распространения айсбергов». Второй раздел атласа посвящен картографированию абразионной и ледово-экзарационной опасности прибрежно-шельфовых зон и включает как карту всей Российской Арктики, так и карты отдельных арктических морей и их частей.

Во втором разделе атласа выделяются две группы картографируемых явлений: абразионная и ледово-экзарационная опасность. Типизация берегов Российской Арктики по абразионной опасности включает геоморфологическую составляющую (тип берега) и

динамическую составляющую (скорость отступания/проградации береговой линии). Карты позволяют определить, каким типом берега (абразионным, аккумулятивным, или другим) представлен сегмент береговой линии и с какой скоростью идет процесс ее отступания или проградации. Скорость абразии берегов определяется литолого-геоморфологическим строением береговых уступов и подводного склона, шириной пляжа, рельефом дна, гидрометеорологическими и другими факторами (изменением уровня моря, темпами и направлениями движений земной коры и др.).

Районирование прибрежно-шельфовой зоны по интенсивности воздействия ледяных образований на берега и дно выполняется согласно методике, разработанной В.А. Совершаевым и С.А. Огородовым. Районирование прибрежно-шельфовой зоны подразумевает ее разделение на сегменты с различной интенсивностью экзарации с учетом положения, размера и типа торосистых ледяных образований и их воздействий на дно. Основой для районирования по интенсивности ледовых воздействий является батиметрическая карта. К важным параметрам, учитываемым при определении границ зон, относятся гидрометеорологические условия, конфигурация береговой линии и рельеф дна.

Абразия берегов и экзарация дна – процессы, опасные для инженерных сооружений, расположенных в прибрежно-шельфовой зоне. Карты абразионной и ледово-экзарационной опасности морей Российской Арктики дают возможность оценить и проанализировать пространственное распределение опасных процессов, и, соответственно, являются незаменимым источником данных для планирования размещения объектов хозяйственной деятельности. Таким образом, представленный атлас позволяет визуализировать массив данных о современной обстановке на арктических морях в различных масштабах.

Работа ведется при финансовой поддержке РНФ, проект № 16-17-00034-П.

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ЭКСТРАОРДИНАРНОГО ШТОРМОВОГО НАГОНА НА ПОБЕРЕЖЬЕ ЗАПАДНОЙ КАМЧАТКИ

Корзинин Д.В. [1], Горин С.Л. [2], Любицкий Ю.В. [3]

[1]ИО РАН, г. Москва, Россия
[2]ВНИРО, г. Москва, Россия
[3]ДВНИГМИ, г. Хабаровск, Россия
korzinin2000@mail.ru

Ключевые слова: штормовой нагон, волновой нагон, заплеск, полевые наблюдения, моделирование, берегозащита, Камчатка.

На Западной Камчатке береговая инфраструктура – населенные пункты, рыбозаводы и дороги – систематически страдает от штормовых нагонов, сопровождающихся размывом берегов и затоплением прибрежной территории. Нагоны здесь случаются ежегодно, чаще всего в осенне-зимний период. Наиболее опасные ситуации возникают в октябре-декабре, когда на западном побережье Камчатки формируются максимальные в году приливы, а над дальневосточными морями и прилегающей акваторией Тихого океана активизируется циклоническая деятельность. Во второй половине зимы нагоны менее значительны из-за наличия льда в прибрежной зоне, а в теплое время года – из-за ослабления циклонической активности.

С середины прошлого века было предложено несколько методов предсказания опасных нагонов на западном побережье Камчатки. В настоящее время краткосрочный прогноз изменений уровня моря на Камчатке (а также в других районах дальневосточного побережья России) осуществляется с помощью разработанного в ДВНИГМИ метода, ядром которого служит двумерная численная гидродинамическая модель совместной динамики воды и льда. Для численных моделей необходима верификация и калибровка на основе данных наблюдений за уровнем моря. На Западной Камчатке таких наблюдений никогда не проводилось.

В настоящем докладе авторы попытались оценить величину экстраординарного нагона, а также роль его отдельных составляющих (барической, ветровой и волновой) для локального участка на побережье Западной Камчатки. Работа основана на данных собственных полевых наблюдений, а также на применении различных расчетных методов. Для расчетов был выбран случай сильного нагона, который произошел в с. Крутогорово 11 ноября 2013 г. Во время этого нагона была затоплена часть села, залиты подвалы в многоквартирных домах, разрушены хозяйственные постройки и некоторые инженерные сооружения, завалены мусором дворы и проезды. Затопление продолжалось в течение 3 часов. Согласно опросу населения, это было самое сильное затопление села за последние 50 лет.

Полевые исследования проводились летом 2018 г. и включали в себя промеры глубин на подводном береговом склоне, топографическую съемку пляжа и примыкающей к нему части берега, измерения уровня моря, опрос местных жителей. В результате были получены отметки максимальных волновых заплесков для нагона 11.11.2013, а также профиль берега и средний уровень моря для июля 2018 г. (все отметки были приведены к единой системе высот).

Расчеты отдельных составляющих нагона выполнялись по двумерной численной гидродинамической модели и с помощью зависимостей, полученных из литературных источников.

В день с нагоном в с. Крутогорово максимальное превышение предвычисленного прилива над средним уровнем моря составило 1,3 м (максимально возможное по астрономическим условиям превышение прилива над средним уровнем моря 2,4 м). По нашим расчетам суммарная величина барической и ветровой составляющих нагона составила 0,6–0,7 м, а общая величина волнового нагона и заплеска достигала 4,6 м. Это позволяет сделать вывод, что в данном случае решающий вклад в формирование экстраординарного нагона внес волновой фактор.

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБРУШЕНИЙ ВЕТРОВЫХ ВОЛН И ИХ СВЯЗЬ С ДИССИПАЦИЕЙ ЭНЕРГИИ ПО ДАННЫМ НАТУРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Кориненко А.Е., Малиновский В.В., Дулов В.А., Кудрявцев В.Н.

МГИ, г. Севастополь, Россия
korinenko.alex@gmail.com

Ключевые слова: обрушения ветровых волн, диссипация энергии, натурные исследования, спектр ветровых волн.

Обрушения ветровых волн играют важную роль в процессах, связанных с генерацией турбулентности в приповерхностном слое моря, газообменом между океаном и атмосферой, диссипацией волновой энергии.

В настоящее время для определения статистических характеристик обрушений ветровых волн, как правило, используются видеозаписи морской поверхности, полученные с самолетов, кораблей или стационарных платформ. Определяемая по видеозаписям информация (размеры обрушений, скорость барашка) позволяет построить распределение длин гребней обрушений в зависимости от скорости их движения $\Lambda(c)$, введенное О.М. Филлипсом. Параметром, связывающим диссипацию волновой энергии за счет обрушений с распределением длин гребней обрушивающейся волны, является константа Дункана b.

В настоящее время открытым остается вопрос, является ли b константой или функцией характеристик атмосферы и интегральных параметров волнения. Поэтому уточнение коэффициента b и определение его возможного изменения в различных гидрометеорологических условиях является принципиальным.

Целью настоящей работы является исследование кинематических характеристик и геометрического подобия обрушений ветровых волн и оценка «константы Дункана» на основе данных, полученных в натурных условиях.

Экспериментальные исследования статистических характеристик обрушений поверхностных волн проводились в осенний период со Стационарной океанографической платформы в Голубом заливе, пгт Кацивели, Крым.

Определение геометрических размеров активной фазы обрушений, скоростей и направлений их движения осуществлялось по видеозаписям морской поверхности. Одновременно с видеозаписями регистрировалась метеорологическая информация, а также измерялись характеристики поверхностного волнения.

Установлено, что при различных ветровых и волновых условиях плотности вероятности отношения максимальной длины обрушения к длине обрушивающейся волны L/λ, подобны. Среднее значение отношения $\overline{L/\lambda}$ составляет $0,1 \pm 0,03$. Показано, что экспериментальные оценки зависимости распределений $\Lambda(c)$ от скорости ветра и скорости движения барашка соответствуют теоретическим предсказаниям Филлипса (1985 г.), при этом зависимости от возраста волн не обнаружено. Получены количественные характеристики связи распределения длин обрушений с диссипацией энергии (определение «константы Дункана»), которая оказалась равной $b = 1,8 \cdot 10^{-3} \pm 4,5 \cdot 10^{-4}$.

Анализ данных не выявил явной связи b с параметрами волнения (среднеквадратичным уклоном, возрастом волн и максимальной крутизной) и атмосферы (динамической скоростью в воздухе).

Исследование выполнено по теме государственного задания № 0827-2019-0003 «Океанологические процессы», а также при поддержке гранта РФФИ № 19-05-00547.

МЕТОДИКА СОВМЕСТНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ И УСВОЕНИЯ В МОДЕЛИ ЦИРКУЛЯЦИИ ВОД ТЕМПЕРАТУРЫ И СОЛЕНОСТИ В ВЕРХНЕМ СЛОЕ ЧЕРНОГО МОРЯ

Коротаев Г.К., Лишаев П.Н., Кныш В.В.

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

Ключевые слова: восстановленные псевдоизмерения температуры и солености, прогностические температура и соленость, итерационная процедура, среднеквадратические отклонения, ассимиляция, реанализ.

В выполненной ранее работе авторов предложена и реализована итерационная процедура восстановления псевдоизмерений температуры и солености в особых районах Черного моря на отдельных горизонтах слоя 63–150 м глубоководной области, ограниченной изобатой 500 м, для решения задачи ретроспективного анализа гидрофизических полей. Данная процедура позволила восстановить ежесуточные трехмерные поля псевдоизмерений температуры моря в слое 50–150 м и солености в слое 2,5–150 м. Особенность процедуры, которая предварительно испытывалась для 2012 г., состояла в следующем. Для ее реализации использовались псевдоизмерения температуры и солености в слое 63–150 м, восстановленные заблаговременно на регулярной сетке модели МГИ по оригинальной методике комбинированного анализа альтиметрических и малочисленных судовых и буями Argo измерений температуры и солености (в слое 63–500 м, а также ежесуточные поля температуры и солености, полученные заранее в прогностическом расчете посредством модели МГИ за весь 2012 г. без ассимиляции наблюдений, но с реальным атмосферным форсингом ERA-Interim.

В настоящей работе выполнена имплементация апробированной процедуры непосредственно в модель. В численных экспериментах она реализуется на каждом шаге по времени с использованием модельных данных о температуре и солености с предыдущего шага (пошаговый вариант). К особым районам Черного моря, в которых псевдоизмерения температуры и солености не

восстанавливались вследствие особенностей оригинальной методики, относятся антициклонические вихри и зоны моря справа от фронта Основного Черноморского Течения (ОЧТ). Для сопоставления результатов привлекались данные численных экспериментов по реанализу гидрофизических полей за 2012 г. с ассимиляцией псевдоизмерений температуры и солености, полученных ранее и в пошаговом варианте, а также альтиметрический уровень моря.

Основное внимание при валидации полученных результатов уделено особым районам бассейна Черного моря. Выполнено сопоставление модельных и измеренных буями Argo профилей температуры и солености.

Проанализированы результаты восстановления гидрофизических полей в ретроспективном анализе с использованием предложенной методики совместного восстановления и ассимиляции трехмерных полей псевдоизмерений температуры и солености. Произведена оценка среднемесячных среднеквадратических отклонений, восстановленных в численных экспериментах полей температуры и солености от данных контактных измерений буями Argo на горизонтах и в выбранных слоях моря.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-80025.

РЕЗУЛЬТАТЫ БИООПТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ВОДАХ ЧЕРНОГО МОРЯ В ПЕРИОД ЦВЕТЕНИЯ КОККОЛИТОФОРИД В 2012 И 2017 ГГ.

Корчемкина Е.Н. [1], Маньковская Е.В. [1], Ли Р.И. [2]

[1] МГИ, г. Севастополь, Россия
[2] ИнБЮМ, г. Севастополь, Россия
korchemkina@mhi-ras.ru

Ключевые слова: показатель ослабления света, коэффициент яркости, белый диск, показатель обратного рассеяния, неорганический углерод, кокколиты, хлорофилл, численность клеток.

Кокколитофориды – нанопланктонные водоросли (диаметр клеток 5–20 мкм). Их особенностью является наличие на оболочке известковых дисков – кокколитов в количестве ~15 шт.

Диаметр кокколитов 1–2 мкм, толщина 0,25 мкм. При цветении кокколитофориды производят значительное количество минеральной взвеси в виде сброшенных кокколитов, увеличивая рассеяние света и существенно снижая прозрачность воды.

В докладе рассмотрены результаты оптических и биологических измерений, проводившихся в период цветения кокколитофорид, а также восстановленные по ним первичные биооптические характеристики. Использованы данные натурных измерений со стационарной океанографической платформы (пос. Кацивели) в июле 2012 г. (07.07 – 16.07) и в мае 2017 г. (24.05 – 31.05) и данные, полученные в экспедиции НИС «Профессор Водяницкий» в июне 2017 г. (14.06 – 30.06). Помимо натурных данных использовалась спутниковая информация о коэффициенте яркости моря, содержании углерода в минеральной взвеси, показателе обратного рассеяния взвесью и концентрации хлорофилла-а.

Оптические измерения на океанографической платформе во время цветения кокколитофорид и их анализ позволили сделать следующие выводы.

1. Коэффициент яркости в спектральном максимуме достигал в среднем 4,5 %. В июле 2012 г. наблюдался спад значений, говорящий о финальной фазе цветения, в мае 2017 г. – рост. Спутниковые данные коэффициента яркости в среднем ниже, чем данные контактных определений.

2. Средние значения показателя ослабления света на длине волны 660 нм вдвое превышали наблюдаемые значения в данном районе при отсутствии цветения.

3. Глубина видимости белого диска в период проведения измерений имела аномально низкие значения: в среднем 8 м и 6 м в 2012 и 2017 г. соответственно.

4. Оценки обратного рассеяния взвесью в среднем повышены на порядок по сравнению с отсутствием цветения.

5. Средние концентрации кокколитов, рассчитанные разными методами, различаются не сильно, временной ход хорошо согласуется.

6. Значения коэффициента асимметрии индикатрисы рассеяния и вклада обратного рассеяния соответствуют случаю повышения доли мелких частиц с высоким показателем преломления.

Анализ оптических и биологических экспедиционных исследований в июне 2017 г. в северной части Черного моря показал слабую связь между биологическими характеристиками цветения и оптическими. Оптические свойства на исследуемом полигоне определялись не только кокколитофоридной взвесью, но и взвесью терригенного происхождения. С оптической точки зрения показателем цветения оказывается численность кокколитов, а не клеток, что может привести к неверному описанию биологической ситуации.

Величины показателя ослабления света на 520 нм в среднем составили 0,81±0,13 $м^{-1}$, что примерно в 2 раза выше климатических. Средние величины показателя обратного рассеяния взвесью на 550 нм составили 0,028±0,004 $м^{-1}$, что на порядок выше наблюдаемых вне цветения кокколитофорид. Численность клеток кокколитофорид по биологическим данным изменялась в диапазоне от 150 тыс. кл./л до 1,7 млн. кл./л, в среднем составила 0,6±0,4 млн. кл./л.

Работа выполнена в рамках государственного задания по темам № 0827-2019-0002, № 0827-2019-0004 и № АААА-А18-118021490093-4, а также при поддержке гранта РФФИ № 18-45-920044.

НОВЫЙ ВЗГЛЯД ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПОЛИТИКИ РОССИИ НА ОБОСНОВАНИЕ ГРАНИЦ АРКТИЧЕСКОГО ШЕЛЬФА

Костюков А.Д.

СевГУ, г. Севастополь, Россия
ka250777@gmail.com

Ключевые слова: арктический шельф, определение границ, Арктика, государственная политика России, развитие.

В Российской Федерации с началом 2020 г. по вопросам государственной политики ознаменовалось важное событие – были приняты новые Основы государственной политики России в Арктике на период до 2035 г. (утв. Указом Президента России от

5 марта 2020 г. №164) и в ближайшее время ожидается принятие новой «Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации…», которая будет реализацией политики государства в этом динамично развивающемся регионе. На этом базируются наши успехи в перспективе.

Вместе с тем, следует отметить, что в предыдущих доктринальных и концептуальных документах государственной политики России в Арктике далеко не все положения были выполнены, а отдельные из них так и остались в начальной стадии реализации (в частности, вопросы уточнения границ на арктическом побережье и островах так и остались без реализации ранее). Хотелось бы учесть предыдущие ошибки.

Одним из важнейших вопросов реализации государственной политики России в Арктике на период, как минимум, до 2035 года ожидается, что будет посвящена определению границ арктического шельфа. Здесь, на мой взгляд, следует пересмотреть ранее существующий подход, когда молодая Россия с легкостью «отдавала» суверенитеты в регионы, принимала международные договора и их ратифицировала, не до конца понимая последствия от принятых решений.

Российская Федерация унаследовала от СССР самое протяженное арктическое побережье – 22 600 км, при общей длине береговой линии Северного Ледовитого океана (СЛО) – 45 389 км, что предопределило преобладающую площадь российского полярного (арктического) сектора – 9 млн. км^2, при общей площади Арктики в пределах Северного полярного круга – 21 млн. км^2. При этом ресурсный потенциал большей части арктического шельфа российского сектора остается малоизученным. Учитывая, что здесь в недрах морского дна сосредоточена значительная часть доказанных мировых запасов углеводородных ресурсов (прогнозируемый объем извлекаемых запасов арктического континентального шельфа сегодня составляют – 13 % мировых запасов нефти (90 млрд баррелей) и 30 % – природного газа (47 трлн м^3), огромные запасы твердых минералов, в том числе драгоценных, редкоземельных и цветных металлов, цена вопроса разграничения арктического шельфа между Россией, Канадой, Данией, Норвегией и США, имеющими побережье в СЛО, чрезвычайно высока.

В последнее время (за период не менее двадцати лет) в позиции отечественного научно-экспертного сообщества наметились существенные расхождения по отношению к прежней позиции о международно-правовом статусе Арктики.

Несмотря на то, что Россия подала заявку в Комиссия по границам континентального шельфа за пределами 200 миль от исходных линий (2001 г.) и затем ее уточнила (2015 г.), следует отметить, что ожидание решения какого-то органа в международной организации может констатировать частичную утрату суверенитета России, что собственно говоря, я и предлагаю исправить (эту позицию разделяют доктора наук Богоявленский В.И., Вылегжанин А.Н., Иванов Г.В. и др.).

Россия исконно признана арктическим государством. Ее традиции тесно связаны с освоением северных территорий.

Предложение: учитывая то, что более восемнадцати лет Россия выплачивает значительные средства «Комиссии…» (г. Нью-Йорк) благодаря которым собственно и существует она, то следует детально разобрать в перспективах принятия решений в интересах России. Перспективы весьма «туманные» и такого положения больше не должно происходить!

ВАРИАЦИОННАЯ АССИМИЛЯЦИЯ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ ПОВЕРХНОСТНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ВЗВЕШЕННОГО ВЕЩЕСТВА В АЗОВСКОМ МОРЕ

Кочергин В.С., Кочергин С.В., Станичный С.В.

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

Ключевые слова: модель переноса, взвешенное вещество, вариационный алгоритм, сопряженные уравнения, идентификация, входные параметры.

Спутниковые данные позволяют получать последовательную информацию о состоянии поверхности моря и изменении про-

странственных структур, определяемых по концентрации рассеивающей взвеси в оптическом диапазоне. Основной проблемой при этом являются помехи создаваемые, например, облачностью. Часто такие помехи полностью или частично прерывают поступление информации с поверхности моря. Поэтому задача восстановления данных для промежутков времени с отсутствующими данными (gap filling) является важной и актуальной. Такая задача может быть решена различными способами, в том числе на основе вариационной ассимиляции данных измерений, которая реализуется за счет идентификации входных параметров модели. Сама модель переноса пассивной примеси выступает в роли пространственно-временного интерполянта и получаемое решение на используемом интервале времени является согласованным с математической моделью и с данными измерений в силу минимизации функционала качества прогноза. На конкретных данных показана работоспособность вариационного алгоритма идентификации, произведено сравнение полученных результатов с последовательными спутниковыми изображениями сканера MODIS. Полученные результаты показали хорошую согласованность результатов численного моделирования со спутниковой информацией в силу минимизации функционала качества прогноза, за счет модельной пространственно-временной интерполяции полученные поля концентрации охватывают всю акваторию Азовского моря на временном интервале интегрирования модели. Результаты численного эксперимента показали достаточно хорошую скорость сходимости итерационного процесса.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2019-0004 при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-45-920035.

ПРИБРЕЖНЫЕ СУБМЕЗОМАСШТАБНЫЕ ВИХРИ В ЧЕРНОМ МОРЕ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ПЕРЕНОС ВЗВЕШЕННОГО ВЕЩЕСТВА

Кубряков А.А., Алескерова А.А., Лишаев П.Н., Медведева А.В., Кубрякова А.А., Чепыженко А.И., Станичный С.В.

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

Ключевые слова: субмезомасштабные вихри, БПЛА, взвешенное вещество, кросс-шельфовый перенос, концентрация хлорофилла А.

На основе долговременного массива спутниковых данных среднего и высокого разрешения MODIS, Landsat 5,7,8 и Sentinel-2 проведено детальное исследование характерных субмезомасштабных процессов, наблюдающихся в различных районах Черноморского побережья Крыма, определены их размеры, места и условия образования. Наиболее часто субмезомасштабные вихри возникают на периферии синоптических антициклонических вихрей. Эти вихри характеризуются высокими значениями завихренности и горизонтального сдвига скорости вблизи границы с окружающими их водами, что приводит к образованию более мелких субмезомасштабных циклонических вихрей на их периферии. У берега трение и сдвиг скорости возрастают, что усиливает этот эффект. Особенно интенсивное образование субмезомасштабных циклонов происходит при взаимодействии антициклонов с выступами берега (мысами). В этом случае топографический эффект – обтекание мыса и динамический эффект (сдвиговая неустойчивость) – усиливают друг друга. Чаще всего такие процессы наблюдались у берегов Каламитского залива при образовании в данном районе крупного Севастопольского антициклона и реже у юго-восточного побережья Крыма, например, за м. Меганом.

Спутниковые данные высокого разрешения свидетельствуют, что субмезомасштабные циклонические вихри способны аккумулировать взвешенное вещество в прибрежной зоне и транспортировать ВВ на относительно большое расстояние 100–150 км в

своих ядрах в течении 5–10 дней. 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. С течением времени концентрации ВВ и хлорофилла А в ядрах субмезомасштабных вихрей уменьшаются из-за ослабления вихрей и их смешения с окружающими водами.

В ходе нескольких экспедиций в прибрежной части западного Крыма по данным измерений БПЛА выявлены ряд субмезомасштабных структур: циклонических вихрей, грибовидных структур, струйных образований у мысов. На основе данных БПЛА с разрешением <10 см получены детальные данные о пространственных размерах особенностей наблюдаемых структур. Так, по измерениям БПЛА 29 июня 2019 г. в районе п. Кача обнаружено наличие цепочки из 3 субмезомасштабных вихрей с диаметром около 500 м. Действие этих вихрей вызывало интенсивный вынос взвешенного вещества, от берега которое в дальнейшем аккумулировалось в ядре вихрей. Длина этого выноса превышала 2 км. На периферии полосы выноса отмечено наличие ряда периодических мелкомасштабных особенностей размерами около 50 м. Анализ спутниковых данных показал, что эти субмезомасштабные циклоны образовались в результате взаимодействия крупного синоптического антициклона диаметром около 80 км с берегом и возникшим интенсивным горизонтальным сдвигом скорости.

В судовой экспедиции 25 октября 2019 г., сопровождающейся измерениями БПЛА, вблизи п. Бартеньевка был зафиксирован субмезомаштабный циклон диметром около 1 км. При помощи измерений мультипараметрического зонда Кондор определена вертикальная структура вихря в поле взвешенного вещества, температуры и солености. Показано, что вихрь захватывал теплые и богатые взвешенным веществом прибрежные воды в своей северной части и в дальнейшем аккумулировал их в ядре. Проведены точные измерения изменений характеристик в районе фронта вихря – зафиксирован резкий перепад взвешенного вещества в 1,5 раза от значений 0,9 до 1,5 мг/л в вихре, а также температуры на 0,2°. В районе фронта вихрей по данным БПЛА зафиксировано наличие периодических неустойчивостей. Детальный анализ показал, что эти неустойчивости имеют форму циклонических вихрей размерами около 50 м.

Результаты работы показывают, что субмезомасштабная вихревая динамика оказывает существенное влияние на перераспределение взвешенного вещества, которое в свою очередь определяет эволюцию береговой линии. Учет этой динамики необходим при проектировании и строительстве берегозащитных сооружений и ведении хозяйственной деятельности.

Анализ спутниковых данных выполнен в рамках госзадания № 0555-2019-0001, исследование динамики субмезомасштабных вихрей выполнено при поддержке гранта РФФИ № 19-05-00479 А, исследование влияния субмезомасштабных вихрей на оптические характеристики вод выполнено при поддержке гранта РФФИ № 19-05-00752.

ОПЫТ ОПЕРАТИВНОГО ПРОГНОЗА ДИНАМИКИ ВОД СЕВАСТОПОЛЬСКОЙ БУХТЫ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ ДВОЙНОГО ВЛОЖЕНИЯ СЕТОК

Кубряков А.И., Ратнер Ю.Б.

МГИ, г. Севастополь, Россия
alexander.kubryakov@mhi-ras.ru

Ключевые слова: оперативная модель, технология вложенных сеток, циркуляция вод, сигма-координаты, Севастопольская бухта, субмезомасштабные процессы.

Представлена разработанная на основе технологии двойного вложения сеток σ-координатная оперативная модель прогноза состояния вод Севастопольской бухты. Данные для задания начальных и граничных условий модели поступают из Черноморской прибрежной прогностической системы, являющейся подсистемой, функционирующей в Морском гидрофизическом институте оперативной системы диагноза и прогноза Черного моря. Модель способна воспроизводить субмезомасштабную изменчивость течений в бухте. Приведен пример трехдневного прогноза полей течений, температуры и солености.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ – проект № 18-05-80028 «Опасные явления» и при поддержке гранта РФФИ – проект №18-45-920018 «р_а».

ФОРМИРОВАНИЕ ГЛУБИННОГО МАКСИМУМА КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРОФИЛЛА «А» В РЕЗУЛЬТАТЕ СЛАБОЙ ЗИМНЕЙ КОНВЕКЦИИ В ЧЕРНОМ МОРЕ

Кубрякова Е.А., Кубряков А.А.

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

Ключевые слова: хлорофилл «а», эффект самозатенения фитопланктона, зимняя конвекция, Черное море, Био-Арго.

Исследование изменений биопродуктивности Черного моря, связанных с физическими изменениями среды, представляет существенный интерес для понимания функционирования экосистемы бассейна в условиях меняющегося климата. Спутниковые и контактные данные последних лет свидетельствуют о том, что цветение фитопланктона и связанные с ним наибольшие концентрации хлорофилла «а» в поверхностном слое Черного моря наблюдаются в осенне-зимний период. В летний период наиболее высокие концентрации сосредоточены в слое термоклина и под ним. Сравнительно недавно (с 2014 г.) в глубоководной части Черного моря были запущены три буя Био-Арго с биооптическими датчиками. Эти приборы на основе флюориметрических измерений дают информацию о вертикальном распределении концентрации хлорофилла «а» с высокой дискретностью (10 дней, 1 м по глубине).

По данным буев Био-Арго был проведен анализ сезонной изменчивости концентрации хлорофилла «а» в глубоководной части слоя 0–80 м за 2016 и 2017 гг. Эти годы характеризовались разными термическими условиями: в 2017 г. зима была суровой – в январе-марте 2017 г. значения температуры в слое 0–50 м уменьшались до 7,5 °С в «теплом» 2016 г. значения температуры моря зимой не опускались ниже 8,5 °С. Интенсивность зимней конвекции и связанное с ней вертикальное вовлечение биогенных элементов является одним из важных факторов межгодовой изменчивости биопродуктивности Черного моря.

В работе [Кубрякова и др., 2018] авторы показали, что биомасса фитопланктона в подповерхностном летнем максимуме зависит от зимнего выхолаживания и выше в пике на ≈30 % в годы после холодных зим. В 2017 г. поступление большего количества биогенных элементов в результате более глубокой зимней конвекции в верхнем слое моря могло способствовать интенсивному развитию фитопланктона в верхнем 30-метровом слое. В результате в 2017 г. значения концентрации хлорофилла «а» в первую половину года в верхнем слое 0–40 м достигали 1 мг/м^3 и более. Эти значения были на 0,2–0,6 мг/м^3 выше, чем в «теплом» 2016 г., когда вертикальное вовлечение биогенных элементов было менее интенсивно. Вместе с тем, в слое 40–80 м значения хлорофилла «а» в 2017 г. были существенно ниже (на 0,2–0,5 мг/м^3), чем в 2016 г. Таким образом, в «теплый» 2016 г. в наиболее глубинных слоях биопродуктивность была значительно выше. Причиной этому послужил эффект самозатенения фитопланктона, который в более продуктивный 2017 г. привел к значительному ослаблению света в нижних слоях и уменьшению глубины эвфотического слоя. Измерения буев Био-Арго показывают, что фотосинтетическиактивная радиация (ФАР) в слое 10–40 м в 2017 г. была ниже на 20-100 мкмоль фотонов м-2 с-1, чем в 2016 г. Таким образом, усиление биопродуктивности в верхних слоях в холодный 2017 г. препятствовало развитию фитопланктона в нижележащих слоях, а ослабление конвекции в 2016 г. способствовало проникновению света и возникновению высоких значений хлорофилла «а» в наиболее глубинных слоях. Эффект самозатенения фитопланктона частично скомпенсировал влияния разницы интенсивности вовлечения и привел к существенному различию в вертикальном распределении концентрации хлорофилла «а».

В работе даны численные оценки влияния этих эффектов на вертикальное распределение концентрации хлорофилла «а», ФАР и ослабления света в Черном море. Влияния интенсивности конвекции на концентрацию хлорофилла «а» выполнено при поддержке гос. темы № 0555-2019-0002, исследование биооптических характеристик выполнено при поддержке гранта РНФ №19-77-00029.

УНИВЕРСАЛЬНАЯ СВЯЗЬ МЕЖДУ ВЕРТИКАЛЬНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ КОНЦЕНТРАЦИЕЙ ХЛОРОФИЛЛА А И ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИ АКТИВНОЙ РАДИАЦИИ (ФАР) В МИРОВОМ ОКЕАНЕ

Кубряков А.А., Станичный С.В.

МГИ, г. Севастополь, Россия
arskubr@ya.ru

В настоящей работе на основе глобального массива Био-Арго анализируется особенности вертикального распределения ФАР (PAR) и концентрации хлорофилла-А (Хл) в различных районах Мирового Океана: в Антарктике, Арктике, субтропических тропических и экваториальных широтах, Черном и Средиземном море. Важной особенностей вертикального распределения Хл во всех регионах является наличие подповерхностного максимума Хл. Глубина и ширина этого максимума значительно меняются от 120–200 м в тропиках до 20–40 м в Черном море.

В работе показано, что положение этого максимума напрямую зависит от вертикального распределения ФАР. В вертикальных координатах log(PAR) пространственные изменение распределения Хл значительно ниже, чем в z-координатах. Для всех рассмотренных регионов существуют универсальные значения минимальной, максимальной и оптимальной освещенности для развития Хл. Колебания концентрации Хл в переменных log(PAR) на сезонных и межгодовых масштабах также значительно ниже и определяется, в первую очередь механическими процессами – глубокой конвекцией, оседанием клеток фитопланктона, а также биологическими процессами его выедания. В свою очередь проникновение ФАР во-многом зависит от продуктивности вод, которая определяется доступным количеством биогенных элементов. В высокопродуктивных водах область оптимальных значений ФАР и повышенных значений Хл значительно уже и ближе к поверхности, чем в низкопродуктивных водах, где подповерхностный пик Хл шире и достигает больших глубин.

Анализ связи вертикального распределения Хл и ФАР по данным Био-Арго выполнен в рамках гранта РНФ 19-77-00029, анализ изменчивости глубины и ширины подповерхностного пика выполнен в рамках гранта РФФИ 20-05-00068.

ПРОФИЛИ ОПТИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В ЧЕРНОМ МОРЕ ПО ДАННЫМ ПРЯМЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В 106 РЕЙСЕ НИС «ПРОФЕССОР ВОДЯНИЦКИЙ» ВЕСНОЙ 2019 ГОДА

Кудинов О.Б., Суслин В.В.

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

Ключевые слова: Черное море, профили био-оптических характеристик, окрашенная компонента растворенного органического вещества, рассеяние света под углом 90 град.

С помощью аппаратуры разработанной в отделе оптики и биофизики моря Морского гидрофизического института, в период с 30 апреля по 11 мая 2018 года в 106 рейсе НИС «Профессор Водяницкий», были выполнены одновременные измерения профилей флюоресценции растворенного органического вещества и рассеяния света под углом 90°. Измерения проводились на стандартной сетке станций, охватывающей шельфовую и глубоководную части Черного моря вдоль берегов Крыма и Кавказа. Измерения проводились в зондирующем режиме. На каждой станции в течение 15 минут – с постоянной скоростью, до глубины 90–100 м с использованием мини-лебедки.

Проведенный статистический анализ полученных профилей отдельно для каждого из двух параметров показал, что характер изменчивости совпадает с тем, который был получен ранее при анализе аналогичных измерений, выполненных био-арго буями в Черном море в рассматриваемом интервале времени. Статистический анализ профилей состоял из следующих последовательных шагов: (1) выделение из каждого профиля 14 слоев по 5 м в

глубинах от 0 до 70 м и получение средних значений по всем измерениям в каждом слое, (2) расчет среднего профиля и ковариационной матрицы для всех 58 станций, (3) расчет собственных векторов и собственных значений ковариационной матрицы. В результате анализа собственных значений ковариационной матрицы было показано, что среднее значение профиля и два первых собственных вектора обеспечивают описание 80–90 % их наблюдаемой изменчивости, что совпадает с результатами работы. Для обоих параметров проведено сравнение средних профилей и их первых двух собственных векторов, полученных по измерениям в 106-ом рейсе, с аналогичными характеристиками, полученными по данным измерений профилей био-арго буев. Между сигналом флюоресценции растворенного органического вещества и концентрации окрашенной компоненты органического вещества наблюдается удовлетворительное соответствие. Различия между показателем обратного рассеяния света частицами взвеси (био-арго буи) и рассеянием света на 90 градусов обсуждаются.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2019-0002 (шифр «Оперативная океанология»).

ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ БАЛАНСА МОРСКОГО ЛЬДА СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА НА РУБЕЖЕ XX И XXI ВЕКОВ

Кулаков М.Ю., Фильчук К.В., Фролов И.Е.

ААНИИ, г. Санкт-Петербург, Россия
mod@aari.ru

Ключевые слова: Северный Ледовитый океан (СЛО), морской лед, изменчивость, термодинамическая модель совместной циркуляции вод и льдов.

Площадь морского льда СЛО определяется по наблюдениям с искусственных спутников Земли с большой оперативностью и высокой точностью, но получение надежных значений такого важного индикатора современных климатических изменений, как

толщина льда, представляет значительные трудности и возможно только в отдельные моменты времени в локальных районах СЛО.

Для определения толщины и баланса морского льда в СЛО на термодинамической модели совместной циркуляции вод и льдов *AARI–IOCM* (**A**rctic and **A**ntarctic **R**esearch **I**nstitute – **I**ce and **O**cean **C**irculation **M**odel) был выполнен диагностический расчет ледовых условий в Северном Ледовитом океане для периода с сентября 1979 г. по декабрь 2019 г. Модель адаптирована ко всей акватории Северного Ледовитого океана и прилегающей части Северной Атлантики, с пространственным разрешением 13,8 км. В качестве атмосферного форсинга использовался реанализ ERA-5.

Сопоставление результатов расчетов с доступными данными наблюдений, в том числе специальными наблюдениями ААНИИ за толщиной льда, продемонстрировали, что модель достоверно воспроизводит основные современные особенности сезонной и межгодовой изменчивости ледяного покрова СЛО.

В процессе вычислений были рассчитаны и сохранены для дальнейшего анализа поля основных характеристик ледового покрова СЛО (сплоченность, толщина льда, средняя толщина льда, торосистость). Кроме того, сохранялись поля дрейфа льда, а также поля интегральных величин намерзания и таяния льда.

Объем морского льда является ключевым индикатором климатических изменений. Он интегрирует воздействие как термических (таяние и нарастание льда), так и динамических факторов (адвекция, процессы торошения, наслоения, разрежения) воздействия атмосферы.

Расчеты показали, что основное количество льда образуется на акваториях окраинных морей, а наиболее интенсивное таяние происходит в Северо-Европейском бассейне, где лед, вынесенный через пролив Фрама, попадает на относительно теплую воду Гренландского моря.

Результаты расчетов, в частности, продемонстрировали, что торосистость оказывает весьма существенное влияние на суммарную толщину льда, поэтому очень важно рассмотреть ее изменчивость в современных условиях.

Большую роль в балансе льда СЛО играет дрейф. Расчеты выявили особенности в поле дрейфа способствовавшие снижению ледовитости СЛО в сентябре 2012 г. до абсолютного минимума.

Результаты диагностического расчета ледовых условий в СЛО, в том числе интегральные характеристики по ключевым акваториям и важнейшим проливам, позволили получить важные закономерности баланса льда в СЛО на рубеже XX и XXI веков.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Фонда фундаментальных исследований в рамках проекта 18-05-60048 «Исследование межгодовой изменчивости баланса морского льда Северного Ледовитого океана на рубеже XX и XXI вв.».

ОЦЕНКА МИКРОПАРАМЕТРОВ ВНУТРЕННЕГО И ВЯЗКОГО ТРЕНИЯ ПРИ РАПРОСТРАНЕНИИ ПОПЕРЕЧНОЙ ВОЛНЫ В НЕКОНСОЛИДИРОВАННЫХ МОРСКИХ ОСАДКАХ

Ластовенко О.Р.

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

Ключевые слова: неконсолидированные морские осадки, межгранулярное трение, сдвиговая волна, коэффициент затухания.

В горных породах, грунтах, морских осадках, могут распространяться также и поперечные (сдвиговые) волны. В консолидированных средах типа ракушечников, песчаников, связь между частичками твердой фазы при сдвиговой деформации возникает за счет упругого скелета, в неконсолидированных морских осадках типа песка, ила, глины – за счет сил межгранулярного (внутреннего) трения.

Результаты измерений в сухих горных породах, песках, отмечают линейную частотную зависимость коэффициента затухания (дБ/м) сдвиговой волны. С другой стороны, ряд исследователей обращают внимание на отклонения от линейного закона в водонасыщенных средах. Линейная зависимость коэффициента затухания объясняется внутренним трением между частичками твердой фазы, отклонения от линейности – вязкими потерями при относительном движении поровой жидкости.

Распространение сдвиговой волны можно описать в рамках GSEDs теории. Теория GSEDs является двухфазной и учитывает два вида потерь: внутреннее (межгранулярное) и вязкое трение, возникающее при относительном движении флюида внутри пространства пор. Вязкое трение моделируется как изменение эффективной плотности среды.

Входные параметры GSED теории подразделяются на две категории: параметры микротрения и параметры порового пространства. Параметры микротрения – это сдвиговая межгранулярная жесткость γ_s (Па), и показатель деформационного упрочнения m, характеризующий нелинейность среды. Параметры пространства пор – характерный размер пор (м), и эффективная пористость – доля общего объема пор, в которых возможно движение флюида.

Для восстановления параметров микротрения и порового пространства анализируются результаты измерений фазовой скорости и коэффициента затухания сдвиговой волны, опубликованные в печати.

Показывается, что сухие неконсолидированные среды типа песков подтверждают свойство постоянной добротности. Скорость распространения сдвиговой волны сильно зависит от уплотнения среды (пористости, координационного числа) и от формы гранул. Возможно, шероховатости, сцепляясь друг с другом при сдвиге, могут образовать подобие поперечного консервативного упругого скелета, через посредство которого передается деформация, что и определяет высокую скорость сдвиговой волны. На диссипативные свойства микротрения наличие или отсутствие каркаса не влияет. С другой стороны, каркас перекрывает поперечное сечение пор и препятствует глобальному относительному движению флюида.

Насыщение среды жидкостью приводит к диссипативным эффектам – уменьшает скорость сдвиговой волны и увеличивает затухание. В хорошо уплотненных средах, где образовался скелет, затухание незначительно увеличивается сверх нижнего предела, что подтверждает практическое отсутствие вязких потерь. В рыхлых, слабо уплотненных средах вязкие потери проявляются даже на высоких (20 кГц) частотах.

Делается вывод, что воздействие относительного движения флюида на акустические свойства сдвиговой волны в песчаных осадках следует рассматривать как пограничное явление. В уплотненных, слежавшихся осадках вязкие потери проявляться не будут. В осадках самого верхнего слоя морского дна, возмущенных волнением на поверхности, приливными течениями, судоходством, вязкие потери будут вносить заметный вклад, увеличивая затухание на 20 дБ/м/кГц в частотном диапазоне около 5 кГц, и на 10 дБ/м/кГц на высоких для сдвиговых волн частотах 20 кГц. Соответственно будет снижаться и скорость сдвиговой волны.

ДОЛГОВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ УРОВНЯ БАРЕНЦЕВА МОРЯ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

Лемешко Е.М.

МГИ, г. Севастополь, Россия
evgeny.lemeshko@mhi-ras.ru

Ключевые слова: Баренцево море, уровень, альтиметрия, гравиметрия, тренды.

В данной работе исследуется долговременная изменчивость уровня Баренцева моря по данным спутниковой альтиметрии и гравиметрии.

В последнее время для Арктики достигнут прогресс в обработке альтиметрической информации и повышения ее точности, а запуск спутников Envisat и CryoSat-2 позволил увеличить площадь покрытия в высоких широтах до 880 с. ш. Поэтому использование новых данных альтиметрии как для районов Северного ледовитого океана (СЛО), покрытых льдом, так и для открытой акватории, позволили получить оценки динамической топографии южнее 81,50 с. ш. Использование спутника GRACE и развитие новых методов обработки данных гравиметрии позволили достигнуть прогресса в точности оценивания баристатического

уровня, обусловленного вариациями водных масс СЛО. Были построены карты полей уровня моря и установлено, что баристатический уровень СЛО повышался с 2003 г. по 2014 г., и его вклад в многолетнюю изменчивость уровня океана преобладал (2,1 ± 0,7 см), также отмечена его высокая когерентность между сибирским шельфом и глубоководной частью СЛО. Взаимный анализ данных альтиметрии и гравиметрии позволяет оценить изменчивость стерического уровня Баренцева моря. В Баренцевом и в Карском морях были выявлены особенности в многолетних стерических колебаниях уровня в двух характерных районах Баренцева моря. Сопоставление с данными гидрологических зондирований показало, что повышение стерического уровня обусловлено термической составляющей, тогда как соленостная составляющая имеет обратную тенденцию, что обусловлено увеличением поступления пресных вод в СЛО и согласуется с картой распределения коэффициентов линейного тренда баристатического уровня.

Оценки трендов приповерхностной температуры воздуха (ПТВ) в секторе 60–900 с. ш. за период 1979–2018 гг. по среднемесячным данным ERA-Interim показали, что максимальные положительные тренды ПТВ 0,16–0,18 °С/год выделяются на северо-востоке Баренцева моря, а значения 0,1–0,12 °С/год охватывают почти всю российскую часть Арктики. При этом в самом Баренцевом море в среднем тренд составил около 0,05 °С/год.

Актуальность и прикладная значимость проведенных исследований заключаются в уточнении особенностей изменчивости уровня и водных масс Баренцева моря и факторов, их определяющих, которые в дальнейшем позволят уточнить механизмы обратных связей, влияющих на площадь покрытия океана льдом, его гидрологическую структуру, транспорт пресных вод и режимы циркуляции океана.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-60083.

ОЦЕНКА ТРЕНДОВ УРОВНЯ АРКТИЧЕСКОГО ОКЕАНА ПО ДАННЫМ GRACE И ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ

Лемешко Е.Е.

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

Ключевые слова: GRACE, альтиметрия, баристатический уровень, стерический уровень, тренды уровня, Северный Ледовитый океан.

Изменение уровня Мирового океана является важным индикатором изменчивости климатической системы Земли. Арктика играет значительную роль в климатической системе Земли и понимание особенностей изменчивости уровня Северного Ледовитого океана (СЛО) и его сопоставление с изменчивостью уровня Мирового океана является целью данной работы.

С появлением спутниковой альтиметрии океана с 1992 г. точность оценок среднего уровня Мирового океана существенно увеличилась, а линейный тренд находился в пределах от 3,15 ± 0,20 до 3,3 ± 0,4 мм/год. Современные альтиметрические данные в основном покрывают область океана от 66° с. ш. до 66° ю. ш. Недостаток/отсутствие данных затрудняет изучение изменчивости уровня СЛО. Значительная его часть к тому же постоянно занята ледовым покровом, что также ограничивает использование спутниковой информации и осложняет развитие наблюдательных систем в Арктическом бассейне.

В 2002 г. в рамках проекта Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) был запущен спутник, по данным которого стало возможным рассчитать массу воды в океане, атмосфере и ледниках, а также влагозапас суши. Это позволило оценить баристатическую составляющую уровня Мирового океана. Ее тренд за 2002–2018 гг. находится в пределах от 2,1 ± 0,3 мм/год до 2,13 ± 0,12 мм/год при 68 %-ом доверительном интервале. На основании анализа спутниковых данных GRACE и донного мареографа сделан вывод о репрезентативном представлении баристатиче-

ского уровня СЛО спутниковыми данными. Рассчитаны линейные тренды баристатического уровня СЛО за период 2002–2015 гг. и сопоставлены с оценками линейного тренда уровня Мирового океана и его стерической компоненты.

Линейный тренд среднего уровня СЛО по данным альтиметрии составил 2,22 ± 0,40 мм/год для 95 %-ого доверительного интервала, что меньше тренда среднего уровня Мирового океана, равного 3,0–3,3 мм/год. В СЛО также отмечено увеличение тренда после 2004 г., как и в Мировом океане. Для СЛО данные GRACE сопоставлялись с данными донного мареографа за 2005–2014 гг. в точке с координатами 89.97° с. ш.; 33° з. д. Коэффициент корреляции составил 0,81, а среднеквадратичное отклонение между ними – 3,42 см при 95 %-ом доверительном интервале. За 2005–2014 гг. линейный тренд для данных донного мареографа составил 2,5 ± 1,2 мм/год и 4,8 ± 0,9 мм/год для данных GRACE, а для стерического уровня тренд был отрицательным (–2.3 мм/год). Для СЛО по данным GRACE положительные аномалии баристатического уровня выделены в районе Норвегии и в Восточно-Сибирском море, отрицательные – в районе Гренландии. Эти области согласуются со схемой течений в СЛО и районами поступления пресных вод от таяния ледников Гренландии и стока сибирских рек. В Норвежском море выделен положительный тренд около 1 мм/год, в западной части Баренцева моря тренд нулевой, а в восточной – слабый отрицательный (около –2 мм/год). В море Лаптевых, Восточно-Сибирском и Чукотском морях выделяется положительный тренд 1–5 мм/год, а около Гренландии – значительный отрицательный тренд от –10 до –20 мм/год.

Процессы изменчивости баристатического уровня в Норвежском, Баренцевом и арктических морях России имеют в основном сезонный и внутрисезонный характер. Вклад межгодовой изменчивости составляет менее 20–30 %, при этом в Восточно-Сибирском, Чукотском морях и в море Бофорта вклад межгодовой изменчивости достигает 50 %. Процессы в районе Гренландии характеризуются в основном межгодовой изменчивостью, которая дает 70–90 % вклада в суммарную дисперсию баристатического уровня.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2019-0004 при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-35-90061.

ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦИКЛОНОВ, ВЫЗВАВШИХ ШТОРМОВЫЕ НАГОНЫ В ТАГАНРОГСКОМ ЗАЛИВЕ И ДЕЛЬТЕ ДОНА

Лемешко Е.Е., Полозок А.А., Фомин Вл.Вл.

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

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

За последнее десятилетие самым экстремальным в Азовском море был штормовой нагон 23–25 сентября 2014 г., который принес много разрушений. Поселки и инфраструктура в устье Дона были затоплены. В устье Дона уровень воды поднялся более чем на три метра относительна нуля поста, измеритель уровня при отметке 270 см. вышел из строя. В Таганрогском заливе уровень моря поднялся на 280 см и превысил отметку особо опасного явления 705 см.

Возникла необходимость для задач численного моделирования разработать алгоритм оценки и параметризации характеристик движения циклонов. Для этого был предложен метод расчета треков движения циклонов, основанный на анализе относительной завихренности атмосферных полей ре-анализа ERA-Interim и ERA-5 на уровне 850 гПа. На каждом временном шаге (использовались данные с шагом в 1 час) идентифицировались центры циклонов, выделенные по максимумам относительной завихренности и окруженные замкнутыми контурами изолиний со значениями не менее 3×10^{-5} $с^{-1}$. Далее для каждого циклона выделялась характерная область, для которой определялся минимум приземного атмосферного давления и максимум скорости ветра. Затем по координатам центра этой области строился путь (трек) движения циклона для региона, охватывающего Азово-Черноморский бассейн.

Для фильтрации «шумовых» циклонических образований применялся критерий – величина завихренности более 50×10^{-5} $с^{-1}$ и время жизни циклона более 1 суток. По данному критерию был

выделен трек движения циклона, приведшего к экстремальному штормовому нагону 24.09.2019 в Таганрогском заливе и устье Дона, скорость ветра составила 25 м/с, в порывах до 37 м/с, атмосферное давление в центре составило 990 гПа. Центр циклона 23.09.2014 находился над Крымом, траектория движения была направлена на северо-восток, 24.09.2014 циклон приостановил свое движение в течение 12 часов, что привело к усилению штормового нагона.

За период 2014–2017 гг. были проанализированы поля приземного давления и относительной завихренности на уровне 850 гПа, рассчитаны характеристики циклонов и построены траектории их движения. Результаты систематизированы для задания полей ветра для численного моделирования штормовых нагонов.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2019-0004.

ОЦЕНКА МИКРОПАРАМЕТРОВ ВНУТРЕННЕГО И ВЯЗКОГО ТРЕНИЯ ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ ЗВУКОВОЙ ВОЛНЫ В НЕКОНСОЛИДИРОВАННЫХ МОРСКИХ ОСАДКАХ

Лисютин В.А., Дегтяр А.Д.

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

Ключевые слова: неконсолидированные 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 неконсолидированных осадках могут распространяться упругие волны двух типов: звуковая (продольная), и поперечная. Акустическими характеристиками этих волн являются фазовые скорости, коэффициенты затухания и их частотные зависимости.

Распространение звуковой волны можно описать в рамках GSEC теории. Теория GSEC является двухфазной и учитывает два вида потерь: внутреннее (межгранулярное) и вязкое трение, возникающее при относительном движении флюида внутри пространства пор. Дисперсия скорости звука объясняется увеличением упругости среды на частотах выше переходной вследствие эффекта запирания пор.

Входные параметры GSEC теории подразделяются на две категории: параметры микротрения и параметры порового пространства. Параметры микротрения – это межгранулярная жесткость γ (Па), и показатель деформационного упрочнения n, характеризующий нелинейность среды. Параметры пространства пор – характерный размер пор (м), и эффективная пористость – доля общего объема пор, в которых возможно движение флюида.

Для восстановления параметров микротрения и порового пространства анализируются результаты измерений скорости звука и коэффициента затухания, опубликованные в печати.

Показывается, что величина межгранулярного трения много меньше объемной упругости насыщенной среды. Делается вывод, что основная причина изменчивости скорости звука в морских осадках – это изменчивость пористости, определяющей модуль объемной упругости среды. Межгранулярное трение слабо влияет на скорость звука. Определяющее влияние на коэффициент затухания, наоборот, оказывает величина межгранулярного микротрения вместе с показателем деформационного упрочнения.

Показывается, что морские осадки могут находится в двух состояниях: слабо и сильно уплотненное. Слабоуплотненное состояние характерно для слоя осадков, непосредственно граничащего с водным при его малой глубине. Поверхностное волнение, судоходство, приливы, нарушают покой переходного слоя осадков, и он приобретает дисперсионно-диссипативные свойства суспензии. Суспензионное состояние осадков характеризуется высокой межгранулярной жесткостью вместе с низким показателем деформационного упрочнения. Это практически линейная среда. Уплотненное состояние осадков характеризуется невысокой жесткостью ($\gamma \approx 2{,}36 \cdot 10^7$ Па) при величине показателя деформационного упрочнения $n \approx 0{,}2$. Эффективная пористость $\approx 0{,}14$.

Такие параметры микротрения характерны для многих типов песчано-илистых осадков и характеризуют среду как существенно нелинейную. Дается оценка характерного размера пор: $a = d_e/7{,}35$, где d_e – эквивалентный размер гранул, который может быть вычислен по измерениям статической проницаемости осадков.

Делается вывод о существующей общности микропараметров трения для реальных морских осадков в случае распространения звуковой волны.

МОДЕЛИРОВАНИЕ БИОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЧЕРНОМ МОРЕ НА ОСНОВЕ ОБЪЕДИНЕННОЙ ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ NEMO-BFM

Лишаев П.Н., Кубрякова Е.А., Кубряков А.А., Мизюк А.И.

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

Ключевые слова: Черное море, хлорофилл «а», NEMO, BFM, Био-Арго.

В работе представлены результаты моделирования биохимических процессов на основе объединенной трехмерной модели NEMO-BFM для Черного моря.

Выбранная модель BFM входит в комплекс NEMO, сопряжена с MITgcm и POM, используется в проектах MyOcean, GREENSEAS, GEOCARBON, MEECE, применялась для Средиземного моря и его заливов, Белого и Балтийского морей. Модель позволяет проводить гибкую настройку с включением/отключением отдельных групп параметров, рассчитывать азотный, углеродный и фосфорный циклы.

Трехмерная модель BFM в данной работе была адаптирована для Черного моря и объединена с ранее настроенной гидродинамической моделью NEMO для этого региона. Одной из особенностей Черного моря является наличие субкислородной зоны, для описания которой в модель были включены окислительно-восстановительные реакции с учетом кислорода, нитратов, сероводорода, аммония, растворенного и взвешенного марганца.

Используемая конфигурация включает расчет концентраций диатомовых водорослей и флагеллят, мезо- и микрозоопланктона, бактериопланктона. Рассчитанная сезонная изменчивость значений концентрации хлорофилла «а» была сопоставлена с данными буев Био-Арго. Результаты моделирования позволили воспроизвести осеннее и весеннее цветения фитопланктона, летний подповерхностный пик концентрации хлорофилла «а», наблюдаемый по данным буев Био-Арго. Однако отсутствие в модели одного из доминирующих типов фитопланктона – кокколитофорид – приводит к некоторым различиям в сезонной изменчивости концентрации хлорофилла «а» в летний период.

Настройка трехмерной биогеохимической модели BFM для Черного моря и валидация полученных модельных результатов выполнены при поддержке гос. темы №0555-2019-0002, сопоставление сезонной изменчивости концентрации хлорофилла «а» по данным модели и данным буев Био-Арго выполнено при поддержке гранта РНФ №19-77-00029; исследование сезонной изменчивости фитопланктона выполнено в рамках гранта РНФ №20-17-00167.

СВОЙСТВА ХОЛОДНОГО ПРОМЕЖУТОЧНОГО СЛОЯ РАННЕЙ ВЕСНОЙ В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

Лобчук О.И., Буканова Т.В., Чубаренко И.П.

ИО РАН, г. Москва, Россия
olga_may87@mail.ru

Ключевые слова: холодный промежуточный слой, термохалинная структура, температура, спутниковые снимки, Балтийское море.

Холодный промежуточный слой – отличительная гидрологическая особенность Балтийского моря. Выделение ХПС возможно в конце марта – начале мая, когда сезонный термоклин уже сформировался. Этот период интересен тем, что свойства вод

ХПС еще не подвержены изменениям как гидрологических, так и метеорологических процессов.

В данной работе проанализированы шесть прибрежных экспедиции в юго-восточной части Балтики в 2020 г., проходящих с марта по конец мая. Попутно анализировались спутниковые снимки по температуре поверхности моря радиометров MODIS/Terra, Aqua и SLSTR/Sentinel-3. Предприняты попытки выявить трассеры ХПС в поле водородного показателя pH и окислительно-восстановительного потенциала Eh. Зима 2019–2020 гг. была в регионе очень теплой, что сказалось на результате исследования. Сформировавшийся к концу мая ХПС имел мощность менее 10 м и не был ярко выражен.

Анализ экспедиционных данных выполнен при финансовой поддержке РФФИ (грант № 19-05-00717). База данных о термохалинной структуре Балтийского моря поддерживается в рамках госзадания ИО РАН (тема №0149-2019-0013).

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ АЗОВСКОГО МОРЯ В ПРЕДЗИМНИЙ ПЕРИОД

Магаева А.А. [1, 2]

[1] *ЮНЦ РАН, г. Ростов-на-Дону, Россия*
[2] *ЮФУ, г. Ростов-на-Дону, Россия*
a.magaeva@mail.ru

Ключевые слова: Азовское море, предзимний период, температура воздуха, температура воды.

Исследование посвящено оценке гидрометеорологических условий Азовского моря в предзимний период (октябрь-декабрь) и их влияние на сроки образования и разрушения льда. По мнению Дрогайцева Д.А., сезон предзимья является ключевым, так как «именно в этом сезоне зарождаются существенные гидрометеорологические особенности наступающего за ним года».

Выполнен анализ аномалий температуры воздуха и воды на прибрежных пунктах наблюдений Азовского моря (Таганрог,

Мариуполь, Приморско-Ахтарск, Геническ) за период 1965–2015 гг. Во всех пунктах наблюдается рост аномалий температуры воздуха и воды. Минимумы отрицательных аномалий приходятся на период 1985–1994 гг. (например, –1,6 °С $t_{вздх}$ и –2,6 °С $t_{воды}$ в пункте Таганрог), характеризующийся ранним ледообразованием. Далее наблюдается рост положительных аномалий температуры воздуха и воды. Их максимум за рассматриваемый период приходится на 2005–2014 гг., характеризующийся непродолжительным ледовым сезоном.

Следующим этапом исследования будет анализ ветро-волнового режима Азовского моря в предзимье.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №19-35-90131.

ЗАСУШЛИВЫЕ ПЕРИОДЫ ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА

Майборода С.А., Казаков С.И., Симонова Ю.В., Метик-Диюнова В.В.

МГИ, г. Севастополь, Россия
sergey.mayboroda.72@mail.ru

Ключевые слова: бездождевые периоды, коэффициент увлажнения, коэффициент испаряемости, температура воздуха.

Величина и характер распределения атмосферных осадков на Южном берегу Крыма определяются рядом факторов, главными из которых являются особенности циркуляции атмосферы, рельеф местности, характер подстилающей поверхности. Наблюдения за количеством выпадающих осадков производятся в условиях горного рельефа на стыке моря и суши.

К засушливым явлениям относят длительное бездождие, высокую температуру и низкую влажность воздуха, суховеи, атмосферную и почвенную засуху. За бездождевой период здесь принят интервал времени, в котором в течение десяти и более дней не наблюдаются осадки или их количество не превышает 1 мм.

Следует отметить, что за исследуемый период 1984–2019 гг. по наблюдениям в Черноморском гидрофизическом подспутниковом полигоне, на агрометеостанции Никитский сад, метеостанции Ай-Петри при росте температуры воздуха наблюдается увеличение количества и продолжительности периодов без атмосферных осадков. При этом количество дней с осадками более 30 мм уменьшается как в теплые, так и в холодные периоды. Среднее многолетнее значение коэффициента увлажнения (КУВ) в Кацивели составляет 0,61. В соответствии с классификацией Иванова Н.Н. этот район можно отнести к лесостепи (минимальное значение 0,34 – сухая степь, максимальное 1,08 – лесная зона). По величине КУВ (среднее значение 0,84) Никитский сад также можно отнести к лесостепи. Значения КУВ в Никите варьируют от 0,48 (сухая степь) до 1,43 (лесная зона). Среднее многолетнее значение коэффициента испаряемости (КИС) в Кацивели равно 1,76, он изменяется от 0,9 до 2,9. В Никитском саду среднее значение КИС равно 1,26 с колебаниями от 0,7 до 2,1. Повышение средней температуры воздуха влияет на частоту возникновения влажных и засушливых периодов. С потеплением климата засухи в среднем наблюдаются чаще. Большая часть осадков может испаряться, не достигая поверхности земли. Более теплый воздух может иссушать почву сильнее. Рост среднегодовых температур влияет на периодичность засухи. Температура и влажность воздуха оказались разнонаправленными, но взаимозависимыми. Динамика увеличения годовых значений температуры воздуха превышает рост показателей относительной влажности воздуха.

Периоды с максимальным и минимальным количеством (более 10 дней) без осадков повторяются через 3–4 года и имеют продолжительность от 1 года до 3 лет. Повторяемость минимальных годовых сумм осадков составляет около 5 лет. В течение года может наблюдаться значительное количество периодов более 10 дней без осадков, несмотря на обильные осадки осенью, зимой и сильные ливни в летний период, когда количество годовых осадков превышает норму, например, в 1988, 2002, 2007, 2009 гг.

Отмечены увеличение величины годовой испаряемости, рост коэффициента испаряемости и снижение значений коэффициента увлажнения. Наиболее засушливые годы в западной части ЮБК (менее 400 мм) наблюдались в Кацивели в 1984, 1991, 1993, 1994,

2000, 2008, 2012, 2019 гг. В целом в теплое время года с мая по октябрь засушливых периодов больше, чем в холодные периоды с ноября по апрель. В отдельные годы в Кацивели (1989, 1997, 2002 гг.) и Никите (1989, 1993, 1997, 2002, 2004, 2008 гг.) наблюдалось преобладание засушливых периодов продолжительностью более 10 дней без осадков (менее 1 мм) в холодное время года. С конца 90-х гг. прошлого столетия количество атмосферных осадков имеет тенденцию к уменьшению.

Работа выполнена в рамках научной темы ФГБУН ФИЦ МГИ 2020 г. государственного задания № 0827-2019-0004.

МОДЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭМИССИИ МЕТАНА В АТМОСФЕРУ НА ШЕЛЬФЕ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ

Малахова В.В.

ИВМИГ СО РАН, г. Новосибирск, Россия
malax@sscc.ru

Ключевые слова: субаквальная мерзлота, арктический шельф, потоки метана, окисление метана.

Климатические изменения в высоких широтах Северного полушария приводят к росту температуры придонного слоя воды мелководных шельфов, что влияет на устойчивость субаквальных газовых гидратов, залегающих вблизи поверхности морского дна. Данные измерений показывают усиление эмиссии метана в атмосферу арктического региона, что может происходить в результате высвобождения газа из газогидратов. Предполагается также, что оттаивание подводной мерзлоты на арктическом шельфе способствует росту потока метана в атмосферу. Оценки эмиссий метана с шельфа морей Северного Ледовитого океана (СЛО), особенно в зимний период года изучены недостаточно и характеризуются высокой неопределенностью.

В данной работе исследуется возможное увеличение выброса метана из донных отложений в СЛО, как следствие разрушения многолетнемерзлых пород. Проведено численное моделирование

переноса растворенного метана в морях Арктики и получены оценки потока метана в атмосферу.

Модель переноса растворенного метана непосредственно включена в базовую модель океана и морского льда SibCIOM, разработанную в ИВМиМГ СО РАН. Для описания переноса растворенного газа в численную модель включен дополнительный блок, где метан рассматривается в виде пассивной примеси, поступающей с нижней границы моря. На верхней границе океанической области рассчитывается поток метана в атмосферу как функция разницы его концентрации в поверхностном слое воды и равновесной с атмосферой концентрации метана, скорости ветра из данных реанализа NCEP/NCAR и числа Шмидта. Поток метана в атмосферу рассчитывается в зависимости от концентрации льда в ячейке океанической области. Окисление метана в водном столбе способствует значительному понижению его концентраций. Для параметризации процессов окисления использовалось эмпирическое соотношение, определяющее зависимость времени существования газа в воде от его концентрации.

На основе сценарных расчетов проведен модельный анализ эмиссии метана в атмосферу при задании источников газа на границе раздела «океан-дно». Оценки потоков метана выполнены при использовании различных соотношений для параметризации процесса газообмена в системе «вода-атмосфера» и «вода – лед – атмосфера».

Сравнение результатов моделирования с данными наблюдений подтверждает высокую изменчивость и неоднородность потоков метана на арктическом шельфе. Рассчитанные потоки CH_4 из морей восточной Арктики превышают эмиссии метана из других шельфовых морей, и согласуются с имеющимися данными наблюдений для летнего периода. Суммарное значение величин рассчитанного потока метана на шельфе морей СЛО составило 0,5–1,6 Тг в год.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 20-05-00241).

ИЗГИБНО-ГРАВИТАЦИОННЫН ВОЛНЫ В МОРЕ С ЛЕДЯНЫМ ПОКРОВОМ

Маленко Ж.В. [2], **Ярошенко А.А.** [1,2]

[1] *СевГУ, г. Севастополь, Россия*
[2] *КФ ГМУ, г. Севастополь, Россия*
yaroshenko.575@yandex.ru

Ключевые слова: изгибно-гравитационные волны, упругая пластина, ледяной покров, однородная жидкость, движущаяся нагрузка.

При решении технических задач, ледяной покров можно рассматривать как тонкую упругую изотропную пластину постоянной толщины, лежащую на упругом основании. При температурах от –3 °С и ниже лед ведет себя как вполне упругое тело, подчиняясь закону Гука. Если необходимо учесть вязкоупругие свойства льда, то используют модели Максвелла или Кельвина – Фойгта.

В работе ледяной покров моделируется тонкой упругой изотропной пластиной, плавающей на поверхности идеальной, несжимаемой жидкости глубины H. Задача сводится к решению уравнения Лапласа с граничными условиями. Граничное условие на поверхности – уравнение колебаний ледяной пластины с учетом гидродинамических давлений на нижнюю поверхность льда.

Сплошной ледяной покров вносит значительные изменения в характеристики поверхностных волновых движений. Поверхностные волны в сплошном ледяном покрове представляют собой комбинацию изгибной волны в ледяной пластине и гравитационной волны в воде. В бассейне конечной глубины скорость гравитационной волны ограничена величиной $(gH)^{1/2}$, как для чистой воды, так и для воды, покрытой ледяным покровом.

При движении по ледяному покрову судна на воздушной подушке (СВП) развивается система изгибно-гравитационных

волн. При некоторой скорости движения нагрузки наступает резонанс. Во многих работах этой скоростью считают минимальное значение фазовой скорости изгибно-гравитационной волны. В настоящей работе показано, что этой скоростью является скорость v_1, которая заключена между минимальным значением фазовой скорости v_0 и скорости $(gH)^{1/2}$ ($v_0 < v_1 < (gH)^{1/2}$). При увеличении толщины ледяного покрова увеличиваются и значения критических скоростей v_0 и v_1.

Возможны четыре диапазона скорости перемещения области возмущений. При движении нагрузки со скоростью меньшей скорости v_0 наблюдается статический прогиб. При скоростях $v_0<v<v_1$ волны распространяются как впереди нагрузки, так и за ней. Волны, бегущие впереди источника, обладают меньшей длиной волны, чем волны, образованные за источником возмущений. Волны, бегущие впереди источника, обусловлены упругими силами пластинки. Волны, бегущие за источником, имеют характер гравитационной волны, деформированной за счет упругих сил ледяной пластины. При скоростях $v_1<v<(gH)^{1/2}$ образуется три системы волн – упругая, распространяющаяся впереди источника, и две волны, которые образуются за источником – продольная и поперечная волны, которые носят характер корабельных волн на чистой воде. При $v> (gH)^{1/2}$ образуется две системы волн – упругие впереди источника и продольные за источником.

В результате проведенных расчетов полечено, что упругие волны имеют большую амплитуду колебаний, чем продольные и поперечные волны. Амплитуда волны, распространяющейся перед источником меньше амплитуды волны за источником. При увеличении толщины пластины амплитуда упругой волны уменьшается. При движении с критическими скоростями v_0 и v_1 амплитуда упругой волны будет максимальной. При скоростях движения близких v_0 амплитуда упругой волны максимальна по трассе движения источника. При приближении к критической скорости v_1 амплитуда волны за источником увеличивается, и она максимальна вдоль некоторого луча.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕЙШЕВЫХ КОЛЕБАНИЙ В СИСТЕМЕ СЕВАСТОПОЛЬСКИХ БУХТ

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

МГИ, г. Севастополь, Россия
uvmsev@yandex.ru

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

Сейши являются одним из наиболее распространенных явлений в бухтах. Они могут быть причиной такого опасного явления, как тягун. Для прогнозирования тягуна необходимо знать условия возникновения сейшевых колебаний в конкретных бухтах. Одной из причин, вызывающих сейши, являются волновые возмущения, приходящие из открытого моря. 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. В системах связанных бухт, к которым относится и система севастопольских бухт, происходит взаимодействие бухт друг с другом, которое выражается в перекачке энергии колебаний из одной бухты в другую.

Данных наблюдений за сейшами в севастопольских бухтах практически нет. Поэтому, математическое моделирование на данный момент является единственным доступным инструментом для изучения данного явления. В работе с использованием численной модели ADCIRC исследуется отклик системы севастопольских бухт на возмущения, приходящие из открытого моря, вызванные колебаниями жидкой границы расчетной области. Численные эксперименты выполнялось для трех интервалов периодов возмущений, перекрывающих диапазон собственных периодов Севастопольских бухт: ΔT_1 = 30–52 мин, ΔT_2 = 8–30 мин, ΔT_3 =1–15 мин. Диапазоны ΔT_1, ΔT_2 содержат высокочастотные моды сейш Черного моря и возмущения, вызванные перемещением циклонов над акваторией моря, волнами цунами, диапазон

ΔT_3 – инфраграви тационные волны и возмущения, вызванные колебаниями атмосферного давления.

В результате анализа результатов расчетов найдены условия генерации различных мод сейш для следующих Севастопольских бухт: Севастопольская, Карантинная, Стрелецкая, Круглая, Камышовая, Казачья. Также выявлены условия возникновения колебаний уровня наибольшей амплитуды.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-45-920059.

ОСОБЕННОСТИ ГЛУБОКОВОДНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ ЧЕРНОГО МОРЯ НА ОСНОВЕ МУЛЬТИМОДЕЛЬНЫХ РАСЧЕТОВ

Маркова Н.В. [1], Демышев С.Г. [1], Дымова О.А. [1], Коршенко Е.А. [2], Сендеров М.В. [1], Ушаков К.В. [3]

[1] МГИ, г. Севастополь, Россия;
[2] ИО РАН, г. Москва, Россия;
[3] ГОИН, г. Москва, Россия
n.v.markova@mail.ru

Ключевые слова: Черное море, мультимодельное моделирование, глубоководные течения, ARGO.

В работе проводится сопоставление результатов численных экспериментов по воспроизведению динамики Черного моря на основе 4 современных численных моделей: МГИ, NEMO, ИВМИО (z-координатные) и INMOM (σ-модель) и данных глубоководных натурных наблюдений (ARGO, «Аквалог»). Акцент ставится на исследовании течений под постоянным пикноклином, на глубинах более 300 м, в наименее изученной и труднодоступной для наблюдений части Черного моря.

Рассматриваются результаты модельных расчетов трехмерных гидрофизических полей для периода 1 января – 31 декабря 2011 г. Проводится сравнение полученных по всем 4 моделям температуры и солености с данными глубоководных измерений,

выполненными в указанный период автономными буями-профилемерами ARGO, глубина профилирования которых составляла не менее 500 м. При исследовании течений в районе северокавказского побережья для сопоставления с модельными результатами также используются данные вертикального профилирования скорости течений до глубины ~1000 м, полученные в июне 2011 г. с помощью зондирующего комплекса «Аквалог» Островским А.Г. с соавторами.

Показано, что каждая из численных моделей реалистично воспроизводит циклоническую циркуляцию в верхнем слое моря. Динамические характеристики близки по результатам всех 4 экспериментов. В то же время, отмечены некоторые отличия в воспроизведении полей температуры в верхнем слое моря вследствие использования разных параметризаций вертикального турбулентного перемешивания. В результатах всех численных экспериментов наблюдается весенне-летний прогрев вод верхнего слоя, формируется холодный промежуточный слой (ХПС, T≤8 °C) располагающийся на глубинах от 40 до 100 м, при этом его толщина и целостность по разным расчетам различны. Наименьшее среднеквадратическое отклонение между модельной и измеренной с помощью буев ARGO температурой в слое 30–100 м установлено по данным модели МГИ. Прогрев приповерхностных слоев по данным моделей МГИ и INMOM происходит меньший, чем по данным NEMO и ИВМ-ИО. В результате выхолаживания и интенсивного вертикального перемешивания зимой ХПС практически исчезает, что показано во всех четырех расчетах. В зимний сезон в верхнем перемешанном слое наибольшая температура по данным моделей МГИ и NEMO достигает 10–11°C, тогда как по результатам INMOM и ИВМ-ИО эта величина составляет до 12–13 °C.

Определены особенности течений Черного моря под основным пикноклином. Летом над северо-восточной частью материкового склона обнаружено формирование глубоководных течений антициклонической направленности (противотечений), что соответствует данным натурных наблюдений скорости в июне 2011 г. с помощью «Аквалога». При совпадении качественной картины глубоководных течений, воспроизводимой каждой из моделей у северокавказского побережья, существуют различия в

абсолютной величине рассчитанной скорости, которая в указанном районе варьировала пределах от 0,5 до 8 см/с, и в среднем составляла 1–3 см/с, что соответствует имеющимся данным наблюдений.

Численные эксперименты по расчету динамики Черного моря выполнены при поддержке гранта РФФИ (проект № 18-05-00353 А), обработка данных наблюдений проведена в рамках темы госзадания 0827-2019-0002.

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ НА СТАЦИОНАРНОЙ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЕ В ГОЛУБОМ ЗАЛИВЕ В 2011–2020 ГГ.

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

МГИ, г. Севастополь, Россия
maryushkin.y@yandex.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 следующих параметров: высоты волн, скорости и направления ветра, температуры воздуха и моря, атмосферного давления, относительной влажности; с помощью разработанного в МГИ комплекса сбора гидрометеорологических данных (КСГД). Было установлено оборудование для гидрометеорологического мониторинга. 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 метр 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 2011–2020 гг. было получено более 320 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 10 лет, было получено, что наименьшие среднемесячные скорости ветра были в августе (4,6 м/с), а наибольшие – в декабре (7 м/с). В тоже 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 1,2 % всех случаев. Доминирующими были слабые ветра (0,1–5 м/с) на них выпадает 47 % всех ветров. Умеренные ветра (5–10 м/с) регистрировались в 31% ситуаций. На сильные ветра (10–15 м/с) приходилось 15,1 %. 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 В направления, реже были регистрировались ветра СВ (18 %), З (17 %), С (12 %). Ветра ЮЗ и СЗ румбов наблюдались в 11 % и 6 % случаев соответственно. Реже всего встречались ветра ЮВ (3 %) и Ю (2 %) направлений. В группе слабых ветров наиболее часто (повторяемость примерно по 18 %) имели место ветра С, СВ, В направлений. В умеренных и сильных ветрах доминируют В (30–37 %), З (19–24 %) и СВ (19–20 %) направления, Ю и ЮВ румбы практически не были зарегистрированы (менее 1 %). Крепкий и штормовой ветер в районе СОП 38 % всех случаев был В направления, несколько реже (21 %) – СВ. Крепкий ветер Ю и ЮВ почти не наблюдался (менее 0,1 %). Ветра более 25 м/с были только В (60 %), СВ (25 %), СЗ (13 %) и С (2 %) направлений.

Получено, что слабое волнение (Hs = 0,1–0,5 м) чаще всего наблюдалось в летние месяцы (74 %), легкое волнение (Hs = 0,5–1,25 м) доминирует в зимние месяцы, повторяемость данного типа волнения составляет более 50–63 %, повторяемость умеренного волнения (Hs = 1,25–2,5 м) составляет примерно 6 %, бурное

волнение (Hs = 2,5–4 м) было зарегистрировано только в январе и феврале (0,1 и 0,4 %). Максимальная высота волны, измеренная на СОП в 2011–2020 гг., составляла 6,4 м (декабрь).

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-80028 и тем Государственного Задания № 0827-2019-0001, № 0827-2019-0004.

АНАЛИЗ МНОГОЛЕТНИХ СЕЗОННЫХ ТРЕНДОВ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В РАЙОНЕ ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА

Метик-Диюнова В.В., Казаков С.И., Майборода С.А.

МГИ, г. Севастополь, Россия
margodiu1@rambler.ru

Ключевые слова: Южный берег Крыма (ЮБК), приземная температура воздуха, линейный тренд, климатические изменения, региональное изменение климата.

По данным многолетних гидрометеорологических наблюдений, полученных в Черноморском гидрофизическом подспутниковом полигоне, расположенном на Южном берегу Крыма в п. Кацивели, проведен анализ многолетних сезонных трендов приземной температуры воздуха (ПТВ) за период 1961–2018 гг. Приземная температура воздуха является одним из основных метеорологических элементов, наиболее часто используемых для анализа изменения климата, как в глобальном масштабе, так и на региональном уровне. Наличие непрерывных продолжительных рядов наблюдений дает возможность объективно проанализировать колебания климата, происшедшие за последние годы.

Многолетний ход ПТВ с 1961 по 2018 гг. в исследуемом районе отображает постепенный квазипериодический рост среднегодовых значений с максимумами в 2010 г. и 2018 г. (17,6 °С). Характеристика линейного тренда составила 0,05 °С/год при статистической значимости коэффициента регрессии по критерию

Стьюдента 0,9. Наиболее точно динамику изменчивости среднегодовых температур отображает полиномиальный тренд 6-й степени при наибольшей величине достоверности аппроксимации (72 %). Долговременная изменчивость температуры воздуха характеризуется следующими особенностями. С 1961 г. по начало 90-х гг. тенденции повышения температуры визуально не наблюдается, что подтверждено последующим анализом двух периодов по отдельности. Для периода 1961–1990 гг. значимый тренд отсутствует, в последующем периоде 1991–2018 гг. характеристика линейного положительного тренда составила 0,12 С/год.

Полученные оценки показывают различный уровень статистической значимости трендов изменчивости среднегодовых температур в разных временных интервалах. Более интенсивный рост ПТВ в последние годы чаще всего связывают с глобальным потеплением климата на фоне парникового эффекта. Проведена оценка климатических изменений температуры воздуха для сезонов и каждого месяца года в отдельности, определены коэффициенты линейных трендов для максимальных, средних и минимальных среднемесячных значений ПТВ. Наибольшие коэффициенты наблюдаются в летние месяцы (0,08–0,1 ºС/год), в зимние месяцы коэффициенты минимальны (0,02–0,03 ºС/год) либо тренд отсутствует. Для сезонных трендов наибольшие темпы роста температуры воздуха наблюдаются в летний период (0,09 °С/год), наименьшие в зимний (0,02 °С/год). Вклад тренда в суммарную дисперсию колебаний среднегодовых температур составил 51 %, для летнего сезона – 64 %, что говорит весомом вкладе трендовой составляющей в изменчивость годовых и летних значений температуры воздуха. В остальных сезонах доля трендовой составляющей изменяется от 1 % зимой до 40 % весной и осенью.

Наличие значимых линейных трендов свидетельствует о постепенном повышении среднегодовой и сезонной температуры приземного воздуха за последние десятилетия. Отмечена тенденция повышения минимальных среднесуточных температур холодных месяцев года и сокращение диапазона их внутримесячной изменчивости, что также может быть проявлением глобального потепления климата.

Работа выполнена в рамках научной темы ФГБУН ФИЦ МГИ 2020 г. государственного задания 0827-2019-0004.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕГИДРОСТАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ SWASH ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭВОЛЮЦИОННОЙ ДИНАМИКИ ПОВЕРХНОСТНОГО ВОЛНЕНИЯ В МОДЕЛЬНОМ БАССЕЙНЕ С ПЕРЕМЕННОЙ ТОПОГРАФИЕЙ ДНА

Михайличенко С.Ю. [1], Куранов Д.Ю. [2]

[1] МГИ, г. Севастополь, Россия
[2] СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия
liham1984@rambler.ru

Ключевые слова: поверхностное волнение, нерегулярное волнение, солитон, спектр JONSWAP, подводные волноломы, уклон дна, коэффициент шероховатости дна, модельный бассейн, коэффициент трансформации, модель SWASH.

В работе с использованием негидростатической модели SWASH исследовалась трансформация различных типов поверхностных волн при их распространении в модельном бассейне с переменной топографией дна. Под переменной топографией дна рассматривалась как вариация глубины и уклона дна модельного бассейна, так и коэффициентов шероховатости донной поверхности, а также наличие в расчетной области подводных берегозащитных сооружений варьируемой геометрии. Волноломы задавались в расчетах как элементы рельефа дна. Исследовалась эволюционная динамика поверхностных волн трех типов: с профилем в виде синусоиды, с профилем в виде солитона и нерегулярное волнение. Нерегулярное волнение задавалось с помощью спектра JONSWAP. Оценка влияния всех вышеперечисленных факторов на трансформацию поверхностных волн проводилась путем расчета коэффициентов трансформации.

В работе проведено пятнадцать численных экспериментов. Рассматривалось по три значения каждого из исследуемых параметров (глубина, уклон дна, шероховатость дна, ширина и высота волнолома). Также был проведен комбинированный эксперимент с учетом суммарного влияния всех перечисленных параметров на характер эволюции поверхностных волн. Численные расчеты показали, что варьирование исследуемых параметров в широких

пределах может приводить к существенному ослаблению поверхностного волнения, вплоть до их полного разрушения. При этом наибольшее влияние на ослабление волн оказывает вариация глубины бассейна и высоты берегозащитного сооружения. Максимальное ослабление поверхностных волн (K_{tr}=0,001–0,05) наблюдалось в случае комбинации ряда факторов – уклона дна, расположения берегозащитных сооружений в районе перепада глубин и больших величин коэффициентов шероховатости донной поверхности за препятствием. Результаты экспериментов показали слабую зависимость высот проходящих волн от ширины подводного препятствия. Наибольшему ослаблению во всех рассмотренных случаях подвергается нерегулярное волнение, которое в случае комбинированного эксперимента полностью диссипировало (K_{tr}=0,001–0,002). Влияние рассмотренных параметров на распространение и трансформацию уединенных волн (солитонов) оказалось минимальным (K_{tr}=0,70–0,95).

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2019-0004 при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-45-920059.

НАБЛЮДЕНИЯ КОРОТКОПЕРИОДНЫХ ВНУТРЕННИХ ВОЛН В ПРОЛИВЕ ФРАМА ПО ДАННЫМ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ СПУТНИКОВЫХ РСА ИЗМЕРЕНИЙ

Михайличенко Т.В., Козлов И.Е.

МГИ, г. Севастополь, Россия
FSBSI.MHI.Tamara@yandex.ru

Ключевые слова: короткопериодные внутренние волны, спутниковая радиолокация морской поверхности, фазовая скорость внутренних волн, Северный Ледовитый океан.

Измерения спутниковых радиолокаторов с синтезированной апертурой(РСА) являются одним из основных источников данных о районах генерации и характеристиках океанских внутрен-

них волн. Интенсивные внутренние волны способствуют перемешиванию вод, обогащают их кислородом и питательными веществами. В силу всепогодности и высокого пространственного разрешения измерения спутниковых РСА Sentinel-1 A/B продемонстрировали свою эффективность для изучения короткопериодных внутренних волн на акватории арктических морей.

В настоящей работе представлены результаты анализа поля короткопериодных внутренних волн в районе пролива Фрама и в окрестности архипелага Шпицберген, полученные в ходе обработки массива спутниковых изображений SAR-C Sentinel-1 за летне-осенний период 2018г. Всего было рассмотрено 1 200 радиолокационных изображений за 2018 года. Выделены основные районы наблюдения КВВ и построена карта пространственных характеристик внутренних волн. Основная часть внутренних волн зарегистрирована в августе (~65 %), сентябрь (~20 %). Около 60 % всех волн обнаружены над глубоководной частью моря с глубинами более 500 м. Ключевые районы наблюдения внутренних волн расположены над континентальным склоном к северо-западу от арх. Шпицберген, на Плато Ермак, над склоном шельфа восточной Гренландии Внутренние волны наблюдались в виде пакетов уединенных волн при средней ширине пакета около 1,5 км. Средняя длина волны в пакетах КВВ составила 0,9 км, максимальное значение – 3,5 км. Среднее наблюдаемое значение длины фронта и площади пакетов КВВ составили 17 км и 40 км² соответственно, но для самых крупных пакетов значения этих параметров достигают 93 км и 250 км². Преобладающим направлением распространения внутренних волн на акватории является северо-восточное. По последовательным изображениям полярно-орбитальных спутников Sentinel-1 A/B были рассчитаны и оценены фазовые скорости распространения короткопериодных внутренних волн.

Анализ и сопоставление результатов спутниковых наблюдений и контактных измерений, доступных из литературы, показал, что ВВ, наблюдаемые вблизи плато Ермак, могут представлять собой интенсивные внутренние волны больших амплитуд и играть важную роль в перемешивании и переносе тепла над континентальным склоном. Данные Sentinel-1 A/B за 17 августа 2018 г.

к северу от арх. Шпицберген, позволили зарегистрировать ВВ рекордных амплитуд с высотой колебаний до 40–50 м. Спутниковые РСА наблюдения ВВ могут играть ключевую роль по определению очагов интенсивного перемешивания и вертикального переноса тепла в Арктике.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РНФ № 18-77-00082.

СМЕЩЕНИЕ СРОКОВ НАЧАЛА ЛЕДООБРАЗОВАНИЯ В НАЧАЛЕ XXI СТОЛЕТИЯ В АРКТИЧЕСКОЙ ШЕЛЬФОВОЙ ЗОНЕ РОССИИ ПО ДАННЫМ ПОЛЯРНЫХ СТАНЦИЙ

Мищенко А.В., Егоров А.Г.

ААНИИ, г. Санкт-Петербург, Россия
mishchenko@aari.ru

Ключевые слова: ледяной покров арктических морей России, многолетняя изменчивость ледовых условий, срок устойчивого ледообразования, позднее ледообразование.

Ледообразование является важным элементом ледового режима арктических акваторий. Осеннее ледообразование не только определяет сроки окончания летней навигации и начала зимней навигации, но и служит объективным индикатором многолетних изменений, происходящих с ледяным покровом в Арктике.

В течение последних двух десятилетий в Арктическом регионе происходят кардинальные изменения природной среды, которые охватывают, в том числе, и состояние ледяного покрова. Применительно к осеннему сезону наиболее важная ледовая трансформация относится к общему временному смещению сроков устойчивого ледообразования в позднюю сторону. Однако более подробные региональные и локальные особенности аномалий позднего ледообразования в арктических морях России до сих пор остаются недостаточно исследованы.

По данным наблюдений за 1981–2019 гг., проведен анализ сроков устойчивого ледообразования в восточных морях Российской Арктики на основании данных наблюдений на полярных станциях. Выбраны наиболее репрезентативные пункты наблюдений, объективно характеризующие режим образования осенних льдов: мыс Челюскин, бухта Тикси, о-в Котельный, мыс Валькаркай, о-в Врангеля, мыс Ванкарем.

Установлено, что анализируемый ряд наблюдений состоит из двух заметно различающихся частей; ледообразование в XX столетии (точнее, в 1981–2002 гг.) стало происходить заметно позже, чем в XXI-ом столетии (в 2003–2019 гг.).

Начиная с 2003 г., наблюдается новый многолетний период аномально позднего появления льдов осеннего образования. Область очень позднего ледообразования впервые появилась в Чукотском море в 2003 г. и затем постепенно смещалась с востока на запад до акватории моря Лаптевых в 2009 г.

Следует учитывать, что данные наблюдений на полярных станциях характеризуют ледовый режим прибрежных (приматериковых и приостровных) акваторий, которые располагаются вблизи берега и локализованы на мелководье и недостаточно репрезентативны для удаленных от берега более глубоководных акваторий.

Многолетняя изменчивость сроков устойчивого ледообразования показывает, что в XXI в. наблюдается новое ледовое явление, которое ранее (в XX в.) не наблюдалось: каждый год, начиная с 2003-го, происходит устойчивое аномально позднее ледообразование в осенний период.

Переход от режима ледообразования XX в. к режиму XXI в. произошел в течение ограниченного по продолжительности, относительно короткого временного интервала. Переход начался в 2003 г., завершился в 2007 г. и продолжался около 5 лет.

ХОЛОДНЫЙ ПРОМЕЖУТОЧНЫЙ СЛОЙ ЧЕРНОГО МОРЯ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПО ДАННЫМ ЭКСПЕДИЦИЙ 2016–2019 ГГ.

Морозов А.Н., Маньковская Е.В.

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

Ключевые слова: CTD, ADCP, граница холодного промежуточного слоя, температура ядра холодного промежуточного слоя, вертикальное перемешивание.

Холодный промежуточный слой (ХПС) является наиболее известной особенностью вертикальной термохалинной структуры вод Черного моря. Анализ климатических изменений температуры ядра ХПС показывает ее возрастание после 1992 г. Современные исследования, основанные как на данных натурных измерений, так и на результатах численных экспериментов, также показывают значительное потепление ядра ХПС, что приводит к необходимости выбора новых критериев границ слоя. Классическое определение границ слоя по изотерме 8 °С в последнее десятилетие встречается редко, и исследователи вынуждены предлагать новые значения отсчетной температуры.

В работе представлены и обсуждаются осредненные характеристики холодного промежуточного слоя, полученные на основе предварительного анализа материалов двенадцати экспедиций Морского гидрофизического института РАН, выполненных в северном – северо-восточном районах Черного моря в 2016–2019 гг. Использованы данные CTD-измерений и измерений профилей скорости течений, полученные в экспедициях.

Приведенный материал показывает, что классическая граница ХПС, составляющая 8 °С, наблюдается только в экспедициях 2017 г., в котором произошло обновление вод ХПС. После холодной зимы 2016–2017 гг. повышение температуры в ядре ХПС происходит почти по экспоненциальному закону. Время релаксации экспоненциального восстановления температуры ядра слоя составляет один год.

Минимум средней (по изопикнам) температуры наблюдается при значении потенциальной плотности 14,5–14,6 кг/м^3 и в окрестности локального минимума частоты плавучести между сезонным термоклином и основным халоклином.

Возмущение вертикальной термической структуры, вызванное холодной зимой 2016–2017 гг., прослеживается до глубины залегания изопикны со значением потенциальной плотности 15,7 кг/м^3. При значении потенциальной плотности 16 кг/м^3 межгодовая изменчивость не наблюдается ни в профилях температуры, ни в профилях частоты плавучести. Косвенная оценка по данным 2017 г. коэффициента вертикальной турбулентной диффузии в ядре ХПС составила $K_V = 6 \cdot 10^{-6}$ м$^2 \cdot$с$^{-1}$.

Если принять в качестве границы ХПС значение температуры 8,6 °С, то можно отметить, что ежегодно нижняя граница слоя поднимается на ~10 м.

Работа выполнена в рамках государственного задания по темам № 0827-2019-0002 и № 0827-2019-0004.

ВОДНЫЕ МАССЫ БАРЕНЦЕВА МОРЯ И ИХ СОСТОЯНИЕ В УСЛОВИЯХ МЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА

Мухаметов С.С., Архипкин В.С.

МГУ, г. Москва, Россия
puffin@bk.ru

Ключевые слова: Баренцево море, водные массы, T,S-диаграмма.

Данная работа посвящена межгодовой изменчивости термохалинных характеристик арктических морей, в связи с повышенным сегодняшним интересом к Арктике, где наиболее быстрые процессы изменения климата требуют многостороннего анализа данных в этом регионе. Сегодня по Арктике собрано большое количество данных, но их распределение очень неравномерно. Одна из самых наиболее изученных областей Северного Ледовитого океана находится в Баренцевом море.

Усиление таяния льда в последние годы привело к образованию опресненных водных масс в полярных областях океанов. Эти водные массы не являются типичными для их областей распространения, влияют на циркуляцию океана, контактируя с прилегающими водными массами. Опреснение поверхностных водоносных горизонтов приводит к блокированию взаимодействия нижележащих горизонтов с атмосферой, снижению интенсивности зимней конвекции. Опреснение воды Северной Атлантики описано в [Dickson, Yashayaev, 2002; Dickson, Curry, 2003], но по арктическому региону информация о комплексном воздействии опреснения не столь детальна и обычно представляет собой бассейн Северного Ледовитого океана, а не конкретный район.

Термин «водная масса» был точно определен А.Д. Добровольским в 1961 г. как «Водной массой следует называть некоторый, сравнительно большой объем воды, формирующийся в определенном районе Мирового океана – очаге, источнике этой массы – обладающий в течение длительного времени почти постоянным и непрерывным распределением физических, химических и биологических характеристик, составляющих единый комплекс и распространяющихся как одно единое целое».

Изучение долгопериодной изменчивости водных масс заключается в выявлении закономерностей их трансформации путем изучения изменчивости основных определяющих ее параметров. Изменчивость процесса изучалась с использованием характерных диаграмм состояния – T,S-диаграмм, которые были введены Монтгомери, Кокрейном и Поллаком. [Мамаев, 1987]. Актуальность данного исследования заключается в сравнительной оценке текущей динамики и выявлении изменчивости, пополняющей бассейн атлантических вод арктических морей. Они во многом определяют условия вертикального теплообмена Северного Ледовитого океана, циркуляцию воды в морях западного сектора Российской Арктики, водообмен с открытой частью Северного Ледовитого океана. В качестве источников океанографических данных были использованы база данных измерений океанографических данных (База данных Мирового океана) Национального центра океанографических данных США (WOADB) и электронный атлас выпуска океанов 2019 года (WOA) [http://www.nodc.noaa.gov]. Атлас температуры и солености воды

расположен в центрах 15-минутных сферических трапеций. Глубина от 0 м до 100 м в 5 м, от 100 м до 500 м с шагом 25 м, от 500 м до 1 500 м с шагом 50 м. Напомню, что максимальная глубина Баренцева моря около 600 метров. Для построения основной массы статистических T,S-диаграмм интерполированные данные по температуре и солености были отсортированы по T,S-классам. Объем воды в Баренцевом море был оценен в диапазоне температур (–1,8 °C и 9 °C) с шагом 0,2 °C, в диапазоне солености 30–36 ‰ с шагом 0,1 ‰.

Баренцево море – акватория, выделяющаяся в океанах своей термохалинной структурой. Самая высокая средняя температура моря в ноябре обусловлена сильной зимней конвекцией. Поверхностные воды моря, охлаждаясь, увеличивают свою плотность и опускаются на значительные глубины. В связи с тем, что температура поверхностных вод в летний сезон выше средней, температура моря повышается. Хорошо стратифицированная структура вод Баренцева моря по температуре наблюдается в августе и сентябре, а в ноябре и декабре начинает размываться. Соленостная стратификация, напротив, становится более устойчивой в этот момент (зима-лето), а менее стабильна осенью и весной.

ВНУТРИГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ФРОНТОВ В МОРЕ СКОША ПО ДАННЫМ РЕАНАЛИЗА NOAA OI SST

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

МГИ, г. Севастополь, Россия
nikolsky.geo@gmail.com

Ключевые слова: Антарктика, море Скоша, температура поверхности океана, горизонтальный градиент температуры, Антарктическое циркумполярное течение, сезонная изменчивость, фронтальные зоны.

В работе рассматриваются особенности среднемноголетней внутригодовой изменчивости характеристик температурных фронтов на поверхности моря Скоша по данным реанализа

NOAA OI SST. Массив содержит среднесуточные значения температуры поверхности океана (ТПО) в узлах сетки 0,25°×0,25° за период с 1982 по 2017 гг. На основе анализа распределений значений сезонных, синоптических и межгодовых среднеквадратических отклонений ТПО показано, что на большей части акватории моря Скоша сезонный сигнал в 2,5–4 раза превышает другие типы изменчивости.

По экстремумам градиентов ТПО были выделены крупномасштабные фронты, связанные с системой Антарктического циркумполярного течения (АЦТ) – Субантарктический (САФ), Антарктический Полярный (АПФ), Фронт Южной ветви АЦТ (ФЮВ АЦТ). В южной части моря Скоша выявлены Граница континентальных вод (ГКВ), Фронт моря Скоша (ФМС) и Фронт моря Уэдделла (ФМУ). Совместный анализ распределений градиентов ТПО и донной топографии по данным GEBCO позволил уточнить пространственное положение этих фронтов, которое связано с особенностями рельефа дна.

Показано, что максимальной интенсивностью фронты характеризуются в западной части моря Скоша, тогда как схема фронтов подвержена наибольшим сезонным изменениям в южной части моря, что обусловлено заметным смещением границы льдов в течение года.

Показано, что для каждого фронта характерен свой сезонный цикл параметров, который может существенно изменяться вдоль одного и того же фронта. Интенсивность САФ имеет четко выраженный сезонный сигнал в северо-западной части моря Скоша, где фронт проходит вдоль материкового склона Южной Америки. Максимум интенсивности (0,07–0,09 °С/км) наступает в марте-апреле, когда происходит интенсивный прогрев поверхностных вод на шельфе. К югу от Фолклендских островов максимум интенсивности САФ отмечается в декабре-январе.

АПФ обостряется (до 0,1°С/км) в холодный период (август-сентябрь), когда отмечается общее усиление ветров в полярной области. Фронт Южной ветви АЦТ в западной части моря Скоша усиливается (до 0,06°С/км) также, как и АПФ, в конце зимы – начале осени Южного полушария. По мере продвижения на восток АПФ сохраняет характер сезонного сигнала, тогда как сезонный сигнал интенсивности ФЮВ АЦТ заметно ослабевает, и

величина экстремума градиента в течение года изменяется в пределах 0,01–0,02 °С/км.

ГКВ прослеживается вдоль свала глубин в юго-восточной части пролива Дрейка, достигая максимальной интенсивности (до 0,02°С/км) летом Южного полушария.

Между морями Скоша и Уэдделла формируется так называемая Зона слияния вод этих морей (ЗСУС), северной границей которой служит ФМС, а южной – ФМУ. ФМС четко прослеживается к востоку от о-ва Мордвинова (55° з. д.) и характеризуется хорошо выраженным сезонным сигналом интенсивности с максимумом (до 0,06 °С/км в западной части моря и до 0,03 °С/км в восточной) в феврале-марте. ФМУ в течение всего года наблюдается только в западной части акватории и усиливается (до 0,015 °С/км) также в феврале-марте. В восточной части акватории ФМУ прослеживается только летом Южного полушария. Часть вод моря Уэдделла проникает в пролив Брансфилд, формируя там западный участок ФМУ, который усиливается (до 0,05 °С/км) в феврале.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №18-45-920021.

ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И ДИНАМИКА БЕРЕГОВ КАРСКОГО МОРЯ В РАЙОНЕ ПГТ ДИКСОН (ПО ДАННЫМ СЪЕМКИ С БПЛА И АЭРОКОСМИЧЕСКИМ МАТЕРИАЛАМ)

Новикова А.В., Вергун А.П., Огородов С.А.

МГУ, г. Москва, Россия
annamsu17@gmail.com

Ключевые слова: Арктика, Карское море, Таймыр, термоабразия, отступание берегов, БПЛА, данные ДЗЗ.

Для берегов Карского моря, сложенных многолетнемерзлыми породами, характерно широкое развитие термоэрозионных процессов (около 20 % берегов Карского моря – термоэрозионные по

[Васильев и др., 2006]), что определяет их высокую динамичность (скорости отступания составляют от 0,5 до 2,5 м/г). Западное побережье п-ова Таймыр в значительной степени отличается от большей части берегов Карского моря. Здесь развиты абразионные и абразионно-денудационные берега, выработанные в скальных породах, и термоденудационные и абразионно-денудационные берега в заливах и губах, а также в меньшей степени аккумулятивные берега. Для данных берегов характерна более спокойная динамика, чем для более распространенных в западной части Карского моря термоабразионных берегов, и в данном регионе хозяйственное освоение, требующее проведения инженерно-геологических изысканий, ведется менее активно, поэтому ранее здесь почти не проводилось детальных исследований береговых отложений и динамики берегов. Однако необходимость в таких исследованиях есть, т. к. регион перспективен для хозяйственного освоения, и существует недостаток прикладных и фундаментальных знаний о строении, динамике и прогнозе развития данных берегов.

В июле-августе 2019 г. на западном побережье Таймыра в районе ПГТ Диксон были проведены полевые геоморфологические, литологические, мерзлотные береговые исследования, в том числе проведена съемка с БПЛА (беспилотный летательный аппарат). Полученные данные и анализ космических снимков позволил составить детальные (до 1:10 000) геоморфологические схемы на отдельные участки, а также определить динамику рельефа данных участков: абразионный берег южной части бухты Лемберова и аккумулятивный берег южной части бухты Широкая-Северная.

Съемка с квадрокоптера DJI Phantom 4 PRO с перекрытием позволила построить детальные цифровую модель рельефа (ЦМР) и ортофотоплан местности (ПО Agisoft PHOTOSCAN). Сопоставление полученного ортофотплана 2019 г. съемки и архивного снимка Corona KH-4 1965 г. позволило проследить динамику берега за более чем 50-летний период. ЦМР 2019 г. была сопоставлена с ЦМР ArcticDEM 2013 г., что позволило оценить динамику рельефа за 6 лет в объемных величинах.

По результатам наших исследований, в регионе даже участки берега, имеющие термоабразионный облик (берег с высоким незадернованным уступом, сложенный рыхлыми многолетнемерз-

лыми породами, с высокой льдистостью, местами с вскрывающимися в уступе жильными льдами), являются стабильными, либо медленно отступающими (средние скорости на абразионном участке южной части бухты Лемберова за период 1965–2019 гг. – около 0,2 м/г, максимум – до 0,5 м/г, погрешность около ±0,5 м/г). На некоторых участках бухт с устьями рек отмечено выдвижение береговой линии (до 0,2 м/г). Сопоставление разновременных ЦМР показало существенные изменения в высотах поверхностей за период 2013–2019 гг. (до –5 м). Однако ArcticDEM имеет существенные неточности в плане (до 5 м) и по вертикали (до 0,3 м). Погрешности и артефакты на ЦМР могут быть обусловлены также наличием у подножья береговых уступов крупных снежников, которые здесь порой сохраняются в течение всего лета. Таким образом, абсолютные значения изменения высот могут быть очень неточными, однако об общих тенденциях развития берега судить можно. Максимальная эрозия (уменьшение высот) отмечается вдоль берегового уступа и на дне и стенках крупных эрозионных цирков и оврагов.

Исследование выполнено в рамках проекта РФФИ «Аспиранты» 19-35-90116.

ТЕРМОАБРАЗИЯ МОРСКИХ БЕРЕГОВ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

Огородов С.А. [1], Алексютина Д.М. [1], Баранская А.В. [1], Белова Н.Г. [1], Кокин О.В. [1], Мазнев С.В. [1], Маслаков А.А. [1], Новикова А.В. [1], Разумов С.О. [2], Шабанова Н.Н. [1]

[1] МГУ, г. Москва, Россия
[2] ИМЗ СО РАН, г. Якутск, Россия
ogorodov@aha.ru

Ключевые слова: Арктика, криолитозона, термоабразия, термоденудация, волновой и термический факторы.

От трети до половины протяженности береговой линии арктических морей России подвержено различным формам термоабразионного процесса и отступает со средними скоростями от 0,5 до

3 м/год. На отдельных участках побережья, сложенных высокольдистыми породами, скорости отступания береговых уступов могут достигать 5–10 м/год.

Относительно термина «термоабразия» существует много споров и разночтений, вызванных различным пониманием процесса. Ряд исследователей считают, что термоабразия имеет место только в процессе контакта морской воды с мерзлой толщей, другие включают в «термоабразию» весь комплекс процессов разрушения берега, сложенного многолетнемерзлыми дисперсными породами. Наиболее известное определение предложено Ф.Э. Арэ: термоабразия – это процесс разрушения берега и подводного берегового склона, сложенных многолетнемерзлыми (дисперсными) породами или льдом, под совместным механическим и тепловым воздействием моря. То есть, по Ф.Э. Арэ основным фактором является именно термомеханический процесс, имеющий место в результате воздействия волн или штормового нагона на берег. Вместе с тем, нельзя рассматривать термоабразию в отрыве от склонового (гравитационного) перемещения грунтов, оттаявших в результате «термоденудации». Процессы термоабразии и термоденудации тесно связаны. Так, береговой уступ, подвергшийся воздействию термоденудации, в процессе волнового воздействия будет разрушаться более интенсивно, нежели в случае, если он находится в мерзлом состоянии. В свою очередь, если оттаявший материал не будет удаляться в результате волнового воздействия, термоденудация со временем затухает. Таким образом, по нашему мнению, термоабразия и термоденудация не просто связаны, а представляют неразрывный геоморфологический процесс. Соответственно, изменчивость темпов разрушения термоабразионных берегов во времени определяется сочетанием и взаимодействием термического и волно-энергетического факторов. Термическое воздействие выражается в передаче энергии мерзлым породам, слагающим берега, в результате контакта с воздухом и водой. Влияние волно-энергетического фактора проявляется в прямом механическом воздействии морских волн на берега.

На фоне потепления климата и снижения ледовитости в XXI веке в морях Российской Арктики произошли существенные изменения драйверов термоабразионного процесса, отмечен рост

скоростей отступания берегов. Детальный анализ термического и ветроволнового режимов ключевых участков, на которых ведется мониторинг динамики берегов, показал, что, во-первых, рост суммарной волновой энергии в результате расширения продолжительности безледного динамически активного периода частично компенсируется некоторым снижением ветро-волновой активности в арктическом регионе; во-вторых, оказалось, что термический и волновой факторы разрушения термоабразионных берегов часто работают метахронно. В результате потенциал разрушения берега реализуется не полностью. Таким образом, несмотря на заметное потепление климата и снижение ледовитости, катастрофического (многократного) увеличения скоростей разрушения термоабразионных берегов в морях Российской Арктики не произошло. Фиксируемые в настоящее время темпы отступания берегов криолитозоны лишь в 1,3–1,5 раза выше среднемноголетних скоростей разрушения берегов в конце прошлого века.

Исследование выполнено в рамках проекта РФФИ 18-05-60300 «Термоабразия морских берегов Российской Арктики».

ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС АЗОВСКОГО МОРЯ ПОД ВЛИЯНИЕМ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ

Остроумова Л.П. [1], Евстигнеев В.П. [2], Вишневская И.А. [1]

[1] ГОИН, г. Москва, Россия
[2] СевГУ, г. Севастополь, Россия
Lostroumova@mail.ru

Ключевые слова: составляющих теплового баланса, климат.

Рассчитан тепловой баланс водной массы Азовского моря за период 1997–2006 гг. с использованием наблюдений на прибрежных метеорологических станциях, гидрологических постах и сети морских гидрологических постах по технологии «ISPAR-V». Исследованы изменения отдельных составляющих теплового ба-

ланса и сопоставлены их величины за различные периоды, отражающие климатические изменения в районе Азовского моря. Среди основных физико-географических факторов, определяющих гидрологический режим Азовского моря, является теплообмен его водной массы с окружающей средой. Процессы теплообмена между водной массой и окружающей его средой определяют не только их тепловой баланс, но и климатические и метеорологические условия в прибрежной зоне моря и в дельтах рек. Количественное соотношение между приходом и расходом тепла в процессе теплообмена выражается уравнением теплового баланса. Это уравнение основывается на законе сохранения энергии и, записав его для всей водной массы водоема, можно определить ряд практически важных элементов гидрологического режима: температуру воды, испарение, сроки замерзания и очищения ото льда, нарастание толщины ледяного покрова. Все составляющие теплового баланса рассчитаны за месячный интервал времени. Теплосодержание в конце и в начале расчетного интервала времени в уравнении теплового баланса определяется как произведение объема водной массы W на температуру воды t; c – теплоемкость; ρ – удельный вес воды; Составляющие теплового баланса: $Q_{СР}$ и $Q_{АТ}$ – поглощенная водой суммарная солнечная радиация и встречное тепловое излучение атмосферы; $Q_{Д}$ – теплообмен с дном; $Q_{К}$ – теплообмен поверхности водоема с атмосферой путем турбулентной конвекции; $Q_{ИЗЛ}$ – тепловое излучение поверхности воды; $Q_{ИСП}$ – затрата тепла на фазовый переход при испарении; Все переменные уравнения обозначенные через Q, имеют размерность МДж/м^2, через t – °С. Основную роль в тепловом балансе водных объектов играет климат. Циклические колебания климата – чередование более теплых и сухих периодов с более прохладными и влажными можно проследить, воспользовавшись данными наблюдений, например, за температурой воздуха за период сто и более лет по МС. По графикам разностно-интегральных кривых средней температуры воздуха можно определить климатический цикл, к которому относится исследуемый нами расчетный период 1997–2006 гг., и 2007–2013 гг. определить период осреднения для оценки средних многолетних характеристик климата в исследуемых районах. За год изменяется поглощенная водой суммарная солнечная радиация

от 4 100 до 4 700, а встречное тепловое излучение атмосферы от 9 100 до 9 300 МДж/м^2; тепловое излучение поверхности воды от 10 900 до 11 100 МДж/м^2, затрата тепла на фазовый переход при испарении от 2 220 до 2 360 МДж/м^2 соответственно. Теплообмен с дном тратится от –10 до –22 МДж/м^2, а на теплообмен поверхности водоема с атмосферой путем турбулентной конвекции тратится от 300 до 400 МДж/м^2.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЦИРКУЛЯЦИИ ЛЕНГМЮРА НА ТУРБУЛЕНТНОСТЬ ПРИПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ

Павлов М.И., Чухарев А.М.

МГИ, г. Севастополь, Россия
mixail.pavlov.1993@mail.ru

Ключевые слова: турбулентность, обрушение волн, циркуляция Ленгмюра, скорость диссипации, многомасштабная модель.

Турбулентность в приповерхностном слое влияет на многие физические процессы в море: вертикальное перемешивание, перенос взвесей и биогенных веществ, нагрев или выхолаживание верхних слоев. С энергетической точки зрения доминирующим механизмом турбулентности в верхнем слое является обрушение волн. Механизм обрушения волн генерирует турбулентные вихри с малым периодом жизни, которые значительно влияют на вертикальный перенос кинетической энергии, но глубина проникновения этих вихрей ограничена.

Существующие численные методы достаточно точно параметризуют обрушение волн в приповерхностном слое, однако при возникновении циркуляций Ленгмюра, рассчитанная диссипация в моделях значительно ниже, чем в натурных экспериментах. Известно, что вихри Ленгмюра влияют на вертикальный обмен. Следовательно, необходимо исследовать влияние механизма циркуляции Ленгмюра на вертикальный турбулентный обмен в приповерхностном слое.

Используя многомасштабную модель и экспериментальные данные, в работе выполнена оценка распределения турбулентной энергии и скорости диссипации в приповерхностном слое моря при возникновении циркуляции Ленгмюра. Полученные данные позволяют дополнить многомасштабную параметрическую модель взаимодействия атмосферы, с нестационарной морской поверхностью приблизив расчетные значения модели к экспериментальным данным.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 15-05-00984.

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ СГОННО-НАГОННЫХ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ МОРЯ НА ПРИБРЕЖНУЮ ЗОНУ СЕВЕРНОГО КАСПИЯ

Павлова А.В. [1,2], Архипкин В.С. [1], Мысленков С.А. [1,2,3]

[1] МГУ, г. Москва, Россия
[2] Гидрометцентр России, г. Москва, Россия
[3] ИО РАН, г. Москва, Россия
anna.pavlova-16@yandex.ru

Ключевые слова: сгонно-нагонные колебания, ADCIRC, численное моделирование, Каспийское море, уровень моря.

Прибрежные зоны Северного Каспия подтверждены сильному воздействию сгонно-нагонных колебаний уровня моря. В этой работе анализируются результаты моделирования колебаний уровня и прибрежной циркуляции Северного Каспия по гидродинамической модели ADCIRC за период с 1979 по 2017 гг.

Штормовые нагоны могут приводить к затоплению обширных территорий, которые ведут к существенным убыткам в с/х деятельности, разрушению дорог, выходу из строя электро- и водоснабжения.

На жизнедеятельность прибрежных территорий также значительно влияют многолетние колебания уровня Каспийского

моря. Объединение таких факторов, как высокий среднемноголетний уровень и сильный нагон могут привести к катастрофическим последствиям и затоплению побережья на 30 км и больше вглубь территории.

Межгодовой пространственный анализ колебаний уровня в Северном Каспии показал, что здесь имеются две локальные области, где величины нагонов самые большие. Первая приходится на северо-западную часть вдоль взморья р. Волги, где наблюдались нагоны высотой до 2,5 м. Вторая область расположена на востоке, где значения высот нагонов достигали 2,7 м.

Количественный анализ показал, что в среднем в году наблюдается 7–10 нагонов высотой более 1 метра и суммарной продолжительностью до 20–30 суток в год.

Распределение количества случаев сгонно-нагонных колебаний по годам более 1 метра за период исследования показало, что в западной и северной частях моря количество сгонов превышает количество нагонов. У восточного побережья наблюдается более равномерная картина, где от года к году преобладают либо сгоны, либо нагоны. Данное распределение объясняется прохождением большего количества циклонов, которые вызывают значительные колебания уровня моря по сравнению с антициклонами несмотря на то, что в течение года преобладает антициклоническая деятельность.

С 1979 года до начала 90-х отмечается многолетняя тенденция уменьшения количества случаев формирования сгонно-нагонных колебаний уровня моря. Далее наблюдаются незначительные изменения, а с конца 2000-х наблюдается заметное увеличение числа сгонно-нагонных колебаний. Следует отметить, что подобное распределение отмечается в многолетнем ходе изменения уровня Каспийского моря, что в свою очередь преимущественно зависит от климатических изменений.

Для более детального анализа были выделены 6 точек вдоль берега моря, которые характеризуют районы исследования: 1 и 2 – на западе, 3 – на севере, 4 и 5 – на востоке, 6 – на юго-западе.

В период с 1979 по 2017 гг. в 1 точке наблюдалось 140 нагонов, 2 – 109, 3 – 40, 4 – 177, 5 – 234, 6 – 32. Сгонов за этот же период в точке 1 наблюдалось 241, 2 – 144, 3 – 109, 4 – 245, 5 – 303, 6 – 9.

Разные сезоны характеризуются различной штормовой активностью. В связи с этим и площадь территории, которая может быть затоплена также отличается. Сезонная изменчивость сгонно-нагонных колебаний характеризуется максимумом в зимний и весенний периоды и минимумом в летний. Однако зимой немаловажный фактор играют ледовые условия.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ №18-05-80088.

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТОКОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В ЧЕРНОМ МОРЕ ВСЛЕДСТВИЕ В-ЭФФЕКТА (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ)

Павлушин А.А.

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

Ключевые слова: Черное море, численное моделирование, потоки механической энергии, крупномасштабная циркуляция, мезомасштабные вихри.

По результатам численных экспериментов, выполненных с помощью двухслойной вихреразрешающей модели, были рассчитаны средние за длительный период времени энергетические балансы восточной и западной частей Черного моря. Условная жидкая граница проходит по меридиональному разрезу от мыса Сарыч до побережья Турции.

Выявлено существенное различие в энергетике рассматриваемых областей. В восточной половине моря, вследствие ветрового воздействия, происходит пополнение кинетической энергии верхнего слоя, большая часть которой (~80 %) переходит в доступную потенциальную энергию, а меньшая диссипирует, вследствие горизонтальной турбулентной вязкости и трения на нижней границе слоя. В свою очередь, примерно четверть обра-

зовавшейся доступной потенциальной энергии тратится на увеличение кинетической энергии нижнего слоя, а оставшаяся часть переносится течениями через жидкую границу в западную часть бассейна, являясь, по сути, главным источником механической энергии для нее.

В западной половине моря поступившая с востока доступная потенциальная энергия преобразуется в кинетическую энергию как нижнего, так и верхнего слоя в соотношении 15 % и 85 % соответственно. Затем кинетическая энергия исчезает вследствие диссипации, причем наибольший сток энергии в море (~28 %) происходит за счет придонного трения в районе северо-западного шельфа на глубинах 100–200 м.

Примечательно, что довольно значительная часть кинетической энергии (20 %), образовавшейся в верхнем слое, возвращается из западной половины моря в восточную вследствие переноса течениями. Таким образом, на востоке моря возникает как бы еще один источник кинетической энергии в дополнение к ветровому.

На втором этапе исследований были рассчитаны потоки энергии через жидкую границу, обусловленные средними и вихревыми течениями. Оказалось, что перенос доступной потенциальной энергии из восточной половины бассейна в западную на 70 % происходит за счет вихрей, пересекающих разрез в центральной и северной его части. А кинетическая энергия переносится с запада на восток средними течениями в южной ветви ОЧТ.

Сравнительный анализ численных экспериментов, выполненных с учетом и без учета β-эффекта, показал, что именно β-эффект является причиной описанных выше особенностей пространственного перераспределения потоков энергии.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2019-0002 при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-80025.

О ПОВЫШЕНИИ ИНФОРМАТИВНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ НА ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ РАЗРЕЗАХ В БАЛТИЙСКОМ МОРЕ

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

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

Ключевые слова: Балтика, оперативная съемка, мезомасштабная структура, придонный слой, кабельный зонд.

Экосистема Балтики является объектом мониторинга, требования к информативности которого постоянно растут. В частности, ощущается дефицит информации о поступлении и распространении по бассейнам Балтики вод умеренных и слабых затоков. В этом состоянии Балтика пребывает дольше, чем в периоды прохождения больших затоков. В рамках мониторинга гидрологических процессов желательно обнаружить трассы локальных затоковых течений и получить оценки их фактического и прогнозируемого вклада в перенос жизненно важных субстанций. Применительно к технике мониторинга, задача сводится к повышению информативности измерений в придонном слое и к более рациональному планированию оперативных съемок. В основе развиваемой нами техники оперативных съемок лежат измерения на высоко разрешенных гидрологических разрезах, при этом особое внимание уделяется получению достоверных данных о параметрах среды в тонком придонном слое. Нам удалось разработать и внедрить систему циклически повторяющегося зондирования на ходу судна, позволяющую использовать широкую номенклатуру стандартных автономных зондов, погружаемых на фале до дна, с касанием грунта, но при этом, из-за отсутствия точного определения момента касания, зонд остается на дне дольше, чем нужно,

что увеличивает интервалы между точками зондирования. Необходимость перехода на кабельные зонды очевидна, но можно ли при этом спускоподъемное устройство для фала перестроить на работу с жестким кабель-тросом и как изменится характер движения зонда – априори не ясно. Доработанная система с кабель-тросом, зондом Idronaut OS310 и спускоподъемным устройством, содержащим тянущий шкив с V-образной канавкой и подматывающую вьюшку, выдержала многодневные испытания, при этом по всем показателям результаты измерений оказались выше показателей предыдущей системы с автономным зондом и фалом.

Рациональное планирование съемок предполагает предварительное моделирование циркуляции с прогнозируемым ветром. В модельном поле и на реальном рельефе проявляются локальные особенности затоковых течений, в частности, струи. Одна из таких струй формируется в российских водах вблизи восточного склона южной части Готландской впадины, где мы имеем возможность проводить продолжительные измерения придонных течений с помощью инклинометров. Эти измерения оказались в удовлетворительном согласии с результатами моделирования, что позволяет располагать трассы разрезов так, чтобы они пересекали трассы прогнозируемых затоковых течений. Наиболее надежным маркером затоковых вод оказался кислород. По завершении съемок модельные расчеты должны повторяться с реальным ветром и уточненной стратификацией, что позволит более полно интерпретировать результаты съемок.

Работа выполнена в рамках госзадания №0149-2019-0013 и проектов РФФИ №18-05-80031 и №19-05-00962.

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ БАРЕНЦЕВА И БЕЛОГО МОРЕЙ ПЛАВАЮЩИМ МОРСКИМ МУСОРОМ ПО ДАННЫМ СУДОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ В 2019 Г.

Погожева М.П. [1,3], Якушев Е.В. [1,2], Терский П.Н. [3], Глазов Д.М. [4], Коршенко А.Н. [3], Ханке Г. [5]

[1] ИО РАН, г. Москва, Россия
[2] NIVA, г. Осло, Норвегия
[3] ГОИН, г. Москва, Россия
[4] ИПЭЭ РАН, г. Москва, Россия
[5] JRC, г. Испра, Италия
pogojeva_maria@mail.ru

Ключевые слова: загрязнение морских вод, морской мусор, Арктика, Баренцево море.

В настоящее время морской мусор, особенно пластик, является одной из наиболее актуальных проблем воздействия на морскую среду в глобальном масштабе. По текущим оценкам количество макропластика, поступающего с суши в морскую среду ежегодно, варьируется от 4,5 до 12,7 млн. т, а 1,75 млн. т происходит из так называемых морских источников, таких как рыболовство, аквакультура (рыбоводство) и судоходство.

Несмотря на то, что Арктические районы представляются мало населенными с практически отсутствием какой-либо активной промышленной и производственной деятельности, наличие активного рыболовного промысла и добыча полезных ископаемых и, соответственно, активное судоходство создает существенную нагрузку на экосистему Баренцева моря.

Целью данной работы была предварительная оценка уровня загрязнения плавающим мусором, его потенциальных источников, путей и мест скопления в Баренцевом и Белом морях на поверхности моря. Данные были получены в результате комплексной научно-исследовательской экспедиции «Трансарктика-2019» в мае-июне 2019 г. Экспедиция проходила в Восточной части Баренцева моря и в части Белого моря, маршрут проходил от г. Архангельска до Земли Франца-Иосифа.

Наблюдения велись по ходу движения судна двумя разными методами. Проводилось тестирование европейской методики института JRC (г. Испра, Италия) согласно которой при помощи

специального приложения, заранее установленного на планшет на базе Андроид фиксировались встречи морского мусора на поверхности моря. Приложение позволяет записывать трек учета с привязкой каждого объекта к GPS координатам и идентифицировать объекты морского мусора по установленным общепринятым категориям. Параллельно с этими наблюдениями проводились непрерывные 24-часовые наблюдения за встречаемым мусором другими сменяющимися наблюдателями. Все встречаемые объекты фиксировались в бумажном протоколе с привязкой каждого объекта к GPS координатам. Наблюдения включали идентификацию категорий мусора по составу согласно методике.

Плавающий морской мусор встречался в течение всей экспедиции. Результаты наблюдений показали, что концентрация плавающего мусора сильно варьировала вдоль маршрута следования судна от обширных участков чистой воды без мусора до районов с очень значительными скоплениями. В данном исследовании представлены первые данные о загрязнении района исследований плавающим морским мусором, что является дополнением к общей оценке состояния окружающей среды Баренцева и Белого морей.

ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ НАПРЯЖЕНИЯ ТРЕНИЯ ВЕТРА НАД ЧЕРНЫМ МОРЕМ НА ОСНОВЕ РЕАНАЛИЗОВ С РАЗЛИЧНЫМ ПРОСТРАНСТВЕННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ

Погребной А.Е.

МГИ, г. Севастополь, Россия
pogrebok57@mail.ru

Ключевые слова: Черное море, напряжение трения ветра, завихренность ветрового напряжения.

Для воспроизведения региональных особенностей атмосферной циркуляции и ее воздействия на морскую поверхность Черного моря использовались массивы данных о скорости ветра на

высоте 10 м над его поверхностью двух глобальных моделей погоды ECMWF четвертого (ERA-INTERIM с разрешением 0,75°×0,75°) и пятого (ERA5, 0,25°×0,25°) поколений и региональной модели PERSEUS (EU IP FP7 «Policy-oriented marine Environmental Research in the Southern EUropean Seas». Grant agreement No: 287 600) с пространственным разрешением 0,25°×0,25°.

Исходные данные усреднялись по каждому календарному месяцу и интерполировались на равномерную (широта-долгота) сетку с разрешением 0,125°×0,125°. В узлах этой сетки по аэродинамической формуле рассчитывались значения компонент ветрового напряжения и его завихренность.

Оказалось, что для всех массивов карты пространственной изменчивости параметров ветрового воздействия, соответствующие одинаковым месяцам, но в разные года, отличаются друг от друга. В каждом индивидуальном узле сетки локальные флуктуации параметров могут быть сравнимы со своими среднемноголетними значениями. Устойчивая пространственная структура сезонных карт начинает проявляться при дополнительном осреднении не менее 5 лет.

Пространственная изменчивость климатически осредненных фоновых полей напряжения трения ветра и его завихренности для всех моделей однотипна. При этом форма, местоположение и детализация локальных особенностей могут быть различны. Иногда некоторые детали в наиболее грубой модели ERA-INTERIM отсутствуют.

Например, в феврале в западной и в северной половине восточной части моря вектор ветрового напряжения направлен с севера на юг. При приближении к Понтийским горам в восточной части моря он поворачивает на восток в сторону Кавказских гор и при приближении к Кавказу снова поворачивает в циклоническом направлении к северу. По данным ERA5 и PERSEUS из Колхидой долины с востока на запад дует встречный ветер, формируя в юго-восточной части моря «следовую» особенность встречных ветровых потоков.

Взаимодействие юго-восточного ветра вдоль берегов Кавказа и северных ветров со стороны Азовского моря приводит к формированию циклонического вихря вблизи Новороссийска. По

данным ERA-INTERIM форма центральной части вихря практически круглая, а в моделях с лучшим разрешением она деформирована, смещена в юго-восточном направлении. а в центре вихря проявляется конвергенция воздушных потоков.

Средние значения модуля ветрового напряжения по всему морю у глобальных моделей близки и составляют ~$5 \cdot 10^{-3}$ Па, а у региональной вдвое больше. Такое же соотношение между модельными оценками напряжения трения ветра сохраняется и для восточной и для западной частей моря.

Для всех моделей в восточной части моря завихренность циклоническая в течение всего года, а в западной части зимой завихренность циклоническая, а с мая по октябрь – антициклоническая. В глобальных моделях ECMWF летом в восточной области моря наблюдается рост циклонической завихренности напряжения трения ветра, а в региональной модели PERSEUS он отсутствует. Для всех моделей с увеличением пространственного разрешения значения завихренности напряжения трения возрастают.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 15-05-00984.

СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СУБМЕЗОМАСШТАБНЫХ ТЕЧЕНИЙ В ШЕЛЬФОВОЙ ЧАСТИ ЧЁРНОГО МОРЯ

Пузина О.С., Кубряков А.А., Мизюк А.И.

МГИ, г. Севастополь
oksana_puzina@mhi-ras.ru

Ключевые слова: Черное море, спектральный анализ, субмезомасштабные течения, синоптические вихри, ВКС, численное моделирование, NEMO.

В настоящей работе не основе спектрального анализа модуля скорости по расчетам модели NEMO с высоким пространственным разрешением (1,2 км) исследуется сезонная изменчивость и вертикальное распределение энергии субмезомасштабных течений в шельфовой части Черного моря.

Первоначально были посчитаны двумерные пространственные спектры энергии течений $E(k_x, k_y)$, где k_x и k_y – волновые числа. На основе полученных характеристик определялся изотропный одномерный спектр $E(k)$.

Анализ пространственных спектров в различных сезонах показал, что максимум получен в поздне-летний и осенний период, в зимний период наблюдается снижение энергии на всех масштабах. Отметим, что в летний период энергия максимальна в области больших масштабах, что возможно связано с интенсификацией синоптической вихревой динамики летом в Черном море. На меньших масштабах (L<15 км) энергия максимальна в осенний период. Анализировалась вертикальное распределение спектральной энергии. Основной особенностью данного распределения является ее уменьшение с глубиной. Энергия с глубиной не меняется в слое 0–25 м.

Для исследования изменчивости субмезомасштабной динамики в центральной части шельфа Черного моря, усреднялась спектральная энергия в интервале 1<L<10 км. Субмезомасштабные течения в деятельном слое интенсифицируются поздним-летом осенью. На глубине 42 м значения энергии не высоки и отсутствует сезонная изменчивость за счет затухания скорости при трении об дно.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-80025.

ВАЛИДАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ И НАСТРОЙКА СИСТЕМЫ ПРОГНОЗА ВОЛНЕНИЯ В СЕВАСТОПОЛЬСКОМ РАЙОНЕ ЧЕРНОГО МОРЯ

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

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

Ключевые слова: высота значительных волн, модель SWAN, настройка модели, индекс рассеяния, коэффициент корреляции.

В настоящее время разрабатывается новая прогностическая система для включения в состав Черноморского центра морских

прогнозов (ЧЦМП) ФГБУН ФИЦ МГИ. Анализ результатов работы по проекту за 2018 г. и новая серия расчетов с привлечением данных за 2019 г. выявил, что использованный вариант настройки модели SWAN существенно занижает высоту волн при умеренных и сильных ветрах. В связи с этим было принято решение основное внимание нацелить на исправление этой ситуации за счет более точной настройки модели. В результате выполненных работ была сформулирована и реализована новая методика настройки волновой модели.

Предложенная методика основана на использовании спутниковых альтиметрических измерений высоты значительных волн и двухэтапной процедуре настройки параметров модели. На первом этапе – грубой настройки, являющимся одним из основных элементов новизны рассматриваемой методики, путем варьирования формы и параметров зависимости $u_*(V)$ определяются такие их величины, которые обеспечивают минимальное значение индекса рассеяния между высотами значительных волн, полученными на основе модельных расчетов и по данным спутниковых измерений, при условиях малости величины систематического отклонения и коэффициента корреляции между отклонениями в высотах значительных волн и их величинами, полученными по данным спутниковых измерений.

Выбранный набор критериев обеспечивает оптимизацию по наиболее значимым качественным и количественным характеристикам, которым должны удовлетворять отклонения между расчетными и измеренными величинами и представляет собой второй основной элемент новизны предлагаемой методики.

На втором этапе, на основе подходов, изложенных в многочисленных литературных источниках, осуществляется тонкая настройка модели, путем варьирования доступных для изменения в модели SWAN параметров зависимостей, описывающих генерацию и диссипацию волн. Выбор величин настраиваемых параметров выполняется по тем же критериям, которые используются на этапе грубой настройки.

В результате выполнения первого этапа настройки модели, по данным, полученным с июля 2017 г. по июнь 2019 г., индекс рассеяния отклонений рассчитанных величин высот значительных

волн при прогнозе в интервале 0–24 часа в Севастопольском районе уменьшился примерно на 20 % с 0,36 до 0,29, систематическое отклонение – с 0,26 до 0,07 м, коэффициент корреляции отклонений – с –0,44 до –0,03. Эти характеристики находятся на уровне, или превышают показатели, достигнутые авторами других работ, ведущих аналогичные исследования в акватории Черного моря.

Тонкую настройку модели планируется выполнить в ходе дальнейших работ по гранту. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-45-920059.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДИАГНОЗА И ПРОГНОЗА СКОРОСТЕЙ ТЕЧЕНИЙ, ТЕМПЕРАТУРЫ И СОЛЕНОСТИ МОРСКОЙ ВОДЫ В СЕВАСТОПОЛЬСКОЙ БУХТЕ СО СВЕРХВЫСОКИМ ПРОСТРАНСТВЕННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ

Ратнер Ю.Б., Кубряков А.И., Иванчик М.В., Мартынов М.В.

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

Ключевые слова: диагноз и прогноз, локальная модель, метод вложенных сеток, батиметрия, спутниковые данные, атмосферное воздействие.

В настоящее время разрабатывается новая прогностическая система расчета циркуляции в Севастопольской бухте для включения в состав Черноморского центра морских прогнозов (ЧЦМП) ФГБУН ФИЦ МГИ.

Функционирование модели основано на использовании данных глобальной модели Черного моря и региональной модели Севастопольского района для задания начальных и граничных условий на входе в Севастопольскую бухту.

Алгоритм расчета основан на последовательном применении метода вложенных сеток в офлайн-режиме сначала к региональной модели, а затем к локальной.

В глобальной модели с пространственным разрешением 5 км ассимилируются спутниковые данные измерений температуры и уровня морской поверхности, а при задании атмосферного воздействия используются данные греческого центра атмосферных прогнозов SKIRON, которые скачиваются по сети Internet раз в 3 часа.

Крупномасштабная (глобальная) модель, лежащая в основе системы диагноза и прогноза состояния всего бассейна Черного моря, обеспечивает необходимыми данными для задания начальных и граничных условий региональную модель, имеющую пространственное разрешение 1 км.

Региональная модель, в сою очередь используется для задания граничных и начальных условий на входе в Севастопольскую бухту.

Одна из проблем, которая была решена при построении собственно автоматизированной системы локального прогноза, состояла в корректном задании и согласовании батиметрии, используемой для локальной модели, с батиметрией, которая используется в региональной и глобальной модели. Другая проблема состоит в согласовании выхода региональной модели со входом локальной модели и синхронизации их работы. В настоящее время она решается с помощью инструментальной среды CalcMan, разработанной в отделе морских прогнозов ФГБУН ФИЦ МГИ. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-80028.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АТМОСФЕРЫ С МОРЕМ И СУШЕЙ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ: РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК ЭНЕРГООБМЕНА

Репина И.А. [1], Артамонов А.Ю. [1], Пашкин А.Д. [1,3], Барсков К.В. [2]

[1] ИФА РАН, г. Москва, Россия
[2] Московский центр фундаментальной и прикладной математики, г. Москва, Россия
[3] МГУ, г. Москва, Россия
repina@ifaran.ru

Ключевые слова: прибрежные зоны, неоднородный рельеф, атмосферная турбулентность, турбулентные потоки тепла и импульса, параметр шероховатости.

В современных методах определения характеристик турбулентного обмена между поверхностью Земли и атмосферой используются теории, базирующиеся на гипотезе статистической стационарности и однородности турбулентного потока. Традиционно применяемые в атмосферном моделировании, энергобалансовых и биогеохимических расчетах параметризации основаны на выводах теории подобия Монина-Обухова, которая предполагает подстилающую поверхность, обладающую однородным горизонтальным распределением аэродинамической и температурной шероховатости и турбулентных потоков. Затруднения применимости ТПМО над неоднородными ландшафтами связано, прежде всего, с тем, что к локальному турбулентному перемешиванию, вызванному высокочастотной турбулентностью, здесь добавляются нелокальные процессы, вызванные неоднородностью генерации турбулентных движений и различными мезомасштабными циркуляциями. Особенно это актуально для прибрежных районов со сложным береговым рельефом, где структура пограничного слоя в прибрежной зоне моря зависит от рельефа и элементов шероховатости поверхности прибрежного района суши,

скорости ветра, расстояния от берега, стратификации и динамических процессов в пограничном слое атмосферы.

Построение новой теории требует проведения детальных измерений турбулентности над неоднородной поверхностью, сопряженных с высокоразрешающим моделированием, воспроизводящим явно наиболее энергетически-значимые турбулентные вихри. В докладе представлены определение физических механизмов формирования структуры атмосферной турбулентности в прибрежной зоне и разработка параметризаций для расчета характеристик энерго- и массообмена между атмосферой и морем/сушей в условиях неоднородного рельефа. Используется специализированная база данных турбулентных и профильных измерений в прибрежной зоне над различными подстилающими поверхностями; результаты исследования физических механизмов формирования потоков импульса, тепла и примесей между атмосферой и морем при различных фоновых условиях в прибрежной зоне. По данным экспериментальных исследований и моделирования исследуются границы применимости современных теорий атмосферной турбулентности, в частности, теории подобия Монина и Обухова (ТПМО) над неоднородными ландшафтами на примере прибрежной зоны с горным рельефом; а также роль мезомасштабных атмосферных процессов в формировании турбулентного обмена между атмосферой и морем/сушей в прибрежных зонах. Представляются результаты исследования возможности модификации теории подобия Монина-Обухова над неоднородным рельефом с включением в функции подобия новых независимых безразмерных групп или введением новых эмпирических масштабов.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 20-05-00834.

ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК ТЕРМИЧЕСКОГО СКИН-СЛОЯ НА ОСНОВЕ СОПОСТАВЛЕНИЯ СПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ И ДАННЫХ ТЕРМОПРОФИЛИРУЮЩИХ БУЕВ

Рубакина В.А., Кубряков А.А., Станичный С.В.

МГИ, г. Севастополь, Россия
valenru93@mail.ru

Ключевые слова: суточный ход температуры, температура поверхностного слоя моря (ТПМ), термопрофилирующие дрейфующие буи, SEVIRI, Черное море, сравнительный анализ, скин-слой.

Вопрос сопоставления контактных данных и данных дистанционного зондирования является одним из наиболее актуальных в современной океанологии. Хотя спутниковые наблюдения имеют ряд неоспоримых преимуществ, без контактных измерений корректная интерпретация данных спутниковых сенсоров крайне затруднена, а порой невозможна. Более того, контактные измерения позволяют получить информацию не только о поверхности океана, но и о вертикальном распределение различных параметров вод.

В настоящей работе выполнен сравнительный анализ данных сканера SEVIRI и термопрофилирующих дрейфующих буев за многолетний период. Также проведена оценка перепада температуры (далее dT) в поверхностном слое, исследована его зависимости от поля ветра и времени года, суммарного потока тепла, потоков скрытого тепла, от температуры воздуха и разности температур воздуха и ТПМ.

В ходе сравнительного анализа полученные величины коэффициентов корреляции, СКО, коэффициентов регрессии и разницы средних, которые свидетельствуют о достаточно хорошем совпадении сопоставляемых данных.

Величина перепада температуры в приповерхностном слое dT вычислялась как разница ТПМ (по данным SEVIRI) и темпера-

туры на первом горизонте 0,2 м по данным термодрифтеров. Получено, что в теплый период года при скоростях ветра до 5–6 м/с, dT отрицательны, т.е. значения ТПМ ниже, чем температура на горизонте 0,2 м. Таким образом может проявляться скин-эффект.

Исследование показало, что на величину dT большее влияние оказывает величина потока скрытого тепла, чем величина полного потока тепла. При одной и той же скорости ветра с уменьшением (по модулю) потока скрытого тепла dT также уменьшается практически линейно, абсолютная же величина dT при величинах потока скрытого тепла от (-50) Вт/м^2, и менее, увеличивается. От величины полного потока тепла такая явная зависимость dT не наблюдается.

С увеличением температуры воздуха при фиксированной скорости ветра dT снижается. При температуре +20 °С и выше происходит рост абсолютных величин dT. С увеличением значения разности температур воздуха и ТПМ наблюдается схожая картина. Когда температура воздуха становится на 1 °С, и более, выше чем ТПМ, абсолютное значение dT увеличивается.

В теплый период года (май-август) при фиксированных значений суммарного потока тепла, потока скрытого тепла, температуры воздуха и разности температур воздуха и ТПМ зависимость dT от скорости ветра носит схожий характер: с увеличением скорости ветра абсолютная величина dT уменьшается, что вероятнее всего, связано с ослаблением скин-эффекта и разрушением скин-слоя.

Валидация данных сканера SEVIRI и данных термодрифтеров выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-35-90084. Оценка суточного хода температуры выполнена в рамках гранта РФФИ № 20-35-70034. Исследование зависимости перепада температуры в приповерхностном слое от различных факторов выполнена в рамках государственного задания по теме № 0555-2019-0001.

ФОРМИРОВАНИЕ ПОЛЯ ВНУТРЕННИХ ВОЛН, ГЕНЕРИРУЕМЫХ ДВИЖУЩЕЙСЯ ОБЛАСТЬЮ БАРИЧЕСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ ФОРМЫ

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 одними из генераторов внутренних волн в морях и океанах.

В работе представлено развитие математической модели формирования поля внутренних волн областью атмосферных давлений эллиптической формы при равномерном и прямолинейном движении. Основной целью работы является определение характера распределения волновых возмущений в зависимости от ориентации генератора относительно направления движения.

Исследование выполнено в рамках линейной теории волн с использованием гидростатического приближения и приближения f – плоскости. Волновое поле представляется в виде разложения по модам внутренних волн. Коэффициенты этого разложение удовлетворяют двумерному уравнению Клейна – Гордона, решение которого записывается тройным интегралом. С целью получения эффективного алгоритма расчета рассмотрены круговые модельные распределения поверхностных давлений, для которых получена более компактная форма решения в виде двойных интегралов. Численные эксперименты показали, что не круговое распределение внешних давлений можно моделировать суммой модельных. Также найден частный случай, в котором решение задачи представлено в аналитическом виде, что позволило провести тестирование модели.

В численных экспериментах начальные условия полагались нулевыми. На начальной стадии эволюции в волновом поле доминируют локальные возмущения под областью приложения давлений, от которой распространяются кольцевые волны, затем формируется клинообразный волновой след за генератором.

Области атмосферных давлений перемещаются в среднем быстрее, чем внутренние волны в океане, поэтому волновой след представляет собой суперпозицию продольных и поперечных систем волн. Проведенный анализ показал, что при продольной ориентации генератора, когда большая ось эллипса параллельна скорости перемещения генератора, в волновом следе доминирует первая из этих систем, а при поперечной – вторая. При не симметричной ориентации области внешних давлений относительно направления перемещения волновой след асимметричен и этот эффект может быть значителен.

Выполненные расчеты позволили установить принципиальные зависимости распределения интенсивности волновых возмущений от основных параметров модели.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-45-920019.

ЗОНИРОВАНИЕ ПРИПАЯ ПО ДАННЫМ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СЪЕМКИ

Селюженок В.В., Демчев Д.М.

ГОИН, г. Москва, Россия
v1selyuzhenok@oceanography.ru

Ключевые слова: припай, радиолокационная съемка, стамухи.

В настоящее время ввиду климатических изменений и развивающейся хозяйственной деятельности в Арктике ведется активное изучения состояния арктического ледяного покрова. Припайный лед является важным компонентом прибрежно-шельфовой зоны арктических морей. Продолжительность сезона припайного льда уменьшается. Кроме того, более частыми являются явления

взлома зимнего взлома припая. Для изучения процессов становления и взлома припая, его устойчивости, а также формирования стамух и торосов необходим ряд данных с высоким пространственным и временным разрешением.

Для детального изучения процесса становления припая был адаптирован алгоритм автоматического вычисления дрейфа льда по данным радиолокационной съемки (ENISAT ASAR) в море Лаптевых. С помощью алгоритма были рассчитаны поля дрейфа, а также определены участки ледяного покрова с нулевым дрейфом. Последние были классифицированы как припай (участки ледяного покрова, сопряженные с сушей) и стамухи.

Исследование показало, что с помощью адаптированного алгоритма вычисления дрейфа можно полуавтоматически локализовать крупные стамухи. Информация о расположении стамух, а также времени становления припая на конкретных участках акватории может быть использована для дальнейшего определения стабильности припайного льда.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-35-60033

ВЛИЯНИЕ ПОТОКОВ ТЕПЛА НА ВЕРТИКАЛЬНУЮ ХАЛИННУЮ СТРАТИФИКАЦИЮ В ЧЕРНОМ МОРЕ В ЗАДАЧЕ «СОТВОРЕНИЯ МИРА»

Сендеров М.В., Мизюк А.И.

МГИ, г. Севастополь, Россия
maxim.senderov@mhi-ras.ru

Ключевые слова: Черное море, вертикальная халинная стратификация, пролив Босфор, численное моделирование, долгопериодные расчеты.

Для изучения процессов формирования вертикальной халинной стратификации Черного моря и водообмена через пролив Босфор, уже был выполнен ряд работ. Основная идея, проведен-

ных исследований долгосрочное численное моделирование термохалинных полей в бассейнах Азовского, Черного и Мраморного морей с различными начальными и граничными условиями.

Ранее была проверена возможность осуществления теории Райана – Питмена (теория Черноморского потопа). Для этого было проведено 5 численных экспериментов с разной начальной соленостью (выбирались значения 8, 12, 16, 18 и 22 ‰), однородной по пространству. В этих расчетах учитывалось значение средней по акватории разности между испарением и осадками ($7{,}515 \cdot 10^{-6}$ м^3/с) и климатический расход 11 рек.

Далее изучалось влияние изменения речного стока на формирование халинной стратификации Черного моря и водообмен через пролив Босфор. В этой работе, было проведено 4 численных эксперимента, в которых климатическое значение расхода рек умножалось на 2; 0,5; 1,5; 0,75.

В результате численных экспериментов получилось примерно оценить период осолонения Черного моря от пресноводного озера до нынешнего состояния. Также во всех расчетах устанавливается двухслойная структура в проливе Босфор (наличие нижнебосфорского и верхнебосфорского течений). Во всех расчетах галоклин формируется на глубине 10–40 м. Результаты численного моделирования показали, что отношение верхне- и нижнебосфорского течений линейно зависят от изменений речного стока. На вертикальную халинную структуру речной сток оказывает влияние в большей степени в верхнем 40-м слое.

Продолжая цикл подобных численных экспериментов, в данной работе исследуется влияние граничных условий на поверхности на формирование вертикальной халинной стратификации Черного моря и на водообмен через пролив Босфор. Для проведения исследования на базе модельного комплекса NEMO было проведено три численных эксперимента продолжительностью 65 модельных лет. В этих расчетах в качестве граничных условий на поверхности учитывались потоки тепла, которые были получены в отделе ВАО ФГБУН ФИЦ МГИ. В первом эксперименте задавались следующие поля г/у: суммарный поток тепла, суммарный поток коротковолнового излучения, испарение минус осадки. Во втором эксперименте помимо перечисленных выше г/у, учитывалось постоянное циклоническое тангенциальное

напряжение трения ветра в зональном и меридиональном направлениях, а в третьем эксперименте, задавалось тангенциальное напряжение трения ветра в зональном и меридиональном направлениях с сезонным ходом.

Учет потоков тепла в проведенных экспериментах повлиял на образование верхнего квазиоднородного слоя (ВКС). ВКС в этих расчетах образуется из-за значительного прогрева верхнего слоя, которого нет в первоначальных экспериментах. В тех расчетах где было добавлено ветровое воздействие ВКС образуется чаще и более явно выражен. Задание ветрового воздействия и потоков тепла на поверхности также сказалось на водообмене через Босфор. Значение расходов верхне- и нижнебосфорского течений, в расчетах с учетом граничных условий, уменьшилось практически в два раза по отношению к первоначальному эксперименту, где не было никакого воздействия.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-80025.

ВЕРТИКАЛЬНЫЙ ПЕРЕНОС ИМПУЛЬСА ВНУТРЕННИМИ ВОНАМИ

Слепышев А.А. [1,2], **Анкудинов Н.О.** [2]

[1] *МГИ, г. Севастополь, Россия*
[2] *Филиал МГУ в г. Севастополе, Россия*
slep55@mail.ru

Ключевые слова: внутренние волны, вертикальный перенос импульса.

Вертикальный обмен в морской среде – актуальная проблема, которая далека от своего решения. Можно сказать, что низкая биопродуктивность морей Северного ледовитого океана вдоль российского побережья восточнее Баренцева моря как раз обусловлена слабым обменом глубинных вод и верхнего распресненного слоя. В таких морях, как Карское море, Восточно-Сибирское море, море Лаптевых формируется мощный пикноклин под действием стока сибирских рек Лена, Обь, Енисей, Колыма и др.

Слой скачка плотности препятствует вертикальному обмену, создавая барьерную зону для поступления кислорода в глубинные слои и выноса органического материала из глубинных слоев. Таким образом, мелкомасштабная турбулентность сильно подавлена в пикноклине и актуальным становится исследование вклада внутренних волн в вертикальный обмен. Нелинейные эффекты при распространении внутренних волн проявляются в генерации средних течений, но вертикальная компонента этих течений на переднем и заднем фронте пакета имеет разные знаки и интегрального переноса по вертикали не происходит. Однако при учете вращения Земли в двумерном стратифицированном течении уравнение для амплитуды вертикальной скорости внутренних волн имеет комплексные коэффициенты. Собственная функция внутренних волн – комплексная и частота волны комплексная. Мнимая часть частоты, как показали численные расчеты в северо-западной части Черного моря, мала и может быть как положительной, так и отрицательной в зависимости от волнового числа и номера моды, т.е. имеет место как слабое затухание, так и слабое усиление волны. Вертикальный волновой поток импульса при этом отличен от нуля и может превышать соответствующий турбулентный поток.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2019-0003 при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 15-05-00984.

ВЫХОД ТАЙФУНОВ НА ПРИМОРЬЕ: ТРАНСФОРМАЦИЯ И ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ

Соколихина Н.Н., Петров Е.О.

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

Ключевые слова: тайфуны, атмосферная циркуляция, синоптические процессы.

Предмет исследования – траектории движения и процесс трансформации тропических циклонов (ТЦ), которые выходят на

территорию Дальнего Востока. Особое внимание уделялось изучению причин изменения ТЦ направления движения, связанного с попаданием их в зону западного переноса, а также трансформации в циклоны умеренных широт.

Тропические циклоны, наиболее опасные и разрушительные природные явления на нашей планете, типичны для северо-западной части Тихого океана. В одних случаях они быстро заполняются и затухают, а в других трансформируются в циклоны умеренных широт и могут смещаться на северо-восток вплоть до арктических широт. Они почти ежегодно выходят на территорию Дальнего Востока (наиболее часто оказывая влияние на Приморский край), вызывая катастрофические последствия. Изучение циркуляционных механизмов развития этих атмосферных образований остается актуальным, несмотря на многочисленные исследования в этой области. До сих пор, например, малоизучены вопросы об изменении ими траекторий движения при попадании в западный перенос. Изучение процесса трансформации – также очень актуальная научная задача.

Барико-циркуляционный анализ прохождения тропических циклонов позволил определить два основных сценария их трансформации на полярном фронте: для первого сценария необходимо существование полярно-фронтового циклона над Приморьем, а для второго – только, чтобы полярный фронт сместился на юг. Для количественной оценки интенсивности тропических циклонов и прогноза их трансформации был предложен интегральный индекс относительной

С целью выявления основных мод изменчивости, присутствующих в атмосфере исследуемого региона, применялось разложение по ортогональным функциям (EOF-анализ) геопотенциала в средней тропосфере. Район исследования охватывает всё пространство, где происходит образование, передвижение и трансформация тайфунов северо-запада Тихого океана (от экватора до 70° с. ш. и от 90° в. д. до 170° з. д.). Поэтому моды этого разложения были названы Северо-западным Тихоокеанским колебанием.

Показано, что вторая мода Северо-западного Тихоокеанского колебания может быть предиктором для прогноза траекторий тропических циклонов. Положительная фаза соответствует тому,

что направление движения приобретет северо-западную составляющую и тайфун выйдет к побережью Дальнего Востока.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И СОЛЕНОСТИ СЕВАСТОПОЛЬСКОЙ БУХТЫ В ГИДРОЛОГИЧЕСКУЮ ЗИМУ

Слепчук К.А.

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

Ключевые слова: численное моделирование, термохалинная структура, Севастопольская бухта.

В работе приводятся результаты применения трехмерного варианта гидродинамического блока модели качества вод МЕССА для воссоздания полей температуры и солености в гидрологическую зиму (январь, февраль, март) в акватории Севастопольской бухты. Для моделирования используются срочные данные скорости ветра и его направления, температуры воздуха за 2010 г. с 6-часовым интервалом, среднемесячные данные влажности и балла облачности за 2010 год. Полученные результаты сравниваются с натурными данными. В результате в январе показана вертикальная термохалинная структура, образуется инверсия температуры из-за выхолаживания верхних слоев. В феврале возникает вертикальная однородность, которая является характерной для прибрежных зон в зимний период. Распресненные воды р. Черная достаточно быстро смешиваются с солеными водами бухты, что объясняется сравнительно малым среднемесячным расходом реки и отсутствием моделирования сбросов из Чернореченского водохранилища. В целом можно говорить об адаптации трехмерного варианта гидродинамического блока модели к данному региону. В дальнейшем полученные результаты моделирования могут быть использованы в трехмерном варианте модели качества вод МЕССА.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме №0827-2019-0004.

ВЛИЯНИЕ ПОТОКОВ ТЕПЛА НА ИЗМЕНЧИВОСТЬ ДАТ ПОЛНОГО ОЧИЩЕНИЯ ОТО ЛЬДА В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ 1993–2018 ГГ.

Сумкина А.А. [1,2], Иванов В.В. [2,3], Кивва К.К. [1], Смирнов А.В. [3]

[1] ВНИРО, г. Москва
[2] МГУ, г. Москва, Россия
[3] ААНИИ, г. Санкт-Петербург
alexandrasumkina@gmail.com

Ключевые слова: морской лед, изменение климата, потоки тепла, Арктика.

Баренцево море является одним из важнейших районов мониторинга климатических изменений в Западной Арктике и относится к числу ледовитых, но в отличие от других морей Арктики никогда не покрывается льдом полностью. Длительность ледового периода в Баренцевом море ежегодно сокращается. Одним из параметров, характеризующих изменение ледовитости, является дата полного очищения ото льда (ДПО). Под очищением ото льда принято понимать уменьшение концентрации льда до величины менее 15 %. Очищение акватории ото льда во многом определяет особенности протекания таких биологических процессов, как «цветение» фитопланктона и вспышка численности зоопланктона [Дружкова Е.И. Нанофитопланктон ледовой прикромочной зоны Баренцева моря в летний период 2017 года/ Е.И. Дружкова, М.В. Летний, П. Года. – 2018. – Р. 29–44].

В исследовании использованы данные о концентрации льда ClimateDataRecord (CDR) NOAA/NSIDC с 1993 по 2018 г. [Smedsrud L.H., Esau I., Ingvaldsen R.B. The role of the Barents Sea in the Arctic climate system // Reviews of Geophysics. – 2013. – Vol. 51. – № 3. – P. 415-449]. Для удаления синоптической изменчивости исходный массив сглажен 7-дневным скользящим средним. Использован подход порогового значения [Peng G., Steele M., Bliss A.C., Meier W.N., Dickinson S. Temporal Means and Variability of Arctic Sea Ice Melt and Freeze Season Climate Indicators

Using a Satellite Climate Data Record. Remote Sens. 2018, Vol. 10(9), P. 1328], однако в нашем исследовании ДПО в заданный год в каждом узле сетки определена как день с концентрацией льда ниже15 %, после которого продолжительность периода с концентрацией льда менее 15 % была наибольшей. Для расчета адвективного потока тепла через границы Баренцева моря использованы ежесуточные результаты реанализа GLORYS12V1c 1993 по 2018 г. Адвективный поток тепла рассчитан по температуре воды и скорости горизонтального течения на 7 разрезах. Поток тепла (DH, Вт) рассчитан как произведение аномалии температуры (T(z)–Tref), скорости течения, плотности воды, и теплоемкости при постоянном давлении, проинтегрированной по площади разреза.

Связь ДПО с изменчивостью адвективного потока тепла вдоль границ Баренцева моря исследована с использованием коэффициента корреляции Спирмена. Высокая корреляция, как и предполагалось, наблюдается с потоком через разрез о-в Медвежий (Норвегия). Между потоком и ДПО наблюдаются высокая значимая корреляция по всей акватории моря, вдоль кромки льда корреляция отсутствует или незначима. Также выполнен расчет коэффициента корреляции между среднемесячными значениями потока через разрез о-в Медвежий – Норвегия и ДПО, корреляция значима, но слабая (–0,3…–0,5). Сокращение площади морского льда начинается с конца февраля, но максимум стаивания приходит на май-июль. Рассчитана сумма потоков с сентября по февраль включительно для разреза о-в Медвежий – Норвегия и прокоррелирована с ДПО следующего года. Наблюдается высокая значимая корреляция –0,6…–0,8 по всей акватории моря.

Межгодовая изменчивость ДПО в Баренцевом море в значительной степени зависит от адвекции тепла Нордкапским течения.

БАРЕНЦЕВО МОРЕ: СЕЗОННАЯ И МНОГОЛЕТНЯЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЭНЕРГООБМЕНА С АТМОСФЕРОЙ

Суркова Г.В., Романенко В.А.

МГУ, г. Москва, Россия
galina_surkova@mail.ru

Ключевые слова: Баренцево море, турбулентный обмен с атмосферой.

Исследован многолетний режим турбулентного теплообмена с атмосферой над Баренцевым морем, его пространственная, сезонная и синоптическая изменчивость, связь с индексами общей циркуляции атмосферы. Исходными данными послужили результаты реанализа ERA-Interim и индексы, рассчитанные в CPC NOAA (1979–2016 гг.).

Показано, что на протяжении последних десятилетий области расположения максимумов и минимумов энергообмена между поверхностью Баренцева моря и атмосферой существенно не изменились по сравнению с серединой и второй половиной XX века, но возросли значения потоков в атмосферу. В среднем за год (1979–2016 гг.) над акваторией Баренцева моря поток явного тепла в атмосферу достигает максимумов у берегов Скандинавского и Кольского полуостровов, у берегов о. Южный архипелага Новая Земля (70 Вт/ м^2). Наименьший поток явного тепла наблюдается над северными, покрытыми льдом районами моря (менее 20 Вт/м^2). Среднегодовой поток скрытого тепла наибольший над южной, юго-западной и юго-восточной частями моря (120–100 Вт/м^2), где большую часть года не наблюдается ледовый покров.

Годовой ход потоков ярко выражен и также имеет различия в северной и южной части моря в зависимости от наличия ледового покрова и его сплоченности. Особенно активно турбулентная отдача явного и скрытого тепла происходит в зимнее время.

Выявлено, что наибольшая сезонная и синоптическая (внутримесячная) изменчивость потоков тепла характерна для централь-

ной и западной частей Баренцева моря. Получено, что оба показателя изменчивости в холодное время года в 2–5 и более раз выше, чем в теплое, а пространственная неоднородность показателей изменчивости зимой примерно в два раза больше, чем летом.

Исследована связь энергообмена моря и атмосферы с общей циркуляцией атмосферы (ОЦА), характеризуемой через индексы Северо-Атлантического колебания NAO, арктического колебания AO, скандинавского колебания SCAND. На основе корреляционный анализа выявлена существенная пространственная неоднородность связи потоков тепла и ОЦА. Это связано с активной циклонической деятельностью в этом регионе, а также с тем, что площадь Баренцева моря сопоставима с размерами синоптических вихрей – циклонов и антициклонов – в разных секторах которых происходит адвекция воздушных масс из других широт. Получено, что связь с индексом AO на протяжении года преимущественно отрицательная и особенно выражена зимой, когда положительная фаза индекса соответствует вторжениям с севера и интенсификации потоков явного и скрытого тепла над открытой водой. Связь с индексом NAO имеет значительную пространственную неоднородность, в разных частях моря знак может быть различен. Индекс SCAND свидетельствует о наличии и мощности области повышенного давления над Скандинавским п-овом. При активизации Скандинавского процесса над полуостровом устанавливается блокирующий антициклон и усиливается адвекция холодного воздуха с севера на акваторию моря, что стимулирует энергообмен с атмосферой. Поэтому полученные значимые связи между SCAND и величиной потоков тепла имеют преимущественно положительный знак и более выражены в теплый период, а также осенью и в начале зимы.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 18-05-60083, подготовка и обработка начальных данных), госзадания (номер ЦИТИС: АААА-А16-116032810086-4, анализ результатов).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАСКАДИНГА НА ШЕЛЬФЕ МОРЕЙ БОФОРТА И ЛАПТЕВЫХ ПО ДАННЫМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Тузов Ф.К.

МГУ, г. Москва, Россия
fedor-tuz@mail.ru

Ключевые слова: каскадинг, Северный Ледовитый океан, численное моделирование.

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.

Как правило, каскадинг достаточно непродолжительное во временном плане явление и обнаружить его во время экспедиций затруднительно. Однако, на данный момент существует ряд научных работ, описывающих каскадинг по экспедиционным данным в разных частях мирового океана, в том числе и на шельфе Северного Ледовитого океана. Используя данные современного модельного расчета NEMO (версия 3.4) и ориентируясь на литературные данные о районах, где может происходить каскадинг удалась выявить в массиве модельных данных области, где наблюдался каскадинг. Был использован модельный расчет с временным интервалом 5 дней за период 1986–2010 гг. и 74 горизонтами по глубине. Данные были проверены на следующие условия, способствующие развитию каскадинга: плотность в исследуемом узле на придонном горизонте больше, чем на вышележащем горизонте; среди окружающих исследуемый узел восьми узлов найдется такой, что его глубина больше, а плотность на придонном горизонте меньше, чем на исследуемом узле; исследуются узлы на склоне в заранее заданном диапазоне глубин. Соблюдая эти условия и применяя их последовательно к узлам с возрастающей глубиной, можно получить разрез с распределением плотно-

сти, благоприятным для развития каскадинга. В результате проверки всего модельного расчета по предложенным условиям образуется массив данных с координатами разрезов, где может происходить каскадинг.

При обработке модельного расчета по районам архипелага Северная земля и морю Бофорта были получены массивы данных с координатами разрезов, по которым может проходить каскадинг. Для района арх. Северная земля на разрезах в отдельных случаях уменьшение плотности с глубиной прослеживается при перепаде глубин до 50 м, а конечные узлы разрезов могли достигать глубины 450 м. В море Бофорта в районе дельты р. Маккензи случаи каскадинга более часты, и уменьшение плотности с глубиной в отдельных случаях прослеживается при перепаде глубин до 60 м.

В докладе будут представлены результаты модельного расчета, т также разобраны случаи каскадинга, найденные в результате работы алгоритма.

Данная работа выполнена по грантам РФФИ № 18-05-60083 и РФФИ № 19-35-90124 «Аспиранты».

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ОКЕАНА ВДОЛЬ ТРАНСАТЛАНТИЧЕСКОГО ГАЛСА ПО ДАННЫМ ПОПУТНЫХ СУДОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ НА НЭС «АКАДЕМИК ФЕДОРОВ»

Федирко А.В. [1], Артамонов Ю.В. [1], Скрипалева Е.А. [1], Гамбарян А.С. [2]

[1] МГИ, г. Севастополь, Россия
[2] ААНИИ, г. Санкт-Петербург, Россия
vault102@gmail.com

Ключевые слова: Атлантический океан, попутные судовые измерения, температура поверхности океана, метеорологические параметры, пространственно-временная изменчивость.

Представлены результаты анализа пространственного распределения аномалий температуры поверхности океана (ТПО) по

данным попутных измерений на НЭС «Академик Федоров» за период 1999 по 2019 гг. Измерения проводились на трансатлантических галсах (от 50° с. ш. до п. Кейптаун) в ходе 19 рейсов практически по одному и тому же маршруту и в одно и то же время года (ноябрь–декабрь). Измерения ТПО проводились непрерывно с помощью датчика температуры забортной воды, закрепленного в проточной системе носовой части судна по левому борту на глубине 2 м. В работе использовались значения ТПО в основные синоптические сроки (8 значений в сутки). Аномалии измеренной ТПО вдоль галса для каждого рейса рассчитывались относительно ТПО за ноябрь-декабрь, осредненной за все 19 рейсов. Для интерпретации особенностей поля ТПО привлекались измерения метеорологических параметров, которые проводились с помощью судовой автоматической станции погоды MILOS-500, и факсимильные карты погоды.

В большинстве рейсов наблюдалась смена знака аномалий ТПО к югу от термического экватора, что связано с противоположными фазами сезонного цикла ТПО в Северном и Южном полушариях. В Северном полушарии ноябрь-декабрь приходится на период интенсивного охлаждения поверхностных вод, в Южном – на период начала их прогрева. Особенно четко смена знака аномалий проявилась в 2006, 2015 и 2016 гг., когда севернее экватора наблюдались положительные аномалии ТПО, южнее – отрицательные, и в 2003, 2018 и 2019 гг., когда севернее экватора аномалии, наоборот, были отрицательными, а южнее – положительными. Исключение составили 1999 и 2002 гг., когда вдоль всего галса аномалии были отрицательными, и 2010 г., когда аномалии были преимущественно положительными.

Наибольшие аномалии ТПО разных знаков по данным всех рейсов отмечались между 12° и 25° с. ш. в зоне Канарского апвеллинга. В этом районе максимальные отрицательные аномалии достигали −2…−2,2 °С в 2003, 2008 и 2011 гг. и −4,2…−4,5 °С в 2018 и 2019 гг. Максимальные положительные аномалии (до 3 °С) наблюдались в 2004, 2010 и 2015 гг. Высокие значения аномалий ТПО разных знаков (до 2–2.5 °С) наблюдались между 35° и 45° с. ш. и между 15° и 30° ю. ш. в зонах Северного (ССАК) и Южного (ЮСАК) субтропического антициклонических круговоротов. В зоне ССАК в 2003, 2008 и 2019 гг. аномалии были отри-

цательными, в 2006, 2009, 2012–2015 и 2017 гг. – положительными. В зоне ЮСАК – в 1999, 2002, 2006, 2011, 2012 и 2015 гг. – отрицательными, в 2003, 2004 и 2016 гг. – положительными. Выявленные аномалии фактической ТПО обусловлены ее синоптической и межгодовой изменчивостью. Сопоставление аномалий ТПО по данным попутных измерений с распределением аномалий ТПО по данным реанализа OI SST, рассчитанных для тех же лет относительно климатического значения ТПО для ноября, показало их хорошее качественное соответствие. Это позволило оценить по данным OI SST пространственную структуру межгодовых аномалий ТПО в периоды выполнения попутных измерений. Показано, что выявленные вдоль галса аномалии являются проявлением межгодовой изменчивости ТПО в зонах Канарского, экваториального и Бенгельского апвеллингов, и в областях ССАК и ЮСАК.

ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ВОД СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ В 108-М РЕЙСЕ НИС «ПРОФЕССОР ВОДЯНИЦКИЙ»

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

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 пространственных особенностей термохалинной структуры и динамики вод северной части Черного моря по материалам 108-го рейса НИС «Профессор Водяницкий» (11 июля – 5 августа 2019 г.).

Показано, что наибольшие геострофические скорости Основного черноморского течения (ОЧТ) (40 см/с) наблюдались над материковым склоном к югу от Крымского п-ова и у берегов Кавказа. По инструментальным данным максимальные скорости ОЧТ заметно изменялись от горизонта к горизонту и составляли у поверхности 40 см/с, на горизонте 10 м – 60 см/с, в слое 25–100 м – 30–35 см/с, на горизонтах 150 и 200 м соответственно 20 и 15 см/с. Южнее ОЧТ в западной, центральной и восточной частях съемки прослеживались три крупномасштабных циклонических меандра. По инструментальным данным центральный и восточный меандры представляли собой замкнутые циклонические круговороты, которые прослеживались соответственно в 200- и 50-метровом слоях. К северу от ОЧТ наблюдалось несколько антициклонических круговоротов – к юго-западу от Гераклейского п-ова в верхнем 100-метровом слое, над свалом глубин к югу от Феодосийского залива в 200-метровом слое, к юго-востоку от м. Аю-Даг в подповерхностном слое 150–200 м. У берегов Кавказа на траверзе участка побережья между Геленджиком и Туапсе прослеживался антициклонический меандр, который на горизонтах 75 м и 100 м преобразовывался в замкнутый круговорот.

Распределение температуры на поверхности отражало продолжающейся прогрев вод. Максимальные значения температуры (25,5–26,5 °С) были выявлены у берегов Кавказа и на северо-западе полигона, где измерения проводились в конце съемки. Низкие значения температуры (ниже 24,5 °С) отмечались в центральной части съемки. Минимальная температура (20–22,5 °С) наблюдалась у берегов Крыма и в Каламитском заливе, где измерения проводились в начале съемки. Максимальная соленость на поверхности (18,7 ‰) наблюдались в циклонических меандрах ОЧТ. Понижение солености (до 17–18 ‰) прослеживалось в северо-западной части съемки, у берегов Крыма и Кавказа.

Верхний квазиоднородный слой (ВКС) был развит слабо, что типично для летнего сезона, когда ветровое перемешивание наименее интенсивно. Наибольшие глубины ВКС (14–17 м) наблюдались в северо-западной части съемки, у южных берегов Крыма и у Кавказского побережья, минимальные (до 6 м) – в открытой глубоководной части полигона.

Воды с минимальной температурой в ядре ХПС (8,1–8,2 °С) наблюдались в виде «пятен» к северу от областей минимальной глубины залегания ядра ХПС (40–45 м), расположенных в южной части полигона, где температура в ядре, наоборот, повышалась до 8,3–8,35 °С. Повышение температуры в ядре ХПС (до 8,35–8,45 °С) прослеживалось также к югу от Керченского и Таманского п-овов, у берегов Кавказа и в юго-восточной части полигона, где его глубина увеличивалась до 85–90 м.

Глубина залегания верхней границы сероводородной зоны по изопикне 16,2 усл. ед. изменялась от 90 м (в зонах циклонических меандров) до 165 м (над свалом глубин).

На глубинах 150–500 м максимальные значения термохалинных параметров наблюдались на юге съемки в циклонических меандрах, минимальные – над свалом глубин, что обусловлено наклоном в сторону берега в зоне ОЧТ термоклина и галоклина.

В целом в период съемки термохалинная структура и динамика вод находились в пределах их естественной изменчивости.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-05-00664.

РАСЧЕТЫ ОПАСНЫХ НАГОНОВ В РАЙОНЕ УСТЬЯ Р. ДОН

Филиппов Ю.Г.

ГОИН, г. Москва, Россия,
ugfil@mail.ru

Ключевые слова: Азовское море, модель мелкого моря, аппроксимация, определение ветра, коэффициент трения ветра, уровень моря, сравнение расчетов с наблюдениями.

Целью настоящей работы является определение уровня воды на границе дельты реки Дон с морем во время сильных и катастрофических штормов западного сектора, приводящих к ее опасному затоплению. В настоящее время есть работы по моделированию таких нагонов в восточной части Таганрогского залива.

Это работы [Попов С.Г., Лобов А.Л., 2016], [Фомин В.В., Дианский Н.А., 2018]. Однако они не рассматривают вопросы, связанные с затоплением устья. Задача с затоплением дельты выполнялась в МГИ РАН [Фомин В.В. и др., 2018], но полностью решить эту сложную задачу пока не удается.

Расчеты колебаний уровня в мелком море, каким является Азовское море, традиционно основываются на решении системы уравнений длинных волн в однородной несжимаемой жидкости в поле силы Кориолиса.

Система дифференциальных уравнений длинных волн аппроксимировалась уравнениями в конечных разностях по явно-неявной схеме расщепления с одним дробным шагом по времени. Особенностью ее является то, что члены с параметром Кориолиса представляются вторым порядком точности, а сомножители в нелинейном трении берутся на разных уровнях по времени, делая схему по трению абсолютно устойчивой. Для конечно-разностной аппроксимации задачи использовалась полуразнесенная расчетная сетка (сетка «В» по классификации Аракавы). Такая сетка удобна для определения переменной глубины моря. Шаг ее с запада на восток составлял 4', с севера на юг 2,5'.

Расчетная область охватывала Азовское море, Керченский пролив и прилегающий шельфовый район Черного моря. Таким образом, южная граница расчетной области находилась в Черном море в районе изобаты 100 м. На этой границе ставилось условие свободного протекания.

Моделирование шторма выполнялось по данным о ветре, полученном сотрудником ГОИНа.

В.В. Фоминым по модели WRF на сетке, с разрешением 8,1 мин и шагом по времени 1 час. Напряжение ветра на поверхности водоема, как обычно, определялось квадратичной зависимостью от скорости ветра. Однако коэффициенты в этих формулах зависят от условий, при которых они были получены. Так, в работе [Вилсон Б.В., 1964] приводится 47 различных формул для определения этой величины. В работе [Панин Г.Н., Кривицкий, 1992] их еще 37.

Во многих работах коэффициент трения ветра считается зависящим от скорости ветра. Однако для умеренных ветров этот коэффициент часто принимается постоянным. Это связано с тем,

что, хотя с ростом скорости ветра растут и размеры волн, но скорость движения волн при этом также увеличивается и поэтому шероховатость поверхности моря изменяется не сильно [Ролль, 1968].

Однако при больших ветрах все меняется, так как изменяется физическая картина поверхности моря. Волны опрокидываются, образуются брызги и пена, пена ложится полосами в направлении ветра и переносит массу воды со скоростью, сравнимой со скоростью ветра. Пена и брызги ударами в поверхность волн усиливают влияние ветра. В этом случае в коэффициент трения ветра нужно добавить член, отражающий этот процесс. Решение этой задачи проще искать эмпирически, т. к. теоретически сделать это очень сложно. Для определения скорости ветра, при которой начинается образование полос пены, была использована шкала Бофорта, которая указывает, что при средней скорости ветра 15 м/с «волны громоздятся, пена, срываемая с гребней, ложится полосами по ветру».

В данной работе использовалось моделирование и наблюдение за уровнем моря в штормах 2013 и 2014 гг. Коэффициенты для параметризации ветрового трения подбирались для наилучшего воспроизведения нагонов в этих штормах.

Шторм 2014 г. произошел 24 сентября в результате образования над Крымским п-овом мощного циклонического вихря. Начиная с 4 ч 24 сентября ветер со скоростью 8 м/с начал меняться с восточного на юго- восточное с усилением до 12 м/с и порывами до 23 м/с. С 8 часов он постепенно сменился на юго-западный и западный при средней скорости 20–23 м/с и порывами до 37 м/с. Скорость ветра W в Таганроге достигала 36 м/с, в Маргаритово 37 м/с. С 17.30 ч западный ветер уменьшился до 17 м/с и сменил направление с западного на северо-западное. Состояние атмосферы над морем все это время было устойчивым.

На основании расчетов уровня и сравнения их с наблюдениями была получена зависимость трения ветра при ветре со скоростью до 15 м/с и для большей скорости ветра. Следует отметить, что эмпирические коэффициенты в этих формулах, как и в большом количестве подобных формул, не являются универсальными. Полученные прямыми градиентными (профильными) и пульсационными измерениями ветра, измерениями элементов

ветровых волн, длины разбега ветра, размеров акватории, состояния атмосферной стратификации, в лабораториях или в натурных наблюдениях и построенные по ним многочисленные формулы для коэффициентов сопротивления ветра не всегда могут быть использованы для практических расчетов в другом море. Уровень моря в конкретном районе является единственным реальным показателем, суммирующим влияние всех перечисленных факторов и при этом определяемым с наибольшей точностью, необходимой для расчета трения ветра. В частности, расчеты с использованием формул, полученных по результатам сопоставления расчетов и наблюдений уровня в Азовском море при умеренных ветрах и устойчивой стратификации атмосферы над морем в течение года, были доложены на Центральной методической комиссии Росгидромета и применяются в настоящее время для прогноза уровня в портах Азовского моря.

Для того, чтобы определить уровень воды на границе устья и моря при шторме, необходимо определить поток воды через эту границу. Для этого, не рассматривая распределение уровня морской воды по площади устья, площадь затопления в первом приближении моделировалась в виде плоскости, наклоненной к морскому краю с углом, равным уклону реки между постами Дугино и Перебойный в сентябре 2014 г. Эта величина была принята для определения общего наклона площади затопления от уреза реки до линии Калинин-Новоалександоровка. Кроме того, учитывалось торможение потока морской воды из-за речного стока и изменения коэффициента трения о дно в области заливания дельты.

Шторм 24 сентября 2014 г вызвал повышение уровня по расчетам в п. Таганрог на 395 см (по наблюдениям 391 см) над среднемесячным уровнем в 448 см БС. Сток р. Дон, был небольшим (в станице Раздорской 23.09.2014 сток Дона составлял 434 $м^3/с$) и не мог повлиять на уровень в Таганроге.

К сожалению, нет инструментальных данных об уровне во время этого шторма в пунктах восточного побережья Таганрогского залива. В п. Перебойном и п. Очаковская Коса в результате их затопления данные получены только по следам наводнений и показаниям очевидцев. По этим данным максимальный уровень за период шторма в п. Перебойном и в п. Очаковская Коса был

одинаковым и составил 867 см БС. Расчеты в этих пунктах показали соответственно 863 и 864 см.

Шторм 24 марта 2013 г вызвал внезапное понижение температуры воздуха, пошел снег, наступила метель. Средняя за месяц температура воды в Таганрогском заливе составляла +3.9°. Налицо была неустойчивая стратификация атмосферы. Ветер в Таганроге достиг 22 м/с. Подъем воды в п. Перебойном и п. Очаковская Коса над застроенной территорией составил 50–100 см. Расчет нагона при этом шторме выполнялся с привлечением тех же формул, но с учетом стратификации атмосферы над морем. Согласно работам Г.У. Ролля (1968) и А.И.Соркиной (1958) неустойчивая стратификация атмосферы над морем может значительно, на порядок и более, увеличить эффективный коэффициент трения по сравнению с летним устойчивым состоянием. Объясняется это, по-видимому, конвективным перемешиванием морской воды, когда охлажденная наверху вода опускаясь, передает количество движения ближайшим нижележащим слоям. Однако, температура воды быстро выравнивается и эффективный коэффициент трения также быстро уменьшается.

В Таганроге уровень превысил средний за март (506 см БС), на 244 см, что практически соответствует наблюдениям. В п. Очаковская Коса расчеты показали превышение уровня на 245 см. В п. Перебойном, расположенном дальше по оси нагона, по расчетам уровень поднялся на 260 см. По показаниям очевидцев и следам наводнений эти цифры равны соответственно 235 и 237 см.

Соответствие расчетов и наблюдений максимальных уровней здесь объясняется подбором коэффициента трения для штормов 2013 и 2014 г и коэффициента стратификации атмосферы над морем при шторме 2013 г. Подбор этих коэффициентов был бы более обоснованным, если бы был подтвержден еще несколькими такими штормами.

СИСТЕМА МОРСКИХ РЕТРОСПЕКТИВНЫХ РАСЧЕТОВ И ПРОГНОЗОВ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АЗОВСКОГО МОРЯ И КЕРЧЕНСКОГО ПРОЛИВА

Фомин Вл.Вас. [1,3], Дианский Н.А. [1,2,3], Коршенко Е.А. [1], Панасенкова И.И. [1]

[1] ГОИН, г. Москва, Россия
[2] МГУ, г. Москва, Россия
[3] ИВМ РАН, г. Москва, Россия
nikolay.diansky@gmail.com

Ключевые слова: Азовское море, Керченский пролив, гидрометеорологические характеристики, краткосрочный прогноз.

В работе представлена система морских ретроспективных расчетов и прогнозов (СМРП) гидрометеорологических характеристик, разработанная в ФГБУ Государственный океанографический институт им. Н. Н. Зубова (ГОИН) и реализованная с высоким пространственным разрешением для акватории Азовского моря и Керченского пролива. Основными компонентами СМРП являются российская модель морской циркуляции INMOM (Institute of Numerical Mathematics Ocean Model), региональная негидростатическая атмосферная модель WRF (Weather Research and Forecasting Model) и модель ветрового волнения PABM (российская атмосферно-волновая модель). Верификация системы проводилась по доступным данным натурных измерений на гидрометеорологических станциях. Результаты верификации свидетельствуют, что все используемые модели с достаточной для практического применения точностью воспроизводят пространственно-временную изменчивость гидрометеорологических характеристик. Версия СМРП для акватории Азовского моря используется в сотрудничестве с Северо-Кавказским УГМС, а для Керченского пролива с ФГБОУ ВО Государственный Морской Университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова (ГМУ).

ВНУТРЕННИЕ ВОЛНЫ В СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ КОНТИНЕНТАЛЬНОГО СКЛОНА ЧЕРНОГО МОРЯ

Химченко Е.Е., Гончаров В.В., Клювиткин А.А., Островский А.Г.

ИО РАН, г. Москва, Россия
ekhym@ocean.ru

Ключевые слова: внутренние волны, шельф, Черное море, инерционные движения, профилограф «Аквалог».

Внутренние волны являются одним из основных механизмов, обеспечивающих вертикальное перемешивание в океане и морях. Они играют важную роль в процессах вертикального перемешивания в условиях почти замкнутого Черного моря, где отсутствуют значимые приливы. Натурные наблюдения за внутренними волнами здесь начались в начале 60-х годов XX века и продолжаются по настоящее время. Большая часть контактных наблюдений привязана к шельфовой зоне, где имеются стационарные платформы, с которых удобно вести продолжительные наблюдения за внутренними волнами, используя комплекс оборудований.

В данной работе приводятся результаты наблюдений за квазиинерционными внутренними волнами на континентальном склоне Черного моря, где измерения проводятся значительно реже ввиду сложности их организации. Представлен анализ данных, полученных в январе-марте 2016 г. при помощи заякоренного профилографа «Аквалог», установленного на глубине 220 м в районе континентального склона Черного моря мористее Геленджикской бухты**.** Также приведены результаты длительных наблюдений (01.12.2017–04.12.2018) за температурой на глубине 260 м по данным заякоренной станции, установленной в нижней части северо-восточного склона глубоководной котловины Черного моря в точке с координатами 43°26,094' с. ш. 36°22,317' в. д.

В районе северо-восточного склона выявлены характерные внутренние волны инерционного периода по данным вертикальных распределений температуры, солености, плотности, а также скорости течений. Примечательно, что наблюдаемые волны зарегистрированы в условиях зимней стратификации. Отмечается наибольшая интенсификация инерционных движений в январе-феврале, что вероятно, обусловлено большим перепадом температур (и соответственно большим градиентом плотности) между верхним и нижним слоем вод, а также усилением ветровой активности над Черным морем в зимний сезон. При этом наблюдается прохождение «пакетов» инерционных внутренних волн высотой до 30 м. Квазиинерционные внутренние волны на континентальном склоне проявились и в данных скорости течений, в отличие от шельфовой зоны моря, где их годографы значительно искажаются под влиянием сильных вдольбереговых течений и проходящий вихрей. Рассчитаны частотные спектры, наблюдаемых внутренних волн, а также дисперсионные соотношения для внутренних волн 1 моды с частотой, близкой к локальной инерционной.

В районе склона глубоководной впадины частотный спектральный анализ данных годовой записи температуры на горизонте 260 м имеет выраженный пик на околоинерционной частоте. Анализ сезонной изменчивости показал, что наиболее интенсивные инерционные движения наблюдаются в зимний период, также, как и на склоне шельфа. Заметно ослабевают проявления квазиинерционных движений в летнее время и вновь усиливаются осенью.

Работа выполнена в рамках государственного задания тема № 0149-2019-0011, обработка данных осуществлялась при поддержке проектов РФФИ № 19-05-00459 и № 19-05-00787.

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОЛЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И СОЛЕНОСТИ В СЕВАСТОПОЛЬСКОМ РАЙОНЕ ЧЕРНОГО МОРЯ

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

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

Ключевые слова: автоматизированная система, мониторинг, гидродинамическая модель, валидация, точность, температура, соленость.

Система диагноза и прогноза циркуляции вод в Севастопольском районе Черного моря была разработана в 2015 г. на основе адаптации гидрологической модели POM. Западная и восточная границы акватории Севастопольского района соответствуют 43.708 и 44.979 с. ш., южная и северная границы – 31.996 и 34.232 в. д. Батиметрия Севастопольского района задавалась согласно данным GEBCO с разрешением 30 угловых секунд, проинтерполированного на сетку модели.

Поля температуры и солености, рассчитаны с разрешением ~ 1 км по горизонтали и на 18 сигма-уровнях вертикали. Начальные поля и граничные условия задаются на основе технологии вложенных сеток, по данным бассейновой гидродинамической модели Черного моря с относительно грубым пространственным разрешением (5км). При сопоставлении использовались результаты, полученные за каждые три часа первых суток прогноза.

Рассчитанные величины полей температуры и солености сравнивались с данными контактных измерений, выполненные с борта НИС «Профессор Водяницкий» за 2017–2019 гг. Большинство натурных измерений было выполнено в весенне-осенний период времени, когда в Черном море формируется узкий сезонный термоклин. Данные получены с использованием зондирующего CTD зонда и содержат информацию о температуре, солености и плотности морской воды.

Сопоставление выполнялось для шести слоев, с глубинами: 0–5, 5–30, 30–100, 100–300, 300–800, 800–2 100 м. Общий объем совместной выборки с 2017 по 2019 гг. составил 198 686 совместных измерения, содержащиеся в 444 профилях температуры и солености.

Наибольшие ошибки моделирования полей температуры наблюдаются в верхнем 100-метровом слое, в особенности в слое от 5 до 30 м где их среднеквадратичные величины превышают 2 °С. Причина таких расхождений, на наш взгляд, заключается в том, что в используемой модели, из-за особенностей батиметрии Черного моря, трудно подобрать оптимальную сетку глубин. Действительно, на северо-западном шельфе с глубиной меньше 100 м, минимальная толщина сигма уровней оказывается порядка 0,1 м, в то время, как вблизи южного берега Крыма, где глубины достигают ~ 2 000 м, расстояние между соседними сигма уровнями оказывается в два раза больше, чем в бассейновой модели, вертикальное разрешение которой также требует улучшения.

При сопоставлении величин солености имеет место отрицательное систематической смещение данных модели по отношению к данным натурных измерений. Возможно, это объясняется тем, что в бассейновой модели Черного моря после 2016 года идет систематический тренд в полях солености, причины которого пока выяснить не удалось. По нашему мнению, использование таких некорректных начальных и граничных условий из бассейновой модели приводит к значительным систематическим ошибкам в величинах солености, получаемых в Севастопольском районе.

Работа выполнена за счет гранта РФФИ № 18-45-920055.

ДИНАМИКА ПЛЮМА В ШЕЛЬФОВОЙ ЗОНЕ ЧЕРНОГО МОРЯ

Цыганова М.В., Лемешко Е.М.

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

Ключевые слова: шельф, сток рек, плюм, Черное море.

Цель работы заключается в исследовании закономерностей распространения речных вод в море, формирования гидрологических фронтов в приустьевой зоне, образования плотностных течений и оценивании транспорта распресненных вод на северо-западном шельфе Черного моря.

По данным контактных измерений оценивались характерные масштабы плюма реки Дунай. Бароклинный радиус деформации Россби для распресненных вод, основанный на толщине верхнего слоя, рассчитывался по формуле $R_{di} = \left(g'h_0\right)^{1/2} / f$, где $g' = g\Delta\rho / \rho_0 = g\left(\rho_0 - \rho_i\right) / \rho_0$; g – ускорение свободного падения; h_0 – глубина устья; ρ_i – плотность воды в районе устья, значения брались из климатически данных; ρ_0 – плотность вод шельфа; f – параметр Кориолиса. Для малого стока или большой разницы плотности вод шельфа и устья $y = 4{,}24R_{di}$. Таким образом, стоковый гидрофронт распространяется в поверхностном слое как минимум на четыре радиуса Россби от берега. В случае большого объема стока или малой разницы плотности вод шельфа и устья $y = 5{,}46\ R_{di}$. Бароклинный радиус деформации Россби зависит от ширины, формы и глубины прифронтального потока и связанного с ним перепада плотности. В результате проведенного анализа получены оценки межгодовой изменчивости масштабов трансформации вод реки Дунай на северо-западном шельфе Черного моря, глубины залегания и положения внешней границы стоковой фронтальной зоны в зависимости от расходов реки, геометрии устья и стратификации вод шельфа.

Анализ архивных гидрологических измерений на шельфе позволил получить статистические характеристики расстояния до

внешней границы стокового гидрофронта для типичных условий стратификации вод на шельфе и величин расхода воды реки Дунай в различные сезоны, расчеты параметров стратификации и радиуса деформации R_{di} проводились по данным гидрологических съемок в районе устья Дуная за период 1992–2007 гг. При этом минимальное расстояние распространения дунайских вод от берега в сторону моря без учета действия ветра составило $y = 4{,}24\ R_{di}$, а максимальное $y = 5{,}46\ R_{di}$, где R_{di} – радиус деформации Россби, что хорошо согласуется с результатами анализа гидрологических данных

Полученные результаты дают представление о характерных пространственно-временных масштабах формирования плюма в отсутствие ветра: вертикальный масштаб составил 4–5 м, горизонтальный – от устья до внешней границы гидрофронта 25–50 км, характерное время установления стационарного плотностного течения составило 5–10 суток.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2019-0004.

ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ КОСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ МОРЕЙ И ОКЕАНОВ: ОБЛАЧНАЯ ПАРАДИГМА

Чверткова О.И., Замшин В.В., Матросова Е.Р.

НИИ «АЭРОКОСМОС», г. Москва, Россия
office@aerocosmos.info

Ключевые слова: дистанционное зондирование, космические данные, облачные технологии, океан, море, геоинформационные системы.

Необходимость контроля состояния морей и океанов обуславливает потребность в своевременном получении и комплексной обработке больших объемов космических данных дистанционного зондирования. В настоящее время эти процессы могут про-

водиться с использованием облачных технологий. Одним из примеров реализации таких технологий является облачная платформа Google Earth Engine (GEE). Функционал этой платформы предоставляет ее пользователям новый спектр возможностей, существенно расширяющих перспективы обработки и анализа космических данных дистанционного зондирования морей и океанов.

Цель работы – исследование возможностей и особенностей применения облачных технологий обеспечения жизненного цикла космических данных дистанционного зондирования морей и океанов на примере реализации исследовательских проектов в сервисе GEE. Задачи исследования включают в себя:

– анализ функционала GEE и доступных в рамках этой платформы архивов космических данных для изучения морской среды;

– реализация различных сценариев работы с космическими данными дистанционного зондирования морей и океанов с использованием GEE согласно типовым задачам исследовательских проектов;

– оценка полученных результатов с выявлением особенностей функционирования облачных платформ обработки космических данных дистанционного зондирования морей и океанов.

В результате исследования был накоплен и проанализирован опыт работы в облачной инфраструктуре GEE по следующим направлениям: автоматизированный поиск архивных космических изображений, настраиваемая визуализация изображений и их дешифрирование с присвоением семантических характеристик объектам интереса, формирование многопользовательской базы данных выделенных объектов и их значимых параметров, вычисление карт количества релевантных наблюдений, выгрузка данных на локальный ресурс и др.

Обработка значительных объемов данных в рамках вышеперечисленных задач позволила выполнить оценку эффективности применяемой облачной инфраструктуры в сравнении с традиционными способами получения и обработки космических данных дистанционного зондирования Земли. За счет формирования итоговых продуктов в едином облачном цикле работ обеспечивается

минимизация использования стороннего программного обеспечения и высвобождение аппаратных ресурсов, достигается снижение объемов выгружаемых данных до 90 %, а также сокращение временных затрат на предварительную и тематическую обработку космических изображений приблизительно в 4–5 раз.

Исследование выполняется при поддержке Минобрнауки России, уникальный идентификатор проекта RFMEFI60719X0306.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ТУРБУЛЕНТНОСТИ ВЕРХНЕГО ОДНОРОДНОГО СЛОЯ МОРЯ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ

Чухарев А.М., Зубов А.Г., Павленко О.И., Павлов М.И.

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

Ключевые слова: вертикальный обмен, турбулентность, приповерхностный слой, коэффициенты турбулентного обмена, параметризация.

Большое количество факторов, влияющих на динамику приповерхностного слоя моря, существенно усложняет параметризацию турбулентного обмена. Основная изменчивость возникает по причине атмосферных воздействий в широком диапазоне масштабов. Возникающие дрейфовые течения и поверхностное волнение являются главными механизмами генерации турбулентности.

На протяжении ряда лет в экспедициях отдела турбулентности Морского гидрофизического института РАН проводится сбор данных о турбулентном режиме верхнего пограничного слоя моря. Накопленные обширные массивы натурных данных позволяют проводить верификацию различных моделей турбулентного обмена и оценить их объективность в различных гидрометеорологических условиях. Кроме динамических факторов, влияющих на интенсивность вертикального перемешивания, в летний период важную роль играет также дневной прогрев, форми-

рующий суточный термоклин. По этой причине для анализа динамических факторов выбирались данные, собранные в однородном слое, как правило, в утренние часы.

Для сравнения выбраны модели, учитывающие основные источники турбулентности, но методы параметризации и набор этих источников в моделях отличаются. По результатам сравнительного анализа расчетов с экспериментальными данными сформулирован ряд выводов: модель пристеночного слоя в большинстве случаев неудовлетворительно соответствовала экспериментам; при умеренных скоростях ветра популярная модель [Craig, Banner, 1993], а также модели [Kudryavtsev et al., 2003] и [Chukharev, 2013] вполне хорошо описывали распределение скорости диссипации турбулентной энергии по глубине; в штормовых условиях, при наличии большого количества обрушивающихся волн, лучше других работает многомасштабная модель [Chukharev, 2013]. Распределение скорости диссипации турбулентной энергии в целом соответствует трехслойной схеме, предложенной в [Terray et al., 1996], но толщины верхних двух слоев могут заметно отличаться от нее.

Важный с практической точки зрения коэффициент вертикального обмена K также не имеет простой зависимости от какого-либо одного параметра и является сложной функцией от скорости ветра, степени развития волнения и других. Примерно до глубины $2H_s$ (высоты значительных волн) доминирующее влияние на величину коэффициента оказывает поверхностное волнение, при этом важную роль играет обрушение волн, ниже определяющим становится сдвиг скорости дрейфового течения.

Зависимость коэффициента турбулентного обмена от глубины в самом верхнем слое хорошо аппроксимируется степенной функцией $K(z) = az^n$, где $a = (0{,}005 \div 0{,}04)$, $n = (-0{,}6 \div -0{,}9)$ при $z_0 < z < 2H_s$, тогда как для нижнего слоя ($2H_s < z < 20H_s$) лучше подходит полиномиальная зависимость вида: $K(z) = a_1z^2 + a_2z + a_3$, что согласуется с обычно используемыми для верхнего слоя *KPP*-параметризациями в глобальных моделях. Параметр шероховатости z_0 по нашим оценкам составляет примерно половину амплитуды волны. Убывание коэффициента в самом верхнем слое связано с уменьшением энергии, переходящей от волн к турбулентности, рост в более глубоких слоях обусловлен увеличением масштаба вихрей, участвующих в вертикальном обмене.

ЛИНЕЙНАЯ ТЕОРИЯ БРИЗОВОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ ПРИ ПРОИЗВОЛЬНОМ ПРОФИЛЕ СКОРОСТИ ФОНОВОГО ВЕТРА И СТРАТИФИКАЦИИ

Шокуров М.В., Краевская Н.Ю.

МГИ, г. Севастополь, Россия
shokurov.m@gmail.com

Ключевые слова: бризовая циркуляция, линейная теория, фоновый ветер со сдвигом, произвольный профиль стратификации.

Бризовая циркуляция обычно существует с процессами различного масштаба, из-за которых в атмосфере формируются сложные вертикальные профили фонового ветра и стратификации.

Линейная теория бризовой циркуляции является важным теоретическим инструментом исследования этого явления. В работах Walsh 1974 г. и Rotunno 1983 г. получены аналитические линейные решения, построенные для атмосферы с постоянной частотой плавучести, а в работе Jiang 2012 г. решение представлено для атмосферы с несколькими слоями с разной стабильностью. При наличии однородного синоптического фонового ветра без учета силы Кориолиса (на экваторе) решение также было получено в работе Qian с соавторами в 2009 г., а с учетом силы Кориолиса (в средних широтах) в двух работах Jiang в 2012 г. и третьей работе − Du и Rotunno в 2018 г. В одной из самых последних работ Du с соавторами 2019 года для экватора построено линейное решение при наличии фонового ветра с линейным профилем скорости ветра.

Целью настоящей работы является получение решения для бризовой циркуляции в рамках линейной теории для произвольных профилей частоты плавучести и скорости ветра с учетом силы Кориолиса. Для этого атмосфера рассматривается как вращающаяся произвольно стратифицированная жидкость. Стратификация характеризуется профилем частоты плавучести $N(z)$, распределение фонового ветра так же зависит от высоты $U(z)$.

Для решения используется линейная система уравнений, которая сводится к единственному уравнению для функции тока.

Это уравнение является обобщением уравнения Тейлора-Гольдштейна для стратифицированного сдвигового течения.

Для решения используется метод разделения переменных: по горизонтальной координате выполняется преобразование Фурье, а по вертикальной координате решается уравнение второго порядка численно конечно-разностным методом.

Построены численные решения бризовой циркуляции для различных профилей частоты плавучести и скорости фонового синоптического ветра, типичных для реальной атмосферы.

Важной особенностью решения является наличие для некоторых Фурье гармоник критических уровней на определенной высоте, в окрестности которых происходит поглощение энергии волны суточной частоты, излучаемой с поверхности. Высота критического уровня определяется из условия равенства скорости ветра и горизонтальной фазовой скорости волны суточной частоты.

Работа выполнена в рамках темы ФГБУН ФИЦ МГИ № 0827-2019-0001 «Взаимодействие океана и атмосферы».

СТАТИСТИКА ВЕТРОВЫХ УСЛОВИЙ ВОЗНИКНОВЕНИЯ АПВЕЛЛИНГА У ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА

Шокурова И.Г. [1], Крашенинникова С.Б. [2]

[1] МГИ, г. Севастополь, Россия
[2] ИнБЮМ, г. Севастополь, Россия
igshokurova@mail.ru

Ключевые слова: Черное море, апвеллинг, направление ветра, повторяемость ветра, температура поверхности моря.

Береговой апвеллинг является важным динамическим фактором, влияющим на жизнедеятельность прибрежной части экоси-

стемы моря. В результате апвеллинга происходит подъем глубинных вод богатых биогенными элементами. От концентрации биогенных элементов зависит рост биомассы фитопланктона, величина которой в свою очередь обеспечивает рост численности зоопланктона и следующих компонентов в пищевой цепочке. Береговой апвеллинг возникает при вдольбереговом направлении ветра, отклоняющем, за счет силы Кориолиса и вязкости, поверхностную воду от берега, взамен которой подтягиваются глубинные воды. В районе южного берега Крыма апвеллинг, в основном, вызывают ветры западного и юго-западного направлений.

Цель работы проанализировать сезонный цикл и межгодовую изменчивость повторяемости ветров в районе южного берега Крыма для дальнейшего использования при анализе изменчивости экосистемы Черного моря.

В работе использовались 6-часовые данные о ветре на высоте 10 м реанализа ERA Interim, 0,75° × 075° за 1979–2016 гг.; среднемесячные спутниковые данные по ночной температуре поверхности моря Pathfinder 4 × 4 км за 1985–2007 гг. Направление ветра определялось, как направление вектора скорости, полученного осреднением компонент скорости *u* и *v* по данным в районе море, расположенного вдоль южного берега.

Получено, что в течение года наибольшую повторяемость в исследуемом районе имеет северо-восточный ветер с наибольшим значением в августе – 37 % от общей суммы повторяемости ветров всех направлений. Исключение составляют три месяца апрель, май, июнь, когда более частым является западный ветер. Суммарная повторяемость западных и юго-западных ветров высока в первую половину года и в декабре. С декабря по июнь она превышает 29 % с максимумом в июне – 34 %. С июля повторяемость этих ветров резко уменьшается (21%) и в августе достигает минимума 14 %. Осенью повторяемость не превышает 21 %. Межгодовая изменчивость повторяемости западных и юго-западных ветров имеет разный характер в отдельные сезоны и месяцы. Зимой и весной присутствует положительный тренд в изменчивости повторяемости этих ветров, а летом и осенью – отрицательный.

Летом подповерхностные воды, поднимающиеся к поверхности за счет апвеллинга, имеют температуру много ниже вытесненных ими теплых поверхностных вод. Поэтому по летним данным анализировалась связь между частотой повторяемости западных и юго-западных ветров и температурой поверхности моря. Высокий коэффициент корреляции –0,64 получен для июня, когда поверхностный слой воды в море уже достаточно прогрелся, а суммарная повторяемость западных и юго-западных ветров наибольшая в годовом цикле. В июле и августе, когда западные и юго-западные ветры редки, коэффициенты корреляции не превышают уровень значимости 0,41 для 23-летнего ряда по температуре. Полученные результаты могут быть использованы при анализе внутригодовой и межгодовой изменчивости биопродуктивности моря в районе южного берега Крыма.

Работа выполнена в рамках государственных заданий МГИ по теме № 0827-2019-0001 и ИнБЮМ по теме №АААА-А18-118021490093-4.

АНАЛИЗ ИЗМЕНЧИВОСТИ ТЕМПЕРАТУРЫ И СОЛЕНОСТИ АЗОВСКОГО МОРЯ И ПРЕДПРОЛИВНЫХ ЗОН ЧЕРНОГО МОРЯ ЗА ПЕРИОД 1913–2006 ГГ

Шукало Д.М, Шульга Т.Я.

МГИ, Россия
mitya.googlovich@gmail.com

Ключевые слова: Азовское море, климат, температура, соленость.

С начала XXI века во всем мире ведется острая дискуссия о проблемах глобального потепления климата. Также в бассейне Азовского моря на рубеже XX и XXI веков произошли существенные изменения, которые обусловлены возросшей антропогенной нагрузкой на регион. Настоящая работа в большей степени охватывает морскую экосистему Азовского моря, однако в нее входят и предпроливные зоны Черного моря.

В работе использовались данные контактных измерений, взятые из Климатического атласа Азовского моря, а также банк океанографических данных ФГБУН МГИ.

Для получения выводов о климатической изменчивости температуры и солености вод Азовского моря обработана и проанализирована информация, полученная из накопленных архивов данных in situ за период 1913–2006 гг. Данные натурных измерений усреднялись до среднемесячных величин. Далее из полученных промежуточных результатов выводились среднемноголетние математические ожидания значений солености и температуры с дальнейшим сравнительным анализом полученных данных, где учитывалась поправка на величину среднеквадратичного отклонения батиметрических параметров. Таким образом выявлялись аномалии в изменении температуры и солености морской воды. Здесь и далее под аномалиями подразумевается, что показатели выходят за пределы среднемноголетних среднемесячных значений с учетом среднеквадратичного отклонения.

В пределах годового климатического цикла среднемноголетняя температура меняется от 3,8 °С до 23 °С. При этом величина среднеквадратичного отклонения колебаний температуры за период 1913–2006 гг. составляет 2–3,5 °С.

Статистический анализ данных позволил выявить некую закономерность в аномалиях климатического цикла температуры. Аномально холодные показатели температуры зимой, обычно сопровождаются повышенной температурой в весенний период. В свою очередь завышенная температура воды в зимний период сменяется холодными водами весенне-летнего цикла. В наиболее приближенный к современности 10-летний период 1996–2006 гг. отмечается наименьшая температура воды за весь период наблюдений –0,7 °С (январь 2006 г.) и одна из наибольших температур в марте 10,8 °С.

Межгодовая изменчивость солености Азовского моря существенно зависит от стока рек и притока более соленых вод Черного моря. По этой причине для Азовского моря характерны периоды относительного опреснения и осолонения. Периоды наибольших значений солености, отмечаются в 1938 г. и 1955–1973 гг., где значения среднемесячной солености в 2 раза превышают значения, наблюдаемые в период опреснения 1998–2006 гг.

Причем за весь наблюдаемый период времени именно с 2003 г. по 2006 г. наблюдаются минимальные значения среднемесячной солености, среди них наименьшая соленость за весь период наблюдений 0,5 ‰ (сентябрь 2003 г.). Среднемноголетние среднемесячные значения солености находятся в диапазоне от 11,3 ‰ до 14,9 ‰, а величина среднеквадратичного отклонения составила 3–5 ‰.

ВКЛАД ИНЕРЦИОННЫХ КОЛЕБАНИЙ ТЕЧЕНИЙ В ДИНАМИКУ ПРИБРЕЖНЫХ ВОД У ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА В 2017–2019 ГГ.

Щербаченко С.В., Кузнецов А.С.

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

Ключевые слова: мониторинг прибрежных течений, спектры кинетической энергии, инерционные колебания.

Колебания Основного Черноморского течения в инерционно-гравитационном диапазоне изменчивости являются существенными и традиционно исследуются по всей акватории Черного моря, как основной источник динамики вод на этих масштабах. Однако, в прибрежных зонах Черного моря колебания инерционного диапазона изменчивости проявляются не регулярно. При этом на ограниченных натурных реализациях периодически проявляются колебания суточных, инерционных и внутри суточных периодов статистическую достоверность существования которых невозможно оценить из-за ограниченной продолжительности времени реализаций и нерегулярности существования этих колебаний.

В настоящей работе обсуждаются результаты исследований динамики прибрежных вод, выполненных авторами в прибрежной зоне у мыса Кикинейз Южного берега Крыма (ЮБК) со стационарной океанографической платформы в течение 2017–2019 годов.

Ранее в среднегодовых спектрах течений, рассчитанных по натурным данным, полученным в прибрежной зоне у ЮБК, достоверные пики спектральной плотности в инерционно-гравитационном диапазоне внутреннего волнения не выделялись. Была выполнена специальная обработка данных натурного мониторинга прибрежных течений вертикально-распределенным от приповерхностного до придонного слоя комплексом эйлеровых векторно-осредняющих измерителей течений типа МГИ-1308. В результате обработки существенно снижен энергетический вклад турбулентности и интенсивных поверхностных гравитационных волн в осредненные характеристики прибрежных течений, полученные в условиях мелководья и близости поверхностного и придонного пограничных слоев.

Далее с целью элиминирования во временных реализациях вклада низкочастотных колебаний был использован фильтр векторных конечных разностей первого порядка. Из сопоставлений спектров первых разностей с исходными спектрами очевидно элиминирование вклада тенденций и низкочастотных колебаний прибрежных течений. При этом в инерционно-гравитационном диапазоне изменчивости искажения, вносимые фильтром первых разностей незначительны. В спектрах первых разностей на всех горизонтах в прибрежной зоне проявляются регулярные суточные и локальные инерционные колебания. Спектральные пики колебаний с периодами 24 час и около 17,5 час, рассчитанные за 2017–2019 гг. в прибрежной зоне у ЮБК, являются статистически достоверными. По результатам спектрального анализа изменчивости кинетической энергии прибрежных течений выполнена оценка вклада суточных и инерционных колебаний и особенностей их сезонной трансформация в инерционно-гравитационном диапазоне прибрежного внутреннего волнения.

Выполненные исследования позволяют детализировать, упорядочить и систематизировать новые знания об природе и изменчивости гидродинамических процессов в прибрежной зоне у ЮБК на инерционно-гравитационных масштабах при повышении качества исследования течений.

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

ВОЛНЫ В УРАГАНАХ НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ АВТОМОДЕЛЬНОГО РАЗВИТИЯ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ

Юровская М.В. [1,2], Кудрявцев В.Н. [2,1], Шапрон Б. [2,3]

[1] МГИ, г. Севастополь, Россия
[2] РГГМУ, г. Санкт-Петербург, Россия
[3] IFREMER, Франция
mvkosnik@gmail.com

Ключевые слова: моделирование волнения, ураганы, развитие волн, автомодельность.

Прогноз волнения, формирующегося в условиях экстремально сильных ветров, имеет крайне важное прикладное значение. Несмотря на большое количество натурных и спутниковых измерений, совершенствование численных моделей волнения, оперативное предсказание и детальное описание волновых полей в ураганах остается вызовом для научного сообщества.

В данной работе предлагается параметрическая модель развития волн в поле неоднородного ветра. Основные уравнения модели представляют собой закон сохранения энергии и импульса, где источники и стоки определены таким образом, чтобы выполнялись известные автомодельные соотношения для развития волн при постоянном ветре.

Модель была применена к циклоническим ветровым полям с различными радиусами и значениями максимального ветра, и скоростями переноса от 0 до 12 м/с. Результаты расчетов воспроизвели известные особенности волновых полей в ураганах:

– асимметрию волнения в движущемся циклоне с увеличением энергии и длины волн справа от направления распространения урагана (т. н. захват волн);

– распределение направления спектрального пика в разных частях урагана, включая участки с волнами, движущимися навстречу ветру.

Оценки высоты, длины и направления волн спектрального пика были сопоставлены с известными экспериментальными данными и полуэмпирическими зависимостями, что продемонстрировало возможность предложенной модели давать не только качественное, но и надежное количественное описание волн в урагане.

Обобщение результатов расчетов для полей ветра с различными характеристиками позволило создать простой универсальный алгоритм для получения количественного распределения высоты, длины и направления волн в произвольном циклоне по заданным скорости и радиусу максимального ветра и скорости перемещения урагана.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 0827-2019-0003, а также при поддержке гранта РНФ №17-77-30019.

МАЛОГАБАРИТНЫЙ ВОЛНОГРАФИЧЕСКИЙ БУЙ

Юровский Ю.Ю., Дулов В.А.

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

Ключевые слова: ветровые волн, двумерный спектр, микроэлектромеханическая система.

Продемонстрирована возможность использования миниатюрных инерциальных датчиков на основе микроэлектромеханических систем (МЭМС) для измерений характеристик поверхностного морского волнения. За счет малого размера и низкой стоимости инерциальные МЭМС-сенсоры получают все более широкое распространение в навигационных приборах, носимых устройствах, игровой индустрии. Использование подобных датчиков в волнографических буях ведет к радикальному уменьшению размеров корпуса буя и соответствующему увеличению чувствительности к коротким волнам, играющим важную роль в обменных процессах на границе океан-атмосфера. В данной работе

испытан прототип такого устройства, имеющий диаметр поплавка 14 см и общую массу 80 г. С целью минимизации размеров корпуса функциональные возможности прибора намерено ограничены регистрацией исходных сигналов инерциального датчика (три компоненты ускорения, скорости вращения и магнитного поля). Во время измерений буй свободно дрейфует на морской поверхности вместе с привязанным к нему тонким шнуром, который используется для возвращения устройства на базу. Данная схема измерений исключает искажения, вносимые длинными волнами за счет эффекта Доплера, и удобна в краткосрочных экспериментах, когда время и возможности персонала по развёртыванию/сворачиванию приборов ограничены, например, на судовых океанографических станциях. Прототип буя испытан в натурном эксперименте на Стационарной океанографической платформе в июне 2019 г. с привлечением данных шестиструнного резистивного волнографа. Для оценки двумерных спектров волнения используется классический подход, предложенный Лонге-Хиггинсом и др. 1963 г. Показано, что при скорости ветра 1–15 м/с, в условиях чисто ветрового и смешанного волнения, высота значимых волн, их период и направление, измеренные буем и волнографом, находятся в хорошем соответствии в пределах статистических ошибок. Полоса пропускания буя ограничена частотой около 2,5 Гц, что приблизительно соответствует удвоенному диаметру поплавка и как минимум в 2,5 раза выше, чем в современных серийных образцах.

Работа выполнена при поддержке госзадания ФГБУН ФИЦ МГИ №0827-2019-0004 при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-45-920065.

СЕКЦИЯ 2
«ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ В БЕРЕГОВОЙ ЗОНЕ»

ОСОБЕННОСТИ БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ УТРИШСКОГО ЗАПОВЕДНИКА

Алейникова А.А., Липка О.Н., Андреева А.П.

РУДН, г. Москва, Россия
anshur@mail.ru

Ключевые слова: Черное море, морской берег, клиф.

Территория п-ова Абрау отличается сложностью геологического строения, которая обусловлена высокой сейсмической активностью территории и оползневыми процессами. Это сформировало особенный рельеф прибрежной зоны, а в частности абразионных уступов побережья.

Береговая линия Утришского заповедника не сильно изрезана. Исключение составляют два полуострова, где расположены поселки Большой и Малый Утриш и залив озера Змеиное. Также есть два лимана между этими двумя полуостровами. Высота флишевых береговых обрывов как правило составляет 20–100 м. Есть три участка (два между п. Большой и Малый Утриш, третий – рядом с с. Сукко), где высота осыпно-оползневых обрывов достигает 300 м. Здесь преобладают породы с субгоризонтальным залеганием флишевых пластов.

Береговая зона достаточно узкая в связи с малым выносом твердого материала водотоками. Характерны многочисленные сейсмогравитационные обвально-оползневые смещения горных пород, что отразилось на морфологическом строении побережья. Для района исследования характерно несколько типов берегов: абразионные скальные, абразионные оползневые и аккумулятивные. Территория характеризуется субсредиземноморским типом климата и временными поверхностными водотоками. На прибрежной части растительность представлена ксерофитными лесами субсредиземноморского типа на коричневых почвах.

Ландшафтная мозаика для одного типа берега может быть представлена разностью литогенной основы, растительных сообществ, высоты и уклонов уступов с учетом скорости эрозионных процессов. С помощью дешифрирования космических снимков Santinel-2 установлено, что типы береговых микроландшафтов выделяются по характеру видимого залегания геологических слоев; по величине крутизны склона; по характеру произрастания растительности; по особенностям нано- и микроформ рельефа.

На абразионном участке Навагирского хребта преобладают склоны крутизной 30–40° с наклонным залеганием флишевых слоев и единичными растительными фациями, также большую площадь в верхней части обрыва занимают склоны крутизной 30–40°, местами оползневые, с сосновым разнотравным редколесьем на фрагментарных каштановых почвах. Характерной особенностью этого участка является террасовидная поверхность крутизной 15° под сосново-можжевеловым лесом злаково-разнотравным на каштановых почвах. По особенностям расположения этой поверхности можно предположить, что для данного берегового обрыва характерны крупные тектонические оползни.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 19-05-00716).

ОСОБЕННОСТИ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭВОЛЮЦИИ ТОРОСОВ ДЛЯ ШЕЛЬФОВОЙ ЗОНЫ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ

Андреев О.М., Гудошников Ю.П., Драбенко Д.В.

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

Ключевые слова: торосы, шельф, консолидированный слой, снег, термодинамика.

Торосы и гряды торосов, сформированные в результате ломки и дробления льда при сжатиях, являются наиболее характерным элементом морского ледяного покрова на шельфе замерзающих

морей. Возникший в последние десятилетия интерес к исследованиям процессов образования и эволюции торосов связан с возросшей интенсивностью развития различных видов хозяйственной деятельности по разведке и освоению природных ресурсов шельфа.

Торос имеет пористую внутреннюю структуру, сформированную изо льда, воздуха и воды. Часть тороса выше ватерлинии называют парусом, а часть ниже ватерлинии принято называть килем. Киль тороса делится на две части: консолидированную (состоящую только изо льда) и неуплотненную (состоящую из блоков льда и поровых пространств). С течением времени под воздействием термодинамических факторов консолидированная часть в киле тороса увеличивается, а неуплотненная часть уменьшается под разрушающим термическим и динамическим влиянием подледных вод.

Именно оценка толщины консолидированного слоя тороса является основной задачей, решаемой в рамках современных исследований. Для этого существуют разные подходы, основанные как на методах математической статистики, так и численного термодинамического моделирования.

Термодинамическое моделирование торосов, в зависимости от конкретики решаемой задачи, может проводиться как для многомерного, так и для одномерного случая. При этом к важным особенностям моделирования для шельфовой зоны относится учет следующих факторов: повышенное загрязнение снега и льда, неоднородность залегания снежного покрова на поверхности тороса, неоднородность распределения пористости киля и паруса тороса, выраженная вертикальная асимметрия тороса, усиленное воздействие на киль тороса подледных вод.

Результаты проведенных по термодинамической модели численных экспериментов демонстрируют влияние, которое перечисленные выше факторы оказывают на оценку толщины консолидированного слоя тороса, и на весь торос в целом. Получено, что относительно небольшие различия в величинах влияющих факторов могут приводить к большому разбросу расчетных оценок толщины консолидированного слоя.

Важным выводом из проведенных экспериментов следует признать необходимость тщательного выбора влияющих факторов для каждого рассматриваемого локального района шельфа. Причем эта работа должна проводиться, начиная непосредственно с этапа постановки задачи.

СТРУКТУРА РЕЗУЛЬТИРУЮЩЕГО ВДОЛЬБЕРЕГОВОГО ТРАНСПОРТА НАНОСОВ В ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ГДАНЬСКОГО ЗАЛИВА

Бабаков А.Н., Чубаренко Б.В.

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

Ключевые слова: береговая зона, течения, абразионная котловина, поток наносов, Гданьский залив, Балтийское море.

Побережье Гданьского залива – от устья Вислы до м. Таран, представляет собой крупномасштабную дугу с разворотом береговой линии от широтной до меридиональной ориентации. Господство ЮЗ-С-СЗ ветров (для V>6 м/с, 68 %) способствует формированию здесь системы встречных потоков наносов. Однако локализация зоны их конвергенции на основании результатов ряда натурных и модельных исследований, существенно различается. Например, несовпадение выводов, основанных на результатах ветро-волновых расчетов, связано с различиями в исходных данных: азимут результирующего вектора поля волнения, восстановленного по полю ветра, который рассчитывался по барическим картам, составляет 342°, тогда как по натурным наблюдениям на ГМС Балтийск он равен 290° [Бабаков, Чубаренко, 2019].

Стационарные измерения придонных течений (1991 г., 2003–2005 гг.) измерителями-БПВ-2 и Поток-3М в окрестности молов Балтийска на глубинах (Н) 6–16 м показали, что южнее молов они ориентируются вдоль береговой составляющей ветра, чаще на СВ, но севернее молов скорость и устойчивость уменьшается. При поперечном СЗ ветре, южнее молов формируется система

встречных струй: мористой на СВ, прибрежной – на ЮЗ. К северу от молов глубоководные течения отклоняются к берегу, вблизи берега разнонаправлено – на СВ–ЮЗ [Бабаков, 2008].

Скорости течений более 10 см/с за 4 сезона фиксировались на мелководных станциях (Н=6м) в 16-32% всех измерений, на Н=12м – в 7–9 %. При З ветре силой 13 м/с течения южнее молов на Н=6м достигали 45-54 см/с, на Н=12м – 20–24 см/с, т.е. ослабевали с глубиной в 2–2,5 раза. Но к северу от молов скорости между изобатами 8–14 м уменьшались до 1,5 раза, при равных максимальных скоростях в 30–34 см/с. Абсолютные максимумы скорости отмечены вблизи оконечности южного мола на глубине 16 м (50–65 см/с) при направлении на СВ.

Полученное преобладание СВ течений противоречило общепринятому представлению о переносе наносов на юг, основанному на «аккумулятивном» критерии заполнения входящего угла. Анализ морфологии дна у оконечностей молов в портах ЮВ Балтики показал, что абразионные котловины ориентированы вдоль преобладающих течений [Кнапс, 1952, 1966]. Такая котловина у молов Балтийска вытянута от головы южного мола на СВ [Бабаков, Чубаренко, 2019].

Обобщение ветрового и гидродинамического режима с устойчивой ориентацией абразионной котловины позволило сделать вывод о локализации зоны конвергенции со встречным потоком в пределах Балтийско-Янтарной вогнутости, т. е. к северу от Балтийска. Сделано заключение, что в условиях изогнутого побережья и/или поперечного подхода волн к линии берега, более надежным критерием определения итогового направления переноса наносов является «абразионный», в сравнении с традиционным «аккумулятивным».

Прослеживается искажающее влияние входных молов Балтийска на генеральную структуру вдольбереговых течений и потока наносов, которое распространяется вдоль берега на 4-х кратное расстояние длины молов. Высокие локальные вдольбереговые скорости течений, наблюдавшиеся до глубин 12–16 м при ветрах силой 12–15 м/с, способны к массовому перемещению песчаных наносов. Кирпичи из разрушаемой крепости у корня южного мола переносятся при соответствующем направлении

ветра и волн вдоль берега на юг и выбрасывает на пляж до 3,4 км от мола.

Сбор данных и первичный анализ выполнены при поддержке гранта РФФИ № 18-05-01145, интерпретация – в рамках госзадания ИО РАН (тема № 0149-2019-0013).

СРЕДНЕМНОГОЛЕТНИЙ ОБЪЕМ АБРАЗИИ МОРСКИХ БЕРЕГОВ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Бабаков А.Н., Чубаренко Б.В.

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

Ключевые слова: динамика берега, объемы абразии, Гданьский залив, Балтийское море.

Абразия берега является важным компонентом баланса наносов акватории моря, роль которого возрастает в условиях потепления климата. На Калининградском побережье абразия до конца XX в. доминировала на севере Самбийского п-ова и лишь локально наблюдалась на западном побережье и на примыкающих дюнных берегах Вислинской и Куршской кос. Вислинская коса считалась стабильной, кроме 4-км участка с юга от молов Балтийска [Блажчишин, 1984; Орленок, 2004].

Западный берег, размываемый до середины XX в., после массовых сбросов пульпы Янтарного комбината, начиная с 1958 г., трансформировался в аккумулятивный, за исключением 5-км участка от. м. Бакалино до м. Таран [Болдырев и др., 1992]. Но резкое снижение сбросов пульпы в конце XX в. вновь привело к активизации абразионных процессов [Басс, Жиндарев, 2007]. Абразия доминирует также на севере Самбийского п-ова, за исключением защищенных участков, и на 16-км отрезке Куршской косы [Рябкова, 1987; Бурнашов, 2011].

Выполненные измерения высот абразионных уступов лазерным дальномером в точках с шагом 1 км вдоль всего побережья (2018–2019 гг.) и опубликованные данные [Бурнашов, 2011; Бо-

быкина, Карманов, 2009; Дробиз, Бобыкина, 2018] о среднемноголетней динамике берегов позволили оценить современные объемы их абразии на Калининградском побережье Балтики протяженностью 147 км (от польской до литовской границ). Объемы размыва пляжей рассчитаны с учетом правила Брууна и предельной глубины размыва подводного берегового склона [Rosati, et al, 2013].

Мониторинг 2000–2015 гг. показал незначительный размыв на основной части Вислинской косы (–0,17 м/год), и активный на 4км участке вблизи молов (до 1,0–1,5 м/год) [Bobykina et al, 2016; Бурнашов, 2011]. Соответственно объем абразии на большей части косы составляет 18 м^3/год, и 30 тыс. м^3/год – южнее молов.

На 10-км участке к северу от Балтийска берег аккумулятивный, но далее на западном побережье Самбийского п-ова (до м. Таран) доминирует абразия. Общий объем размыва здесь достигает 209 тыс. м^3/год, из которых 146 тыс. м^3 сносится на юг и 63 тыс. м^3 от м. Бакалино на север.

Северный берег Самбии во многих местах перекрыт берегозащитными сооружениями (220 бун, стенки, тетраподы, габионы, променады), общей длиной 9,6 км. Поэтому основной размыв приурочен к незащищенным участкам: м. Таран – м. Отрадное (10 км) – 120 тыс. м^3/год, и м. Гвардейский – р. Алейка (8 км) – 40 тыс. м^3/год. Общий объем абразии на севере Самбии – 180 тыс. м^3/год.

На Куршской косе объемы абразии максимальны от корня до 16 км (70 тыс. м^3/год), далее снижаются до 30 тыс. м^3/год, с чередованием стабильных зон, а с 36 км и до границы (49 км) не превышают 1 м^3/п. м. Общий объем размыва косы достигает 100 тыс. м^3/год.

Суммарный объем абразии Калининградского побережья составляет 537 тыс. м^3/год, что почти в 2 раза больше ранее полученных оценок (290 тыс. м^3/год) [Рябкова, 1987; Генсхема, 1999], Основной вклад вносят размываемые пляжи и берега бухты Донской на западе Самбии, северная часть Вислинской косы и корневая часть Куршской косы. Максимальный размыв традиционно сохраняется на СЗ незащищенном выступе Самбийского п-ова, от м. Песчаный до м. Отрадное (23 км, 280 тыс. м^3/год).

ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ МИКРОПЛАСТИКА В РОССИИ: МОРЕ, ПЛЯЖИ, ДОННЫЕ ОСАДКИ

Багаев А.В. [1], Вержевская Л.В. [1], Литвинюк Д.А. [2]

[1] МГИ, г. Севастополь, Россия
[2] ИнБЮМ, г. Севастополь, Россия
ludmyla.ver@mhi-ras.ru

Ключевые слова: микропластик, пластиковое загрязнение, моря России.

Целью данного исследования является обзор имеющихся рецензируемых научных публикаций по теме пластикового загрязнения воды и донных отложений морей России, а также выявление пробелов в имеющихся исследованиях для определения целей следующих исследований.

Проанализировано более 25 научных работ, посвященных загрязнению моря, пляжей и донных отложений пластиковым мусором (макро-, мезо- и микропластиком) и опубликованных в период с января 2015 г. по июль 2020 г. в изданиях, включенных в базы данных Web of Science, SCOPUS и РИНЦ (на английском и русском языках).

Берега России омывают 12 морей, общая протяженность их береговой линии составляет около 38 000 км. Они относятся к бассейнам Атлантического, Северного Ледовитого и Тихого океанов и простираются в зонах умеренного, субполярного и полярного климата. В настоящее время пластиковое загрязнение морской среды подтверждено экспедиционными исследованиями в 10 из 12 морей России. Сообщается о макро- и микропластике на пляжах и в донных отложениях. Однако большинство исследований, проводимых в водах морей России, носят фоновый или предварительный характер. Они нацелены либо на сбор и анализ проб в среде, где ранее пробы не отбирались, либо на разработку и тестирование новых методов и оборудования. Идентификация типов полимеров с помощью FTIR или рамановской спектроскопии

используется довольно редко; большинство исследователей используют визуальную идентификацию, что делает затруднительным сопоставление их результатов. Только в недавнее время были предприняты некоторые меры для унификации протоколов сбора и обработки проб. Поскольку на большей части территорий уровень загрязнения относительно низкий, отборы проб проводились неоднородно по времени и пространству. На данный момент наиболее изучены пляжи Балтийского моря, а наименее изучено пластиковое загрязнение донных отложений в Арктике.

Среди рассмотренных работ 7 посвящено микропластику в водах Балтийского моря. Частицы и фрагменты отличаются большим разнообразием форм и размеров, а их количество выражается в различных единицах: шт. на килограмм сухого веса, миллиграммы на грамм сухого веса и шт. на квадратный метр. Значения МП варьировались в пределах от 1 до 1 000 шт./кг сухого веса и от 1 до 2 000 шт./м^2.

Еще одно полузамкнутое море, Черное, расположено на юго-западе России. Его загрязнение пластиком начали исследовать около 5 лет назад. Измерения, проведенные в поверхностном слое морской воды в г. Севастополе, показывают концентрацию МП от 0,6 до 7 шт./м^3 (масса от 6 до 750 мкг/м^3). Исследования пластикового загрязнения сообщают о средних концентрациях ~ 6 ± 0,1 ед./м^2, однако в этой работе пределы определения МП были расширены до 25 мм.

Точечные исследования МП в Арктике отмечают концентрацию макромусора на пляжах Новой Земли до 1,5×10^3 шт./км^2. На Дальнем Востоке концентрация МП в донных осадках глубоководного Курило-Камчатского желоба составляет от 456 до 1152 шт./м^2.

Данное исследование подчёркивает необходимость обсуждения гармонизации методологии выборки и методов идентификации в различных исследованиях.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №18-55-45024.

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ЮГО-ВОСТОЧНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КАСПИЙСКОГО МОРЯ В КОНЦЕ ГОЛОЦЕНА

Бадюкова Е.Н.

МГУ, г. Москва, Россия
badyukova@yandex.ru

Ключевые слова: трансгрессивно-регрессивные колебания уровня моря, палеогеография, дельтовая равнина, исторические сведения.

Историю развития побережья наиболее полно можно проследить у туркменских берегов, где расположен о. Огурчинский, длиной 45 км и шириной около 3 км. Достоверные сведения об этом острове Ogroicha и Ogus известны с XIV века. С поверхности остров сложен новокаспийскими и современными морскими отложениями.

Огурчинский приурочен к обширному мелководью, шириной более 150 км, который по параметрам аналогичен акватории Северного Каспия, где расположены крупные банки (Большая и Малая Жемчужные, Безымянная и другие) и острова (Кулалы и Тюлений). Ранее автором было показано, что эти аккумулятивные формы изначально являлись приустьевыми барами на краю дельтовой равнины Волги и Урала в регрессивную стадию Каспия. Остров, как и острова в Северном Каспии, лежит вблизи 15–20 м изобаты, где при переходе с 20-метровой изобаты к 10-метровой отмечается увеличение уклонов от 0,0012 до 0,01.

Данный остров, так же, как и аккумулятивные формы в Северном Каспии, – это сохранившиеся фрагменты прибрежной части дельтовой равнины, надстроенные трансгрессивными береговыми валами. Косвенным доказательством постоянно надводного положения острова является присутствие пресной воды (лучшая вода на всем восточном побережье, как отмечали путешественники в XVIII–XIX веках) и сравнительно плодородные почвы.

Судя по многочисленным историческим сведениям, в данном районе на прибрежной равнине в IX–XIII веках кипела жизнь. Согласно этим материалам Аму-Дарья впадала в Каспий. Исследования в XX веке показали, что была дербентская регрессия, когда уровень в IX–X веках падал по новым данным до –48 м. Очевидно, что исследователи в 19 веке не знали о том, что море регрессировало так глубоко, поэтому многие не соглашались с тем, что Аму-Дарьи впадала в Каспий в историческое время, так как не находили на побережье признаков дельты. Береговая линия в то время находилась западнее современной на многие десятки километров и соответственно дельта реки была привязана к ней. Подъем уровня Каспия после дербентской регрессии привел к катастрофическим последствиям – затоплению обширной приморской равнины и уничтожению сел и городов. Еще в XIX веке на более высоких отметках сохранялось несколько развалин, в частности селение Куне-базар который туркмены называли городом, «находящимся под землей».

Край дельтовой равнины при подъеме уровня моря преобразовывался в береговые бары, которые постепенно смещались в сторону суши, частично затапливаясь. Дельтовая равнина и приустьевая часть долины превратились в обширные заливы, т. е. сформировалась барьерно-лагунная система. Это о. Огурчинский, Михайловский и Балханский заливы, солончак Келькор и бывший Хивинский залив.

Вслед за многими исследователями XVIII–XIX веков автор данной статьи считает, что Аму-Дарья в средние века текла в Каспийское море. Устьевая часть долины Узбоя – это бывшая долина Аму-Дарьи. Ее на многих, но не на всех участках наследует Узбой. На существование гораздо большей реки указывают и большие радиусы излучин Узбоя. Судя по геометрии меандров реки, промеренных по космоснимкам, сток был весьма значительным и соответствовал современному стоку Аму-Дарьи или даже в 1,5 раза больше.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ (проект № 16-17-10103).

ПЛАСТОВЫЕ ЛЬДЫ: УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ, СОВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА И ВЛИЯНИЕ НА ИНФРАСТРУКТУРУ ПОБЕРЕЖИЙ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

Белова Н.Г. [1,2]

[1] МГУ, г. Москва, Россия;
[2] Институт криосферы Земли, г. Тюмень, Россия
belova@geogr.msu.ru

Ключевые слова: подземные льды, побережья Российской Арктики, динамика берегов, многолетнемерзлые породы.

Происхождение пластовых льдов, распространенных на приморских низменностях Западной Сибири, Чукотки и других регионов Российской Арктики, до настоящего времени остаётся дискуссионным вопросом. Основной регион распространения пластовых льдов – север Западной Сибири – в настоящее время является объектом активного хозяйственного освоения. Наличие ледяных залежей на побережье способствует усилению термоабразии и термоденудации. Поэтому определение размеров, стратиграфического положения и закономерностей пространственного распространения пластовых залежей льда, определение темпов развития криогенных оползней по пластовым льдам необходимо для обеспечения геоэкологической безопасности при освоении арктических регионов.

Результаты современных отечественных и зарубежных исследований многолетнемерзлых отложений с пластовыми льдами обобщены в виде ГИС «Пластовые льды» (http://mice.nextgis.com/resource/1/display?panel=layers). База наглядно показывает, что для одних и тех же участков, основываясь на одном фактическом материале авторы делают противоположные выводы о механизмах образования пластовых льдов и палеогеографических условиях территории в момент формирования мёрзлой толщи. Наиболее яркие примеры – пластовые льды в Бухте Мира на о. Новая Сибирь (Новосибирские острова) или на п-ове Тактояктук (Северо-Западные территории, Канада), относимые к внутригрунтовым или же погребённым ледниковым.

Действительно, десятилетиями исследователи использовали те или иные особенности строения и состава пластовых льдов для доказательства их генезиса. Но сходные черты строения и состава приобретаются льдами в процессе внутригрунтового промерзания и при формировании ледникового льда. Приходится признать, что пластовые льды можно использовать для реконструкции условий развития территории как дополнительный аргумент и только при детальном изучении разреза вмещающих отложений и истории развития региона в целом. Различия в строении, изотопном и химическом составе залежей, интерпретируемых как изначально внутригрунтовые или как погребённые ледниковые, часто не значимы. Для установления генезиса льдов необходим палеогеографический контекст – результаты исследований района работ, показывающие отсутствие/наличие в прошлом оледенения, данные об изменении уровня моря, и т. п. Однако в рамках комплексных исследований четвертичных отложений изучение пластовых льдов, в частности изотопный состав, позволяют уточнить условия и механизмы формирования мёрзлой толщи, дать прогноз пространственного распространения залежей и оценить риски развития опасных криогенных процессов в условиях меняющегося климата и техногенного освоения.

Исследование выполнено в рамках проекта РНФ 19-77-00051 «Термоабразия морских берегов Российской Арктики».

РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОМОРФОДИНАМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО ЗА ПЕРИОД 2013-2019

Беляев П.Ю., Карташёв А.О., Щербаков В.А., Голосной А.С.

ВНИИОкеанология, г. Санкт-Петербург, Россия
borat78@yandex.ru

Ключевые слова: Экзогенные процессы, геоморфология, геологические опасности.

На акватории залива Петра Великого с 2013 по 2019 гг. велись комплексные работы по геологическому мониторингу, в число

которых, среди прочих, входили работы по изучению влияния экзогенных геологических процессов на береговую зону. Данная выполнена по результатам многолетнего мониторинга опасных экзогенных геологических процессов (ОЭГП) в береговой зоне.

Работы по мониторингу ОЭГП велись при помощи: лазерного сканирования рельефа со спутниковой привязкой и определением абсолютной высоты, полуинструментальных наблюдений, отбора проб пляжевых отложений, планового инженерно-геологического обследования территории, дешифрирования разновременных аэрофотоснимков и визуального описания проявлений ОЭГП. В качестве мониторинговых объектов были выделены несколько наиболее знаковых участков для изучения. Знаковые участки располагаются достаточно равномерно по побережью залива Петра Великого, и приурочены к местам наибольшего влияния (оказываемого в данное время либо потенциального) на хозяйственную деятельность Приморского края.

При помощи использованных методов, появилась возможность охарактеризовать деятельность ОЭГП на наблюдаемых участках в момент наблюдения, дать характеристику типу преобладающей обстановки и дать прогноз развития рельефа и влияния ОЭГП в изучаемом районе. Таким образом, лазерное сканирование показало, что в общих чертах, пляжи западной части залива больше подвергаются абразии, в то время как в восточной части преобладают аккумулятивные обстановки. При этом, в наибольшей степени разрушению подвержены более открытые части пляжа, вероятно в виду более высокой гидродинамической нагрузки. Согласно данным лазерного сканирования, высота пляжа по абсолютному показателю (система высот WGS 1984) может измениться в пределах от 100 см. до 3 м. в год (под влиянием абразии, либо аккумуляции). Увеличение же абсолютной высоты пляжа может достигаться также за счет разрушения клифа под действием склоновых процессов, триггером для которых зачастую является береговая абразия. По результатам же натурных наблюдений, зонами наиболее интенсивного проявления ОЭГП являются залив Находка, где особо сильно разрушение клифа, и бухта Нарва, где преобладают абразионные условия и как следствие, размыв пляжа. Также в зоне риска находится участок дороги Владивосток-Находка, в районе пос. Руднево, хотя

там и присутствует берегоукрепительная кладка. В районе посёлка Анна идет активное разрушение клифа, что может негативно сказаться на рекреационном потенциале близлежащего пляжа. В бухте посёлка Троицы произошёл оползень, уничтоживший несколько домиков для отдыха. Это произошло по причине строительства зданий в опасной близости от подмываемого склона. В дальнейшем, высока вероятность проявления склоновых ОЭГП, с последующим разрушением построек, на что указывают нависающие над постройками «козырьки» пород, а местное население не предпринимает попыток к укреплению склона и не стремится убрать постройки. Однако в районе посёлка Волчанец, где также сильно влияние абразии, разрушение берега было остановлено путем его укрепления при помощи отсыпки грунтом и валунами, что можно отметить как проявление сознательности населения.

НЕБЛАГОПРИЯТНЫЕ ЭКЗОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ БЕРЕГОВОЙ ПОЛОСЫ КРЫМА – ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ ИХ РАЗВИТИЯ

Бессмертный А.Ф.

Крымпроектреставрация, г. Симферополь, Россия
BAF1221@yandex.ru

Ключевые слова: опасные экзогенные геологические процессы, оползни, обвалы, абразия, эрозия, литодинамика береговой полосы, эффективный индекс вероятности события.

Крым, с его разнообразием и красотой приморских ландшафтов, с давних пор, очень привлекателен не только для туристов, но и исследователей природных процессов. На таком, относительно маленьком «клочке» суши, представлены самые разнообразные процессы природного генезиса. Основное их количество сосредоточено именно в пределах прибрежных территорий. Это обусловлено тем, что именно здесь сосредоточена основная доля

факторов развития и активизации этих, зачастую неблагоприятных, экзогенных геологических процессов.

Согласно анализа экономической составляющей наиболее значительное место среди опасных экзогенных геологических процессов на территории Крымского п-ова занимают оползни и обвалы, развивающиеся в прибрежной части Крыма. По количеству чрезвычайных ситуаций геологического характера, вследствие которых происходили деформации дневной поверхности в начале нулевых годов, оползни составили 72 % от общего числа случаев.

Выше сказанное определяет необходимость разработки методик для краткосрочной оценки опасности развития неблагоприятных экзогенных геологических процессов гравитационного генезиса в зоне наиболее привлекательной для рекреантов – в приморской части Крымского п-ова. С научной точки зрения это позволит проводить вероятностный прогноз их развития, а с практической – повысит безопасность курортных территорий и позволит расширить рекреационный потенциал Крыма за счет участков берега, которые ранее не использовались для этих целей.

Достаточным условием такого вида прогноза будет качественная оценка напряженно-деформированного состояния прибрежного склона на основе эффективных индексов вероятности (ЭИВ) свершения изучаемых событий (обвально-оползневых процессов) по распределению факторов активизации смещений (обрушений) и признаков развития деформаций на склонах. В основе такого подхода к оценке опасности развития неблагоприятных процессов на прибрежной территории автор рассматривает динамику факторов и признаков их активизации гармониками разного порядка – от многолетнего тренда до внутригодового (сезонного) отклонения от математического ожидания. Данные гармоники можно описать стандартными математическими функциями, в основе которых использованы интегральный показатель распределения величины характеризующий ее уровень относительно математического ожидания, дифференциальный – характеризующий скорость изменения величины того или иного параметра (в нашем случае факторы или признаки неблагоприятных процес-

сов на приморских территориях) и статистический – характеризующий отклонение исследуемого параметра от нормального уровня.

Учитывая неоднозначность в распределении прогностических параметров (факторов и признаков) во времени, наличие или отсутствие их комплексного влияния достаточным условием для оценки опасности развития неблагоприятных процессов на побережье стало получение эффективных коэффициентов вероятности на качественном уровне ($1 \leq k_v \leq 1$). Для повышения достоверности оценки опасности развития неблагоприятных экзогенных геологических процессов на побережье эффективные индексы вероятности следует моделировать по результатам режимных наблюдений за факторами и признаками их активизации.

ОТКЛИК БЕРЕГОВ КУРШСКОЙ КОСЫ (ЮГО-ВОСТОЧНАЯ БАЛТИКА) НА ВОЗДЕЙСТВИЕ ШТОРМОВ

Бобыкина В.П., Чубаренко Б.В., Стонт Ж.И.

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

Ключевые слова: штормовая активность, динамика морских берегов, штормовые размывы, мониторинг.

В последние десятилетия у берегов Юго-Восточной Балтики отмечается усиление процесса абразии берегов. Берега Самбийского (Калининградского) п-ова сложены слабоустойчивыми к размыву ледниковыми отложениями, а морские берега Вислинской и Куршской кос рыхлыми песками, поэтому они активно реагируют на воздействие штормов.

Цель работы – проанализировать отклик дюнных берегов на зимние штормы разных направлений на примере российской части Куршской косы (Юго-Восточная Балтика, Калининградская область) методом сопряженного анализа штормовых условий и количественных характеристик переформирования берегов.

Российская часть Куршской косы простирается от восточного крыла Самбийского п-ова в северо-восточном направлении на 49 км. В прикорневой части морской берег имеет северную экспозицию, остальная часть – северо-западную. Особенностью строения морского берега является наличие авандюны (защитного берегового вала), к которому со стороны моря примыкает пляж.

Для характеристики штормовых условий использованы данные гидрометеорологического мониторинга. Количественные характеристики штормовых переработок по периметру морского берега косы являются результатом берегового мониторинга по сети реперов АО ИО РАН.

Рассмотрены характеристики отдельных сильных штормов от разных румбов и вызванные ими деформации по периметру берега Куршской косы, за период 2007–2019 гг. и их взаимозависимость.

Траектории штормовых циклонов, вызвавших наиболее значительные разрушения на песчаных берегах Куршской косы, можно разделить на 3 категории:

1. *Шторм от северо-запада*, когда разрушения охватывают большую часть берега с размывами авандюны – от 2,5 до 13 м и с аккумуляцией на северном приграничном с Литвой участке.

2. *Шторм от запада* вызывает локальные разрушения с максимумом на северном приграничном участке, а размыв берега в целом значительно меньше, чем при северо-западном и северном.

3. *Шторм от севера* вызывает разрушения на краевых участках косы с максимумом в прикорневой части (до 6 м). При этом происходит штормовой прорыв авандюны и затопление прилегающей территории. Средняя часть косы остается стабильной с локальными относительно незначительными размывами.

Независимо от румба, все штормы вызывают разрушения на прикорневом участке косы. Наиболее значительные из них, с разрушением или прорывом авандюны, связаны с северными ветрами и поднятием уровня моря более 1 м (отмеченный максимум – 1,6 м), что по порядку величины соответствует высотам пляжа.

Весь берег российской части Куршской косы испытывает устойчивый размыв. На отдельных реперах суммарная величина

динамики берега за 14-летний период мониторинга примерно соответствует суммарной величине штормовых размывов.

Сбор натурных данных и первичные оценки проведены при поддержке гранта РФФИ 18-05-01145. Гидрометеорологические характеристики собраны в рамках гранта РФФИ 19-45-390012 р_а. Анализ и интерпретация данных выполнены в рамках госзадания ИО РАН (тема № 0149-2019-0013).

ИССЛЕДОВАНИЕ СУБМЕРИДИОНАЛЬНЫХ ЛИТОДИНАМИЧЕСКИХ ЗОН И РАЗГРУЗКИ КАРСТОВЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ЛИМЕНСКОГО УЧАСТКА ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА

Богуславский А.С., Казаков С.И., Берзова И.Г., Хамицевич Н.В.

МГИ, г. Севастополь, Россия
science@bshpg-ras.ru

Ключевые слова: Южный берег Крыма, древние оползни, отторженцы, подземные воды, разгрузка, моделирование.

Разработана концептуальная модель быстрого транзита подземных вод карстового формирования через береговую зону юго-западной части Горного Крыма и Южного берега Крыма в пределах исследуемой территории по трассам древних оползней и известняковых отторженцев на субмеридиональных участках тектонического обрамления вулканогенного комплекса Пилаки-Хыр. Выполнено оконтуривание зон быстрого транзита подземных вод и уточнены геоморфологические и гидрогеологические условия исследуемой территории в пределах береговой линии ЮБК от пгт. Симеиз на востоке до пгт. Понизовка на западе.

Оконтуривание зон повышенной проводимости произведено в ходе полевых геоморфологических исследований, анализа топокарт и карты инженерно-геологических условий, космоснимков,

дешифрирования радарограмм георадара «SIR-3000». Полученные данные составили основу разработанной гидрогеологической модели фильтрации подземных вод в пределах исследуемого участка с основной зоной питания на плато Ай-Петринской яйлы. Модель учитывает субмеридиональные зоны повышенной проводимости по оползневым наносам вдоль разломов по границе вулканогенных и терригенных блоков пород Лименского комплекса. Выполнено имитационное моделирование уровней и потоков подземных вод с учетом их быстрого транзита через береговую зону, береговой и субмариной разгрузки. По результатам моделирования оценены примерные объемы субмаринной разгрузки на траверзе г. Кошка и мысовых выступов Кацивельского и Понизовского древних оползней.

Предложена концептуальная палеореконструкция формирования древних оползней и отторженцев Южного берега Крыма на примере Лименского участка в соответствии с гипотезой значительных катастрофических повышений уровня Черного моря в периоды смены регрессий и трансгрессий голоцена.

Подтверждается гипотеза об одновременном формировании массивов древних оползней и отторженцев массандровской свиты как проявлений дилювиального рельефа, сформированного в результате мощной гидрологической, и возможно, сейсмогравитационной катастрофы в сравнительно недавнем геологическом прошлом.

Работа выполнена в рамках научной темы ФГБУН ФИЦ МГИ 2019 г. государственного задания № 075-00803-19-00.

Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН №8 «Минеральные ресурсы для высокотехнологической промышленности и энергетики», подпрограмма «Фундаментальные проблемы геолого-геофизического изучения литосферных процессов».

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ПАЛЕОРЕКОНСТРУКЦИЯ ДРЕВНИХ ОПОЛЗНЕЙ ЛИМЕНСКОГО УЧАСТКА БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ ГОРНОГО КРЫМА

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

МГИ, г. Севастополь, Россия
science@bshpg-ras.ru

Ключевые слова: Горный Крым, береговая зона, древние оползни, отторженцы, дилювий, гидрогеологическая модель, палеореконструкция.

Разработана концептуальная модель быстрого транзита подземных вод карстового формирования через береговую зону юго-западной части Горного Крыма и Южного берега Крыма в пределах исследуемой территории по трассам древних оползней и известняковых отторженцев на субмеридиональных участках тектонического обрамления вулканогенного комплекса Пилаки-Хыр. Выполнено оконтуривание зон быстрого транзита подземных вод и уточнены геоморфологические и гидрогеологические условия исследуемой территории в пределах береговой линии ЮБК от пгт. Симеиз на востоке до пгт. Понизовка на западе.

Оконтуривание зон повышенной проводимости произведено в ходе полевых геоморфологических исследований, анализа топокарт и карты инженерно-геологических условий, космоснимков, дешифрирования радарограмм георадара «SIR-3000». Полученные данные составили основу разработанной гидрогеологической модели фильтрации подземных вод в пределах исследуемого участка с основной зоной питания на плато Ай-Петринской яйлы. Модель учитывает субмеридиональные зоны повышенной проводимости по оползневым наносам вдоль разломов по границе вулканогенных и терригенных блоков пород Лименского комплекса. Выполнено имитационное моделирование уровней и потоков подземных вод с учетом их быстрого транзита через береговую зону, береговой и субмариной разгрузки. По результатам моделирования оценены примерные объемы субмаринной разгрузки на траверзе г. Кошка и мысовых выступов Кацивельского и Понизовского древних оползней.

Предложена концептуальная палеореконструкция формирования древних оползней и отторженцев Южного берега Крыма на примере Лименского участка в соответствии с гипотезой значительных катастрофических повышений уровня Черного моря в периоды смены регрессий и трансгрессий голоцена.

Подтверждается гипотеза об одновременном формировании массивов древних оползней и отторженцев массандровской свиты как проявлений дилювиального рельефа, сформированного в результате мощной гидрологической, и возможно, сейсмогравитационной катастрофы в сравнительно недавнем геологическом прошлом.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ № 0827-2019-0004, а также при поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН № 8 «Минеральные ресурсы для высокотехнологической промышленности и энергетики», подпрограмма «Фундаментальные проблемы геолого-геофизического изучения литосферных процессов».

ДЕЛЬТЫ АРКТИЧЕСКИХ РЕК РОССИИ КАК РЕЗУЛЬТАТ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ МОРЯ В ПРОШЛОМ И НАСТОЯЩЕМ

Большиянов Д.Ю., Макаров А.С., Ашик И.М.

ААНИИ, г. Санкт-Петербург, Россия
bolshiyanov@aari.ru

Ключевые слова: дельты арктических рек России, вековые и современные колебания уровня моря.

В докладе представлены геоморфологические карты дельт рек: Оби, Пясины, Хатанги, Лены, которые изучались Арктическим и антарктическим научно-исследовательским институтом длительное время: Оби в 1977–1983 гг., Пясины и Нижней Таймыры – в 1985–1987 гг., Хатанги и Анабара в 1987–1990 гг., Лены – с 1998г. по настоящее время. Исследовалось геоморфоло-

гическое строение дельт, гидрография устьевых областей, гидрологические процессы на устьевых участках рек, геологическое и криолитологическое строение устьевых областей. Обобщение данных привело к ожидаемому выводу о том, что все вышеупомянутые дельты развиваются под влиянием одной самой главной причины – колебаний базиса эрозии, т. е. уровня Северного Ледовитого океана с небольшими вариациями, вызванными геологическим и геоморфологическим строением береговой зоны и взморья. Все эти дельты, включая дельту р. Лены, являются дельтами выполнения эстуариев и заливов с продвижением дельтоформирования вдоль долин на сотни километров в результате подъёма или отступания уровня моря в голоцене и даже на протяжении последних сотен и десятков лет. Строение дельт позволило установить колебательный характер уровенного режима арктических морей России на протяжении последних тысяч и сотен лет. Построенная в ААНИИ карта современных колебаний уровня моря по данным инструментальных наблюдений на 60 полярных станциях за 60 лет подтверждает тенденции развития современных дельт.

ЛАГУНЫ ОСТРОВА САХАЛИН: ИСТОРИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОСВОЕНИЯ

Бровко П.Ф., Васина М.В., Меньчик А.А.

ДВФУ, г. Владивосток, Россия
peter.brofuko@yandex.ru

Ключевые слова: Сахалин, лагуны, картографирование, природопользование, топонимия.

Первые изображения лагун Сахалина появились на географических картах середины XIX века. Так, Тунайча (Тоннайця-ко) и Буссе (Тообучи, Буссэ-ван) были впервые изображены и названы на карте острова и устья Амура 1857 г.; озеро Айнское (Трайциско, Райтейска, Лебяжье) в 1868 г.; Вавайские лагунные озёра – на карте губерний Российской Империи вдоль Сибирской желез-

ной дороги 1893 г. Топонимия лагун отражает их русские, японские и аборигенные названия: на севере острова – нивхские, на юге – айнские.

Прибрежная зона Муравьевской низменности с лагунами представлена двумя рекреационно-геоморфологическими системами (РГС) – Тунайчинской и Буссе-Вавайской. В составе первой самый глубокий (до 42 м) водоем лагунного типа Тунайча с пересыпью сложного строения, которая включает абразионные останцы позднего плейстоцена и современные аккумулятивные формы.

На поверхности позднеголоценовой террасы расположена серия мелких озер, называемых «теплыми». Если в заливе Мордвинова в августе температура воды не превышает 12–14 °С, в лагуне Тунайча достигает 18–20 °С, то на мелководье лагуны и в «теплых» озерах вода прогревается до 26–28 °С. На берегу протоки, соединяющей Тунайчу с морем, оборудован современный пляж «южного» типа. В самой Тунайче вполне благоприятные условия для развития водных видов спорта, включая яхтинг. В состав РГС входит лагунное озеро Изменчивое с запасами лечебных грязей мирового уровня, которые используются в двух санаториях на юге Сахалина.

Буссе-Вавайская РГС включает лагуну Буссе, соединенную с заливом Анива проливом Суслова, лагунные озера Бол. и Мал. Вавайское, Бол. и Мал. Чибисанское, «отшнурованные» от моря. Буссе – лучшая на всем острове и удобная акватория для создания хозяйств марикультуры. Опыт разведения здесь морского гребешка и красной агароносной водоросли анфельции насчитывает не один десяток лет.

Освоение ресурсов лагун Сахалина проходило, образно говоря, во времена «четырех империй». Для юга острова это связано с основанием в 1867 г. в устье реки Шешкевича бухты Тообучи (Буссе) Муравьевского поста. Как пишет М.С. Мицуль, с очищением бухты ото льда в апреле появляется сельдь. «Ловля происходит около пролива Суслова неводом, которым захватывают разом до 40 тыс. рыб…». Солдаты поста добывают уток и гусей, а из раковин устриц получают известь. Русские плотники стали строить длинные, с возвышенным острым носом «японские» лодки – кунгасы, которые удобны для перевозки грузов даже в условиях сильного волнения.

Второй период (японской империи) продолжался в 1905 по 1945 гг. Наряду с расширением рыбного промысла, новые хозяева лагун вели активную добычу в Буссе анфельции. Запасы водоросли, оцениваемые в начале века в миллион центнеров, сократились втрое.

В советский период (1945–1990 гг.) продолжалось в результате добычи водоросли сокращение ее запасов, достигшее критического минимума – 0 тыс. ц, в конце 60-х гг. По предложению ученых СахТИНРО и ДВГУ в 1969 г. на промысел анфельции был наложен запрет; лагуна Буссе объявлена памятником природы. К настоящему времени ареал водоросли почти восстановлен, а запасы составляют около 200 тыс. ц.

В новейший период, с 1991 г. ведется добыча анфельция в небольших объемах. Также используются другие биоресурсы: устрица, трепанг, приморский гребешок. Основное направление освоения лагун связывается с развитием туризма и отдыха. Памятник природы «Лагуна Буссе» получил в 2020 г. более высокий статус – природный парк, и со временем лагуна может стать основой первого на Сахалине национального парка.

Работа выполнена по гранту РФФИ № 18.0580006/18.

К ВОПРОСУ ОБ УРОВНЕ МОРЯ В РАЙОНЕ КЕРЧЕНСКОГО ПРОЛИВА В АНТИЧНОЕ ВРЕМЯ (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ АНТИЧНОГО ГОРОДИЩА АКРА В ВОСТОЧНОМ КРЫМУ)

Вахонеев В.В., Соловьев С.Л.

ИИМК РАН, г. Санкт-Петербург, Россия
vvvkerch@mail.ru

Ключевые слова: Керченский пролив, античное городище Акра, подводная археология.

Проблема изменения уровня Черного моря в период расселения древних греков привлекает исследователей на протяжении около 70 лет. Установленным фактом является то, что в первые

несколько столетий жизни колонистов уровень моря был значительно ниже современного. Однако в отечественной историографии нет единого мнения относительна конкретных цифр: уровень моря держится в рамках от минус 2–3 м до минус 13–15 м ниже современного.

Важное место в данном вопросе отводится побережью Керченского пролива. Комплексное геолого-археологическое обследование района еще предстоит сделать в будущем, однако основным доказательством, иллюстрирующем изменения уровня моря, являются подводные исследования ряда античных городищ: Фанагории, Патрея и Акры. Причем археологические исследования Акры в последние годы принесли важные результаты, позволяющие внести определенные уточнения в реконструкцию палеогеоморфологии южного участка Керченского пролива со стороны Керченского п-ова.

Работы полевого сезона 2019 г. на городище Акра позволили дополнить полученные ранее данные. Основной задачей подводных археологических исследований Акры стало продолжение изучения городской оборонительной стены на всем ее подводном участке, вплоть до юго-западного, самого удалённого от берега, окончания. В предыдущие полевые сезоны этот участок стены частично был скрыт песчаными отложениями, остальная часть развала стены была покрыта зарослями водорослей. Расчищенный участок городской оборонительной стены составил 84,4 м в длину. Трасса кладки была полностью расчищена до ее окончания в юго-западной части. Край кладки находится на расстоянии 94,0 м от современного берега на глубине минус 3,60 м БС и представлен фундаментом оборонительной стены, от которого сохранились три выставленных по ширине кладки массивных каменных блока. Стена строена на ровном глинистом грунте. В 0,30 м в сторону от этого участка кладки видны развалы верхних рядов кладки из грубо отесанных камней крупных и средних размеров.

По всей видимости, в древности край стены заходил в воду и маркировал начало оборонительных сооружений Акры, которые отсекали невысокий мыс с расположившимся на нем поселением. Стена шла в северо-западном направлении. Крупные каменные блоки защищали стену от размыва волнами и штормами. Ранее предполагалось что на краю стены могла располагаться башня

или маяк, однако исследования 2019 г. не подтвердили это предположение.

Таким образом, на данный момент самым глубоким объектом на Акре является край оборонительной стены, выявленный на глубине минус 3,60 м БС. Сложно представить, что стена оканчивалась непосредственно на суше, оставляя проход по пляжу. Логичнее предположить, что она доходила до уреза воды или небольшим участком заходила в море. В таком случае уровень моря в IV в. до н.э. в месте нахождения Акры следует считать близким к минус 3,60 БС. Однако данное предположение может быть верным лишь в том случае, если не будет доказан факт прогибания участка суши в данном месте за последние 2,5 тысячи лет. Последнее должно быть проверено лишь комплексными геологическими исследованиями.

К ВОПРОСУ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕРМИНОВ БЕРЕГОВЕДЕНИЯ В БЕРЕГОВОМ ЛАНДШАФТОВЕДЕНИИ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИИ

Волкова Т.А., Мищенко А.А., Кондрашина М.К.

КубГУ, г. Краснодар, Россия
mist-next4@inbox.ru

Ключевые слова: Береговое ландшафтоведение, береговое природопользование, береговая зона, прибрежье (взморье), побережье, лиман

В ходе развития ландшафтоведения внутри него выделяются отдельные направления, связанные с изучением специфических особенностей природы тех или иных участков ландшафтной оболочки, например, подводное, горное, островное, городское ландшафтоведение и др. Одно из таких относительно новых направлений – береговое ландшафтоведение. Своеобразная природа берегов издавна привлекала внимание учёных разных специальностей. Наибольший вклад в развитие учения о берегах внесли геоморфологи. Основоположником науки о морских берегах по

праву считается В.П. Зенкович, который создал школу береговедов, внесших значительный вклад в изучение морфологии и динамики береговой зоны моря, превратившуюся в самостоятельную отрасль науки. Изучением береговой зоны занимаются специалисты разных направлений – биогеографы, рекреалоги, гидрометеорологи, ландшафтоведы и др. В связи с этим возникает некоторое разночтение в терминологии, определениях и основных понятиях науки береговедения.

На протяжении более 60 лет успешно и эффективно работает в этом направлении Всероссийская Рабочая группа «Морские берега» Совета РАН по проблемам Мирового океана. За это время были проведены Международные береговые конференции на разных побережьях, где обсуждались актуальные вопросы береговедения. Наиболее детальными и обобщающими работами по проблемам береговедения, по нашему мнению, являются работы, изданные под редакцией В.П. Зенковича и Б.А. Попова справочник «Морская геоморфология. Терминологический справочник «Береговая зона: процессы, понятия, определения»» (1980), справочное пособие, составленное специалистами кафедры Комплексного управления прибрежными зонами (КУПЗ) РГГМУ ВСЕГЕИ им. А.П. Карпинского «Глоссарий по кадастру береговой (прибрежной) зоны» (2008) и др.

Основные понятия в береговедении отражают их геоморфологическую сущность. Акцент в толковании этих терминов делается на формы рельефа и геоморфологические процессы. Это вполне закономерно, так как литогенная основа является субстратом для формирования природных комплексов береговой зоны.

Сформировавшиеся в прибрежных ландшафтах геосистемы как контактные системы прибрежных территорий являются местами концентрации элементов, которые в дальнейшем воздействуют на прибрежные акватории и приморские территории. Прибрежные геосистемы представляют собой многокомпонентные и многокомплексные образования, включающие в свой состав естественные, техногенные и смешанные по своей природе подсистемы. К примеру, прибрежные геосистемы Азово-Черноморского побережья состоят из систем более низкого порядка: экологической подсистемы, образованной природными компо-

нентами, социально-демографической подсистемы, представленной населением, экономической подсистемой, образованной хозяйственными объектами производственной и непроизводственной сферы, политико-управленческой подсистемой, формируемой элементами исполнительной и представительской власти и технико-технологической подсистемы. Разнородность генезиса подсистем во многом определяет разные походы в терминологии, используемой во многих смежных береговедению направлениях.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, проект «Изучение закономерностей формирования и динамики геосистем крупных морских аккумулятивных форм берегов Краснодарского края» № 19-45-230004 р_а.

КЛАССИФИКАЦИЯ КОНСТРУКЦИЙ ИСКУССТВЕННЫХ ОСТРОВОВ

Вялый Е.А.

«НИЦ «Морские берега», г. Сочи, Россия
VyalyiEA@tsniis.com

Ключевые слова: волновой бассейн, гидравлическое моделирование, искусственный островной комплекс, математическая модель, морское берегоукрепительное сооружение, оградительные сооружения, проектирование, проницаемые сооружения, расчетные элементы волн, расчетный шторм.

На сегодняшний день строительство искусственных островных комплексов (ИОК) представляется весьма перспективным направлением в гидротехническом строительстве, поскольку позволяет выполнять ряд важнейших задач: от создания новых рекреационных зон до решения проблем экологии.

До настоящего времени не проводилось комплексных исследований, направленных на определение критериев применимости типов конструкции искусственных островов, базирующихся на достаточных теоретических и экспериментальных данных, а

также на научное обоснование возведения таких сооружений. Кроме того, в российской нормативно-технической базе отсутствуют нормативные документы на проектирование искусственных островов.

Целью настоящей работы является обзор существующих типов конструкций ИОК, сопоставление и классификация типов конструкций и постановка задач для дальнейших исследований.

В рамках работы выполнен обзор традиционных и инновационных типов конструкций, пересмотрена их классификация, намечены дальнейшие работы в данном направлении:

– выбор наиболее перспективного типа конструкции ИОК;

– обобщение опыта проектирования и строительства;

– научное обоснование проектирования и строительства сооружений искусственного острова на примере выбранного типа конструкций;

– разработка практических рекомендаций по проектированию.

Для предварительно выбранных для дальнейшего изучения проницаемых конструкций откосно-ступенчатого профиля выполнен обзор выполненных ранее экспериментов. Из приведенных результатов исследований взаимодействия волн с проницаемыми гидротехническими сооружениями могут быть сделаны следующие выводы:

– к настоящему времени накоплен определенный объем опытных данных по рассматриваемой проблеме;

– выполнено гидравлическое моделирование берегозащитных и оградительных сооружений проницаемой для волн конструкции, а также волногасителей оградительных сооружений искусственных островных комплексов;

– выполненные ранее экспериментальные исследования позволили выявить значительные преимущества оградительных и причальных сооружений из сквозных конструкций по сравнению с традиционными аналогами.

ГЕОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ЗАКАРСТОВАННЫХ УЧАСТКОВ БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ КРЫМА

Галкина М.В.

КФУ, г. Симферополь, Россия
m_tsvetkova@mail.ua

Ключевые слова: побережье, карст, геологическое строение, геоморфология, грот, пещера.

Прибрежно-морские исследования карста получили в последние десятилетия широкое развитие в мире. Особенно активно эти исследования ведутся в настоящее время в связи с разработкой новой спелеогенетической концепции гипогенного карста. Не является исключением и Крымский п-ов, длина береговой линии которого составляет около 2 500 км.

Цель работы заключается в выявлении особенностей геолого-геоморфологического строения и оценке их влияния на развитие карстовых процессов и размещение карстовых форм на побережье Крыма.

Согласно схеме карстологического районирования прибрежная зона Крыма располагается в пределах двух карстовых стран (Восточно-Европейская, Крымско-Кавказская), двух карстовых провинций (Скифская плита, Горный Крым), трех карстовых областей. Исследованные районы были разбиты на следующие области: 1. Равнинно-Крымский (Северо-Тарханкутский, Западно-Тарханкутский, Восточно-Тарханкутский карстовые районы); 2. Предгорно-Крымский (Севастопольский); 3. Горно-Крымский (Байдарско-Балаклавский, Западно-Южнобережный, Судакский).

В пределах Равнинно-Крымского карстового региона (Тарханкутский п-ов) береговая зона представлена обрывами высотой от нескольких до 30–40 м. Это естественные обнажения субгоризонтально залегающих преимущественно скальных пород верхнего миоцена. На участках, где обрывы исчезают, скальные породы замещаются рыхлыми и образующими аккумулятивные участки

побережья. На побережье вскрыт ряд относительно крупных антиклинальных и синклинальных структур, с которыми тесно связано распространение морских пещер.

В настоящее время в пределах Тарханкутского п-ова выделяется 6 участков закарстованных берегов. В Северо- и Западно-Тарханкутском карстовых районах выделено 5 участков: Северный, Панский, Черноморский, Джангульский и Атлешский. Более закарстованными являются сарматские известняки Северного участка, где заложено 36 коррозионно-абразионных полостей. Они развиваются в сарматских плотных известняках-ракушечниках светло-серого и белого цвета.

Предгорно-Крымский карстовый регион включает побережье Севастопольского карстового района, протянувшееся от Северной стороны Севастополя до устья Мраморной балки. Геологические условия на побережье здесь очень похожи на обстановку на Тарханкутском п-ове. Известняковые склоны бухт Севастополя отличаются относительной крутизной. В них встречаются закарстованные трещины, зоны кавернозности и перфорированности.

Горно-Крымский карстовый регион представлен закарстованным побережьем в пределах Западно-Южнобережного, Судакского и Восточно-Крымского карстовых районов. В первом из них выделяется несколько участков, из которых Балаклавско-Ласпинский имеет наибольшую (около 20 км) протяженность. Здесь также встречаются небольшие участки побережья вокруг смещенных известняковых массивов у г. Кошка, мысов Ай-Тодор и Мартьян. В Судакском карстовом районе известно несколько относительно крупных пещер на Новосветско-Судакском, Алчакском и Меганомском участках.

Таким образом, проведенное исследование свидетельствует о высоком спелеоресурсном рекреационном потенциале территории и возможности создания новых объектов природно-заповедного фонда региона. Этот факт доказывает необходимость обязательной карстологической экспертизы проектов любой хозяйственной деятельности в береговой зоне п-ова.

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ БЕРЕГОВЫХ ЭКО-СОЦИО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА СТАТИСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Гогоберидзе Г.Г. [1], Косьян Р.Д. [2], Румянцева Е.А. [1]

[1] МАГУ, г. Мурманск, Россия
[2] ИО РАН, г. Геленджик, Россия
gogoberidze.gg@gmail.com

Ключевые слова: береговая эко-социо-экономическая система, устойчивость, индикаторный метод, Краснодарский край.

Приморские территории как единая береговая эко-социо-экономическая система играют все более возрастающую роль в социально-экономическом развитии Российской Федерации. В этой связи важное значение приобретает возможность проведения оценки устойчивости и прогнозирования комплексного развития этой системы, принимая во внимание природно-климатические, социально-экономические, природоохранные, административно-политические и иные аспекты.

Проведенный анализ факторов воздействия на приморские районные муниципальные образования как береговые эко-социо-экономические комплексы дал возможность учета климатических, экологических и социально-экономических изменений. В результате разработана модель комплексной оценки устойчивости береговых систем и планирования деятельности районных муниципальных образований на основе применения индикаторного подхода, используя открытую статистическую информацию.

Предлагаемая методика расчета индикаторов позволяет проводить расчет отдельных индикаторов устойчивости и развития относительно общероссийского уровня, что дает возможность оценивать уровень устойчивости отдельных муниципалитетов не только внутри региона (Краснодарского края как субъекта Российской Федерации), но и на уровне страны. В результате может

проводиться многофакторный анализ как отдельно взятой береговой системы, так и пространственный анализ заданной совокупности береговых эко-социо-экономических систем. Кроме того, возможна оценка как комплексной устойчивости береговой системы в целом, так и по отдельным факторам устойчивости, таким как:

- экономический;
- социальный;
- природоохранный;
- социально-политический.

Апробирование модели на районных муниципальных образованиях Краснодарского края показала ее применимость как для проведения оценок современного состояния береговых эко-социо-экономических систем, так и для возможностей отслеживания трендов и прогноза изменчивости их устойчивости в комплексе и по отдельным факторам.

Для Краснодарского края расчеты показали, что общее интегральное состояние береговых эко-социо-экономических систем является стабильным, с относительно высокой степенью однородности по приморским районным муниципальным образованиям. По сравнению с 2013 г. достаточную положительную динамику показывают город Новороссийск и Ейский район за счет улучшения в них экономической и политической ситуации. Снижение устойчивости наблюдается для Туапсинского и Щербиновского районов, что связано прежде всего с ухудшением социально-политической обстановки, а также снижением роли природоохранной деятельности для Туапсинского района, и ухудшением экономической ситуации в Щербиновском районе.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Краснодарского края в рамках научного проекта № 19-45-230001.

КЛАССИФИКАЦИОННЫЕ ПРИЗНАКИ РИСКОВ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ В БЕРЕГОВОЙ ЗОНЕ АЗРФ

Гогоберидзе Г.Г. [1], Румянцева Е.А. [1], Шилин М.Б. [2]

[1] МАГУ, г. Мурманск, Россия
[2] СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия
gogoberidze.gg@gmail.com

Ключевые слова: техногенные риски, природные риски, береговая эко-социо-экономическая система, АЗРФ.

В условиях глобального изменения климата и постоянно увеличивающегося антропогенного воздействия в арктической зоне Российской Федерации (АЗРФ) и ее береговой зоне большое значение приобретает учет и управление природными и техногенными рисками природопользования, имеющими существенную связь с экологическими и социально-экономическими рисками. Одной из базовых задач является создание классификационной системы, определяющей виды, источники, сферы действия и пространственный масштаб рисков природопользования и характера их воздействий на элементы арктических береговых эко-социо-экономических систем.

Рассматривая риск с точки зрения вероятности реализации процесса причинения вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений, возможно его этапное структурирование в виде цепочки трех взаимосвязанных составляющих:

– риск-источник как непосредственный элемент арктической береговой эко-социо-экономической системы, который и продуцирует риск природопользования;

– риск-фактор как непосредственный риск (событие), возможность реализации которого исходит от риск-источника с раз-

ной степенью вероятности и интенсивности проявления, и представляющий собой угрозу природопользования для какого-либо объекта системы;

– риск-объект как непосредственный элемент арктической береговой эко-социо-экономической системы, на который воздействует риск-фактор, с разной степенью интенсивности и угрозы его устойчивому функционированию.

С учетом того, что риск-источник и риск-объект представляют близкие элементы арктической береговой эко-социо-экономической системы, возможно использование сценарного подхода в моделировании рисков каскадных катастроф.

Взаимосвязи элементов структурных составляющих риска оценивались по 5-бальной системе путем проведения экспертных оценок по двум матрицам:

– матрица риск-источник – риск-фактор, отражающая степень продуцирования риск-фактора от воздействия каждого из риск-источников;

– матрица риск-фактор – риск-объект, отражающая степень возможного воздействия каждого риск-фактора на нормальное эффективное функционирование риск-объектов.

Проведенные матричные оценки дают возможность выявления ключевых элементов различных сценариев реализации риска, включая риски каскадных катастроф. Дальнейшая работа в данном направлении нацелена на разработку инструментария по реализации мероприятий по учету и управлению рисками природопользования в береговой зоне АЗРФ, с целью содействия росту эффективности процессов территориального планирования и прогноза устойчивости арктических береговых эко-социо-экономических систем АЗРФ.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-05-00312.

МОРФОДИНАМИКА БАРА И ОПЫТ УЛУЧШЕНИЯ СУДОХОДНЫХ УСЛОВИЙ В МАКРОПРИЛИВНОМ УСТЬЕ РЕКИ ПАЛАНА (СЕВЕРО-ЗАПАДНАЯ КАМЧАТКА)

Горин С.Л. [1], Школьный Д.И. [2]

[1] ВНИРО, г. Москва, Россия
[2] МГУ, г. Москва, Россия
gorinser@mail.ru

Ключевые слова: бар, коса, устье, морфодинамика, судоходство, Камчатка.

На Западной Камчатке все портовые пункты, обслуживающие морские промысловые и транспортные суда, находятся внутри эстуариев и в нижнем течении рек. Поэтому для подхода к портпунктам и для выхода в море суда должны проходить через узкие проливы (прорвы), соединяющие эстуарии с Охотским морем. Наибольшую проблему для судоходства в этом регионе представляет крайнее непостоянство формы и положения прорв, обусловленное активной морфодинамикой береговых барьерных систем (баров и кос), которым они принадлежат.

На северо-западе Камчатки недалеко от устья одноименной реки находится пос. Палана – важный для Камчатского края рыбопромышленный центр. Выход из р. Палана в Охотское море преграждается барьерной формой, по внешнему виду похожей на косу. Анализ архивных материалов, космоснимков и свидетельств местных жителей, позволил установить следующее.

Устье р. Палана подвержено сильной изменчивости. В его морфодинамике можно выделить три типа активности. По первому типу происходит последовательное удлинение устьевой косы на ЮЮЗ со средней интенсивностью 100–150 м/год. Наиболее активен этот процесс в осенне-зимний период. По второму типу коса нарастает в том же направлении сразу на 400–600 м и более в год. Это происходит также в осенне-зимний период благодаря формированию и последующему причленению к дистали

косы островного бара. При третьем типе морфодинамики устьевая коса относительно стабильна в продольном отношении, хотя форма устьевого рельефа изменяется благодаря поперечным переформированиям. Удлинение косы в ЮЮЗ направлении – это естественный процесс, первые сведения о котором относятся ко второй половине XIX и к началу XX вв. По имеющимся сведениям, наибольшая длина устьевой косы достигала 2,3–2,5 км.

В некоторые годы возможен прорыв устьевой косы в ее прикорневой части по природным причинам. Скорее всего, это происходит при значительном повышении водного стока реки в половодье и паводки. «Естественные» прорывы в устье р. Палана бывают редко – за 20 последних лет это случилось 1–2 раза. Кроме этого, устье р. Палана неоднократно спрямлялось искусственно. Скорее всего, первый прокоп косы был сделан между 1952 и 1970 гг. В последние 10 лет это делалось трижды. После естественного или антропогенного прорыва косы цикл развития устья начинается заново.

При длине устьевой косы более 1,8 км заходящие в устье р. Паланасуда должны проходить в непосредственной близости от гряды камней, которая тянется на север от абразионного уступа в массиве г. Пятибратка. Это, а также сильная изменчивость фарватера, создает серьезную угрозу для судоходства.

Администрация и жители пос. Палана нашли эффективный способ устранения этой проблемы. В 2017 г. были начаты и с тех пор ежегодно проводятся мероприятия по выправлению устья реки. Их суть заключается в прокопке новой прорвы в основании косы в благоприятный для этого период времени (на подъеме речного половодья во время отливов). Важно отметить, что это производится при минимуме материальных затрат и с использованием только местных сил и технических средств (бульдозеров и экскаваторов). Мы считаем, что этот опыт может быть распространен и на другие устья Западной Камчатки.

РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ И КАЧЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗДУШНЫХ КОМПЛЕКСОВ СБОРА ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ, РЕАЛИЗУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЮ LIDAR В ИНТЕРЕСАХ БАТИМЕТРИЧЕСКОЙ И ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

Григорьев А.Н., Попович В.В., Попович Т.В.

АО «СПИИРАН – НТБВТ», г. Санкт-Петербург, Россия
t.popovich@oogis.ru

Ключевые слова: информационное обеспечение, береговая линия, дистанционное зондирование, воздушное судно, LIDAR, пространственные данные.

В настоящее время активно развиваются методы и средства сбора пространственных данных о зоне береговой линии, основанные на использовании технологии LIDAR (Light Identification Detection and Ranging) и воздушных носителей. В свою очередь это позволяет реализовать информационное обеспечение, требующееся для решения широкого перечня прикладных задач в отраслях судоходства, морской навигации, гидрографии и других направлений социально-экономической и научной деятельности. Для получения базового компонента пространственных данных (модель рельефа суши/дна и описание объектовой обстановки) необходимо выполнение батиметрической и топографической съемки.

В докладе рассматривается комплекс задач, решаемых с использованием технологии LIDAR в рамках информационного обеспечения в зоне береговой линии. Особое внимание уделяется актуальным тенденциям в разработке и производстве соответствующего оборудования, классам используемых носителей и сопутствующему обеспечению съемочных работ. Отмечаются воздушные комплексы, реализующие классическую технологию регистрации измерений, а также обсуждаются принципы функционирования и особенности оборудования, представляющего следующие уровни развития технологии LIDAR.

В результате выполненного анализа современных воздушных комплексов получены результаты обобщения и сравнения возможностей и технических параметров существующего оборудования от ведущих мировых производителей.

Рассматривается разработанный математический аппарат, позволяющий в первом приближении оценивать потенциальную производительность оборудования LIDAR на типовых носителях в зависимости от его параметров, удаленности района съемки, параметров режима съемки. С использованием указанной разработки получены обобщенные выводы и результаты сравнения типовых воздушных комплексов, определены основные факторы, определяющие производительность съемки.

Кроме того, к обсуждению предлагается подход к анализу качества получаемых пространственных данных (плотность и пространственная равномерность измерений рельефа дна/суши) на основе моделирования процесса съемки и геопространственного анализа результатов моделирования. В рамках подхода рассматриваются показатели, которые используются для описания свойств получаемых пространственных данных о рельефе дна/суши.

В докладе демонстрируются оценки потенциального качества пространственных данных, получаемых различными типами воздушных комплексов при типовых условиях съемки зоны береговой линии.

БЕРЕГОВАЯ БАЗА ДАННЫХ МОРЕЙ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ

Григорьев М.Н., Максимов Г.Т.

ИМЗ СО РАН, г. Якутск, Россия
Grigoriev@mpi.ysn.ru

Ключевые слова: сегментация берегов, термоабразия, термоденудация, термоэрозия, база данных, потоки наносов.

Одним из результатов длительных исследований береговой зоны арктических морей Восточной Сибири стало создание детальной береговой базы данных для этого региона. Сегментация

берегов морей Лаптевых и Восточно-Сибирского и наполнение каждого берегового сегмента количественной и качественной информацией являлась основой для формирования этой базы. База данных создана на основе электронной карты прибрежно-шельфовой зоны этих морей. В ее состав включены слои, главные из которых – береговая линия, береговые сегменты и собственно информационный блок, состоящий из 18 параметров.

В пределах каждого из 124 береговых сегментов информационный слой разделен на следующие параметры:

1. Название моря; 2. Номер берегового сегмента (с запада на восток); 3. Местоположение сектора, географическая привязка крайних точек сегмента; 4. Географические координаты крайних точек сегмента; 5. Основные береговые формы рельефа; 6. Преобладающие типы динамического развития берегов; 7. Преобладающие литологические типы пород/осадков, слагающих берега; 8. Среднее расстояние от береговой линии до изобат 2, 5, 10, 100 м; 9. Длина береговой линии секции (км); 10. Средняя высота бровок береговых уступов или береговых склонов (м); 11. Средний темп береговой эрозии (м/год); 12. Среднее объемное содержание льда в породах, слагающих берега (%). 13. Средняя плотность сухого скелета пород, слагающих берега (г/см^3 – т/м^3); 14 – Масса (поток) обломочного материала (минерального и органического), выносимого из разрушаемых берегов на шельф за один год (т/год); 15 – Среднее содержание органического углерода в береговом обломочном материале (весовые %); 16 – Масса органического углерода, выносимая из разрушаемых берегов на шельф за один год (т/год); 17 – Краткая информация по специфическим ключевым участкам, выходящим по некоторым параметрам из структурной формы базы данных (береговые ледники, лагуны, отсеченные от моря барьерами, небольшие острова, попадающие в континентальны береговой сегмент и т. д.); 18 – иллюстративный материал по ключевым участкам.

Основные принципы выделения берегового сегмента:

1) примерно одинаковый динамический режим в пределах берегового отрезка, то есть, если не учитывать локальные участки с другим динамическим режимом, то, в целом, в выбранном сегменте преобладает береговая эрозия (термоабразия), умеренная

или активная, либо аккумуляция, либо берега в основном стабильны; 2) примерно одинаковое литологическое строение на большей части сегмента; 3) примерно один диапазон абсолютных высот преобладающего числа клифов и береговых склонов; 4) примерно одинаковое геокриологическое строение на преобладающей части сегмента (прежде всего льдистость пород), например, ледовый и термокарстовый комплексы, практически не льдистые коренные породы, четвертичные дельтовые отложения с относительно небольшим содержанием льда, грубообломочные толщи с низкой льдистостью и т. д.

Береговая база данных позволяет довольно точно определить главные, интересующие нас, осредненные параметры для этих двух морей: темпы береговой эрозии (0,8–0,9 м в год), массу наносов из разрушающихся берегов (152 млн. т в год), массу органического углерода, высвобождаемого из береговой вечной мерзлоты (5,8 млн. т в год) и площадь теряемой суши (10–11 км^2 в год).

При проведении этих исследований были использованы средства по грантам РФФИ № 18-45-140057 и № 18-05-70091.

ОСОБЕННОСТИ РЕЛЬЕФА ДНА И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФРАКЦИЙ НАНОСОВ В БЕРЕГОВОЙ ЗОНЕ ПЕРЕСЫПИ ОЗ. САКСКОЕ

Гуров К.И., Удовик В.Ф.

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

Ключевые слова: береговая зона, рельеф дна, наносы, гранулометрический состав, Каламитский залив.

Исследование региональных и локальных особенностей переформирования рельефа береговой зоны (БЗ) и изменчивости гранулометрического состава прибрежно-морских наносов на участках побережья Западного Крыма является актуальным в связи с

существенным увеличением темпов освоения рекреационного потенциала данного региона.

Цель данной работы – выявить локальные особенности рельефа подводного берегового склона (ПБС) и распределения фракций донных осадков на участке береговой зоны Каламитского залива в районе пересыпи оз. Сакское.

Используемые материалы натурных наблюдений были получены в период 2017–2020 гг. и включают повторные батиметрические съемки, точечный отбор проб грунта для гранулометрического анализа и масштабное фотографирование поверхности дна. Схема галсов и точек отбора проб была разработана на основе рекогносцировочных обследований. Промерные работы проводились до глубины 5–6 м. Расстояние между галсами уменьшено вблизи существующих берегозащитных сооружений.

В качестве фоновых значений были приняты измерения глубин, произведенные в сентябре – октябре 2017 г, которые были приведены к уровню моря на момент измерений с использованием ГНСС-приемников геодезического класса. Данные были получены в конце весенне-летнего климатического периода, характеризующегося незначительной штормовой активностью, и отражают среднее состояние рельефа на исследуемом участке БЗ. Повторные промеры в различные сезоны года по единой схеме галсов позволили выделить штормовые и сезонные изменения рельефа дна.

Анализ полученных результатов показал, что после ноября 2019 г. на профилях не прослеживается наличие существовавшего в 2017 г. подводного вала с высотой около 0,6–0,8 м, гребень которого располагался на расстоянии около 150 м от берега. Отсутствие вала может быть обусловлено различными природными процессами. Но могут быть и причины антропогенного характера, связанные с началом строительства пляжеудерживающих бун в рамках реализации масштабного проекта по строительству непрерывной пешеходной набережной на пересыпи оз. Сакское.

Результаты повторных промеров в осенне-зимний период 2019–2020 гг. показали, что после прохождения штормов средней интенсивности, рельеф дна в мористой части исследуемого участка береговой зоны практически не изменялся. Деформации

дна приурочены к приурезовой полосе ПБС и тесно взаимосвязаны с переформированием рельефа пляжей и смещением положения береговой черты.

Выделены границы наиболее вероятного распространения фракций наносов различной крупности. Распределение гравийно-галечного материала ограничивается приурезовой полосой с концентрацией в межбунных отсеках существующих берегозащитных сооружений. Накопление песчаного материала отмечается в центральной части исследуемой области, преимущественно между изобатами 2,5–3,5 м. Глубже 3,0–3,5 м начинают накапливаться илистые фракции и на изобате 5,5 м их весовая доля составляет 77–87 %.

Анализ результатов масштабного фотографирования поверхности дна позволил уточнить границы распределения основных типов наносов и зафиксировать особенности структуры поверхности дна в районе головных частей существующих поперечных бун.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2019-0004, а также при поддержке гранта РФФИ № 18-35-00230.

ПОБЕРЕЖЬЕ КЕРЧЕНСКОГО И ТАМАНСКОГО ПОЛУОСТРОВОВ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЯ МОРЯ

Дикарёв В.А., Тюнин Н.А.

МГУ; г. Москва, Россия
dikarev@rambler.ru.

Ключевые слова: геоархеология, радиоуглеродное датирование, голоцен, античные поселения, трансгрессивно-регрессивные циклы.

Послеледниковая история Черного и Азовского морей является темой острой дискуссии между представителями разных наук, связанных с восстановлением внешнего облика Земли и моделированием изменений в прошлом. В целом, принимается положение о том, что после соединения Азово-Черноморского бассейна с Мраморным и Средиземным морями через Босфорский

порог, произошло выравнивание их уровней, сопровождавшееся рядом трансгрессий и регрессий, оставивших по берегам серию террас и древних береговых линий. Часть исследователей считает, что уровень планомерно повышался, и не превышал современного в прошлом; другие выделяют значительные по времени и амплитуде трансгрессивно-регрессивные циклы и допускают превышение уровня моря над современным в прошлом.

В ходе работ на Керченском и Таманском п-овах нами был накоплен значительный материал, касающийся возможного положения уровня моря в прошлом, и характере его колебаний. Данные можно разделить на палеогеографические (колонки бурения, раковинный материал террас) и геоархеологические (положения поселений человека в современном рельефе, материал культурного слоя). По материалам бурений и изучения материала террас, совместно с зарубежными коллегами, были сделаны локальные палеогеографические реконструкции Таманского и Керченского п-овов.

Основным выводом реконструкций стала гипотеза о том, что Таманский п-ов представлял собой архипелаг из нескольких островов, разделённых проливами. Наряду с Керченским проливом (Киммерийским Боспором), до позднеантичного времени на месте палеорусел р. Кубань существовал еше т. н. «Кубанский Боспор», заполненный в настоящее время речными наносами. В Керченский п-ов сильнее вдавались бухты, достаточно глубокие для навигации легких судов. Этими бухтами являлись крупные озёра п-ова (Чокракское, Тобечикское, Узунларское), в настоящий момент отделённые от акватории моря узкими пересыпями.

Соотнесение положения археологических объектов с известными кривыми изменения уровня Черного и Средиземного морей в голоцене позволило сделать однозначный вывод об ошибочном выделении этапа фанагорийской регрессии, названной в честь частично затопленного античного городища Фанагория на Таманском п-ове.

Судя по упомянутым выше эвстатическим кривым, Средиземное море практически не меняло свой уровень во второй половине голоцена. По принципу сообщающихся сосудов изменения уровней Азово-Черноморского и Средиземноморского бассейнов должны были быть однонаправленно синхронными. Затопление

античных поселений явилось скорее следствием прогибания земной коры, а не результатом регрессии со снижением уровня моря на 3–5, а по данным некоторых исследователей на 10–15 м, а затем последовавшей за ней трансгрессии. К примеру, Фанагория находится на южном крыле опускающейся синклинали Таманского залива

Кроме сложной тектонической картины Керченско-Таманского прогиба, характеризующегося микроблоковой клавишной тектоникой с изменениями знака и амплитуды вертикальных движений, есть и иные факторы, влияющие на планово-высотные миграции береговых линий. Среди них стоит упомянуть дельтовое осадконакопление с выдвижением устьевой области Кубани и ее берегов. Следует также упомянуть абразию, приведшую к отступанию участков клифов и береговой линии на расстояние до нескольких сотен метров за последние 2–3 тыс. лет.

В итоге, при сложном сочетании разнонаправленных факторов, влияющих на формирование и эволюцию местной береговой линии, однозначный вывод о колебательной динамике уровня Азово-Черноморского бассейна без подтверждений по Средиземному морю выглядит необоснованным.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ ГИС ПО МАТЕРИАЛАМ ИЗУЧЕНИЯ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ КРЫМА

Долотов В.В., Горячкин Ю.Н., Долотов А.В.

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

Ключевые слова: Крым, прибрежные акватории, натурные исследования, геоинформационные системы.

В соответствии с представленной ранее стратегией развития информационных систем отдела гидрофизики шельфа Морского гидрофизического института РАН, ориентированных на резуль-

таты исследований береговой зоны Крыма представлены два варианта интерактивных геоинформационных систем, использующих одну и ту же базу данных, оформленных в виде принятых на международном уровне форматов ESRI SHAPE и GS Surfer GRID для векторных данных, а также GeoTIFF для растров. Первая из них является традиционной Desktop-версией для персонального компьютера и ограничена Крымским побережьем, что, однако, определяется лишь условными границами подготовленной цифровой карты, которые, при необходимости, могут быть расширены. Вторая – Интернет-версия – не имеет пространственных ограничений, поскольку для представления данных использует ряд картографических сервисов, таких как MapBox, OpenStreetMap, Yandex Maps и др.

Несмотря на использование единых данных структуры информационных систем несколько различаются. Так Desktop-версия ориентирована на форматы представляемых данных, в то время как Интернет-версия – на оперативное представление данных наблюдений, в связи с чем ее структура подразделена на первичные данные, данные постобработки и аналитические материалы в виде результатов региональных исследований. При этом отдельными разделами представлены описательные данные, современные представления о кадастровой оценке рекреационных ресурсов пляжей с примерами и вспомогательные фотографические и видеоматериалы. В качестве картографической основы используется получившая большую популярность открытая библиотека leaflet, являющаяся своеобразной надстройкой над языком javascript. Основной задачей создания библиотеки являлось обеспечение возможности представления векторных картографических данных в сети Интернет в виде накладывания отдельных слоев на базовую карту, выбранную пользователем из списка. При этом как сами слои, так и представляемые пространственные объекты обеспечивают традиционную интерактивность, выраженную в возможности включения/отключения видимости слоев и представления характеристических атрибутивных данных.

Такое построение системы предоставляет возможность обеспечить авторские права на первичные данные, поскольку представление оперативных данных ограничивается их геолокацией

без указания атрибутивных характеристик, таких как возвышение уровня, результаты промеров глубин и пр. Фото- и видеоматериалы в этом случае представлены в формате пониженного разрешения, что одновременно с решением основной задачи обеспечивает повышенное быстродействие.

Результаты постобработки и аналитические материалы обычно включаются в систему уже после их опубликования в открытой печати. Исследования выполняются с целью оценки изменчивости береговой зоны западного Крыма с использованием аэрофотоснимков и 3D-моделей рельефа местности.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2019-0004 и гранта РФФИ 18-45-920021 р_а.

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ КРАТКОСРОЧНОЙ ДИНАМИКИ ПЛЯЖА И ВЫБРОСОВ ВОДОРОСЛЕЙ НА СЕВЕРНОМ ПОБЕРЕЖЬЕ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Домнин Д.А., Граве А.В., Горбунова Ю.А.

ИО РАН, г. Москва, Россия
dimanisha@gmail.com

Ключевые слова: выброшенные водоросли, динамика пляжа, Балтийское море, Калининградская область.

Калининградская область – самый западный регион России страдает от береговой эрозии и абразии, связанных со штормовой активностью. Также, в последнее время в области активно стал обсуждаться вопрос выброса на берег морских водорослей, которые, одной стороны, негативно влияют на туристическую привлекательность пляжей, а с другой, могут служить ресурсом для их хозяйственного использования.

Для наблюдения за динамикой пляжа и выбросами водорослей на побережье, временно установлена веб-камера, запрограммированная на автоматическое получение регулярных фотографий части пляжа, который формируется к западу и к востоку от буны,

уходящей в море от берега. Съёмка производится несколько раз в день в светлое время суток. На снимках виден пляж и выброшенные на него водоросли.

Анализ фотоснимков проводится в несколько этапов. На первом этапе визуально проводится фиксирование информации о наличии пляжа и выброшенных водорослей с обеих сторон буны. Далее отбираются те снимки, на которых зафиксированы водоросли. По этим снимкам проводится инструментальный подсчет площадей, занимаемых водорослями.

Предварительно, для получения метрических данных на полигоне единовременно были разложены физические маркеры показывающие узлы регулярной сетки. Регулярная сеть ограничивает площадь со сторонами 10×40 м.

Узлы сетки соединены виртуальными линиями, образующими квадраты, расположенные к западу и к востоку от буны. Размер каждого квадрата составляет 5×10 м (50 м^2).

В специализированной GIS программе для каждого квадрата снимка инструментом оцифровки изображения измерена его условная площадь и измерена площадь занимаемых в квадрате выброшенных водорослей. Выполнен расчет реальной площади и доли, занимаемой водорослями в каждом квадрате.

За период с 1 ноября 2019 г. по 31 мая 2020 г. (213 дней) в большинстве своём пляж был в наличии. Но существует разница в этом показателе для участков к западу или к востоку от буны. К западу от буны пляж был зафиксирован в течение 160 дней, к востоку – в течение 154 дней, а отсутствовал – 53 и 59 дней, соответственно.

За тот же наблюдаемый период выброшенные на берег водоросли отсутствовали 149 дней на западном участке и 151 дней – на восточном. Наличие водорослей визуально и субъективно фиксировалось как «много» и «мало». К западу от буны число дней с водорослями составило 64, при этом их было много в течение 4 дней, а мало – 60. К востоку от буны число дней с водорослями составило 62, но много было в течение 22 дней, а мало – 40.

Выброшенные водоросли появляются только при наличии пляжа. Ситуаций, когда пляж отсутствует, а есть водоросли, не зафиксировано. В своём большинстве, водоросли появляются спустя нескольких дней после образования пляжа.

Во времени водоросли были зафиксированы в ноябре 2019 г. (длительное время присутствовали на пляже), эпизодично в декабре (по 1–3 дня подряд), фактически отсутствовали в январе-марте 2020 г., с апреля по май – были выбросы по несколько дней подряд (до 10 дней).

Наблюдения за динамикой пляжа выполнены в рамках темы № 0149-2019-0013 государственного задания ИОРАН, наблюдения за выбросами водорослей проведены в рамках выполнения проекта No R090 Contra (программа Интеррег).

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ РЕЛЬЕФА ДНА И ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ БАЛТИКИ В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Дорохов Д.В., Дорохова Е.В., Дудков И.Ю.

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

Ключевые слова: геолого-геофизические исследования, древние береговые уступы, реликтовые дюны, плугмарки, реликтовые пески, юго-восточная часть Балтийского моря.

Формирование Балтийского моря началось в позднем плейстоцене и голоцене в ходе потепления и отступания Скандинавского ледника, сопровождающееся значительными колебаниями уровня, изменениями гидрологического режима, а также формированием различных абразионно-аккумулятивных форм рельефа. В советские годы были проведены масштабные исследования рельефа дна и донных осадков Балтийского моря. Однако они проводились устаревшим на настоящий момент оборудованием, поэтому некоторые формы рельефа, а также особенности формирования донных осадков не достаточно хорошо изучены. До сих пор остается дискуссионным вопрос скорости изменения уровня моря на разных стадиях развития Балтийского моря.

В 2014–2020 гг. в ходе морских экспедиций ИО РАН выполнены геолого-геофизические работы, которые позволили уточнить и выявить новые особенности рельефа дна и донных осадков южной части Балтийского моря. Геофизические работы включали батиметрическую съемку многолучевым эхолотом RESON-AS Seabat 8111 (100 кГц, 101 луч) и однолучевым эхолотом Simrad EA400SP (38 и 200 кГц), гидролокацию бокового обзора Benthos C3D и Simrad EA400SP (оба 200 кГц), геоакустическое профилирование осадков Edgtech 3300 (2–16 кГц). Геологические работы включали отбор проб поверхностных осадков дночерпателями и отбор колонок гравитационными трубками большого диаметра.

В результате определено точное местоположение и форма затопленных древних береговых уступов на подводном береговом склоне в районе м. Таран. Всего выявлено 33 фрагмента клифов. Глубина нижней площадки крупнейшего в районе исследования клифа высотой 6–10 м составляет 27–28 м и соответствует уровню Анцилового озера. Хорошая сохранность уступов может свидетельствовать об относительно быстрых изменениях уровня моря в позднем плейстоцене и голоцене, что позволило «законсервировать» под водой сформированные ранее клифы.

На дне Гданьско-Готландского порога и Слупского желоба выявлены протяженные борозды, которые определены как борозды ледовой экзарации (плугмарки). Плугмарки были сформированы на стадии Балтийского ледникового озера и ранней стадии Иольдиевого моря, когда при отступлении Скандинавского ледника формировались айсберги различных размеров и крупные торосы. Также захороненные плугмарки обнаружены под литориновыми илами и на нескольких горизонтах лимно-гляциальных отложений. Наличие материала ледового разноса в колонках подтверждает их айсберговое происхождение.

В ходе экспедиционных исследований получены новые данные о «реликтовых подводных дюнах» на плато Рыбачий, которые ранее были недостаточно изучены и генезис не уточнен. Предположительно, дюны были сформированы на стадиях Балтийского ледникового озера и Иольдиевого моря, когда уровень был ниже современного на 55 м.

На подводном береговом склоне Куршской косы обнаружены вытянутые ареалы реликтовых крупнозернистых песков, которые могли сформироваться в ходе длительного неизменного положения уровня моря в Литориновую и пост-Литориновую стадии Балтийского моря.

Работа выполнена в рамках госзадания ИО РАН (тема №0149-2019-0013) и при финансовой поддержке проекта РФФИ № 18-05-80087.

ГЕОАКУСТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДОННЫХ ЛАНДШАФТОВ С ВЫСОКИМ АРХЕОЛОГИЧЕСКИМ ПОТЕНЦИАЛОМ В РОССИЙСКОМ СЕКТОРЕ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ, ПРИМЫКАЮЩИХ ЛАГУНАХ И КРУПНЫХ РЕКАХ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Дорохов Д.В., Дудков И.Ю., Ежов В.Е.

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

Ключевые слова: геоакустические исследования, морское культурное наследие, затонувшие объекты, донные ландшафты, юго-восточная часть Балтийского моря.

Геоакустические исследования донных ландшафтов с высоким археологическим потенциалом были выполнены в рамках международного проекта BalticRim. Проект призван способствовать внедрению принципов учета и контроля в отношении объектов морского культурного наследия (МКН) на национальном уровне, а также разработке международной модели их внедрения в морское пространственное планирование (МПП). Одной из основных задач для российской стороны являлось выявление объектов МКН в акваториях Юго-Восточной Балтики и Финского залива, а также на прибрежных территориях и крупных реках.

В позднем плейстоцене и голоцене происходили значительные колебания уровня зарождающегося Балтийского моря в диапазоне 0–55 м. Большие прибрежные территории, которые вероятно были заселены людьми, затоплены и до сих пор скрывают под водой ценные археологические артефакты. Кроме того, Балтийское море всегда являлось большим транспортным узлом для окружающих европейских стран и ареной военных действий. До сих пор оно остается слабо изученным на предмет обнаружения и идентификации затонувших судов, которые являются ценными археологическими памятниками.

Речная система Калининградской области, соединяющая Куршский и Калининградский заливы, имеет большой археологический потенциал, поскольку в прошлые исторические эпохи являлась важным связующим звеном между поселениями континентальной и приморской частей региона, представляя собой крупную транспортную водную артерию. На руслах рек расположено несколько крупных древних городов, что создает предпосылки для высокой плотности подводных объектов культурного наследия и является основным критерием для выполнения здесь поисковых работ. Ранее подобные исследования в реках не проводились.

На акватории Балтийского моря работы проводились в 2018–2020 гг. как на больших научно-исследовательских судах ИО РАН («Академик Николай Страхов», «Академик Борис Петров» и «Академик Сергей Вавилов»), так и маломерном исследовательском судне «Норд-3». Геоакустические исследования Калининградского залива, русел рек Преголи и Деймы Калининградской области выполнялись на катамаране Р 60-34 ЖЕ «Петрович» в июле-августе 2019 г. Поисковые работы проводились в основном с использованием гидролокатора бокового обзора Teledyne Benthos C3D. В Балтийском море на научно-исследовательском судне «Академик Николай Страхов» также использовался штатный многолучевой эхолот RESON-AS Seabat 8111. На некоторых участках была выполнена подводная видеосъемка водолазами и телеуправляемым подводным аппаратом СуперГНОМ.

В результате получены цифровые модели рельефа и сонограммы поверхности дна районов с высоким археологическим потенциалом для выделения ключевых участков дальнейших

подводных археологических исследований. В море и руслах рек найдены новые затонувшие объекты, а также проведена верификация части реестра затонувших объектов.

Работа выполнена в рамках международного проекта BalticRIM.

СРЕДНЕ- И КРУПНОМАСШТАБНОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ДОННЫХ ЛАНДШАФТОВ РОССИЙСКОГО СЕКТОРА ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

Дорохов Д.В.

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

Ключевые слова: субаквальные ландшафты, ландшафтное районирование, абиотические параметры, тип ландшафта, морские охраняемые природные акватории, юго-восточная часть Балтийского моря.

Рациональное использование морских минеральных и биологических ресурсов невозможно без выявления пространственных закономерностей происхождения, развития и распространения субаквальных природных комплексов, их трансформации в условиях всё возрастающего техногенного воздействия. Морские ландшафтные карты должны стать эффективным инструментом для развития пространственного планирования и комплексного управления хозяйственной деятельностью в целях устойчивого развития акваторий. Ландшафтно-экологический подход позволяет оценивать состояние субаквальных и прибрежно-морских экосистем с учетом изменений их пространственной структуры. В то же время, морское ландшафтное картографирование является относительно молодой наукой, вследствие чего до сих пор отсутствуют стандартная терминология, методы ландшафтных исследований и районирования.

В данной работе предложен метод картографирования донных ландшафтов на основе модифицированных европейских классификаций и методик на примере юго-восточной части Балтийского моря. Районирование выполнено на региональном и локальном уровнях с применением индивидуально-типологического подхода, при котором ландшафт рассматривается как конкретный участок, имеющий границы и характеризуемый определенной совокупностью некоторых общих типических свойств (типы ландшафта).

Методы составления среднемасштабных карт разработаны на основе европейской классификации EUNIS [Davies, Moss, 1999] и подходов, примененных в международном проекте BALANCE [Al-Hamdani, Reker, 2007]. Методика предполагает использование абиотических параметров, которые оказывают наибольшее влияние на распределение видов донных сообществ. Параметры морской среды для построения среднемасштабной региональной ландшафтной карты взяты из литературных источников. Производная карта изменчивости донных ландшафтов позволила выявить акватории «горячих точек» с высоким разнообразием биотопов.

На трех таких участках на локальном уровне выполнено крупномасштабное ландшафтное районирование, где одним из фундаментальных компонентов является микрорельеф – предиктор среды обитания, биоразнообразия и геоэкологического состояния донных ландшафтов. На основе геолого-геоакустических данных, полученных в экспедициях АО ИО РАН, получены цифровые модели рельефа дна и карты типов поверхностных донных осадков. С использованием цифровых моделей рельефа составлены карты субаквальных ландшафтов на основе выделения мезо- и микроформ рельефа по результатам расчета индекса батиметрической позиции (BPI) в программе ArcGis [Lundblad et al., 2006]. Сочетание форм рельефа и типов субстрата позволило выявить урочища и фации.

На основе полученных ландшафтных карт выделены участки, рекомендованные для создания морских охраняемых природных акваторий. С учетом распределения донных ландшафтов предложена оптимальная региональная схема геоэкологического мониторинга.

Разработанная методика ландшафтного районирования предлагается в качестве основы для создания карт субаквальных ландшафтов в других регионах РФ.

Работа выполнена в рамках госзадания ИО РАН (тема №0149-2019-0013).

ЛИТОДИНАМИКА И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОСАДКОВ НА ПОДВОДНОМ БЕРЕГОВОМ СКЛОНЕ САМБИЙСКОГО ПОЛУОСТРОВА И КУРШСКОЙ КОСЫ (ЮГО-ВОСТОЧНАЯ БАЛТИКА)

Дорохова Е.В., Дорохов Д.В.

ИО РАН, г. Москва, Россия
zhdorokhova@gmail.com

Ключевые слова: береговая зона, гранулометрический состав осадков, критическая скорость эрозии, палеогеография.

Береговая зона моря – область наиболее активных динамических процессов, где происходит трансформация и рассеивание механической энергии прибрежных вод, в основном энергии волнения, в результате взаимодействия с твердым веществом литосферы. Однако в длительные отрезки времени эти процессы осложняются такими внешними факторами, как колебания уровня моря, тектонические движения, изменение источников и условий поступления осадочного вещества и т. д.

Целью исследования является изучение литодинамических процессов на подводном береговом склоне бесприливного моря на основе картирования поверхностных осадков и привлечения геоакустических данных.

Подход основан на классических работах [Шилдс, 1936] и [Хьюльстрема, 1935] по динамике осадочного вещества, где установлена взаимосвязь между критической скоростью потока (критическая скорость эрозии осадка), при которой частицы осадка начинают движение, и размером осадка. На основе сопоставления критической скорости эрозии, рассчитанной по среднему

диаметру осадка, с новой детальной картой типов осадков выполнено литодинамическое районирование. Для интерпретации литодинамических обстановок использованы архивные и новые геолого-геофизические данные.

В результате исследования на подводном береговом склоне северного побережья Самбийского п-ова и Куршской косы в пределах Российской ИЭЗ выделено шесть литодинамических зон. Каждая зона характеризуется определенными критическими скоростями эрозии. Наиболее подвижные осадки с наименьшими критическими скоростями сосредоточены в зоне прибрежного мелководья до глубин 10 м. В зонах, где рассчитанные критические скорости эрозии не соответствуют современным динамическим условиям, на поверхность дна выходят реликтовые отложения. В основном это зоны грубозернистых осадков, характеризуемых высокими критическими скоростями эрозии. Согласно геоакустическим данным, резкими границами для типов осадков, и соответственно литодинамических условий, могут являться затопленные реликтовые береговые уступы. Выходы реликтовых лагунных илов на подводном береговом склоне Куршской косы характеризуется мозаичным распределением низких и высоких критических скоростей, несмотря на одинаковые волновые условия на данной глубине. В этом районе разнородность осадков определяется сложным рельефом, обусловленным чередованием вытянутых субперпендикулярно берегу гребней, поверхность которых представлена мелкозернистыми песками и плотными слоистыми глинами, и ложбин, покрытых гравием и галькой. Выявленная зона повышенных критических скоростей на глубинах 10–25 м обусловлена грубозернистыми осадками, вероятно сформированными в результате продолжительного стояния уровня моря в позднем голоцене и «подтягивания» к берегу наиболее подвижных отложений в ходе формирования профиля равновесия подводного склона.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН, тема 0149-2019-0013.

БЕРЕГОВЫЕ ПРОЦЕССЫ НА МЫСЕ ТАРАН КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ (ПО АРХИВНЫМ И СОВРЕМЕННЫМ ТОПОГРАФИЧЕСКИМ КАРТАМ)

Дробиз М.В.

АО «Балт АГП», г. Калининград, Россия
ce@baltagp.ru

Ключевые слова: топографические карты, береговые процессы, Калининградская область.

Традиционными источниками данных о береговых процессах являются материалы наблюдений за направлением и скоростью ветра, течений в прибрежной зоне, геодезических измерений со стабильных реперов и ряд других. Довольно редко, но весьма продуктивно совместно с методами, основанными на указанных данных, используются характеристики из картографического мониторинга определенного региона. Применение сведений с топографических карт масштаба 1:25 000 Восточной Пруссии, созданных в 1860–1939 гг., в сравнении, выполненном по требованиям к обработке геоинформационных продуктов, с современным аналогичным источником позволило получить определенные закономерности береговых процессов на мысе Таран в Калининградской области. Этот мыс, представляющий собой оконечность выдающегося участка Самбийского п-ова, испытывает значительные штормовые нагрузки, приводящие к постепенному отступанию береговой линии на 0,15 м/ год (за 1939–2015 гг.). Относительная стабильность берега обеспечивается специальными охранными мероприятиями в связи с расположением на мысе Таран маяка Балтийского флота, построенного в современном виде в 1846 г. (немецкое название Брюстерорт, по названию мыса), а ранее, еще с XVIII в. здесь функционировал навигационный береговой огонь, сведения о которых обнаружены в немецких и польских архивах.

Кроме того, интерес представляет уточнение по картографическим материалам параметров каменной отмостки, обозначенной объектами топографической карты «камни надводные» и

«камни осыхающие». Локализация этого объекта на глубине не более 1–3 м, совместно с выявлением по 10-метровой изобате опасного для судоходства рифа вблизи мыса Таран указывает на возможное местоположение оконечности мыса в значительно больших временных масштабах (например, аналогично исследованию берега в Померанском заливе Балтийского моря – тысячелетнем масштабе).

Помимо топографических материалов в работе использованы цифровые ортофотопланы масштаба 1:2 000 2019 г. создания, по которым в сравнении с довоенными материалами выявлено увеличение размыва на восточном берегу мыса водами впадающего в море безымянного ручья, в результате чего образовался оползень площадью более 300 га, что может усилить абразионный размыв участка в ближайшие десятилетия.

Работа проведена в рамках выполнения грантов РГО № 5/2015 «Послевоенные изменения на территории современной Калининградской области по материалам топографических карт» и РФФИ №18-05-01145 «Вклад российских берегов в поступление абразионного материала в береговую зону Балтийского моря».

СПЕЦИФИКА СТРОЕНИЯ И РАЗВИТИЯ ВУЛКАНОКЛАСТИЧЕСКОГО БЕРЕГА

Дунаев Н.Н. [1], Леонтьев И.О. [1], Афанасьев В.В. [2], Репкина Т.Ю. [3]

[1] ИО РАН, г. Москва, Россия
[2] ИМГиГ ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск, Россия
[3] МГУ, г. Москва, Россия
dunaev@ocean.ru

Ключевые слова: берег, вулканизм, пемзы, космоснимки, математическое моделирование.

На примере прибрежья залива Простор, расположенного на охотоморской стороне о. Итуруп Курильского архипелага, рассмотрены особенности геолого-геоморфологического строения и

современного развития берега, сложенного вулканокластическим материалом. Последний представлен пемзами серовато-белого цвета, состоящих из умеренно глиноземистых дацитов и риодацитов нормального ряда, возникших в результате подводного эксплозивного извержения в позднем неоплейстоцене-голоцене.

Берег обрамляет предопределенный грабеном низменный (12–15 м) аккумулятивный перешеек, разделяющий северную и среднюю части острова Итуруп. В настоящее время это перекрытая слоем пемзы мощностью более 200 м территория, протяженность которой от Охотского моря до Тихого океана составляет 6 км, а площадь немногим более 20 км^2. Именно в средней части перешейка, в бывшем его подводном состоянии, а также в сопредельном районе акватории Охотского моря произошли вулканические выбросы газонасыщенных лав, образовавших упомянутые пемзы.

Рассматриваемый участок берега относится к абразионно-аккумулятивному типу. Его бóльшая северная часть представлена песчаным пляжем с доминирующей шириной 30–60 м и береговыми валами, перевиваемыми и питающими авандюны и прибрежные дюны. Пески пляжа характеризуются значительным содержанием минеральных частиц магнетита, ильменита и в меньшей мере титана, в результате которых цвет песка изменяется от светло-серого до черного. Южнее пляж сокращается до нескольких метров, а на некоторых участках исчезает, сменяясь в сторону суши сложенными слабо литифицированными пемзами береговыми обрывами высотой от 20 до 60 м, ограничивающих пемзовое холмогорье с максимальной отметкой 185 м. В результате абразии, денудационных и эрозионных процессов берег приобрел здесь оригинальную морфоскульптуру и в настоящее время известен под именем «Белые скалы» – уникальное, неповторимой красоты природное явление, весьма популярное среди туристов.

Результаты дешифрирования космических снимков Landsat и Engine/Timelapse за последние 30 лет, а также снимков QuickBird позволили установить, что на аккумулятивном участке севернее Белых скал отступание берега превысило 100 м, а на крайнем северном его отрезке проявилась тенденция к стабильности и даже к слабому выдвижению. Для расчетов вдольбереговых расходов потоков наносов применялось математическое моделирование.

Возможные в перспективе смещения береговой линии оценены с учетом тенденции острова Итуруп к дифференцированному поднятию и соответственно относительному понижению уровня моря. На аккумулятивных участках в целом будет наблюдаться стабилизация с небольшими колебаниями относительно уровня моря, а в районе Белых скал возможна тенденция к замедлению абразии.

Работа выполнена в рамках Государственного задания (тема № 0149-2019-0005) при частичной поддержке РФФИ (проект Куба_т № 18-55-34002).

АБРАЗИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ НА ПОБЕРЕЖЬЕ ДРЕВНИХ ТРАНСГРЕССИВНЫХ МОРЕЙ ПАРАТЕТИС И КАСПИЙСКИХ

Есин Н.В., Есин Н.И., Подымов И.С.

ИО РАН, г. Геленджик, Россия
ovos-oos@mail.ru

Ключевые слова: Паратетис, трансгрессия, проливы Босфор, Маныч, Средиземное море.

В последние годы достаточно интенсивно изучаются геологические процессы, протекавшие на берегах древних, весьма интересных объектов: морей Паратетис и Каспийских трансгрессивных морей. Эти моря интересны тем, что их уровни были значительно выше уровня Мирового океана, и они исчезали, оставляя в рельефе береговые линии и проливы. С участием этих морей были образованы проливы Босфор и Дарданеллы, а также пролив Маныч [Esin et al., 2018]. Благодаря этим проливам громадные объемы пресной воды из морей Паратетиса, а позже из Черного и Каспийского перетекали в Средиземное море, периодически образуя там бассейны с пресной водой и пресноводной фауной. На берегах указанных морей береговые процессы развивались в условиях повышения уровня, понижения уровня и вертикальных движений земной коры. В настоящем докладе сделана попытка

соединить теорию процесса заполнения водой депрессий в рельефе с теорией абразионного процесса, протекающего в условиях длительного относительного повышения уровня моря [Есин Н.В.,1980, Есин Н.И. 2011]. Нами показано, что уклон формирующегося шельфа tg α в таких условиях определяется следующей формулой $tg\alpha = \frac{tg\beta}{1+A}$, где tg β – уклон дна моря вблизи основания клифа, $A = \frac{u}{v}$, u-скорость углубления дна моря волнами, v – скорость относительного повышения уровня моря, A – так называемое «абразионное число», которое характеризует интенсивность абразионного процесса: чем больше A, тем под меньшим углом абразионный процесс срезает исходный береговой склон и, следовательно, тем меньшим будет уклон формирующейся подводной террасы.

Для оценки скорости повышения уровня трансгрессивного моря может быть использована формула: $\frac{dH}{dt} = \frac{W1-W2}{S} - f$, [Esin et.al., 2016], где H – отметка уровня водоема, t – время, W_1 – объем воды, втекающий в море, W_2 – объем воды, вытекающей в Азовское море через пролив, S=S(H) – площадь моря на отметке H, f – коэффициент испарения, принимаем на 20–30 % меньше его современного значения.

Расчеты показали, что вначале трансгрессии уровень моря повышался достаточно быстро (≈0,25 м/год), и, вероятно, абразия была незначительная, без образования клифа, а затем его скорость снижается до нуля и формируется береговая линия моря в виде невысокого клифа. Современная зависимость S=S(H) показывает, что на отметке примерно +63 м резко возрастает уклон линии S=S(H). Эта отметка соответствует уровню Акчагыльского моря [Есин и др., 2019]. Отметки уровней всех последующих трансгрессивных морей были меньше, т.е. их уровни были ниже уровня Акчагыльского моря. По нашему мнению, они соответствовали уровню дна пролива Маныч, где море переходило в пролив. Таким образом, мы получаем все параметры, необходимые для расчета древнего абразионного процесса, учитывающие повышение уровня, сформировавшего рельеф Прикаспийской низменности.

Можно предположить, что рельеф дна древнего моря выше отметки +63 м был сформирован в сарматское время и несколько позже в период существования других морей Паратетис. А участок современного побережья от отметки +63 м до отметки –27 м сформировали многочисленные абразионные процессы уже в плейстоцене. В целом, подобные исследования позволяют переходить к количественному описанию геологических процессов.

ОЦЕНКА ТЕХНОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ПОБЕРЕЖЬЕ СЕВАСТОПОЛЬСКОГО РЕГИОНА

Ефремова Т.В., Горячкин Ю.Н., Харитонова Л.В.

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

Ключевые слова: Западный Крым, Севастопольский регион, береговая линия, коэффициент техногенной нагрузки.

Комплексное управление в зоне сопряжения суша-море предполагает понимание качественного и количественного отклика береговой зоны на изменения природных и антропогенных факторов. Проблема определения относительного вклада воздействия этих факторов в динамику береговой зоны актуальна, поскольку напрямую влияет на принятие решений при реализации хозяйственных проектов. При определении степени влияния антропогенных факторов, наряду с оценкой воздействия конкретных проектов, что обычно входит в задачу проектных решений, для протяженных участков берега можно использовать формальные интегральные критерии. Они особенно уместны при определении стратегических задач, таких, например, как генеральные планы развития территорий, стратегии природопользования и т. п. На практике, таким формальным критерием может служить коэффициент техногенной нагрузки (K) определяемый как отношение протяженности гидротехнических сооружений – молов, бун, стенок причалов и набережных и т. п. (l) к общей протяженности береговой линии конкретных участков побережья (L).

Длина береговой линии города федерального значения Севастополь составляет более 150 км, что сравнимо с береговой линией таких крупных причерноморских государств, как Румыния (225 км) и Болгария (300 км). Степень техногенной нагрузки на отдельные участки побережья крайне неравномерна. Для расчета протяженности отдельных участков побережья и гидротехнических сооружений нами использовались космические снимки открытого доступа. Были оцифрованы и рассчитаны длина береговой линии Севастопольского региона от м. Лукулл до м. Святого Николая и протяженность всех гидротехнических сооружений, возведенных в разное время. После этого были определены коэффициенты техногенной нагрузки.

Их степень оценивалась по следующим критериям: K=0,0001–0,1 (минимальный уровень техногенной нагрузки); K=0,11–0,5 (средний уровень); K=0,51–1,0 (максимальный уровень); K>1 (экстремальный уровень) По степени техногенной нагрузки можно выделить три района.

Наименьшая нагрузка отмечается в южной части региона. На протяжении почти 40 км от б. Казачьей до урочища Батилиман коэффициент близок к нулю, т.е. инженерные сооружения практически отсутствуют. Отдельно можно выделить техногенно нагруженную Балаклавскую бухту (K=1,35). Для побережья от Батилимана до м. Святого Николая (K=0,29). Здесь расположена крупная рекреационная зона б. Ласпи.

Максимальная нагрузка характерна для района севастопольских бухт от м. Коса Северная до б. Казачьей. Многолетняя эксплуатация этого побережья военным и гражданским флотом привела к исключительно большому воздействию на природную среду. В настоящее время этот участок представляет собой практически непрерывную череду гидротехнических сооружений. Максимальная нагрузка характерна для Севастопольской и Южной бухт, где естественный берег не сохранился (K=1,18). В других бухтах коэффициент техногенной нагрузки колеблется от 0,63 (б. Казачья) до 1,18 (б. Камышовая). Несколько особняком стоит район б. Карантинная, где K=0,54. Здесь расположена часть береговой линии музея-заповедника «Херсонес Таврический», где сохранилось около 1,5 км естественного берега.

Промежуточное положение по степени техногенной нагрузки занимает побережье от м. Тюбек до м. Коса Северная, где К меняется от 0,1 (район Качи) до 0,34 (участок побережья к югу от Любимовки). Этот район является единственным перспективным для рекреационного освоения и требует особого отношения с точки зрения сохранения естественной природной среды.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2019-0004 и гранта РФФИ 18-45-920021 р_а.

РАЗВИТИЕ ГИС «ПРИБРЕЖНАЯ ЗОНА РОССИИ В ЧЕРНОМ МОРЕ»

Жук Е.В., Годин Е.А., Ингеров А.В., Вецало М.П., Исаева Е.А.

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

Ключевые слова: ГИС, Черное море, прибрежная зона, базы данных, программное обеспечение.

Геоинформационные системы (ГИС) являются удобным инструментом для работы с данными, имеющими географическую привязку, и в настоящее время получили широкое распространение. Разрабатываемая ГИС «Прибрежная зона России в Черном море» предназначена для обеспечения информационной поддержки научных исследований и практической деятельности в данном регионе.

При создании ГИС использовано свободно распространяемое программное обеспечение. Доступ к данным и их визуализация реализованы на основе клиент-серверной архитектуры. В текущей версии ГИС для визуализации пространственных данных используется библиотека mapBox GL, которая, по сравнению с использовавшимися ранее библиотекой OpenLayers и картографическим сервисом Mapserver, обеспечивает повышение быстродействия.

Общая структура специализированной БД для информационной поддержки прибрежных исследований осталась неизменной и включает два основных блока – «Океанографические данные» и «Данные прибрежной зоны», – а также блок «Социально-экономическая информация». В то же время были внесены изменения в структуру существующих таблиц и добавлены новые таблицы.

Таблицы базы данных пополнены результатами океанографических исследований, полученными в результате экспедиций, а также обмена данными с другими организациями. В настоящее время блок «Океанографические данные» включает данные 56 000 гидрологических станций, 11 000 гидрохимических станций (около 20 параметров), течений по 120 буйковым постановкам и 587 ADCP станциям, более 12 000 наблюдений прозрачности и цветности морской воды, более 4 000 дрифтерных наблюдений поверхностной температуры и течений, а также около 200 профилей температуры.

Блок «Данные прибрежной зоны» включает данные по гранулометрическому и минералогическому составу донных отложений с 50 станций, выполненных на Анапской пересыпи, 70 станций на реке Черная и архив аэрофотоснимков Бакальской косы.

Блок «Социально-экономическая информация» содержит сведения о хозяйственной деятельности в прибрежных районах, статистические и другие данные, которые находятся в открытом доступе на сайте госстатистики.

Для каждого типа данных реализована выборка и визуальное представление данных в пользовательском интерфейсе с возможностью наложения информационных слоев. Таким образом, исследователь на одной странице может получить комплексные характеристики заданного района.

В настоящее время проводится тестирование отдельных модулей ГИС «Прибрежная зона России в Черном море». При этом используются полные массивы данных блока «Океанографические данные» и ограниченные, специально подготовленные массивы данных блока «Прибрежные исследования». Следует отметить, что полномасштабная реализация этой ГИС возможна только в тесном взаимодействии с отделом гидрофизики шельфа и другими структурными подразделениями ФГБУН ФИЦ МГИ, а, возможно, и с другими заинтересованными организациями. В

первую очередь, это относится к насыщению информацией баз данных блока «Данные прибрежной зоны».

Работа выполняется в рамках темы государственного задания ФГБУН МГИ № 0827-2019-0004 «Прибрежные исследования».

ЭКОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА В СТРУКТУРЕ ПРИРОДНОГО ПОТЕНЦИАЛА РОССИЙСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ АЗОВСКОГО МОРЯ

Ивлиева О.В., Беспалова Л.А., Кушнир К.В.

ЮФУ, г. Ростов-на-Дону
labtourism@yandex.ru

Ключевые слова: природный потенциал, Приазовье, морфологическая привлекательность, береговая линия.

Российское Приазовье территориально располагается на Юге России, в пределах трех федеральных округов – Ростовской области, Краснодарском крае и Республики Крым. Азовское море оказывает положительное влияние на климат окружающих его территорий, идущее в сторону смягчения континентальности. Однако вследствие небольшой площади Азовского моря это влияние не особенно велико и сказывается в основном в прибрежных районах.

Оценка природного потенциала муниципальных территорий Российского Приазовья позволила выявить географические различия в распределении природных объектов всех категорий. Отдельно оценивалась береговая зона, с целью определения состава песка, морфологической привлекательности и емкости пляжей.

Комплексное изучение современных береговых процессов побережья Азовского моря позволило выделить три основных типа берегов: абразионный, абразионно-оползневой и аккумулятивный. Абразионные берега (227 км) встречаются от пос. Ильич до пос. Пересыпь, от г. Приморско-Ахтарск до корня Ясенской косы, от корня Камышевской косы до ст. Должанская, от ст. Дол-

жанская до г. Ейска, у с. Шабельское и севернее корня Глафировской косы, северное побережье Таганрогского залива до с. Мержаново. Абразионно-оползневой тип берега широко распространен в Керченско-Таманской области, особенно в районе мыса Ахиллеон, п. Кучугуры, с. Семеновка.

Согласно проведенным исследованиям наиболее привлекательные объекты побережья Таганрогского залива являются в пределах Неклиновского района хутор Рожок, Беглицкая коса, коса Петрушина коса Куричья коса, и на южном побережье (Азовский район) коса с. Стефанидинодар, Павло-Очаковская, коса Чумбурская, коса Долгенькая. Результаты балльной оценки морфологической привлекательности береговой зоны определили также нейтральную ее часть, однако следует подчеркнуть, что берега этой зоны могут быть привлекательны на отдельных участках (например, Ейский район в пределах песчаных кос). На восточном побережье Азовского моря наиболее привлекательными зонами для развития рекреации являются Ейская, Долгая косы и побережье от Темрюка до Тамани обладающее хорошими песчаными пляжами. Южное побережье Азовского моря является крайне перспективным для развития новых туристско-рекреационных комплексов по геоморфологическим и экологическим условиям.

Основные туристские центры пляжного туризма сегодня расположены в Темрюкском, Ленинском и Ейском районах, в то время как пригодная береговая зона Арабатской стрелки (15 баллов), Петрушиной (14 баллов), Куричьей (13 баллов) и других песчаных кос, имеющих хорошие пляжи, не востребована в должной мере.

Результаты оценки нормативной емкости пляжей российского Приазовья определили участки берегов, обладающие наибольшей емкостью. Это берега Арабатской стрелки, Должанской кос, косы Чушка, Ачуевская – эти территории обладают наивысшей способностью обеспечения необходимого комфорта максимальному числу туристов без отрицательных последствий для природной среды.

Береговые участки Арабатской стрелки, косы Чушка, пляжи от Голубицкой до Кучугур, Ачуевской, Ясенской, Должанской,

Павло-Очаковской и Беглицкой кос, берега Новобессергеновки способны принять более 20 000 рекреантов одновременно.

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ БЕРЕГОВЫХ ПРОЦЕССОВ НА ПРИМЕРЕ ПОБЕРЕЖЬЯ Г. СЕВАСТОПОЛЯ

Исаев В.С. [1], Игнатов Е.И. [1,5], Аманжуров Р.М. [1], Вербовский В.В. [2], Горшков Е.И. [3], Погорелов А.А. [4] Каширина Е.В. [5], Новиков А.В. [5], Трачук В.В. [5]

[1]МГУ, г. Москва, Россия
[2] ООО «АртГео», г. Москва, Россия
[3] ООО «Современные геотехнологии», г. Москва, Россия
[4] ООО «МГУ Геофизика», г. Москва, Россия
[5] Филиал МГУ в г. Севастополе, г. Севастополь, Россия
tpomed@rambler.ru

Ключевые слова: Лазерное сканирование, фотограмметрия, электротомография, дифференциальное геопозиционирование, цифровая модель рельефа, батиметрия, эрозионные процессы, береговая зона, геориск.

На сегодняшний день при активном освоении прибрежных территорий изыскатели, проектировщики и строители сталкиваются с комплексом проблем, связанных с: получением архивных данных по объекту исследования; сбором достоверных полевых данных в рамках инженерно-геологических изысканий; проведением квалифицированной обработки полевых данных и, наконец, созданием конечного продукта – трехмерной цифровой инженерно-геологической модели объекта исследований, отражающей его рельеф (Цифровую Модель Рельефа) и литологическое, гидрологическое, структурное строение (Инженерно-Геологические Элементы). Такая цифровая модель является основой для: разработки проектно-технической документации будущих сооружений на основе технологии информационного моделирования в строительстве (BIM – building information modelling); принятия

решений по существующим объектам, находящимся в зоне гориска; прогноза развития опасных геологических процессов в береговой зоне. В данной работе представлен этап инструментального сопровождения получения и первичной обработки полевых данных инженерных изысканий, сделанных в рамках практики «Береговые процессы: мониторинг и инновационные комплексные исследования» для бакалавров филиала МГУ имени М.В. Ломоносова в г. Севастополь в 2016–2019 гг.

Начальный этап полевых изысканий основывается на знакомстве с объектом исследования по материалам предшествующих исследований и разработки плана полевых инженерно-изыскательских работ, исходя из данных дистанционного зондирования поверхности и архивных данных. Объекты исследования были выбраны на основании изучения АФС 1989–1990 гг. и современных космоснимков, взятых в свободном доступе с ресурса GoogleEarthEngine (https://earthengine.google.com/). Были выбраны два участка северного побережья г. Севастополя – пляж Учкуевка и Немецкая балка, как наиболее характерные типы эрозионных берегов г. Севастополя. Для пляжа Учкуевка в большей степени свойственны оползневые процессы, а для участка побережья возле Немецкой балки – это преобладание обвально-осыпных процессов. Оба эти участка подвержены техногенной нагрузке, первый за счет активной социально-бытовой деятельности садового товарищества, второй за счет террасирования при разработке гравийно-галечных отложений таврской свиты.

После выбора участков был разработан комплекс инженерно-геологических изысканий, основанный на цикличности измерений наиболее динамически меняющихся параметров изучаемых объектов – береговой линии, поверхности участков на суше, поверхности морских отложений, уровня грунтовых вод в массиве пород.

Комплекс изысканий включал в себя следующие инструментальные методы: ежегодную фотограмметрическую съемку поверхности при помощи фотоаппаратуры, установленной на БПЛА, необходимой для обновления и пополнения данных о характере качественных изменений поверхности исследуемых участков; ежегодную съемку поверхности системой лазерного

сканирования (LIDAR), позволяющую исследовать количественные изменения поверхности в субсантиметровом диапазоне; дифференцированное геопозиционирование (DGPS) береговой линии позволяет исследовать количественные изменения поверхности с меньшей точностью, чем лазерное сканирование, однако достаточной для качественной оценки динамики отступания берегов; геофизические методы исследований (электротомография), которые позволили понять пространственную неоднородность массива пород, выделить границу обводненных грунтов, сопоставить валидационные данные инженерно-геологического бурения с полученной геофизической моделью массива грунта; батиметрические работы, позволившие создать полную картину массопереноса в береговой зоне исследуемых участков.

В формировании береговой зоны ключевых участков, ее динамике и устойчивости играет роль целый комплекс природных и антропогенных факторов, которые благодаря инструментальным методам исследования можно качественно и количественно оценить.

В период с 2016 по 2019 гг. скорость отступания бровки клифа района исследований в среднем составила 0,8 м. Выявлен участок, где обвально-оползневые процессы достигли максимальной активности: максимальный размер обвалившихся блоков достигает 4,8 м. Горизонтальные параметры разрушения верхней части клифа за 2016–2017 гг. достигли 4 м.

При природной влажности грунта 7,6 % (лабораторные данные ООО Петромоделинг www.petromodelling.ru) Ку данного оползневого тела составляет 2,27, что говорит об его устойчивости. Однако с увеличением влажности грунта до 25,65 % данный склон утратит состояние своего равновесия.

Согласно оценке устойчивости оползневого тела, можно сделать вывод, что при отсутствии внешних воздействий оползневое тело находится в состоянии равновесия. При прогнозируемом землетрясении в 7 баллов Ку близок к 1, что соответствует состоянию предельного равновесия. При таком состоянии незначительное изменение параметров среды, например, увеличение влажности и, как следствие, прочностных характеристик грунта,

приведет к активизации оползневого процесса. При прогнозируемом землетрясении более 8 баллов K_y приобретает значения меньше 1, склон является неустойчивым.

Полученные результаты указывают на необходимость проведения цикличного мониторинга опасных экзогенных геологических процессов в соответствии с разработанным комплексом инженерно-геологических изысканий, математического моделирования устойчивости береговой зоны и прогнозирования динамики изменения береговой линии. Результаты этих комплексных исследований должны лечь в основу принятия научно обоснованных решений для управления природопользованием северного побережья Большого Севастополя.

ИЗМЕНЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО ПО РЕЗУЛЬТАТАМ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ОБОРОНИТЕЛЬНЫМИ ПОСТРОЙКАМИ 1941 Г.

Карташёв А.О., Анохин В.М., Соколов Г.Н., Щербаков В.А.

ВНИИОкеангеология, г. Санкт-Петербург, Россия
sendingletters@mail.ru

Ключевые слова: береговая линия, динамика, ДОТ, залив Петра Великого.

Береговая зона является важнейшим элементом перехода от суши к акватории. Она обладает исключительно высокими показателями проявления экзогенной (поверхностной) и эндогенной (глубинной) геодинамики, приводящей к постоянной естественной трансформации геологических, геоморфологических и экологических характеристик.

При изучении геологической среды береговой зоны крупных водоемов уделяется серьезное внимание проявлениям опасных геодинамических процессов. Потребителями этой информации являются хозяйствующие на берегу и на шельфе разнообразные

предприятия. Среди них имеется распространенная категория хозяйствующих субъектов, эффективность и безопасность деятельности которых непосредственно зависит от учета законов поддержания стабильности береговой зоны, а именно: жилищное и промышленное строительство.

Строение берегов залива Петра Великого на разных его участках неодинаково. В этом отношении можно выделить:

1. побережье крупных риасов – заливы Амурский, Уссурийский, Находка, Восток;

2. отдельные многочисленные бухты и небольшие заливы;

3. полуострова и острова.

Изучение береговой зоны залива Петра Великого в ходе проведения регламентных мониторинговых исследований 2012–2014 гг. было сосредоточено на 13 ключевых участках. Выбор участков был основан, во-первых, на интенсивности проявления волновой динамики на прибрежных акваториях; во-вторых, на их рекреационной значимости.

Однако для оценки динамики береговой линии был использован, помимо традиционных методов, ретроспективный геологический анализ, а именно:

сопоставление данных морских карт издания 1938 (береговая линия приведена по данным аэрофотосъемки 1934 г.) и 2011 гг.;

сравнение современного положения ДОТов секторов Береговой обороны Главной военно-морской базы Тихоокеанского Флота «Владивосток» относительно береговой линии, с архивными данными их строительства 1941 г.

Источниками исторических материалов явились Российский Государственный архив Военно-Морского флота (РГАВМФ, СПб) и Центральный Государственный архив Военно-Морского флота (ЦГАВМФ МО РФ, г. Гатчина). Современное положение для 45 ДОТов было определено в ходе полевых работ 2013 г.

По результатам проведенных работ была оценена динамика изменения береговой линии и откорректирована карта динамики и типизации берегов.

Из этой карты следует, что берега испытывают преимущественное разрушение, зоны которого количественно и пространственно преобладают над стабильными и аккумулятивными зо-

нами (за исключением берегов внутренних частей бухт и заливов). Наиболее подвержены разрушению берега и подводные склоны на СЗ побережьях залива Петра Великого. Быстрее всего разрушаются многочисленные выступающие мысы.

Скорость разрушения берегов в районе залива Петра Великого оценивается в диапазоне от первых метров до 20 метров за 100 лет, причем максимальные дистанции отступания берегов могут достигать значений в 2 раза больше.

МОРФОЛИТОДИНАМИКА ПОДВОДНОГО БЕРЕГОВОГО СКЛОНА НЕКОТОРЫХ БУХТ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО (ЯПОНСКОЕ МОРЕ) В ПЯТИЛЕТНЕМ ЦИКЛЕ МОНИТОРИНГА

Карташёв А.О., Беляев П.Ю., Голосной А.С.

ВНИИОкеангеология, г. Санкт-Петербург, Россия
sendingletters@mail.ru

Ключевые слова: морфология, литодинамика, подводный береговой склон, Японское море, донные отложения, мониторинг.

С целью осуществления мониторинга динамики подводного берегового склона (ПБС) в 2015–2019 гг. проводились исследования на 7 ключевых участках, расположенных в пределах наиболее значимых рекреационных зон залива Петра Великого.

Изучение ПБС проводилось с маломерного судна посредством эхолот-картплоттера в комплекте с модулем структурного сканирования (локация бокового обзора). Профили расположены на расстоянии 80 м друг от друга, что обеспечивает равномерное покрытие каждого изучаемого участка. Обща длина профилей промера 150 км. Так же на каждом пункте наблюдения отбирались пробы донных отложений для их последующего гранулометрического анализа. В результате получены новые данные о рельефе и составе ПБС, которые позволили провести необходимые расчеты и определить закономерности развития литодинамических процессов.

Наблюдаемые 7 участков ПБС в общем довольно схожи по строению. Они имеют достаточно ровные профили с уклонами от долей градуса до первых градусов. Профили склонов часто бывают осложнены наличием бенчей и баров высотами до 1–2 м. Дно в полосе подводного берегового склона по данным гранулометрического анализа 2015–2019 гг. в основном сложено песчаными осадками различной крупности, того же минерального состава, что и пляжевые отложения.

Важным отличием является степень открытости их акваторий волновому воздействию, которая, в свою очередь, определяет степень гидродинамической активности на ПБС участков.

Сравнительный анализ заключался в сравнения приведенных к одному уровню батиметрических данных, полученных в результате выполненного в 2015–2019 гг. эхолотирования. Результаты такого анализа позволили сделать некоторые выводы о литодинамических процессах на каждом участке. Исходя из расчетов получена количественная и качественная характеристики этих процессов.

УЯЗВИМОСТЬ БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА К АБРАЗИОННЫМ ПРОЦЕССАМ

Ковалева О.А., Сергеев А.Ю., Рябчук Д.В.

ВСЕГЕИ, г. Санкт-Петербург, Россия
olya_pavlikova@mail.ru

Ключевые слова: абразионные процессы, уязвимость берега, индекс уязвимости, Финский залив, Балтийское море.

1. Одним из наиболее проявленных экзогенных геологических процессов, протекающих в пределах береговой зоны восточной части Финского залива, является переработка берега. На большинстве участков изучаемой территории преобладают абразионные процессы, приводящие к разрушению и отступанию берега [Ryabchuk, D., Sergeev, A., Burnashev, E, Khorikov, V., Neevin, I., Kovaleva, O., Budanov, L., Zhamoida, V., Danchenkov,

A. Coastal processes of the Russian Baltic (eastern Gulf of Finland and Kaliningrad area) // Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 2020].

Подходов к оценке уязвимости береговой зоны существует множество, среди них хорошо известен подход, предложенный В. Горнитцом [Gornitz, V., 1991. Global coastal hazards from future sea level rise. Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol. 89, 379–398]. Расчет суммарного индекса уязвимости (CVI) для отдельных участков берега производится при оценке каждого из семи параметров с точки зрения уязвимости (низкая, средняя, высокая) и с использованием формулы [Gornitz, V., 1991. Global coastal hazards from future sea level rise. Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol. 89, 379–398] [Gornitz, V., 1991. Global coastal hazards from future sea level rise. Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol. 89, 379–398]: $CVI=\sqrt{((a*b*c*d*e*f*g)/7)}$. Были установлены параметры, способные охарактеризовать береговую зону с точки зрения развития абразионных процессов, среди них: изрезанность береговой зоны, геология берега, элементы побережья, форма пляжа, наличие подводных валов и их субстрат, крутизна подводного склона, подверженность штормам. Для оценки параметров были использованы карты четвертичных отложений, геоморфологические схемы, а также результаты натурных наблюдений (2006–2019 гг.) и данные дистанционного зондирования. Комплексная гидрометеорологическая оценка, выражающаяся в оценке штормовой активности, была выполнена с использование данных волновой модели WAM [Kovaleva, O., Eelsalu, M., Soomere, T., 2017. Hot-spots of large wave energy resources in relatively sheltered sections of the Baltic Sea coast. Renew. Sustain. Energy Rev. 74; Soomere T., Räämet A., 2011. Spatial patterns of the wave climate in the Baltic Proper and the Gulf of Finland // Oceanologia, 53 (1-TI), 335–371] за период 1978–2007 гг. Характерный для осенне-зимних периодов ледяной покров, способный уменьшать негативное воздействие штормов на береговую зону, оценивался по результатам диаграмм распределения морского льда и его концентрации, представленные Национальным центром данных по льду и снегу с обобщением информации за каждый месяц (nsidc.org).

К наименее уязвимым берегам восточной части Финского залива относятся около 300 км берегов (53 %) – кутовые части заливов Выборгский, Лужский, Копорский. Средняя уязвимость характерна для 200 км берега (34 %) – преимущественно борта заливов, Ермиловский залив, отдельные участки о. Б. Березовые. Наиболее уязвимыми являются около 70 км берега (13 %) – м. Флотский, восточный берег Выборгского залива.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 17-77-20041).

ДИНАМИКА ПОДВОДНОГО ПЕСЧАНОГО ВАЛА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ШТОРМОВЫХ СОБЫТИЙ РЕДКОЙ ПОВТОРЯЕМОСТИ

Корзинин Д.В.

ИО РАН, г. Москва, Россия

Ключевые слова: подводный вал, прибрежно-морские наносы, обрушение волн, морфодинамика, литодинамика.

Положение и форма подводного вала могут являться, как показателем сезонных изменений берегового профиля, так и реакцией на отдельные штормовые события. В первом случае, это выражено в виде обособления подводного вала в штормовой сезон (зимой) за счет переноса материала на глубину и увеличение уклонов дна в зоне наката волн летом, за счет переноса материала к берегу. Во втором случае, положение вала связано с точкой обрушения преобладающего волнового режима при конкретном волновом событии.

Определение деформаций берегового профиля, связанных с сезонными волновыми циклами и определение закономерностей смещения подводного вала под воздействием тех или иных волновых режимов позволит точнее описать процессы разнонаправленного переноса прибрежно-морских осадков вдоль берегового профиля.

Данное исследование основывается на наблюдениях за штормовой морфодинамикой Камчийско-Шкорпиловского пляжа (Болгария, западная часть Черного моря) и северной части аккумулятивной пересыпи Балтийская коса (Юго-Восточная Балтика). Эти участки имеют схожие морфодинамические условия – подводный береговой склон с внешним подводным валом в зоне обрушения наиболее крупных волн и системой внутренних валов меньшего размера. Средний уклон подводного берегового склона на 5-метровой изобате на болгарском берегу составляет 0,02, а на участке балтийского побережья – 0,01.

Изначально, до начала наблюдений, профиль болгарского участка имел относительно крутой уклон в зоне заплеска и более пологий уклон без признаков подводного вала в глубокой части. После прохождения сильного шторма 16–18 октября 2016 г. произошло обособление внешнего подводного вала, а уклон профиля в зоне заплеска стал более пологим (переход от летнего профиля к зимнему). Данное штормовое событие характеризовалось одним ярко выраженным пиком с короткой стадией затухания и слабо выраженным пиком впоследствии с гораздо меньшими значениями высоты волны. Деформации берегового профиля данного участка берега можно охарактеризовать как сезонные, которые произошли за период одного штормового цикла.

На балтийском участке смещение внешнего подводного вала в сторону берега произошло в результате прохождения одного экстремального шторма в период с 30 июня по 10 июля 2019 г. Полный штормовой цикл характеризовался ярко выраженным основным пиком и серией пиков с постепенным уменьшением высоты волны во время стадии затухания. Для данного участка сложно выделить морфологические признаки сезонных деформаций берегового профиля, т. к. подводный вал здесь существует постоянно, о чем говорят данные космических спутников и измерения берегового профиля, выполненные в оба сезона. В данном случае выявлено, что положение подводного вала не всегда соответствует глубине обрушения предшествующего волнения, что связано с относительно коротким периодом стабилизации отдельных волновых режимов.

Наблюдения за реакцией берегового песчаного профиля в натурных условиях позволили заключить, что ключевым фактором определяющим, как штормовые, так и сезонные деформации

берегового профиля являются длительность периодов стабилизации отдельных волновых режимов и разница между волновыми параметрами следующих один за другим штормов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 18-05-00741, 18-55-45026, 20-55-46005).

ПРОБЛЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ НАНОСОВ В БЕРЕГОВОЙ ЗОНЕ МОРЯ

Косьян Р.Д., Дивинский Б.В.

ИО РАН, г. Москва, Россия
rkosyan@hotmail.com

В настоящей работе анализируются представления о механизмах движения наносов в береговой зоне моря, и существующих методов геофизического прогноза.

Самую многочисленную группу составляют полуэмпирические модели, в которых значение расхода перемещающихся осадков, осредненного по поперечному сечению прибойной зоны, принимается пропорциональным либо безразмерным комбинациям из параметров волн, уклона дна, состава донных осадков, либо пропорциональным вдольбереговому потоку энергии волн, рассчитываемому по характеристикам волн на линии обрушения. Большое количество моделей – прямое свидетельство недостаточной изученности физической сути явления. Поэтому все известные решения, по существу, если и являются приемлемыми, то в весьма ограниченных пределах.

В последние годы резко увеличились возможности вычислительной техники и математического моделирования. Среди появившихся и широко используемых моделей особенно популярны расчетные схемы MIKE 21 ST, DELFT3D, XBeach. Анализ применяемых методов расчета показывает, что, кроме удобства выполнения вычислений, они ничем не отличаются от ранее применявшихся упрощенных схем моделирования транспорта наносов, а методы определения расхода осадочного материала попрежнему не являются физически обоснованными.

Благодаря развитию инструментальных средств измерения в 2000-х гг. стал возможен более детальный анализ пространственно-временных характеристик волнового поля и поля взвешенных наносов.

Усилиями российских специалистов за последние десятилетия:

1. Собрана уникальная база данных наблюдений за перемещением наносов в штормовых ситуациях на прибрежных акваториях в разных физико-географических участках береговой зоны Черного, Балтийского, Северного, Средиземного, Южно-Китайского морей, дополненная обширным материалом данных лабораторных экспериментов в лучшей лаборатории Европы (Ганновер, Германия). Получен новый экспериментальный материал для определения физических особенностей транспорта наносов волновым потоком.

2. Рассмотрены основные механизмы, контролирующие амплитудные и фазовые соотношения флуктуаций концентрации и расхода взвешенных наносов на временных масштабах, меньших периода пика спектра ветровых волн. Отмечено наличие низкочастотных флуктуаций концентрации с периодом порядка нескольких периодов ветровых волн и амплитудой, в несколько раз превышающей среднее значение концентрации.

3. Проанализирована ранее не исследованная проблема о влиянии частотного распределения волновой энергии в спектре поверхностных волн на транспорт донных осадков. Выявлены отличия в реакции размываемого дна на внешнее возмущение, представленное нерегулярным поверхностным волнением с постоянными интегральными характеристиками и переменным частотным распределением энергии волн.

4. Исследовано влияние волн зыби на перераспределение донных осадков в прибрежной зоне моря. Показано, что разделение волнового поля на отдельные компоненты позволяет более корректно описать пространственно-временную структуру поверхностного волнения, а также существенно уточнить схемы транспорта донных осадков в прибрежной зоне.

Результаты натурных и лабораторных экспериментов позволяют определить направления дальнейших исследований по созданию физически обоснованных моделей транспорта наносов волнами и волновыми течениями.

Настоящая работа выполнена при поддержке грантов РФФИ №№ 18-05-80035, 19-05-0 00041, 20-05-00009.и проекта РНФ 20-17-00060.

КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ЛАНДШАФТНО-МОРФОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ АНАПСКОЙ ПЕРЕСЫПИ

Кравцова В.И., Чалова Е.Р.

МГУ, г. Москва, Россия
valentinamsu@yandex.ru

Ключевые слова: пересыпь, ландшафтно-морфологическая структура, дюны, карта, аэроснимки, космические снимки.

Анапская пересыпь на северо-восточном побережье Черного моря – аккумулятивная песчаная форма, отделяющая от Черного моря систему лиманов, представляет собой исключительно ценный рекреационный и бальнеологический ресурс. Тянущийся вдоль пляжей дюнный пояс придает району особую рекреационную привлекательность. С 1996 г., когда Анапа получила статус курорта федерального значения, и особенно в последние годы к собственно санаторно-курортному району Анапы были присоединены рекреационные зоны у посёлков Джемете, Витязево, Благовещенский, Веселовка с развитием экстремальных видов спорта и проведением массовых развлекательных мероприятий. Многократно возросшая антропогенная нагрузка ставит под угрозу само существование песчаных пляжей, ведёт к уничтожению дюн. Для определения мер по сохранению пляжно-дюнного комплекса необходим мониторинг состояния пересыпи.

В связи с этим в 2012–2019 гг. совместными усилиями лаборатории аэрокосмических методов кафедры картографии и геоинформатики географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова и Южного отделения Института океанологии РАН выполнены работы по детальному картографированию пересыпи на основе материалов дистанционных съемок и полевых исследований.

Детальное картографирование предусматривает оценку современного состояния важнейших компонентов ландшафта – рельефа, прежде всего его морфологической структуры, и растительности, которая обусловливает формирование дюнного рельефа пересыпи, влияя на его развитие, сохранение или (при уничтожении растительности) разрушение. Поэтому для морфологической характеристики рельефа пересыпи в сочетании со степенью развития растительности выбраны ландшафтно-морфологические карты.

На 47-километровом протяжении пересыпи морфологическая структура ее дюнного рельефа меняется в зависимости от ширины аккумулятивного тела пересыпи, ориентировки берега относительно преобладающих направлений ветров и волнения, рекреационной освоенности территории. Различия настолько велики, что потребовали разного набора отображаемых на карте объектов и разработки разных вариантов легенды карты для различных районов. К тому же за 5-6-летний период работ изменялись используемые дистанционные материалы и методы их обработки.

В связи с изложенным, составленные ландшафтно-морфологические карты представлены не единым блоком, а по крупным районам:

– Бугазский, охватывающий северо-западную часть пересыпи, включая пересыпь озера Солёного и Бугазскую пересыпь, отделяющую от моря Бугазский лиман;

– Благовещенский, включающий участок пересыпи, примыкающий к отмершему клифу Благовещенского останца и крайнюю северо-западную часть Витязевской пересыпи, отделяющую кутовую зону Витязевского лимана с рекреационной застройкой станицы Благовещенской;

– Витязевский, охватывающий основную часть широкой Витязевской пересыпи, отделяющей от моря Витязевский лиман;

– Анапский, включающий юго-восточную часть пересыпи, примыкающую к Анапской аккумулятивной террасе и отделяющую Анапские плавни, с слившейся застройкой посёлков Витязево, Джемете и города Анапы.

Карты ландшафтно-морфологической структуры должны быть использованы для разработки мер по защите и охране Анапской пересыпи, как важнейшего рекреационно-бальнеологического ресурса.

РАЗНООБРАЗИЕ ФОРМ РЕЛЬЕФА АНАПСКОЙ ПЕРЕСЫПИ

Крыленко Д.В.

МГУ, г. Москва, Россия
dasha20000222@gmail.com

Ключевые слова: пересыпь, морской берег, форма рельефа.

Анапская пересыпь – прибрежно-морское аккумулятивное образование, сложенное песком, ракушей и галькой и протягивающееся 47-километровой полосой от Таманского п-ова до мыса Анапского. Пересыпь отделяет от Черного моря систему лагун. На отдельных отрезках пересыпь прижимается к древне-абразионному уступу и приобретает характер аккумулятивной террасы. Разнообразие форм рельефа Анапской пересыпи определяется ее положением в высокоэнергетической среде границы суши и моря. Цель работы – систематизировать и классифицировать многообразие форм рельефа Анапской пересыпи.

Наиболее крупные формы морского происхождения Анапской пересыпи, как правило, аккумулятивные: бары, пляжи, береговые валы. В формировании рельефа морского происхождения наблюдается сезонная изменчивость, поскольку в осенне-зимний период возрастает сила и продолжительность штормов, поэтому облик пляжа и подводного склона может существенно меняться.

Морские пляжи Анапской пересыпи чаще всего полного профиля, состоят из нескольких уровней, разделенных штормовыми уступами. На участках причленения аккумулятивного тела к абразионным уступам формируются прислоненные пляжи. Часто вдоль уреза образуются водорослевые маты и скопления плавника. Во время сильных штормов происходят заплески морской воды, формирующие стоковые каналы и заплесковые лагуны. Морская вода при этом прорывает дюнные гряды и переносит морские наносы за пределы пляжа во внутреннюю часть пересыпи и в ложе лагуны.

Крупные эоловые формы Анапской пересыпи обычно аккумулятивные: дюнные валы, гряды и авандюны. Крупные дефляционные формы: котловины и коридоры выдувания, как правило, начинают развиваться при антропогенном нарушении растительного покрова и стабилизировавшейся поверхности эоловых полей. Сочетание дефляционных и аккумулятивных форм образует зоны бугристых песков или кучугуров. Более мелкие формы эолового рельефа осложняют поверхность как более крупных эоловых форм, так и форм иного происхождения. Например, ветровая рябь покрывает песчаную поверхность пляжей и дюн. За скоплениями растительности или выброшенным на пляж плавником формируются холмики-косы, эоловые шлейфы, вблизи уреза могут образовываться ветроустойчивые поверхности, бронированные обломками ракуши.

Лиманные берега Анапской пересыпи существенно отличаются от морских. Уровень воды в лиманах колеблется в течение года, поэтому на берегах лимана формируются террасы. Лиманы мелководные, отложения лиманов в отличие от морских более тонкие по механическому составу, с большим количеством остатков водорослей и ракуши, поэтому формирование классических пляжей не происходит, однако могут формироваться береговые валы и косы или более мелкие формы вроде ракушечных валиков.

Антропогенно-техногенные формы рельефа представлены колеями, прорезями, насыпями, каналами, тропами, террасами, валами и т. д. Пляжи могут быть покрыты следами людей, машин и мотоциклов. Формы биогенного рельефа Анапской пересыпи небольшие и по размерам относятся к наноформам, например, норы

и следы птиц, животных, насекомых; растительно-эоловые кольца.

Рельеф Анапской пересыпи разнообразен и динамичен, что характерно для морских берегов. Преобладающие генетические типы рельефа – морской, эоловый и антропогенно-техногенный, но чаще имеют комплексный генезис. Многие формы рельефа имеют небольшие размеры и короткий период существования.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 18-05-00333, 19-45-230004).

УСЛОВИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ АККУМУЛЯТИВНЫХ ЭОЛОВЫХ ФОРМ НА БЛАГОВЕЩЕНСКОМ ОСТАНЦЕ

Крыленко М.В., Крыленко В.В.

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

Ключевые слова: Черное море, морской берег, эоловый перенос наносов, клиф.

Закономерности развития эоловых форм на морском берегу тесно связаны с характером береговых процессов и их нельзя рассматривать в отрыве от динамики других элементов береговой зоны.

В центральной части Анапской пересыпи располагается Благовещенский останец, где аккумулятивное тело пересыпи причленяется к древнеабразионному уступу. С литодинамической системой Анапской пересыпи участок объединяет единый поток наносов. На коренной поверхности Благовещенского останца существует участок (около 20 га), где дюны расположены на высоте 15–20 м над уровнем морской аккумулятивной террасы. Поскольку между пляжем и дюнами расположен крутой береговой откос, происхождение дюн и механизм транспортировки песка с пляжа представляет большой интерес.

Для изучения динамики эоловых форм использовались спутниковые снимки разных лет, данные воздушного лазерного сканирования и аэрофотосъемки, материалы полевых исследований. Анализ накопленных данных позволил выявить условия, необходимые для возникновения эолового транспорта песка с пляжа на клиф и определяющие последующее распространение его по поверхности останца.

Транспорт песка с пляжа возможен лишь при ширине аккумулятивной террасы, достаточной для насыщения ветропесчаного потока, но недостаточной для формирования авандюны у подножия клифа. В результате, возникшие прислоненные дюны выполаживают склон и делают возможным подъем песка на поверхность останца при сильных ветрах с формированием невысокой дюны вдоль бровки клифа. По мере роста высоты этой дюны общая крутизна склона увеличивается, дальнейший подъем песка прекращается. Важную роль в формировании дюн на поверхности останца играют эрозионные промоины в клифе, одновременно выполаживающие склон и локально усиливающие ветровой поток. Гидрогенное уменьшение ширины пляжа и разрушение прислоненной дюны служит триггером последующей трансформации эоловых форм на прилегающем участке останца. Прекращение эоловой подпитки с пляжа, в верхушках промоин образуются дефляционные котловины, с подветренной стороны ограниченные дуговидной дюной. По мере удаления этой дюны от бровки клифа ветровой поток ослабевает, расширение дефляционной котловины прекращается, дюна стабилизируется.

При увеличении ширины пляжа и насыщении ветропесчаного потока происходит восстановление прислоненной дюны и начинается новый цикл формирования дюн вдоль бровки клифа. Структура эолового рельефа на поверхности Благовещенского останца показывает, что минимум одна стадия размыва у подножия останца уже была. В настоящее время на исследуемом участке наблюдается восстановление первоначальной ширины пляжа и накопление эоловых отложений у подножия клифа. Однако объем поступающего песка пока недостаточен для восстановления дюны над бровкой клифа.

Таким образом, возникновение в какой-то временной период аккумулятивных эоловых форм на поверхности возвышенного

коренного берега Благовещенского останца определяется наличием избытка песка на прилегающем пляже; конфигурацией береговой линии и клифа; силой и направлением ветра. При сохранении постоянства этих условий после формирования полосы дюн вдоль бровки клифа дальнейший их рост прекращается.

Анализ особенностей рельефа выполнен при поддержке РНФ (проект 20-17-00060). Полевые исследования и обработка данных осуществлена при поддержке РФФИ (проект 19-45-230004, 19-05-00716).

ТИПЫ МОРСКИХ БЕРЕГОВ ОСТРОВА ИТУРУП (ЮЖНЫЕ КУРИЛЫ)

Кузнецов М.А.

МГУ, г. Москва, Россия
KuzMiArGeo@yandex.ru.

Ключевые слова: вулканические острова, типизация берегов, береговая морфодинамика.

В южной части Большой Курильской гряды расположен ее самый крупный остров – Итуруп. Он входит в состав Тихоокеанского сейсмического пояса, который характеризуется интенсивностью вулканических и тектонических процессов, высоким уровнем сейсмичности и цунамиопасностью.

Актуальность изучения берегов острова Итуруп связана с планированием расширения зоны их хозяйственного освоения, в том числе создания новых причальных сооружений. Это одно из важных направлений в освоении Дальнего Востока, в том числе и с точки зрения обеспечения обороноспособности страны.

В июле – сентябре 2019 г. во время работы экспедиции «Восточный Бастион – Курильская гряда», организованной экспедиционным центром Министерства обороны РФ и Русским географическим обществом, автором получены данные о рельефе береговой зоны о-ва Итуруп.

В ходе маршрутных исследований были выявлены основные морфолитогенетические типы берегов и определены ведущие рельефообразующие процессы. Для выделения динамических типов берегов с 1980 г. (первый доступный космический снимок) по 2019 г. были использованы ежегодные космоснимки с порталов USGS Earth Explorer и Google Earth.

Протяжённость береговой линии острова составляет около 690 км. В основу выделения типов берегов положена морфогенетическая классификация [Ионин А.С., Каплин П.А., Медведев В.С., 1961] с дополнениями автора. В пределах острова автором выделено 5 морфолитогенетических типов берегов: абразионные берега с крутыми (до отвесных) активными клифами, выработанные в эффузивах и пирокластике; абразионные ступенчатые берега с крутыми склонами, выработанные в эффузивах и литифицированной пирокластике; низменные абразионные берега без клифов, с вышедшими за пределы современного волнового воздействия бенчами, выработанные в эффузивах; абразионно-денудационные берега с отмирающими клифами, выработанные в эффузивах и литифицированной пирокластике и аккумулятивные берега с полнопрофильными галечно-песчаными пляжами. К отдельному типу можно отнести «техногенные берега».

Установлено, что несмотря на то, что 85 % берегов имеют абразионный облик, 80 % всех берегов приурочены к подножиям вулканических построек и сложены устойчивыми к размыву породами. 4 % абразионных берегов выработаны в слабо консолидированной пирокластике и приурочены к перешейкам между вулканами. 15 % берегов являются аккумулятивными и распространены в заливах преимущественно охотоморской стороны и на открытом тихоокеанском побережье. На основании полевых материалов составлена карта морфолитогенетических типов берегов о-ва Итуруп (1:100 000).

Натурные наблюдения, анализ карт и разновременных космоснимков (1980–2019 гг.) свидетельствуют о том, что устойчивые берега за этот отрезок времени не претерпели изменений (величина их отступания находится в пределах точности снимков). Максимальные скорости отступания таких берегов не превышают 0,2–0,5 м в год. Абразионные берега в слабо консолидированной пирокластике отступают со скоростью 2–2,5 м (локально

до 5 м) в год. Аккумулятивные берега в разных частях острова испытывают разнонаправленные тенденции развития: аккумуляцию 1,5–2,5 м (до 5 м) в год или размыв – 1–2,7 м (до 5,5 м) в год. Составлена карта «Динамика берегов острова Итуруп с 1980 по 2019 гг. (1:100 000)».

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ БЕРЕГОВ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ КАЛИНИНГРАДСКОГО ПОЛУОСТРОВА

Кузнецов М.А., Яковлева А.П., Белова П.М., Смирнова С.В., Луговой Н.Н., Жиндарев Л.А.

МГУ, г. Москва, Россия
aly8423@yandex.ru

Ключевые слова: Самбийский полуостров, морфология берегов, динамика берегов, берегозащитные сооружения.

Район исследований охватывает побережье северной части Калининградского (Самбийского) п-ова от района п. Донское до г. Зеленоградск (длина участка – 42 км).

Берега преимущественно абразионного типа. Высота береговых уступов колеблется от 1–2 до 80 м, а крутизна достигает 60–70 градусов. Берега на западе территории, в целом, выше, чем востоке. Так, в районе п. Донское высота клифа достигает в среднем 45 м, у п. Пионерский общие высоты уступа не превышают 7–10 м, а к востоку от г. Зеленоградск не превышают 3–4 м. Береговой уступ разделён на 2 типа – незадернованный и задернованный со следами относительно медленного оползания. Такое деление помогло определить степень активности абразионных и склоновых процессов.

Берега севера Калининградского п-ова значительно расчленены. Для них характерно развитие таких форм рельефа, как гравитационные, овражно-балочные, эрозионные, эоловые и т. д.

Склоновые процессы представлены оползнями, осыпями иосовами. Для берегов, сложенных песками, характерны осыпи. Берега, сложенные глинистыми грунтами, подвержены оползневым деформациям. Делювиально-пролювиальные отложения, образующиеся у подножия уступа, интенсивно размываются и поставляют наносы для подпитки пляжей.

В 2014 г. была проведена оценка мощности пляжевых отложений в пределах Светлогорской бухты. Максимальная обнаруженная мощность отложений составила 2,3 м, средняя – 0,8 м. В целом, мощность не превышает 0,5 м. Таким образом, пляжи находятся в деградированном состоянии и в значительной степени представляют собой бенч, слегка перекрытый наносами.

Перераспределению наносов в береговой зоне также способствуют эоловые процессы. Значительная часть наносов береговой зоны расходуется на создание аккумулятивных форм, таких как береговые дюны.

Наблюдения за динамикой берега ведутся сотрудниками кафедры геоморфологии и палеогеографии географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова с 2011 г. Главной тенденцией изменения берега является его стремительное отступание. Основная причина – дефицит наносов (до 40–50 %)из вдольбереговых потоков, наряду с глобальным и локальным процессом подъема уровня Мирового океана (~ 1,5 мм/год).

Показательным в плане динамики пляжа является участок у подножия Светлогорского променада. По результатам работ в 2014 г. наблюдалась аккумуляция значительного количества пляжевого материала у западной части променада. Однако в 2018–2020 гг. отмечалась деградация пляжа в этом районе. Для сохранения пляжа были установлена серия деревянных свай. Такой способ защиты пляжа от размыва показал свою неэффективность в условиях штормовых нагонов зимой 2020 г.

Изучаемый участок берега значительно преобразован человеком. Строительство портов, причалов и разного рода берегозащитных сооружений приводит к образованию искусственных форм рельефа побережья, под влиянием которых происходит дальнейшее развитие берега. Анализ эффективности различного рода берегозащитных сооружений, проводимый с 2011 г., пока-

зал, что пассивные берегоукрепительные стены, опояски и активные методы берегозащиты (буны), могут быть малоэффективны с точки зрения стабилизации положения береговой зоны в пространстве. Такие сооружения могут значительно влиять на ход береговых процессов и приводить к появлению несвойственных ранее форм берегового рельефа.

По итогу береговых геоморфологических исследований в 2020 г. построена карта современного состояния северных берегов Калининградского п-ова.

ПРОГНОЗНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ БУН НА ПЕСЧАНЫЙ ПЛЯЖ

Леонтьев И.О., Акивис Т.М.

ИО РАН, г. Москва, Россия
akivis@yandex.ru

Ключевые слова: система бун, песчаный пляж, вдольбереговой поток наносов, аккумуляция, низовой размыв.

Применение бун для защиты песчаных морских берегов известно с давних времён. Как свидетельствует опыт, оно имеет смысл только при наличии заметного вдольберегового потока наносов, часть которого задерживается сооружениями и наращивает пляж. Прогнозная оценка эффекта бун базируется либо на эмпирических данных, либо на сложных в использовании численных моделях. Вместе с тем, для оперативной оценки и сравнения различных вариантов проекта удобнее использовать аналитическую модель, наглядно отражающую взаимосвязи параметров системы бун. Такая модель, представленная в настоящей работе, объясняет работу системы бун с позиций закона сохранения массы.

Накопление материала связывается с градиентом вдольберегового потока наносов, проходящего через поле бун, что позволяет определить скорости аккумуляции в межбунных карманах и

низового размыва за пределами поля бун. Скорость аккумуляции максимальна, когда шаг системы бун близок к протяженности зоны влияния отдельного сооружения L. При увеличении шага до $2L$ осаждение материала прекращается. Величина L, в свою очередь, определяется соотношением между длиной бун l_g и шириной вдольберегового потока наносов. Для относительно коротких бун оптимальное расстояние между ними должно составлять около $3l_g$, а для сравнительно длинных – около 1,5 l_g.

По мере нарастания пляжа аккумуляция в межбунных карманах замедляется вследствие ослабления улавливающей способности бун. Этот тренд учитывается в модели с помощью функции обратной связи, которая отслеживает отношение текущей ширины пляжа к длине буны и в качестве дополнительного множителя включается в расчет скоростей аккумуляции.

Примеры проведенных расчетов показывают, как можно управлять параметрами системы бун, чтобы достичь требуемых объемов аккумуляции и уменьшить негативные явления. Показано, в частности, что низовой размыв значительно уменьшается в случаях, когда перемещение наносов вдоль берега осуществляется в обоих направлениях.

Для верификации модели использовались опубликованные данные, полученные как в лабораторных, так и в натурных условиях. В частности, проведено сравнение долгосрочных прогнозов изменений береговой линии под влиянием поля бун, построенных в районе Уэстхэмптон Бич на о. Лонг-Айленд (атлантическое побережье США). Результаты расчетов по нашей модели и по значительно более сложной модели [Хансон и др., 2010] показывают удовлетворительное соответствие.

В заключение отметим, что модель позволяет осуществлять оперативный прогноз объема аккумуляции, ширины пляжа и низового размыва в масштабах времени от нескольких часов до десятков лет.

Работа выполнена в рамках государственного задания (тема № 0149-2019-0005) при частичной поддержке РФФИ (гранты № 18-55-3402 Куба_т и № 18-05-00741).

ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ТРИАСОВОГО ВУЛКАНИЗМА В ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ГОРНОГО КРЫМА

Лысенко В.И. [1], Шик Н.В. [2], Юрьева Н.Г. [1], Афанасьева В.В. [1], Андрюшин Д.С. [1]

[1] Филиал МГУ в г. Севастополе, г. Севастополь, Россия
[2] Севастопольский центр туризма, краеведения, спорта и экскурсий, г. Севастополь, Россия
niagara@mail.ru

Ключевые слова: лавы; туфы; пепериты; ксенолитокласты; биогерма брахиопод; бактериально-гидротермальные постройки.

Выделенный одним из авторов, Тессельский осадочно-вулканогенный комплекс андезитов (ТОКА) находится к западу от хорошо известных выходов интрузивных и эффузивных пород вблизи поселков Лемены, Кастрополь, Меллас и Форос. Его незначительная южная часть обнажается на склонах подножья Главной гряды ЮБК. Центральная часть палеовулканического аппарата находится севернее под толщей пород средней и верхней юры, что косвенно подтверждается наличием магнитной и гравитационных аномалиями. Наиболее близко от жерла палеовулкана находятся обнажения эффузивных пород в западной части центральной зоны. Здесь отмечаются выходы пород, измененных гидротермальными процессами, и поля трубчатых и плоских карбонатных построек.

Образование пород ТОКА происходило в ходе нескольких извержений. Наблюдается значительный временной интервал между образованием эффузивных пород центральной и северной зон и различия в фациальных условиях формирования пород. Самый ранний этап связан с излиянием лав андезитов. Единое время и место образования лав в породах таврической серии доказывают находки «глыбовых лав» с плёнкой гиалокластитов, пеперитов, биогермы брахиопод и сульфидно-карбонатных трубчатых гидротермальных бактериальных построек на их поверхности.

Формирование туфов связано эксплозивной взрывной деятельностью палеовулкана, в которых активное участие принимали выбросы газов. Ксенолитокласты кварцевых песчаников, черных известняков, кварцитов, филлитовидных сланцев, биотит-кварцевых сланцев, альбит- кварц- серицитовых сланцев, гнейсов и мраморов в туфовой толще являются материалом, выброшенным из жерла палеовулкана. Эти метаморфические породы, вынесенные «природной глубинной скважиной» на поверхность, позволяют считать, что рама Тессельского палеовулкана находилась на континентально м участке земной коры с гранитным слоем. Возможно, это островодужный вулканизм позднего триаса в океане Тетис.

Формирование многочисленных «жильных тел» кварц-карбонатных и карбонатных бактериально-гидротермальных построек на поверхности туфовой толщи шло за счет выделения газа из не остывших обломков литокластов. Образование бактериальных построек происходило в период активной вулканической деятельности или сразу же за ней. Процессы образования пород происходили на больших глубинах палеоокеана Тетис, что доказывают находки биогермы брахиопод, плоских и трубчатых бактериально- гидротермальных построек, следы десквамации туфов и лав, а также процессов гальмиролиза.

Фауна брахиопод биогермы и аммонита в отложениях ТОКА, найденная одним из авторов, позволяет считать, что извержение происходило в норийский век (позднего триаса).

Вулканизм в позднем триасе формирования Горного Крыма имел более широкое пространственное распространение, чем считали исследователи. Доказательством выше сказанного являются результаты бурения скважин в центральной части Качинского поднятия, которые вскрыли в интервале 1 500–4 000 м подобные магматические породы.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ МОРСКИХ БЕРЕГОУКРЕПИТЕЛЬНЫХ И ПРИРАВНЕННЫХ К НИМ СООРУЖЕНИЙ

Лякмунд Л.Л. (Leonīds Ļakmunds)

Design Solutions, г. Рига, Латвия
LLL57@btv.lv

Ключевые слова: морские берегоукрепления, техническая эксплуатация.

Под приравненным к берегоукрепительным сооружениям, мы подразумеваем любые сооружения в пляжной зоне. К великому сожалению, эти сооружения чаще всего не берегоукрепительные, а берегоразрушительные! Это и подпорные стенки, и морские выпуски, и самодеятельные попытки защититься от размыва, и променады на пляжах и т. п. Если их не включить в систему технической эксплуатации (ТЭ), ликвидация последствий от их воздействий, будет на порядки дороже, чем затраты на техническую эксплуатацию. Приведены примеры. Мы принимали активное участие в разработке концепции и правил технической эксплуатации (ТЭ) портовых гидротехнических сооружений.

Главным в концепции является четкая регламентация этапов ТЭ: Режим эксплуатации, Техническое обслуживание, Ремонт, Ответственность работников предприятий (в нашем случае последний пункт: Ответственность работников эксплуатирующего предприятия). По нашему мнению, концепция четырех базовых позиций может и должна лечь в основу правил технической эксплуатации любых гидротехнических сооружений.

Конкретно о морских берегоукреплениях (б/у) и приравненных сооружений: в основу их эксплуатации должно быть заложено понимание того, что эти сооружения (как и вся гидротехника) имеют дело с двумя стихиями – водой и грунтом. А как известно, борьба со стихиями дело абсолютно безнадежное – приспосабливаться надо! И абсолютно все победы человека над стихией обеспечивались тем, что на каком-то этапе удалось, к стихии приспособится. Будем из этого исходить.

Предлагается схема Правил Технической Эксплуатации (ПТЭ) морских берегоукреплений.

Все требования сводятся к необходимости профессионального подхода к технической эксплуатации. Надо сказать, что в Латвии на пятисоткилометровой береговой линии, очень мало берегоукрепительных сооружений. Широкий песчаный пляж в курортных и рекреационных зонах хорошо защищает берег. На пляжах поддерживается очень достойный порядок и чистота. За посадками в основании дюн ведется уход. Проблемы возникают в зонах низового размыва оградительных сооружений портов или при строительстве в пляжной зоне, без учета морской специфики. Все эти и другие проблемы можно решить, организовав должную техническую эксплуатацию, которая, в конечном итоге сводится к регулярным техническим осмотрам и регулярному ремонту!

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОМПЛЕКСА ПЛЯЖЕУДЕРЖИВАЮЩИХ СООРУЖЕНИЙ В Г. СВЕТЛОГОРСКЕ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Макаров К.Н.

СГУ, г. Сочи, Россия
ktk99@mail.ru

Ключевые слова: искусственные пляжи, пляжеудерживающие сооружения, подводный карьер, намыв пляжа.

Проектный участок расположен на Калининградском побережье Балтийского моря в г. Светлогорске между существующим спуском к пляжу в пос. Отрадное и ул. Балтийской и включает Светлогорскую бухту.

Существующие сооружения представляют собой набережную с узким песчаным пляжем и волнозащитной стеной сквозной конструкции с променадом. На участке сохранились остатки немецких бун. Современных пляжеудерживающих сооружений (бун или волноломов) в настоящее время на проектном участке нет.

Ширина пляжа – 10–15 м не обеспечивает гашение волн, а также рекреационные потребности.

В рамках проекта предусматривается создание искусственного песчаного пляжа шириной не менее 70 м в надводной части (в штиль), обеспечивающего гашение волн, устойчивость променада и рекреационные требования.

Пляж предполагается создать путем намыва песка из подводного карьера, расположенного к СВ от проектного участка на глубинах 22–26 м. В рамках вариантного проектирования рассматривались свободный пляж без пляжеудерживающих сооружений, пляж с пляжеудерживающими бунами, сочетание бун с волноломами, только волноломы, искусственные мысы с бухтами между ними.

В рамках математического моделирования были решены следующие задачи:

1. Определение расчетных уровней моря.
2. Расчет элементов волн на глубокой воде в штормах повторяемостью 1 раз за 25 лет по всем волноопасным направлениям и среднемноголетней розы волнений.
3. Моделирование полей течений в прибрежной зоне.
4. Моделирование взаимодействия волн с проектируемыми пляжеудерживающими и волногасящими сооружениями с определением их конструкции и конфигурации.
5. Моделирование динамики намываемого пляжа с определением объемов намыва и ежегодных пополнений.
6. Моделирование распространения взвеси при разработке морского подводного карьера песка.
7. Моделирование распространения взвеси при намыве пляжа и строительстве пляжеудерживающих сооружений.
8. Моделирование водообмена в прибрежной зоне с учетом строительства предлагаемых пляжеудерживающих сооружений, определение наличия застойных зон.
9. Разработка рекомендаций для проектирования (определение параметров проектного пляжа и пляжеудерживающих сооружений).
10. Разработка рекомендаций по производству работ при устройстве пляжа и пляжеудерживающих сооружений.

Математическое моделирование выполнялось по программным комплексам, зарегистрированным в РФ и реализующим нормативные методы расчетов уровенного и ветрового режимов, генерации волн ветром на глубокой воде, их рефракции и трансформации в прибрежной зоне, а также взаимодействия волн с сооружениями и пляжами.

По результатам моделирования для реализации был принят вариант пляжеудерживающих сооружений в виде системы волноломов с бунами на границах и в центральной части проектного участка.

Дополнительно был разработан раздел по обоснованию отсутствия негативного влияния изъятия пляжеобразующего материала из подводного картера на пляжи в районе южной корневой части Куршской косы.

ПРИМЕНЕНИЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ CORONA ДЛЯ АНАЛИЗА ДИНАМИКИ БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ ТАГАНРОГСКОГО ЗАЛИВА

Мисиров С.А., Магаева А.А.

ЮНЦ, г. Ростов-на-Дону, Россия
sam.misirov@gmail.com

Ключевые слова: Таганрогский залив, спутниковые снимки, динамика береговой линии.

Береговая зона Таганрогского залива поражена комплексом опасных экзогенных геологических процессов (ОБП), таких как абразия, оползни, широкое развитие овражно-балочной сети. Мониторинг за этими процессами проводится с середины XX века. В основе лежат данные наблюдений на реперной сети, заложенной кафедрой Физической географии РГУ, а в последствии восстановленной кафедрой Океанологии ЮФУ. Но существует, как минимум две проблемы: 1) большое расстояние между реперными точками, что дает увидеть проблему точечно, а не на всем

протяжении участка исследования; 2) труднодоступные участки и дороговизна работ, связанных с мониторингом.

В связи с этим целью исследования была оценка пространственно-временной изменчивости скоростей абразии путем анализа разновременных космических снимков, как одного из возможных способов решения существующих проблем. В качестве экспериментального участка выбрано южное побережье Таганрогского залива.

Для определения динамики береговой линии в долгосрочной перспективе потребовалось анализировать данные за максимально возможный период. В результате, в качестве основы были использованы исторические спутниковые данные, полученные в ходе разведывательной программы CORONA за 1971 и 1975 гг. с разрешением 2 и 8 м/пикс. Эти космические миссии проводились с 1962 г. вплоть до 1980 г. спутниками разных генераций.

Еще двумя источниками комических снимков выступили данные французского спутника «Spot» за 1986 г. и системы «Sentinel 2» за 2020 г. с разрешением 10 м.

Снимки SPOT и Sentinel 2, в отличие от снимков CORONA, поставляются с файлами привязки, созданными по параметрам орбиты спутника, поэтому они и выступали в качестве опорных данных. Привязка снимков CORONA осуществлялась по сохранившимся объектам реальной инфраструктуры, а трансформация растра по полиноминальной модели второго порядка.

Следующий шаг предполагал дешифрирование и оцифровка кромки берегового клифа, которая проводилась вручную на масштабах 1:5 000, 1:2 000, 1:500.

Оцифрованные береговые линии использовались для расчета скоростей абразии за временной период с 1971 по 2020 гг. с помощью надстройки Digital Shoreline Analysis System (DSAS) для Esri ArcGIS Desktop. DSAS позволяет вычислить статистику скорости изменений из нескольких исторических позиций береговой линии, на основе построенных разрезов (трансектов) перпендикулярных берегу до точек пересечения с линиями кромки берега за разные даты. Далее выполняется пересчет на временной период.

В результате работы были построены трансекты с шагом 10 м и посчитаны скорости абразии (м/год). Анализ данных скоростей

абразии помог выявить основные участки с высокой скоростью отступания берега от ст. Должанской до с. Воронцовка – 2,43 м/год; от х. Чумбур-Коса до с. Новомаргаритово включительно – 1,74 м/год. Сравнение с натурными данными мониторинга на реперной сети показало хорошую сходимость результатов и позволило выявить нехватку реперных точек на наиболее интенсивно отступающих участках берега.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №18-05-80082.

ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ МАТЕРИАЛА ИСКУССТВЕННОЙ ОТСЫПКИ В БЕРЕГОВОЙ ЗОНЕ ОДЕССКОГО ЗАЛИВА (ЧЕРНОЕ МОРЕ)

Муркалов А.Б.

ОНУ, г. Одесса, Украина
physgeo_onu@ukr.net

Ключевые слова: гранулометрический состав, дифференциация, Одесский залив Черного моря, прибрежно-морские наносы.

В северной части Одесского залива для защиты абразионно-оползневого участка берега от разрушения морским волнением создана искусственная терраса. Ядром ее являются гранитные валуны. На поверхности и на северном фланге произведена отсыпка песчано-гравийно-галечной смеси. Этот материал, претерпел переработку в прибойном потоке и сформировал у подножия террасы прислоненный односклонный пляж шириной на разных участках 3–12 м.

Изучение процессов механической дифференциации выполнено по схеме, предложенной Ю.Д. Шуйским. Гранулометрические коэффициенты определялись по методу П.Д. Траска. Известно, что одним из признаков, протекающих в береговой зоне процессов дифференциации, является изменение гранулометрического состава отложений на берегу и подводном склоне. На участке искусственной подпитки береговой зоны отмечается

уменьшение медианного диаметра наносов искусственного пляжа (Mdп). По результатам наблюдений Mdп в среднем равняется 0,35 мм, а отсыпки (Mdo) равняется 0,94 мм. Коэффициент изменения среднего диаметра наносов пляжа и грунтов отсыпки (KMd=Mdo/ Mdп) равняется 2,7.

Гранулометрический состав материала отсыпки характеризуется двухвершинным распределением. Содержание опорных фракции 0,25-0,50 мм и >10 мм составляет 27,42 % и 26,83 % соответственно. Гранулометрический состав наносов сформировавшегося пляжа также имеет двухвершинное распределение. Опорными являются фракции 0,25–0,5 мм и 0,5–1,0 мм. Их содержание составляет 56,64 % и 11,64 %, фракции >10 мм – 4,60 % соответственно. Содержание мелкозернистых фракций (<0,10 мм) уменьшилось в период наблюдений с 0,3 % до 0,09 %. В наносах пляжа и материале отсыпки совпадает опорная фракция среднезернистого песка. Соотношение опорной фракции 0,25–0,50 мм (Ck) равняется 2,1.

Одним из показателей дифференциации является изменение отношения отдельных фракций (fk). В результате дифференциации материала отсыпки отмечается увеличение содержание мелко- и среднезернистого песка (0,1–0,25 и 0,25–0,5 мм) в 2 раза, по сравнению с содержанием этих фракций в материале отсыпки. Содержание остальных фракций уменьшается. Содержание фракций материала отсыпки достаточно пропорционально, что формирует кумулятивную кривую, близкую по форме к прямой. Поле кумулятивных кривых наносов пляжа имеет Г-образную форму и отражает преобладание песчаных фракций, сформировавшееся в процессе переработки материала отсыпки.

Сортировка материала отсыпки (Soo) равняется 5,29 – очень плохо сортированный материал. На пляже сортировка наносов улучшается. Коэффициент сортировки наносов пляжа (Soп) равняется 1,37 – хорошо сортированный материал. Соотношения коэффициентов сортировки (Sok=Soo/Soп) равняется 3,86.

Выводы:

1. Глубина и скорость процессов дифференциации определяется степенью соответствия исходного осадочного материала гидродинамическим условиям береговой зоны.

2. Механическая дифференциация осадочного материала на участке исследований сопровождается уменьшением крупности, улучшением сортировки и изменением размера и содержания опорной фракции.

3. Полученные коэффициенты свидетельствуют об умеренной глубине прибрежно-морской дифференциации наносов на изучаемом участке.

ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ К ИЗУЧЕНИЮ ПРИБРЕЖНО-МОРСКИХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ КАК КРИТЕРИЯ ОЦЕНКИ БЕРЕГОВ ДЛЯ НУЖД ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА.

Пашкова Н.Г.

КФУ, г. Симферополь, Россия
pashkovanataly@mail.ru

Ключевые слова: прибрежно-морские системы, берега, береговая зона, оценка берегов, морфогеодинамика, устойчивость берегов, геоморфологические риски, ЮБК.

Методологические подходы, используемые в настоящее время для изучения прибрежно-морских систем, отличаются высоким разнообразием и используемый их комплекс определяется в зависимости от оснащенности материально-технической базы и результирующих целей исследования. Высокую степень влияния на ход исследования оказывают геоморфологические особенности выделенного участка.

В процессе исследования нами была изучена береговая линия вдоль восточной части Южного Берега Крымского п-ова в пределах от западной оконечности поселка Семидворье до территории восточнее мыса Ильи. Структура применяемой нами методологии включает в себя несколько последовательных этапов. На начальных этапах исследования мы определяем комплекс не вол-

новых факторов, оказывающих влияние на усиление или ослабление волнового воздействия Выделенный участок был проклассифицирован по ряду не волновых факторов, среди которых были выделены следующие: ширина пляжа, защищенность берега отмосткой, угол наклона подводного берегового склона, гранулометрический состав, высота клифа и наличие оползней.

На основании качественных различий побережье восточной части Южного Берега Крымского п-ова было разделено на 50 подучастков. Для них выполнена балльная оценка устойчивости, на основании которой была построена карта устойчивости берегов к абразии и размыву. Для выявления устойчивости берегов исследуемого участка мы просуммировали баллы, которыми оценивалось влияние каждого фактора. Минимальная сумма значений, полученная при классификации каждого из 50 выделенных участков, составила 12 баллов, максимальная – 23 балла. В связи с выполнением типизации берегов в пределах участка с незначительной протяженностью (122 км) и схожими условиями, весь диапазон выявленных величин составил от 12 до 23 баллов и был условно разделен нами на три равные части, соответствующие трем типам берега по устойчивости: I тип – с преобладанием неустойчивых берегов, II тип – с преобладанием умеренно-устойчивых берегов и III тип – с преобладанием относительно устойчивых берегов.

Основываясь на полученных данных нами была составлена схема влияния геолого-геоморфологических особенностей и геоморфодинамики берегов на рекреационный потенциал территории. Данная схема отображает зависимость рекреационного потенциала береговой зоны от геолого-геоморфологических особенностей, которые в свою очередь предопределяют генетический тип берега, что является наиболее важным аспектом при определении уровня аттрактивности берегов и геоморфодинамики берегов, которая способствует формированию в пределах берега совокупности определенных геоморфологических рисков.

Применяемая нами методология, с использованием метода бальной оценки, является эффективной при определении устойчивости берегов к абразии и размыву. Для наиболее полного изучения морфогеодинамики морских берегов в алгоритм исследования необходимо включить определение степени устойчивости

берегов к абразии и размыву, учитывая также не волновые факторы, основываясь на классификациях, выполненных с использованием метода бальной оценки.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ АККУМУЛЯТИВНЫХ БЕРЕГОВ ОЗЕРА БАЙКАЛ

Пеллинен В.А.

ИЗК СО РАН, г. Иркутск, Россия
vadim.a.pellinen@ya.ru

Ключевые слова: аккумулятивные процессы, эволюция, береговая зона, пляж, озеро Байкал.

Озеро Байкал – уникальный водный объект нашей страны. В пределах Байкальских берегов современную морфологию береговых зон определяют такие процессы как абразия, аккумуляция, оползни, обвалы, ветровой перенос песков и др.

Береговые склоны Байкальской впадины имеют единое, преимущественно сбросово-тектоническое происхождение, после образования глубоководного Байкала склоны оказались в резко различных условиях экзогенного развития. В современных условиях после периода длительной технической эксплуатации водоема на озере развиваются четыре основные генетические типы берегов.

Цель работы состоит в изучении особенности развития аккумулятивных берегов крупных внутриконтинентальных водоемов под влиянием природных и антропогенной факторов.

Основная задача данного исследования является, выявление особенностей процессов рельефообразования и осадконакопления на аккумулятивных берегах в различных физико-географических условиях.

Объект исследования данного проекта – аккумулятивные берега оз. Байкал, являющийся наиболее энергоактивными областями береговой зоны любого крупного водоема.

Аккумулятивный тип берега на Байкале приурочен к дельтовым участкам рек. Наибольшим по протяженности аккумулятивным участком является Селенгинское побережье, окаймленное с

одной стороны заливом Провал, а с другой – сором Истокский. Аккумулятивные берега расположены на юге озера между населенными пунктами Култук и Слюдянка, в районе рек Голоустная, Бугульдейка, в Баргузинском и Чивыркуйском заливах. На севере озера Байкал в районе рек Верхней Ангары и Кичеры.

Повышение уровня оз. Байкал в связи с созданием Иркутского водохранилища привело к перестройке гидрологических и экзогеодинамических условий в пределах дельтовых участков.

Перешеек Мягкая Карга адаптировался к новым уровенным условиям озера, произошла перестройка профиля склона. Формирование аккумулятивных берегов происходит в новых условиях. Происходит принос песчаного материала на пляж, чередование с илистым материалом, что прослеживается в разрезе пляжевых отложений. На подводном склоне отмечены участки концентрации ила и торфяные поля.

Аккумулятивный бар Ярки на севере озера Байкал находится также в стадии трансформации. Особые ветро-волновые условия создают предпосылки для развития абразии в пределах южного пляжа бара. Техногенное воздействие привело к активизации эолового переноса песчаного материала и снижению твердого стока в реках, питающих бар. В настоящее время бар Ярки находится в стадии трансформации. А именно накопления и восстановления. Промоина, существовавшая до 2014 г. протяженностью 2,3 км, начала уменьшатся с появление двух островов. Аналогичная картина имеет место и в промоине между первым и вторым фрагментами острова-бара.

На основе систематизации накопленного фондового и опубликованного материала о состоянии берегов озера Байкал на разных этапах исследований выполнен анализ изменений состояния береговой зоны. Общая протяженность береговой линии озера Байкала составила 2074,17 км, из них аккумулятивных 421,78 км.

Результаты данных исследований с использованием широкого комплекса методов и современных технологий являются новым этапом изучения всего побережья озера Байкал.

Работа выполнена при поддержке РНФ, грант № 20-77-00042.

ДИНАМИКА ПРОФИЛЯ ИСКУССТВЕННОГО ГАЛЕЧНОГО ПЛЯЖА В УСЛОВИЯХ ПРИЛИВО-ОТЛИВНЫХ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ МОРЯ

Петров В.А., Ярославцев Н.А.

Филиал АО ЦНИИС «НИЦ «Морские берега», г. Сочи, Россия
demmi8@mail.ru

Ключевые слова: физическое моделирование, прилив, профиль волногасящего пляжа.

Освоение природных ресурсов северных и дальневосточных морей сопряжено с проведением берегозащитных мероприятий на берегах, включая и создание искусственных волногасящих галечных пляжей, которые должны отвечать и рекреационным требованиям.

В связи со сложностью проведения натурных наблюдений за динамикой галечного пляжа при переменных уровнях моря, не позволяющих определить особенности формирования их профилей и выявить отличия от искусственных пляжей, созданных на бесприливных морях, были выполнены лабораторные исследования в волновом лотке Научно-исследовательского центра «Морские берега» г. Сочи.

Исследования динамики профиля искусственного галечного пляжа при непрерывном изменении уровня воды в лотке проводились в масштабе 1:30 на модели подводного склона длиной 7,3 м (219 м), имитирующим осушку, образующуюся перед береговым откосом в фазу отлива. Здесь и далее в тексте в скобках указаны натурные значения.

Объем исходной отсыпки, необходимый для создания волногасящего искусственного галечного пляжа, защищающий береговой уступ от волнового воздействия при максимальном приливе, рассчитан по действующим нормативным документам.

Исследования по формированию профиля галечного пляжа проводились при параметрах волн возможных в фазу максимального прилива. Глубина воды у подошвы берегового уступа, соответствующая максимальному уровню воды в прилив на модели

была равной 12,0 см (3,60 м) и во всех опытах была одинаковой. При заданной длине мелководной зоны высота волн, воздействующих на модель искусственного галечного пляжа при максимальном уровне прилива, составляла 5,3 см (1,6 м). Для такой высоты средний период волн принимался равный 1,1 с (6,0 с).

Профили пляжа, сформированные при непрерывном изменении уровня воды, сопоставлялись с профилем, полученным при максимальном уровне в прилив. Таким образом, сравнение результатов экспериментальных исследований при постоянном в процессе опыта уровне воды и непрерывно меняющимся позволили оценить влияние переменного уровня на динамику профиля искусственного галечного пляжа.

Исследования в волновом лотке проведены для наносов крупностью d50% = 0,74 мм (22,2 мм) и d50% = 1,19 мм (35,7 мм).

Эксперименты при воздействии волн на исходную отсыпку пляжеобразующего материала свидетельствуют, что при отливных циклах происходит смещении галечного материала вниз по подводному склону. При приливах пляжный материал, смещенный при отливах, не полностью возвращается в верхнюю часть профиля. В результате чего происходит выдвижение в море подводной границы пляжа, положение которой в дальнейшем остается неизменным. Это приводит к уменьшению объема надводной части пляжа, а значит и к уменьшению его ширины, что снижает волногасящие свойства создаваемого галечного пляжа.

Таким образом, в условиях приливо-отливных явлений при определении объемов исходных отсыпок пляжеобразующего материала при создании волногасящих искусственных галечных пляжей и разработке мероприятий по его эксплуатации необходимо учитывать влияние периодически меняющегося уровня моря на формирование профиля волногасящего искусственного галечного пляжа.

ОБ ИЗМЕНЕНИЯХ ПАРАМЕТРОВ ВНУТРЕННИХ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН И ФЛУКТУАЦИЙ РАДОНА В АТМОСФЕРЕ КЕРЧЕНСКО-ТАМАНСКОГО РЕГИОНА ПЕРЕД ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ

Подымов И.С., Подымова Т.М.

ИО РАН, г. Москва, Россия
ipodymov@inbox.ru

Ключевые слова: внутренние гравитационные волны, радон, землетрясения, краткосрочный прогноз, Керченско-Таманский регион.

Одно из направлений деятельности Института океанологии связано с исследованиями геофизических процессов в прибрежной зоне Российского сектора Черного и Азовского морей (Краснодарский край, Керченский п-ов). Работы представляют собой: многолетний непрерывный мониторинг вариаций радона в приземной атмосфере, сопоставление этих вариаций с произошедшими землетрясениями по базе данных Европейско-Средиземноморского сейсмологического центра, анализ тепловых и инфракрасных полей в атмосфере и ионосфере по спутниковым снимкам, полевые исследования, математическое моделирование.

Цель работы – поиск закономерностей формирования индикаторов начала деформаций земной коры и разработка методов краткосрочных прогнозов экстремальных сейсмических событий.

Мониторинг объемной активности радона (ОАР) производится с помощью разработанного аппаратно-программного комплекса, измерителем радона в котором является спектроскопический датчик суммарной энергии дочерних короткоживущих продуктов бета-линий распада. Метод позволяет снизить разброс показаний, на порядки увеличить скорость производства замеров ОАР, получить вариации радона внутри временных интервалов недоступных для исследований классическим методом.

Возникающие деформации земной поверхности на последней стадии подготовки землетрясения приводят к изменениям проницаемости земной коры и увеличению эманации радона из недр. Можно сказать, что частотные характеристики колебаний радона в атмосфере отражают и колебания земной коры. Естественно, колебания тектонических структур вызывают 3-мерные колебания воздушных масс. По определению колебания воздушных масс, имеющие продольную и поперечную составляющую, характеризуются как внутренние гравитационные волны (ВГВ).

На примере нескольких землетрясений, произошедших в регионе исследований за период 2016–2019 гг., определены вариации амплитудно-частотных характеристик ОАР в приземной атмосфере за несколько недель до сейсмособытий. На примере трех землетрясений в Центральной Азии (по материалам ученых РАН) представлено изменение длины волны ВГВ перед землетрясениями. Сравнение частотных характеристик ВГВ и вариаций ОАР в преддверии сейсмических событий показало на их значительное совпадение. Появилось предположение, что отслеживать ВГВ можно не только со спутников, оборудованных специальными техническими средствами.

По результатам многолетних исследований разработан алгоритм наблюдений и действий при аномальных отклонениях параметров ОАР (ВГВ) от среднего многолетнего значения. Исследования, идентифицирующие частотные характеристики вариаций ОАР и ВГВ, необходимо продолжить. Статистика наблюдений поможет повысить корректность прогноза зарождающегося сейсмического события.

Практическая значимость исследований обусловлена высокой плотностью населения и наличием значимых объектов инфраструктуры в регионе. С точки зрения фундаментальной науки большое значение имеет разработка обоснованных методов прогноза экстремальных ситуаций.

Подробно результаты исследований будут представлены на конференции.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЧЕТЫРЕХЛЕТНЕГО МОНИТОРИНГА ФЛУКТУАЦИЙ РАДОНА В АТМОСФЕРЕ АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ В АСПЕКТЕ ПРОГНОЗА ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ

Подымова Т.М., Подымов И.С.

ИО РАН, г. Москва, Россия
tpodymova@inbox.ru

Ключевые слова: радон, флуктуации в атмосфере, долговременный мониторинг, геодинамическая активность, прогноз экстремальных событий.

Исследование современных движений земной коры и геодинамической активности Азово-Черноморского побережья Краснодарского края имеет особое значение. Вдоль побережий регионов исследований расположены значимые объекты инфраструктуры: перевалочные терминалы нефти и аммиака, морские порты, транспортный переход через Керченский пролив и т. п. В то же время данный район характеризуется сложной геологической структурой: наличием тектонических структур первого и высших порядков, которые находятся в смешанном взаимодействии. Высокая геодинамическая активность проявляется серией разрывных нарушений, рассекающих Таманский и Керченский п-ова. Имеется значительное количество потенциальных очагов землетрясений, представляющих собой наиболее опасные в сейсмическом отношении участки сейсмогенерирующих геологических структур, которые проявляли себя в прошлом через сейсмические подвижки большой магнитуды. Большие скорости горизонтальных перемещений и вертикальных движений земной коры способствуют возникновению экстремальных ситуаций, вплоть до общего подъема (опускания) земной поверхности.

В плане изучения деформаций земной коры в регионе сотрудниками Института океанологии осуществляется непрерывный мониторинг флуктуаций радона в приземной атмосфере. Измерения ведутся с января 2016 г. методом фиксирования суммарной

энергии дочерних короткоживущих продуктов бета-линий распада. Информация о радоне считывается непрерывно, ежечасно, автоматически.

В итоге четырехлетних исследований получены следующие результаты.

Метод измерения объемной активности радона (ОАР) исключил влияние метеопараметров и других посторонних шумов на разброс показаний.

Сопоставление вариаций ОАР в приземной атмосфере с произошедшими землетрясениями подтвердило их связь с сейсмической активностью. Анализ частотных характеристик флуктуаций радона позволил сделать предположение, что они отражают колебательные процессы тектонических структур. По данным мониторинга осуществлена верификация ряда прогностических моделей.

Вынос на поверхность радиоактивного радона приводит к активизации процессов в атмосфере, ответственных за появление краткосрочных предвестников землетрясений. Но в цепочке временной последовательности индикаторов начала деформаций земной коры радон стоит на первом месте.

Статистика наблюдений показала, что изменение ОАР в 5 раз и более относительно среднего многолетнего значения говорит об активизации тектонических процессов на уровне структур 1-го порядка. Через 50 ± 5 дней после таких событий возможны экстремальные ситуации в регионе исследований.

Технологии спутниковых измерений геодинамической активности локальных территорий позволяют оценить масштабы процессов статистически. Мгновенная же оценка возникающих деформаций земной коры возможна только отслеживанием вариаций ОАР в приземной атмосфере. Это говорит о том, что при появлении аномальных выбросов радона следует обратить внимание на показания вторичных индикаторов-предвестников землетрясений.

Подробная информация о проводимых исследованиях будет представлена в докладе.

К ВОПРОСУ ОБ УПРАВЛЕНИИ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИМОРСКИХ ТЕРРИТОРИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Санин А.Ю. [1,2]

[1] *ГОИН, г. Москва, Россия.*
[2] *Росгидромет, г. Москва, Россия.*
eather86@mail.ru

Ключевые слова: управление природопользованием, виды природопользования, прибрежные территории, прибрежная зона, рекреация, опасные явления природы, Морская доктрина, океанический шельф, особо охраняемые природные территории.

Управление морским природопользованием –прогрессивно-циклический адаптивный процесс, в рамках которого сочетаются или доминируют различные подходы в зависимости от временного характера самих управленческих решений [Землянов, 2015]. Для достижения высокой эффективности управления природопользования прибрежными территориями, следует учитывать природные особенности территории, а также интересы всех природопользователей [Преображенский, 1975; Долотов, 1996 и др.]. Однако сложность в том, что интересы различных природопользователей подчас вступают в конфликт друг с другом, особенно на территориях с высокой интенсивностью хозяйственной деятельности. Вторая сложность в управлении прибрежной зоны- неопределенность границ последней. Часто к ней относят сушу, хозяйственное использование которой определяется наличием выхода к морю, и акваторию до внешних границ океанического шельфа, разумеется, это не единственный возможный подход, есть геоморфологический и некоторые другие, однако он представляется достаточно удобным.

Для управления природопользованием на приморских территориях характерен недостаточных учет неблагоприятных и опасных явлений природы, достаточно острые, особенно для территорий с большой плотностью населения и интенсивностью хозяйственной деятельности, конфликты природопользования, игнорирование неорганизованной рекреации в туристических регионах. В 2020 г. острой необходимостью становится учет ситуации,

сложившейся после начала пандемии COVID-19, и особенно ее последствий, в том числе экономических и социальных для различных видов природопользования, для рекреантов и местных жителей, органов управления.

Огромное экономическое, геополитическое и социальное значение прибрежной зоны актуализирует изучение ее динамики и разработку прогноза ее состояния в будущем в условиях растущего антропогенного воздействия на нее и климатических изменений. Современное состояние прибрежной зоны проанализировано как в целом для всех берегов России [Сафьянов,1978, Долотов,1996, Айбулатов, 2005,2001], так и для отдельных акваторий, в частности, для Финского залива Балтийского моря [Гордеева, Малинин, 2014] и Черного моря [Пешков, 2003,2005 Игнатов, 2004 и др.], однако в управлении природопользованием в настоящее время это учитывается недостаточно.

Можно выделить такие аспекты стратегической важности прибрежных территорий, как транспортный, ресурсный, военно-стратегический (геополитическую), рекреационный и др. Транспортная важность прибрежных территорий во многом определяется активно развиваемым в наше время Северным Морским путем. Рекреационная важность особенно хорошо проявилась сейчас, летом 2020 года в связи с пандемией COVID-19 и закрытием внешних российских границ. Наличие удобных для рекреации прибрежных территорий в России позволило туристам не остаться без отдыха на море или хотя бы на берегу реки, озера или водохранилища. Однако пандемия обострила ряд проблем рекреационного природопользования в прибрежных регионах, в частности, необходимость перераспределения туристических потоков, так как большая плотность рекреантов приводит к сильному воздействию на природные ландшафты и увеличивает угрозу новых вспышек COVID-19, недостаточного уровня развития рекреационной инфраструктуры и ряд других.

При управлении природопользованием в прибрежной зоне необходимо учитывать угрозы со стороны неблагоприятных и опасных явлений природы (НОЯ). Необходимость спасения жизни на море приписана в действующей Морской доктрины РФ (пункт 5г), потребность в противодействии опасным явлениям природы обозначена в характеристике региональных направлений национальной морской политике. Человеческая жизнь и здоровье объявлена высшей ценностью в Конституции РФ, которая также указывает на право граждан Российской Федерации на за-

щиту от стихийных бедствий. НОЯ угрожают как нашему имуществу, так и нашему здоровью и даже жизни, в том числе и на прибрежных рекреационных территориях.

ЛИТОДИНАМИКА БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА

Сергеев А.Ю., Рябчук Д.В., Ковалева О.А.

ВСЕГЕИ, г. Санкт-Петербург, Россия
sergeevau@yandex.ru

Ключевые слова: переработка берегов; опасные экзогенные геологические процессы; Балтийское море; мониторинг.

Для получения пространственной картины по динамике береговых процессов и определению трансформации береговой линии для всего побережья Финского залива были проанализированы, а после интегрированы в ГИС, данные дистанционного зондирования из открытых источников. Для оценки интенсивности береговых процессов за долговременный период привлечены космоснимки как низкой детализации (размер ячейки около 30 м), так и высокой с 1984 г. по 2018 г. (Спутниковые фотоснимки Landsat 1–7), доступные через сервис Google Earth Engine. Для большей части побережья были доступны данные, начиная с конца 1980-х – начала 1990-х годов. Проведенный анализ снимков позволил оценить наиболее экстремальные изменения береговой линии почти за 30-летний период, что дает наибольшую достоверность в установлении динамики береговых процессов их развитии и устойчивости во времени.

Для некоторых ключевых участков в пос. Большая Ижора, о. Котлин, в Курортном районе, обладающих наибольшей динамикой, анализ скорости переработки берегов опирался на данные ежегодных наблюдений, нивелировочного профилирования, анализа космоснимков сверхвысокого разрешения.

Наиболее динамическими участками берега являются береговые сегменты, распространенные на южном берегу Финского залива в пос. Лебяжье и пос. Большая Ижора, у западной оконечности о. Котлин и к востоку от м. Песчаный на северном берегу. Развитие береговых форм на этих участках главным образом связано с изменение экспозиции берега, отклоняющейся от субширотного направления, по отношению к преобладающему направлению движения волн с запада на восток. На этих участках среднегодовые скорости вдольберегового смещения аккумулятивных форм достигают 30–60 м/год. Абразионные берега наиболее развиты в восточной части Финского залива, однако большинство развивается с крайне незначительной скоростью, и отступает на нескольких десятков сантиметров в год. В тоже время, на отдельных и довольно локальных точках были зафиксированы скорости разрушения, достигающие 1–1,5 м/год. Аккумуляция песчаного материала в береговой зоне локализована приустьевыми участками рек, либо наблюдается в локальных мелких бухтах. Участков берега с крайне интенсивным накоплением песчаного материала и выдвижением пляжа не отмечено.

Работа выполнены при поддержке гранта Российского научного фонда (проект №17-77-20041).

ВОЛНОГАСЯЩИЕ СООРУЖЕНИЯ СКВОЗНОГО ТИПА С ГИБКИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ И ПРИНЦИПЫ ИХ РАБОТЫ

Сорокин А.Н. [1], Щодро А.Е. [2]

[1] 198 НИЦ МО РФ, г. Севастополь, Россия
[2] МГИ, г. Севастополь, Россия
alexeug@hotmail.com

Ключевые слова: защита берегов от размыва, волногасящие сооружения «Гребенка», микроцементация.

Разрушение морских берегов связано с постоянным выносом прибрежного галечникового и песчаного материала в море, а

также с последующим сползанием и обрушением коренного берега. Для защиты берега используются волноломы – массивные, капитальные гидротехнические сооружения, которые требуют также периодического восстановления. Известны также аналогичные сооружения, состоящие из проницаемых элементов, более дешевые и эффективные. Они включают сквозные элементы, например, в виде многорядного частокола, гребенки, труб и т. п. ООО «Базальтовые трубы» предлагает сквозные элементы такой конструкции выполнять из специального полимерного материала, обеспечивающего долговечность, коррозионную устойчивость и регулируемую гибкость ее элементов. Исследования, выполненные в условиях гидравлического лотка, свидетельствуют о достаточно хорошей степени гашения волн разработанный ими «Гребенкой». Параллельно предполагается создавать микроцементационные завесы в пределах пляжей для замедления процесса оползания грунта в воду.

ПЕРЕДАТОЧНЫЙ ОПЕРАТОР ЗОНДИРОВАНИЯ ИЗ КОСМОСА БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ С УЧЕТОМ ПОЛЯРИЗАЦИИ ИЗЛУЧЕНИЯ И ОТКЛОНЕНИЯ ОТ НАДИРА

Сушкевич Т.А., Стрелков С.А., Максакова С.В.

ИПМ РАН, г. Москва, Россия
tamaras@keldysh.ru

Ключевые слова: дистанционное зондирование, передаточный оператор, поляризация, атмосфера, океан-суша.

В 2014 г. мировое прогрессивное научное сообщество начало формирование Всемирной Глобальной Научной Программы «Будущее Земли» (World Global Research Projects "Future Earth" http://futureearth.org) для координации международных исследований по устойчивому развитию окружающей среды и общества по совместной инициативе Международного совета по науке (ICSU основан в 1931 г.) и Международного научного совета по

общественным наукам (ISSC основан в 1952 г.). После объединения в 2018 г. они переименованы в «Международный научный совет» (ISC).

В 2018 г. Постановлением Президиума РАН создан Российский национальный Комитет. В 2020 г. РФФИ провел первые конкурсы с организациями-участниками инициативы Бельмонтского форума и Future Earth и поддержал, в частности, проект «Устойчивость океанских береговых зон в меняющемся климате» (Руководитель С.К. Гулев, Институт океанологии РАН). Создана платформа для международных исследований.

Фундаментальные основы для реализации Программы заложены в XX-м веке благодаря изобретению компьютера и выхода человека в космос и, конечно, достижений в математике.

Рассматривается информационно-математический аспект аэрокосмического дистанционного зондирования и мониторинга прибрежной зоны морей и океанов в условиях изменяющегося климата и катастроф [Бондур В.Г., Крапивин В.Ф., Савиных В.П. Мониторинг и прогнозирование природных катастроф. М: Научный мир, 2009. 692 с.].

Планета Земля – это сложнейшая динамическая система с нелинейными процессами, находящаяся в непрерывных изменениях. Наблюдения и исследования планеты Земля из космоса проводятся с помощью «световых технологий». Скорость света такова, что исследуемый объект в каждый момент наблюдений можно считать «стационарным», и в теории переноса излучения в природных средах решаются стационарные кинетические уравнения без временной зависимости [Сушкевич Т.А. Математические модели переноса излучения. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2005. 661 с.].

Важно обеспечение теоретико-расчетных исследований решений прямых и обратных задач теории переноса излучения в системе (САЗ) «атмосфера – гетерогенная земная поверхность» (суша – океан) для оценки возможностей гиперспектральных и поляризационных систем мониторинга и оперативного анализа больших объемов космических изображений с целью обнаружения и распознавания состояния исследуемых объектов, а также выявления их динамических изменений путем анализа времен-

ных серий аэрокосмических изображений. Корректность и эффективность решения таких задач может быть существенно улучшена с помощью априорной информации, полученной из расчетов яркости САЗ на основе численного моделирования оптического передаточного оператора и позволяющей выявить и установить закономерности формирования пространственного и углового распределения яркости атмосферы и освещенности земной поверхности в зависимости от условий визирования и «оптико-метеорологической погоды». Авторами на модельных задачах было установлено и обосновано, что в результате горизонтального переноса излучения наблюдается искажение пространственной структуры вариаций яркости при наклонном визировании, приводящее к сдвигу границы раздела «суша-океан (море)» на сотни метров. Важно корректно проводить атмосферную коррекцию.

Работа выполняется при частичной финансовой поддержке РФФИ (код проектов 18-01-00609, 17-01-00220).

ОБСЛЕДОВАНИЕ И МОНИТОРИНГ СВОБОДНОДЕФОРМИРУЕМЫХ СООРУЖЕНИЙ ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЫ ОТ ВОЛНОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Тлявлин Р.М., Тлявлина Г.В.

НИЦ «Морские берега», г. Сочи, Россия
TlyavlinRM@Tsniis.com

Ключевые слова: волновое воздействие, инженерная защита, мониторинг, обследование, свободнодеформируемые сооружения.

Обследование и мониторинг свободнодеформируемых сооружений инженерной защиты от волнового воздействия проводят для оценки эксплуатационной пригодности, контроля технического состояния, а также в научно-исследовательских целях.

Сооружения инженерной защиты от волнового воздействия – особая категория сооружений, проектирование и расчет которых как в мировой практике, так и в отечественной, не всегда регулируются нормативными документами, а в большей степени опирается на физическое и математическое моделирование. Однако для обеспечения безопасности таких сооружений, предупреждению повреждений, устранению угрозы окружающей среде, жизни и здоровью людей, процессы их обследования и мониторинга должны быть четко регламентированы.

Наиболее распространенные сооружения инженерной защиты от волнового воздействия – свободнодеформируемые. К ним относят волногасящие бермы из горной массы и пляжи всех видов (свободные и с пляжеудерживающими сооружениями, песчаные и галечные). Определяющим показателем работоспособности таких сооружений является объем материала. Поэтому уменьшение их ширины при увеличении отметок (и наоборот) при сохранении общего объема (±15 %) дефектом не является.

При обследовании естественного или искусственного пляжей необходимо определить мощность активного слоя пляжевого материала, его крупность и элементы залегания указанного слоя. При этом следует определить состав и физико-механические характеристики также подстилающих пляж донных отложений.

Объем контроля при обследовании свободнодеформируемых сооружений инженерной защиты от волнового воздействия определяется целями и задачами исследований. При этом определяют:

- ширину надводной части сооружения,
- профиль сооружения,
- состав материала,
- подводную границу сооружения.

Также при обследовании оценивают наличие зон размыва/аккумуляции материала и интенсивность его размыва/аккумуляции.

Мониторинг свободнодеформируемых сооружений инженерной защиты от волнового воздействия проводят для контроля их технического состояния и своевременного принятия мер по устранению возникающих негативных факторов, которые могут повлечь переход объектов в ограниченно работоспособное или аварийное состояние, а также в следующих целях:

- выявление сооружений и их элементов, для которых необходимо обследование их технического состояния;

- отслеживание степени и скорости изменения технического состояния сооружения и принятия в случае необходимости экстренных мер по предотвращению его обрушения.

Технические требования к обследованию и мониторингу свободнодеформируемых сооружений инженерной защиты от волнового воздействия отражены в новом разработанном ГОСТ Р «Берегозащитные сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния», который распространяется на гидротехнические берегозащитные (берегоукрепительные) сооружения и регламентирует процессы обследования и мониторинга берегозащитных сооружений (объемы, методы, состав и содержание работ, оформление результатов). Шифр темы ПНС 1.13.465-1.109.19.

ЛИТОДИНАМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ МОРЯ В СОСТАВЕ ИНЖЕНЕРНО-ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ

Тлявлина Г.В.

НИЦ «Морские берега», г. Сочи, Россия
TlyavlinaGV@Tsniis.com

Ключевые слова: инженерные изыскания, литодинамические исследования, прибрежная зона.

Согласно требованиям п. 7.1.5 СП 47.13330.2016 «СНиП 11-02-96 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения», в состав инженерно-гидрометеорологических изысканий при изучении гидрометеорологического режима территории (акватории) входят литодинамические исследования (в прибрежной, шельфовой зоне и на акватории морей). При этом ни один нормативный документ не содержит требований к составу и со-

держанию таких исследований. Однако, при проектировании сооружений в прибрежной, шельфовой зоне и на акватории морей необходим учет литодинамических характеристик, которые являются исходными данными для принятия верных проектных решений. Недостаточность данных литодинамических исследований может привести к некорректно разработанной проектной документации, и, как следствие, быстрому разрушению либо неэффективной работе сооружений в прибрежной, шельфовой зоне и на акватории морей.

Чтобы повысить эксплуатационную надежность сооружений, проектируемых в береговой зоне моря, и снизить риски их разрушения, предлагается к разработке свод правил «Литодинамические исследования в прибрежной, шельфовой зоне и на акватории морей», который будет способствовать более качественным результатам инженерных изысканий.

Цель разработки – установить требования к составу и содержанию литодинамических исследований в прибрежной, шельфовой зоне и на акватории морей, выполняемых в составе инженерно-гидрометеорологических изысканий.

Основные задачи и приоритетные направления:

– формирование целей и задач литодинамических исследований в прибрежной, шельфовой зоне и на акватории морей;

– формирование основных принципов литодинамических исследований в прибрежной, шельфовой зоне и на акватории морей;

– разработка требований к методам производства работ по литодинамическим исследованиям в прибрежной, шельфовой зоне и на акватории морей;

– разработка требований к составу, содержанию и оформлению результатов литодинамических исследований в прибрежной, шельфовой зоне и на акватории морей.

– Этапы проведения научно-исследовательских работ:

– анализ современного состояния проблемы;

– разработка требований к исследованиям литодинамических условий с общей оценкой интенсивности литодинамических процессов;

– разработка требований к литодинамическому районированию;

– разработка методик расчета динамики наносов;

– разработка требований к прогнозной оценке возможных изменений рельефа дна и берегов, а также величин экзарации дна ледяными образованиями;

– подготовка предложений по использованию результатов НИР для разработки (актуализации) нормативных документов.

Разработанный по итогам исследований документ будет способствовать снижению уровня опасности при строительстве новых, реконструкции и расширении действующих сооружений в прибрежной, шельфовой зоне и на акватории морей; уменьшению риска возникновения аварийных ситуаций; снижению затрат на ремонт и реконструкцию сооружений прибрежной, шельфовой зоне и на акватории морей.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЗАЩИТЫ БЕРЕГОВ СЕВАСТОПОЛЬСКОГО РЕГИОНА ОТ ВОЛНОВОЙ АБРАЗИИ

Удовик В.Ф.

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

Ключевые слова: берегозащитные сооружения, волновая абразия, динамика береговой зоны, Севастопольский регион.

В настоящее время происходит активное освоение прибрежной полосы Севастопольского региона, и озвучиваются грандиозные планы по ее дальнейшей застройке и техногенному преобразованию пляжной зоны. Это выдвигает на передний план необходимость разработки эффективной защиты берегов от разрушения, а также сохранения и наращивания площадей существующих пляжей с целью увеличения рекреационной, туристической и инвестиционной привлекательности побережья.

Береговая линия Севастопольского региона простирается от м. Лукулл на севере до м. Николая на юго-востоке и без учета

бухт имеет протяженность около 160 км. На большей части побережья в качестве основной причины разрушения берегов выступает волновая абразия. На некоторых участках развиты оползневые процессы. Интенсивность абразии зависит от многих природных и антропогенных факторов. Определяющее значение имеют гидродинамические условия, геологическое строение берегов и их геоморфологические характеристики.

В границах Севастопольского региона можно выделить три основных района побережья, существенно различающихся по генетическому типу берегов, определяющему их геоморфологическое строение и состав слагающих пород.

В докладе представлены результаты анализа современного состояния и эффективности существующих берегозащитных сооружений, расположенных в Севастопольском регионе. Основное внимание уделено Западному району, как наиболее чувствительному к антропогенному воздействию на природные береговые процессы. Приводятся оценки воздействия реализованных проектных решений на динамику берегов на смежных участках побережья и перераспределение прибрежно-морских наносов в границах литодинамических систем и ячеек.

В ближайшем будущем основное увеличение антропогенной нагрузки будет приходиться на прибрежную полосу открытых участков морского побережья. Обусловлено это в первую очередь тем, что берега бухт Севастополя практически полностью освоены под портовые, селитебные и рекреационные территории.

Критическое осмысление продвигаемых в последнее время новых проектов проведения противооползневых и берегоукрепительных работ, а также техногенного преобразования пляжной зоны, позволяет сделать вывод о недостаточной проработке предлагаемых проектных решений. Отмечается повторение попыток защитить локальные участки берега без достоверной оценки воздействия на смежные участки побережья и без учета особенностей динамики береговой зоны на различных пространственных и временных масштабах, что в первую очередь создает угрозу деградации природных пляжей.

Для успешной реализации комплексных мероприятий по защите берегов Севастопольского региона необходимо в первую

очередь разработать научно обоснованную концепцию и генеральную схему берегозащиты.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-45-920021 р_а, частично в рамках государственного задания по теме № 0827-2019-0004.

ОПЫТ ЛИТОДИНАМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИНЖЕНЕРНО-ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ В БЕРЕГОВОЙ ЗОНЕ И НА ШЕЛЬФЕ

Усенков С.М., Евдокимов А.А., Шабалин Н.В.

МГУ, г. *Москва, Россия*
usenkov.swyatoslaw@yandex.ru

Ключевые слова: литодинамика, вдольбереговые потоки наносов, аккумуляция, размыв (эрозия), интенсивность литодинамических процессов.

Литодинамические исследования при производстве инженерных изысканий в береговой зоне и на шельфе производятся, как правило, в комплексе с инженерно-гидрометеорологическими. Основная цель исследований – всестороннее изучение литодинамических процессов и получение данных, в объеме необходимом для проектирования объектов и прохождения экспертиз в соответствующих надзорных органах.

Согласно СП 11-114-2004 выполнение литодинамических работ должно обеспечивать получение сведений, достаточных для общей оценки интенсивности процессов, литодинамического районирования, расчета характеристик динамики потоков наносов, прогноза возможных изменений рельефа дна и берегов, прогноза величин экзарации дна ледовыми образованиями.

При производстве литодинамических исследований непосредственно в береговой зоне выполняется следующий комплекс работ: кратные промеры глубин на профилях деформации; кратный

отбор проб донного грунта в характерных точках на профилях; кратные нивелировки пляжа, берегового уступа и зоны осушки с пробоотбором, измерение гидродинамических параметров в зоне мелководья.

Для общей оценки характера и интенсивности литодинамических процессов проводится районирование, выполняемое на основе комплексного анализа материалов рекогносцировочных и детальных работ с использованием картографических материалов и космоснимков, сведений о составе донных отложений, а также информации о гидродинамическом и ледовом режиме акватории.

На стадии разработки ТЭО проекта для районов, характеризующихся низкой и средней интенсивностью литодинамических процессов, расчеты динамики наносов выполняются на основании материалов изысканий без постановки дополнительных натурных исследований динамики наносов. В районах, характеризующихся высокой интенсивностью перемещения наносов, высокой и очень высокой интенсивностью литодинамических процессов, для расчета характеристик динамики наносов используются расчетные зависимости, верифицированные на основе натурных и лабораторных измерений.

Анализ общей направленности вдольбереговых потоков наносов и закономерностей распределения зон размыва, транзита и аккумуляции наносов проводится с помощью ветроэнергетического метода, для количественной оценки емкости потоков используется волноэнергетический метод расчета

В рамках исследований литодинамики нижней части береговой зоны и шельфа важнейшей составляющей служит комплексная гидроакустическая съемка дна с использованием многолучевых эхолотов и гидролокаторов бокового обзора. На основе полученных материалов совместно с данными аэросъемки с беспилотных летательных аппаратов строятся совместные 3-D модели дна и берегов акватории.

Для прогноза развития береговой зоны при необходимости выполняется математическое моделирование литодинамических процессов с учетом гидрометеорологических параметров полученных в ходе проведенных изысканий, а также материалов геологических, геодезических и гидрографических изысканий.

Непосредственно в докладе приводятся примеры использования подходов к литодинамическим исследованиям участков береговой зоны и шельфа, расположенных в разных физико-географических обстановках и отличающихся геолого-геоморфологическим строением.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ СЕЙСМОГЕННЫХ ЗОН В ЗЕМНОЙ КОРЕ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Филатова В.Т.

Геологический институт КНЦ РАН, г. Апатиты, Россия
filatova@geoksc.apatity.ru

Ключевые слова: Кольский регион, геологический фундамент, численное моделирование, мобильно – проницаемые области, поля напряжений, сейсмичность, геоэкологическая безопасность.

В представленной статье рассмотрены особенности формирования сейсмогенных зон региона. Согласно результатам сейсмического районирования, территория Кольского региона отмечается слабой сейсмичностью, но время от времени там случаются землетрясения при движении земной поверхности с интенсивностью в 7 баллов и выше. На территории области сосредоточены крупные источники важнейших видов минерального сырья, что послужило основанием для создания мощного горнопромышленного комплекса. В настоящее время разрабатываются проекты строительства подземных атомных станций малой мощности, которые могут быть альтернативными источниками электрической и тепловой энергии при освоении арктических регионов России. Обеспечение безопасности подземного комплекса в сложных горно-геологических условиях существенно зависит от физического состояния окружающего породного массива как основного защитного барьера.

Одной из важнейших характеристик тектоносферы является напряжённо-деформированное состояние, контролирующее развитие тектонических и геодинамических процессов в коре. С использованием математического моделирования были построены количественные модели напряжённо-деформированного состояния земной коры региона с учетом ее эволюционного развития и определены мобильно-проницаемые структуры (ослабленные области), благоприятствующие подъёму мантийных основных-ультраосновных магм, что подтверждается имеющимися геологическими данными. Результаты показали, что выделенные структуры на большей своей территории перекрываются известными сейсмогенными зонами. Там же концентрируется значительная часть сейсмических событий как древних, так и современных. Выделенные ослабленные структуры в своей совокупности образуют каркас, который пронизывает фундамент Кольского региона, захватывая акватории Баренцева и Белого морей. При этом в пределах мобильно-проницаемых областей локализовано большинство месторождений полезных ископаемых и сконцентрирована хозяйственная деятельность в регионе, что оказывает определённое воздействие на экологическую обстановку.

Начиная с периода 13 тыс. лет назад и по настоящее время происходит подъём земной коры региона, сопровождаемый внутриплитными перемещениями отдельных блоков с различной скоростью. На фоне тектонических подвижек на стыках геоблоков возникают напряжения, которые в процессе разрядки могут генерировать сейсмичность. Кроме этого, мощный горно-промышленный комплекс Мурманской области также постоянно генерирует техногенные сейсмические события вследствие нарушения природного равновесия в горных массивах. В данном случае усиление сейсмической активности связано с вводом в эксплуатацию новых рудников и увеличением объемов добычи. Таким образом, при наложении природных и техногенных процессов (особенно, в узловых точках) чаще порождаются сейсмические события с повышенным уровнем магнитуды. При этом в районах перекрытий вероятность нарушения равновесия в геологической среде из-за разрядки напряжений будет наибольшей, и, как следствие, по-

вышаются сейсмические риски и усиливается уязвимость гражданских и промышленных объектов, особенно, подземных сооружений различного назначения.

МОДЕЛИРОВАНИЕ БЕРЕГОВЫХ ПРОЦЕССОВ НА ТИХООКЕАНСКОМ ПОБЕРЕЖЬЕ КАМЧАТКИ

Хомчановский А.Л.

ИВиС ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский, Россия
khomscience@mail.ru

Ключевые слова: косейсмические деформации в зоне субдукции, математическое моделирование, правило Брууна.

Многие годы на тихоокеанском побережье Камчаткиработниками института вулканологии и сейсмологии ведутся палеосейсмологические исследования аккумулятивных террас, направленные на выявление отложений цунами и геологических следов вертикальных косейсмических деформаций в голоцене. Порядок выполнения работ примерно следующий: поиск террас по космоснимкам, топосъемка береговых валов, съемка территории с помощью квадрокоптера для составления цифровой модели местности, поиск вероятного расположения следов косейсмических деформаций с помощью георадарного профилирования, заложение шурфов на береговых валах и дальнейшее исследование их методов тефрохронологии и тефростратиграфии. В последние годы предпринята попытка математического моделирования береговых процессов, связанных с косейсмическими деформациями, произошедшими в результате субдукционных землетрясений.

Для математического моделирования береговых процессов был выбран следующий порядок задач:

- расчет вероятного отступания береговой линии;
- расчет бюджета наносов;
- расчет профиля относительного динамического равновесия;
- расчет вдольберегового перемещения наносов;

– сопоставление результатов моделирования с геологическими данными.

Расчет вероятного отступания береговой линии проводится при помощи модели Брууна – Зенковича, где смещение берега рассчитывается исходя из параметров изменения относительного уровня моря (опускание поверхности в результате землетрясения), глубины замыкания, расстояния активной части профиля от пляжа до глубины замыкания и высоты бермы. Профиль относительного динамического равновесия рассчитывается формулой Дина, где входными данными являются пары координат, измеренного подводного берегового склона до глубины замыкания и медианный диаметр наносов. Исходными данными для расчета вдольберегового перемещения наносов являются набор данных о направлении, продолжительности и параметрах волн на входе в береговую зону, крупность материала, экспозиция береговой линии. Расчет проводится по модели Леонтьева и формуле CERC (Coastal Engineering Research Center, US Army Corps of Engineers). Смещение берега с учетом бюджета наносов зависит по большей части от объема наносов (кубометров в год на метр длины берега) и глубины замыкания. Объем же наносов можно найти из расхода рек (если это бухта) или разницы балансов вдольбереговых наносов на смежных участках. Однако, в этом вопросе существует ряд нерешенных проблем и расчет бюджета наносов остается открытым.

На данный момент проведены расчеты переформирования профиля нескольких активных пляжей в Авачинском и Кроноцком заливах и величины размыва их морских аккумулятивных террас в результате косейсмических опусканий суши с учетом реальных полученных данных по топографии, батиметрии, гранулометрии отложений. Результаты моделирования для верификации сопоставлены с геологическими данными и в дальнейшем будут использоваться для оценок характера воздействия мегаземлетрясений на побережья.

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСКАЖЕНИЯ МАСШТАБА ПРИ ГИДРАВЛИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ

Шелушинин Ю.А.

СГУ, г. Сочи, Россия
НИЦ «Морские берега», г. Сочи, Россия
9117875@mail.ru

Ключевые слова: физическое моделирование, искажение масштаба, гидротехническое сооружение

При проектировании гидротехнических сооружений для детального изучения волновой обстановки в мелководных акваториях применяется метод физического моделирования. Вследствие ограниченности размера лабораторных установок и других причин на практике довольно часто прибегают к искажению масштабов моделирования.

При прохождении из глубоководной зоны в мелководную волна претерпевает различные изменения, вызванные процессами рефракции, трансформации и дифракции. Данные процессы обусловлены взаимодействием волнения с подводным рельефом и гидротехническими сооружениями. Поскольку искажение масштабов модели всегда вносит изменения в сложный криволинейный рельеф, то оно всегда будет вносить соответствующие изменения и в процессы рефракции, трансформации и дифракции волн.

Рассмотрено влияние искажения масштабов модели на процесс дифракции и общую волновую обстановку в огражденной акватории. Исследование проводилось методом математического моделирования. Расчет проводился по нормативной методике, изложенной в СП 38.13330.2018.

Искажение масштаба модели сказывается на всех параметрах, описывающих режим волнения в расчетной точке, а именно:

изменяется угол подхода волны к расчетной точке;

– изменяется коэффициент рефракции, а соответственно, и высота волн;

– изменяется глубина последнего обрушения, а соответственно, смещается место обрушения волн;

– изменяется высота волн в последнем обрушении.

Причем величина и направленность таких изменений параметров волнения при искажении масштабов различаются для разных расчетных точек и разных форм рельефа. Такие изменения в режиме волнения при искажении масштабов представляют собой погрешности. Очевидно, что погрешности при искажении процессов дифракции в случае криволинейного рельефа усиливаются погрешностями, возникающими при искажении процессов рефракции и трансформации волн.

Искажение масштабов гидравлических моделей при исследовании волновых процессов, в частности, дифракционных, в настоящее время не имеет достаточного научного обоснования. При использовании таких способов масштабирования нарушается подобие волнового режима на модели натурным условиям. Величина допустимых искажений, которая лежит в автомодельной области подобия протекающих процессов, не превышает двух раз для традиционной методики масштабирования параметров волнения (одинаковые горизонтальный и вертикальный масштабы параметров исходной волны).

Характер изменений режима волнения в расчетных точках при искажении масштабов моделирования говорит о том, что необоснованный выбор степени искажения может привести к появлению абсолютно нового режима волнения на модели. Следовательно, при отсутствии обоснованных методов пересчета данных, полученных на искаженных моделях, перенос их в натуру может иметь существенные погрешности.

При отсутствии научно обоснованных методов пересчета данных, полученных на искаженных моделях, необходимо учитывать, что величина погрешностей может существенно отличаться для разных расчетных точек даже в случае, если эти точки располагаются рядом друг с другом.

СЕКЦИЯ 3
«ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ УСТЬЕВЫХ, ПРИБРЕЖНЫХ И ШЕЛЬФОВЫХ РАЙОНОВ»

РАСТИТЕЛЬНОСТЬ ПЛЯЖЕЙ НА ЧЕРНОМОРСКИХ БЕРЕГАХ КРЫМА: УГРОЗЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ СОХРАНЕНИЯ

Агаркова-Лях И.В.

ИПТС, г. Севастополь, Россия
iva_crimea@mail.ru

Ключевые слова: антропогенная нагрузка, береговая растительность, размыв берегов, сохранение пляжей.

Береговая растительность выполняет функцию природной защиты берегов от разрушения морским волнением и экзогенными береговыми процессами. Поэтому сохранение береговой растительности можно рассматривать в качестве одного из способов борьбы с размывом берегов и уменьшением пляжей.

С каждым годом на крымских берегах сокращаются площади пляжной растительности. Это обусловлено как крайне разреженной структурой береговой растительности и невысоким проективным покрытием, так и ее высокой уязвимостью по отношению к антропогенным нагрузкам.

Растительность преобладающей части современных пляжей Крыма активно преобразована человеком. К обычным ранее процессам вытаптывания и замусоривания неорганизованными туристами, в последние годы добавились нарушение биоценозов перемещением авто- и мототранспорта; уничтожение растительности в ходе строительства рекреационных объектов, набережных и берегозащитных сооружений и др.

До настоящего времени наиболее обширные и детальные исследования растительности крымских берегов приведены в работах [Корженевский, Клюкин, 1990 и др.]. Интерес к береговой растительности в последние годы связан с изучением особо охраняемых природных акваторий Крыма [Мильчакова и др., 2015].

Распределение растительности на берегу контролируется характером пляжных отложений и типом берега, рельефом, удаленностью от уреза воды, подверженностью волновым и штормовым процессам и другими экологическими условиями [Агаркова-Лях, 2006].

В настоящее время черноморские пляжи Крыма испытывают огромный антропогенный пресс, связанный с реализацией в регионе ряда масштабных проектов Федеральной целевой программы. В этих условиях естественная растительность пляжей находится под угрозой уничтожения. Для ее сохранения необходимо ограничить виды хозяйствования в пределах морской водоохранной зоны, установить запрет на перемещение по пляжам любого вида транспорта, снизить рекреационную нагрузку на береговую зону.

С целью изучения возможностей восстановления и культивирования пляжной растительности, актуально изучение специфических особенностей и механизмов адаптации обитающих здесь видов. Сохранение естественной пляжной растительности, а в перспективе – искусственное озеленение пляжей могло бы несколько снизить остроту проблемы разрушения берегов и уничтожения черноморских пляжей.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ИТОГИ КОМПЛЕКСНОЙ ЭКСПЕДИЦИИ В УСТЬЕ Р. КОЛЫМЫ В 2019 Г.

Агафонова С.А., Магрицкий Д.В., Фролова Н.Л., Ефимов В.А., Сазонов А.А., Платонов С.В., Василенко А.Н., Попрядухин А.А.

МГУ, г. Москва, Россия
magdima@yandex.ru

Ключевые слова: сток воды, Колыма, устьевая область.

Устье р. Колымы – одно из наименее изученных в России в гидрологическом плане. Тогда как именно в его пределах происходит основные изменения поступающего с водосбора стока воды, наносов и теплового стока. Причин несколько – от большой протяженности устьевого участка (282 км), включающего дельту площадью 3 700 км^2, до впадения в Колыму здесь двух ее самых больших притоков – Омолона и Анюя. Важность знаний об этой трансформации увеличивается, если принять во внимание закрытие в 2000-х гг. стокового поста – замыкающего створа на верхней границе устьевого участка – поста Колымского 1 и серьезные климатически обусловленные и под влиянием водохранилищ изменения гидрологического режима и величины стока крупнейшей реки Восточно-Сибирского моря. Одним из решений получения гидрологических сведений служат комплексные экспедиционные измерения. Впервые в XXI в. они проводились с 26 июля по 16 августа 2019 г. Основной их целью было исследование трансформации стока и мутности воды, тепла и растворенных веществ на участке от впадения р. Омолон до мс Амбарчик на морском побережье.

Программа полевых работ включала установку регистраторов уровня воды, измерение расходов, температуры и электропроводности воды, а также определение высотных отметок и уклонов водной поверхности. Измерения расходов воды проводилось доплеровским акустическим профилографом RiverRay ADCP. Определение высотных отметок – с использованием GNSS-оборудования (в режиме статики и быстрой статики). Работы

проводились на 24 створах рек Колыма, Омолон, Большой и Малый Анюй, в дельте. Вершина последней находится у пос. Черский, где река делится на два рукава: протоку Каменную и протоку Черноусовскую, которая после слияния с протокой Мархаяновской образуется основной левобережный рукав дельты – протоку Походскую.

В период экспедиции, согласно данным метеостанций Колымское и Черский, с 26 по 30 июля преобладали циклональные условия, выпало около 20–25 мм осадков; с 31 июля по 16 августа погода была преимущественно теплой и сухой. За период проведения полевых работ расходы воды в вершине дельты менялись от 7 210 до 10 300 $м^3/с$, средние скорости течения – от 0,39 до 0,61 м/с, амплитуда колебаний уровней воды составила около 70 см.

Измерения расходов воды в вершине дельты проводилось каждые 2–3 дня, что позволило установить распределение стока вода по рукавам. При значениях 8 000–10 000 $м^3/с$ Каменная Колыма забирает около 65 % стока воды, Походская – 35 %. Выше п. Черский в основное русло возвращается сток протоки Стадухинская. Расход воды этой протоки составлял около 8 % (от 7,6 до 9,4) от расхода в створе пос. Черский ниже по течению.

По длине р. Колыма наибольшие средние скорости течения наблюдались в створе выше впадения р. Омолон – 0,78 м/с (1 августа). Средние скорости закономерно снижались к устьевому створу и составляли 0,50–0,55 м/с выше впадения р. Анюй и 0,43–0,45 м/с по основным рукавам дельты ниже пос. Черский.

Ход температуры воды Колымы характеризовался выраженными внутрисуточными колебаниями с амплитудой в вершине дельты от 0,6 до 4,0 °С за сутки. Максимум температуры воды наблюдался 9 августа (16,6 °С), минимум – 4 августа (9,6 °С). Для большинства створов температура воды по фарватеру была на 0,5–1,5 °С ниже, чем у берегов.

Измерения электропроводности показало, что значения приведенной электропроводности для рек Омолон, Мал. и Бол. Анюя значительно ниже, чем на главной реке. На некотором расстоянии ниже впадения притоков сохраняется различие значений электропроводности и температуры по ширине потока.

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке проекта РФФИ №18-05-60021–Арктика.

ЦВЕТЕНИЕ ЦИАНОБАКТЕРИЙ В ЧЕРНОМ МОРЕ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

Алескерова А.А., Кубряков А.А., Станичный С.В., Лишаев П.Н., Медведева А.В.

МГИ, г. Севастополь, Россия
annete08@mail.ru

Ключевые слова: цианобактерии, Landsat, MODIS, Sentinel-2.

В Черном море можно наблюдать цветение цианобактерий. Особенно данному явлению подвержены районы на СЗШ, у дельты реки Дунай и у Днепровского и Днестровского лиманов. Данный вид водорослей является токсичным и отрицательно может повлиять на экосистему данного района.

Первые цветения цианобактерий в мелководной и опресненной северо-западной части Черного моря были замечены в 50–60 гг. XX столетия. Максимально сильное цветение цианобактерий вида Nodularia spumigena наблюдалось в 2010 г.

В данной работе проведен анализ спутниковых снимков с высоким пространственным разрешением по данным спутника Landsat и Sentinel-2.

Сильные цветения цианобактерий были отмечены в 1986–1988 гг. у гирла Днестровского лимана и у устья реки Дунай. После, на продолжении длительного времени, такие сильные цветения не возникали. Обширные по площади цветения также наблюдались в 2009 и 2020 гг.

В данной работе представлен автоматический алгоритм выявления цветений по спутниковым снимкам Landsat-8 и MODIS на основе комбинации спектральных каналов. Отладка алгоритма проводилась на нескольких сценах, в частности были взяты летние снимки за 2010 год в районе Одесской банки.

Исследование выполнено при поддержке госзадания по теме № 0555-2019-0001 и гранта РФФИ 20-35-70034.

РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ УСТЬЯ РЕК ЗАПАДНОГО КАВКАЗА

Андросович А.И.

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

Ключевые слова: температура стока, режим таяния, радиационный баланс.

В рамках модернизации модели формирования речного стока, кратко изложенной в докладе конференции 2019, были дополнены блоки по расчету температуры воды по ходу русла и в устьевом стоке. Формирование бокового притока в основное русло представляется как сумма притоков из разных источников, связанных температурным режимом, осадками и радиационным балансом. В настоящей работе более подробно остановимся на описании источников, определяющихся абляцией снега и льда. Вклад таяния снежного покрова существенен, если вообще имеет место быть, только для рек северной части северо-восточной части черноморского побережья или имеющих питание выше 1000–1200 м. над уровнем моря. В процессе своего существования снежный покров претерпевает целый ряд преобразований, на который влияют атмосферные явления (дождь, ветер, изменения температуры воздуха, освещенность и др.), и начинает отдавать воду в подстилающую поверхность при достижении плотности выше 0,6 г/мм^3.

Начальная плотность свежевыпавшего снега ρ_n зависит от температуры воздуха T_a и определяется по формуле $\rho_n = 0{,}05 + 0{,}00017\, T_a^{1{,}25}$.

Тепловой поток от радиационного нагрева для ледников и снежников, имеющих небольшой уклон $W_r = W_i(1-A_i)(1-Ов)\sin H$, где A_i – альбедо снежного покрова, $О_в$ – облачность в %, H – угол возвышения Солнца.

Уравнение времени η аппроксимируется как $\eta = 9{,}87\sin 2B - 7{,}53\cos B - 1{,}5\sin B$. Примем альбедо как $A_i = A_0 + 0{,}44\exp(-nr)$, где

A_0 – минимальное альбедо снега (0,3), n – число дней после снегопада, r – коэффициент распада {=0,05 при t <0 °С или =0 12 при t>0 °С }. Для свежевыпавшего снега альбедо составляет 0,8–0,95.

Адвективная составляющая на поверхности снега (льда) определялась по эмпирической формуле Кузьмина П.П. $W_т=38,7(0,18+0,098U_{10})(T_2 - T_0)$, где T_2, T_0 –температура воздуха высоте 2 м. и поверхности соответственно (принимается 0 °С).

Механизм накопления и таяния ледников несколько отличается от снежников. Так как формирование ледников происходит за счет уплотнения твердых осадков на большой высоте в основном вне зоны активного водосбора и площадь активного, для питания реки, участка можно определить только приблизительно, например, по спутниковым данным; ледники Кавказа как правило покрыты моренным чехлом имеющим многолетнюю историю, что в свою очередь усложняет определение его толщины. Значительный банк информации по состоянию ледников – это спутниковые снимки (пример источника Earth Resources Observation Science (EROS) Data Center (EDC), GLIMS (Global Land Ice Measurements from Space) и др. Но надо понимать, что эти данные имеют свою специфику, связанную с особенностями орбиты, направлениями и углами обзорности ИСЗ, редкой периодикой обсервации нужного региона и наконец, сложности погоды в зимне-весенний период.

Потоки тепла, радиационный и адвективный, принимаются аналогично со снежниками, но процесс абляции имеет свои особенности.

Распределение тепла в толщине моренного слоя описывается уравнением теплопроводности $\rho_m c_m \partial T_m/\partial t = k_m \partial^2 T_d/\partial z^2$; скорость таяния под моренным чехлом $M=W_m/ \rho_g L_m$, где W_m – поток тепла под моренным слоем, L_m – удельная теплота плавления льда.

Результаты моделирования продолжены на 2018 и 2019 гг. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-45-920065.

О НЕОБХОДИМОСТИ ОЦЕНКИ РИСКОВ СНИЖЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ БЕРЕГОВЫХ СИСТЕМ КРАСНОДАРСКОГО ПРИЧЕРНОМОРЬЯ В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ИХ ХОЗЯЙСТВЕННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Аракелов М.С. [1], Ахсалба А.К. [2], Долгова-Шхалахова А.В. [1], Темиров Д.С. [1]

[1] Филиал РГГМУ в г. Туапсе, г. Туапсе, Россия
[2] ИЭАНА, г. Сухум, Абхазия
Kafirnigan@mail.ru

Ключевые слова: природные и техногенные риски, восточное побережье Черного моря, Краснодарский край, Республика Абхазия, устойчивость береговых систем, ГИС-системы.

Проведенный в рамках исследования аналитический обзор современной научно-технической, нормативной и методической литературы, касающейся данной тематики, а также анализ существующего российского и международного опыта в области комплексной оценки геоэкологических рисков природного и техногенного характера показал, что на сегодняшний день отсутствует единый подход к проблеме комплексной оценки возникающих рисков природного и техногенного характера, оказывающих негативное воздействие на степень устойчивости береговых систем.

Такой подход возможен и реализуем исключительно в рамках построения многоуровневой системы оценки геоэкологических рисков устойчивости береговых систем с разработкой пороговых значений рисков неблагоприятного воздействия.

Прибрежная зона восточного побережья Черного моря как неразрывная совокупность приморской территории и прилегающей акватории – один из наиболее сложных природных регионов, где сформировался сложный комплекс самых разнообразных геосфер и экосистем, а развитие промышленности и сельского хозяйства во многом изменило облик природы.

Сегодня состояние прибрежных экосистем региона вызывает серьезную тревогу, порожденную не только социальными и чи-

сто экономическими, но и природными причинами, и как следствие экологическими и геоморфологическими факторами и сопутствующими рисками.

Результатом исследования стало решение фундаментальной научной проблемы в области экологии и геоморфологии – изучение и систематизация негативных факторов природного и техногенного характера, влияющих на устойчивость береговых систем, разработка эффективной методики оценки геоэкологических рисков природного и техногенного характера с целью выделения, внедрения и развития эффективных технологий минимизации этих рисков при территориальном планировании хозяйственной деятельности, а также методическом обеспечении новых технологических решений прогнозирования геоэкологической ситуации в береговой зоне регионов РФ с применением методов имитационного моделирования. Достижение поставленной цели позволяет создать комплексную модель территориального планирования хозяйственного комплекса, объединяющую прибрежные регионы и прилегающую акваторию, для различных пространственных уровней управления: региональный, районный, локальный.

По результатам комплексной оценки геоэкологических рисков природного и техногенного характера, влияющих на устойчивость береговых систем восточной части Черного моря на основе построения интегральной модели сделан следующий вывод. В целом береговые системы исследуемого региона характеризуются наличием целого комплекса геоэкологических рисков. Наибольшее влияние рисков антропогенного генезиса имеет место в береговой зоне муниципального образования г. Новороссийск и г. Туапсе, что объясняется наличием развитого транспортно-промышленного комплекса. Вместе с тем, вся береговая зона исследуемого региона в определенной мере подвержена влиянию природных и антропогенных рисков. Этот факт необходимо учитывать при планировании развития морехозяйственного комплекса региона.

Исследование было выполнено при финансовой поддержке РФФИ (грант № 19-55-40007 Абх_а) и Академии наук Абхазии (грант № 19-00-34) «Разработка научных основ комплексной оценки геоэкологических рисков природного и техногенного характера для целей обеспечения устойчивого развития береговых систем восточной части Черного моря при планировании хозяйственно-экономического комплекса»).

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПРИБРЕЖНЫХ ВОД ЧЕРНОГО МОРЯ В ГРАНИЦАХ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ НА ОСНОВЕ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Аракелов М.С. [1], Ахсалба А.К. [2], Долгова-Шхалахова А.В. [1], Липилин Д.А. [3,4], Марандиди С.И. [2]

[1] Филиал РГГМУ в г. Туапсе, г. Туапсе, Россия
[2] ИЭАНА, г. Сухум, Абхазия
[3] КубГУ, г. Краснодар, Россия
[4] Кубанский ГАУ, г. Краснодар, Россия
Kafirnigan@mail.ru

Ключевые слова: гидрохимические показатели, концентрации загрязняющих веществ, Краснодарский край, Республика Абхазия, экологические риски.

Экстремальные погодные условия уходящего года напрямую сказались на результатах определения гидрохимических показателей прибрежных вод Черного моря на участке от Анапы до Туапсе.

Черное море является одним из основных рекреационных объектов Краснодарского края и Республики Абхазия, от экологического состояния которого зависит, в том числе, и экономика региона. Основным видом загрязнения акватории являются нефтепродукты. Факторами, влияющими на концентрацию нефтепродуктов в акватории, являются: сток рек, основное черноморское течение, метеорологические условия и антропогенная нагрузка.

Обобщая полученные гидрохимические показатели рекреационных прибрежных вод Черного моря на участке от Анапы до Туапсе, можно сделать вывод, что в настоящий момент значения концентраций аммонийного азота и НУ значительно превышены, а значения БПК5 и pH выходят за границы нормы.

Как показали исследования, в период с декабря по июнь в прибрежной акватории восточной части Черного моря наблюдается процесс снижения уровня солености морской воды. При этом минимальный уровень солености приходится на май, что связано,

как правило, с прохождением паводковых явлений на реках Черноморского побережья региона. К тому же необходимо учитывать тот факт, что речной сток оказывает компенсирующее воздействие, прежде всего, на степень солености морской воды именно в акватории, примыкающей в береговой зоне. Что же касается распределения уровня солености в «открытом море», то он, в основном, изменяется под влиянием ряда других факторов. Что же касается периода с июня по сентябрь, то здесь отмечается обратная ситуация – происходит снижение уровня содержания соли в прибрежных слоях морских вод, что объясняется уменьшением объемов стока рек побережья в летний засушливый период.

Из сравнительного анализа среднемесячного распределения солености можно сделать обобщающий вывод о том, что за последний год в целом показатель солености морских вод снизился в сравнении с прошлым периодом порядка на 2,3 ‰.

В акватории исследуемого региона аварийные разливы нефтепродуктов – явление довольно частое. При этом уровень загрязнения нефтью и нефтепродуктами в открытой части акватории сравнительно невелик, тогда как в прибрежных областях и в устьевых зонах рек побережья он подчас бывает критическим, что совершенно недопустимо. Последствия этих и без того вопиющих чрезвычайных ситуаций усугубляются тем, что в прибрежной зоне сосредоточены основные туристско-рекреационные объекты.

Исследование было выполнено при финансовой поддержке РФФИ (грант № 19-55-40007 Абх_а) и Академии наук Абхазии (грант № 19-00-34) «Разработка научных основ комплексной оценки геоэкологических рисков природного и техногенного характера для целей обеспечения устойчивого развития береговых систем восточной части Черного моря при планировании хозяйственно-экономического комплекса»).

СОРБЦИОННОЕ КОНЦЕНТРИРОВАНИЕ СТРОНЦИЯ И ЦЕЗИЯ ИЗ МОРСКОЙ ВОДЫ

Бежин Н.А., Довгий И.И.

МГИ, г. Севастополь, Россия
dovhyi.illarion@yandex.ru

Ключевые слова: ^{90}Sr, ^{137}Cs, морская вода, сорбенты, выходные кривые сорбции.

Сорбционные процессы десятилетиями используются для извлечения радионуклидов из морской воды. При этом в мировой науке наблюдается эволюция и совершенствование сорбционных материалов. Если в одних из первых работ по извлечению ^{137}Cs из морской воды использовался гексацианоферрат меди, то в настоящее время большее применение получили сорбенты на акрилатном носителе, импрегнированные молибдофосфатом аммония AMP-PAN и смешанным гексацианоферратом никеля-калия KNiFC-PAN. В тоже время высокие степени извлечения ^{137}Cs из морской воды показывают сорбенты на основе целлюлозы и силикагеля. Синтетические цеолиты, титанаты (SrTreat) и силикотитанаты щелочных металлов (IONSIV IE-911), используемые для извлечения ^{90}Sr, имеют низкую селективность и эффективность сорбции ^{90}Sr из морской воды.

Интерес представляют сорбенты, предназначенные для извлечения ^{90}Sr и ^{137}Cs из жидких радиоактивных отходов на основе морской воды. Это резорцинформальдегидная смола и хитозанферроцианидные сорбенты для извлечения ^{137}Cs, сорбенты на основе бирнессита для извлечения ^{90}Sr и др.

Нами проведены исследования извлечения радионуклидов техногенного происхождения ^{90}Sr и ^{137}Cs из морской воды коммерчески доступными сорбентами и сорбентами собственного производства.

Для извлечения ^{137}Cs из морской воды нами изучались сорбенты: Анфеж, Никет, Уникет (производства ООО НПП «Экосорб»), ФСС, фосфорилированная древесина модифицированная марки ФД-М (производства ООО НПП «Эктос-Атом»), Axionit

RCs (производства АО «Аксион – Редкие и Драгоценные Металлы»), Термоксид-35, Термоксид-3А (производства АО ПНФ «Термоксид»), опилки, импрегнированные ферроцианидом меди-калия (полученные в ФГБУН ФИЦ ИнБЮМ РАН).

Для извлечения ^{90}Sr из морской воды нами изучались сорбенты: древесина модифицированная марганцем (ДММ), модифицированный диоксид марганца (МДМ), фосфорилированная древесина марки ФД (производства ООО НПП «Эктос-Атом»), Модикс (производства ООО НПП «Экосорб»), Термоксид-3К (производства АО ПНФ «Термоксид»), сорбционно-реагентный материал на основе силиката бария СРМ-Sr (полученный в ИХ ДВО РАН), а также волокно на основе MnO_2 собственного изготовления.

Были построены выходные кривые сорбции цезия и стронция при различной скорости пропускания исходного раствора. Определены ДОЕ и ПДОЕ сорбентов по стронцию и цезию. Установлено, что максимальное извлечение цезия к моменту появления в фильтрате ионов цезия достигается при использовании сорбентов марки ФД-М, Никет и Уникет, а к моменту уравнивания состава фильтрата с составом исходного раствора – сорбентов Никет и Уникет. Максимальное извлечение стронция к моменту появления в фильтрате ионов стронция достигается при использовании сорбентов марки ФД, Модикс и СРМ-Sr, а к моменту уравнивания состава фильтрата с составом исходного раствора – сорбентов Модикс и СРМ-Sr.

Полученные данные позволяют подобрать наиболее эффективные сорбенты для извлечения и определения концентрации ионов цезия и удельной активности радионуклидов цезия в морской воде.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №19-33-60007 (конкурс «Перспектива»), государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема «Океанологические процессы» № 0827-2019-0003).

РАДИОАНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ^{210}РВ В МОРСКОЙ ВОДЕ

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

[1] МГИ, г. Севастополь, Россия,
[2] СевГУ, г. Севастополь, Россия,
[3] ЦГиЭ в РК и гфз Севастополе, г. Севастополь, Россия
nickbezhin@yandex.ru

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

Ранее нами был получен ряд сорбентов импрегнированного типа на основе различных полифункциональных соединений (краун-эфиров, фосфорилподандов), носителей (стирол-дивинилбензольных, гидрофобизированного силикагеля), разбавителей (октанола-1, нитробензола, спирт-теломера n3, ионной жидкости) и растворителей (хлороформа, метанола). Было установлено, что свинец наилучшим образом извлекается сорбентом на основе фосфорилподанда 1,8-бис[2-(дифенилфосфосфорилметил)феноксиј-3,6-диоксаоктана из нейтральных сред, сорбентом на основе ди-*трет*-бутилдициклогексил-18-краун-6 (ДТБДЦГ18К6) и спирта-теломера n3 из кислых сред, сорбентом на основе ДТБДЦГ18К6 и ионной жидкости $C_4mim^+Tf_2N$ из нейтральных и слабокислых сред.

Было проведено радиоаналитическое определение ^{210}Pb в морской воде с использованием сорбентов импрегнированного типа. Пробы для определения объемной активности ^{210}Pb в морской воде были отобраны в 101 рейсе НИС «Профессор Водяницкий» (14–28 декабря 2017 г.).

Объемная активность ^{210}Pb в прибрежной части Черного моря в зависимости от станции определения составила от 0,41±0,07 до 0,48±0,10 Бк/м^3, в глубоководной в зависимости от станции определения – от 0,56±0,11 до 0,60±0,12 Бк/м^3. Сравнение результатов определения ^{210}Pb с использованием сорбентов импрегнированного типа с литературными данными по другим регионам пока-

зывает одинаковый порядок величин. Концентрации растворенного ^{210}Pb в глубоководной части Черного моря выше, чем в прибрежной. Это связанной с более высокой концентрацией взвешенного вещества в прибрежной части и адсорбцией ^{210}Pb на нем.

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

АДАПТИВНАЯ МОДЕЛЬ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ МОРСКОЙ СРЕДЫ, ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ОБЪЕКТОМ РЕКРЕАЦИИ

Бескоровайный А.С., Игумнова Е.М., Тимченко И.Е.

МГИ, г. Севастополь, Россия
hardy-94@mail.ru

Ключевые слова: экологический ресурс, адаптивная модель объекта рекреации, метод адаптивного баланса влияний, сценарии эколого-экономических процессов рекреации.

Управление объемами потребления и воспроизводства рекреационных ресурсов является одной из задач экологической экономики природно-хозяйственных систем «берег – море». Для безопасного и экономически рентабельного использования объектов рекреации прибрежной зоны моря необходимы численные модели и цифровые информационные технологии, позволяющие прогнозировать и управлять сценариями экономических и экологических процессов рекреации. Особое значение имеет контроль экологической безопасности курорта, основанный на балансе объемов потребления и воспроизводства рекреационных ресурсов.

Цель работы – построить модель экологической безопасности объекта рекреации, позволяющую связать объем и качество рекреационных услуг с риском заражения морской среды сточными водами объекта. Использование подобных моделей позволяет находить компромисс между рентабельностью производства

услуг и расходами на поддержание допустимого уровня загрязнения морской среды.

Разработана схема причинно-следственных связей модели эколого-экономической системы объекта рекреации, в которой экологическое состояние прибрежной морской экосистемы зависит от интегрального баланса скоростей загрязнения морской среды сточными водами объекта и очищения среды от загрязнений. В основу модели положена концепция экологически безопасного стационарного состояния морской экосистемы, при котором эти скорости равны и риск заражения отдыхающих бактериальной, вирусной и другими видами инфекции отсутствует. Это состояние считалось экологическим ресурсом объекта рекреации. В качестве количественной меры этого ресурса использован общий уровень концентрации загрязнения морской среды, представленный взвешенной суммой концентраций вредных для здоровья веществ, определенных санитарно-эпидемиологической службой. Увеличение концентрации загрязнения по сравнению со стационарным (фоновым) значением означало потребление экологического ресурса и соответствующий рост риска заражения отдыхающих. Для слежения за балансом потребления и воспроизводства экологического ресурса в систему управления моделью объекта рекреации были введены агенты управления, принимавшие решения о допустимых объемах рекреационных услуг. Агенты входили в правые части динамических уравнений объекта, построенных методом адаптивного баланса влияний. В этом методе применены однотипные модульные уравнения эколого-экономических процессов, у которых скорости изменения переменных модели связаны с переменными отрицательными обратными связями второго порядка. Это позволило прогнозировать процессы, адаптированные друг к другу и к внешним влияниям, в качестве которых были использованы оценки рекреационной привлекательности объекта, фоновые значения концентраций вредных веществ, стоимость очистки сточных вод от загрязнений, погодные условия и др.

Формальная модель, представленная в конечных разностях, была использована как информационная технология управления эколого-экономической системой объекта рекреации. Были построены сценарии объемов услуг, уровня загрязнения морской

среды, штрафных санкций за загрязнение, интегральных объемов потребления и воспроизводства экологического ресурса. Исследована зависимость рентабельности рекреации от размеров инвестиций в фонд очистки берегового стока объекта от загрязнений.

Таким образом, предложенная адаптивная модель эколого-экономической системы объекта рекреации дает возможность повысить эффективность экологического контроля прибрежных зон моря, что весьма актуально для развития индустрии рекреации в Севастопольском и Крымском регионах.

Работа выволнена при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Севастополя по научному проекту № 18-47-9220001.

ПРИРОДНЫЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ СТОКА КРЫМСКИХ РЕК И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИХ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Богуцкая Е.М., Косицкий А.Г.

МГУ, г. Москва, Россия
katebogutskaya@yandex.ru

Ключевые слова: водные ресурсы, речной сток, дефицит воды, изъятие стока, реки Крыма.

Крымский полуостров является одним из наименее обеспеченных водными ресурсами регионом. Ситуация усугубилась после прекращения подачи воды по Северо-Крымскому каналу. В настоящее время наиболее важный вопрос: можно ли обеспечить все потребности населения и хозяйства, используя воду, формирующуюся в пределах полуострова. В связи с этим, целью настоящей работы явилось выявление природной составляющей среднего многолетнего стока рек Крыма, являющегося мерой возобновляемых водных ресурсов, закономерностей его пространственного распределения и выявление антропогенного изменения.

На территории полуострова в разное время действовало около ста гидрологических постов. Они отражают как природную, так

и антропогенную составляющую стока. Это связано с тем, что большинство рек Крыма зарегулировано прудами, водохранилищами, а также на них происходит изъятие воды для сельскохозяйственных и бытовых нужд. Для выявления природных составляющих стока использованы данные лишь тех постов, выше которых хозяйственная деятельность минимальна.

Средние многолетние расходы воды традиционно возрастают с ростом порядка реки, определяемого методом А. Шайдеггера. По характеру зависимости реки можно объединить в три группы. Большинство рек относится к первой группе, где при одинаковых порядках рек средние многолетние расходы воды получаются меньше, чем на реках остальных групп. Наибольшие значения расходов получаются для рек третьей группы. Гидрологические посты на них расположены вблизи от мощных подземных водоисточников. Вторая группа занимает промежуточное положение. Учитывая, что водоносность территории далеко не единственный, но лимитирующий фактор формирования речной сети, интерес представляет не осредненная зависимость расхода воды от порядка реки, а ее нижняя огибающая. Именно она показывает, какое наименьшее значение среднего многолетнего расхода воды требуется для того, чтобы сформировалась река заданного порядка. Средние многолетние расходы воды рек первой группы незначительно превышают значения, соответствующие нижней огибающей.

При нанесении на полученные зависимости значения средних многолетних расходов воды других гидрологических постов, отражающих не только природные, но и антропогенные условия формирования стока, добавляются еще две группы рек. К четвертой группе отнесены реки, значения расходов воды которых оказались не ниже, чем полученные по уравнению нижней огибающей. Это значит, что сток воды данных рек выше перечисленных гидрологических постов либо не изымается вовсе, либо изъятие его незначительно. К пятой группе отнесены реки, расходы которых оказались существенно меньше нижней огибающей зависимости расхода воды от порядка реки, что свидетельствует об антропогенном изъятии стока. Для некоторых рек величина изымаемой воды может достигать 90 % естественного стока.

Для суммарной оценки возобновляемых водных ресурсов Крымского п-ова по уравнению нижней огибающей зависимости расходов воды от порядков посчитан естественный сток всех Крымских рек. Он получился равен 1450 млн. м^3. До прекращения подачи воды по Северо-Крымскому каналу максимальное водопотребление составляло 1600 млн. м^3, из которых около 700 млн м^3 терялось при транспортировке. Таким образом, местных водных ресурсов может и хватить для покрытия всех потребностей населения и хозяйства, но при рациональном водопользовании.

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ НОРМАТИВОВ ДОПУСТИМОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПО ПРИВНОСУ ХИМИЧЕСКИХ И ВЗВЕШЕННЫХ ВЕЩЕСТВ НА ПРИБРЕЖНЫЕ МОРСКИЕ АКВАТОРИИ ЯПОНСКОГО МОРЯ НА ПРИМЕРЕ БУХТЫ ЗОЛОТОЙ РОГ

Бортин Н.Н., Милаев В.М., Горчаков А.М., Белевцов А.А.

ДальНИИВХ, г. Владивосток, Россия nbortin@mail.ru

Ключевые слова: норматив допустимого воздействия, балансовые модели.

Одной из острейших социально-значимых проблем городов-портов Дальнего Востока является проблема охраны прибрежных морских акваторий и впадающих в них пресноводных объектов, степень загрязнения которых в настоящее время приводит к социальной напряженности населения и требует безотлагательного решения.

Одной из самых загрязненных бухт на Дальнем Востоке является бухта Золотой Рог – объект комплексного водопользования и потому подвержена значительному антропогенному воздействию. С начала образования порта Владивосток до настоящего времени произошла существенная трансформация морфометрических характеристик бухты: площадь бухты уменьшилась на

19 %; объем – на 5 %; средняя глубина, за счет изъятия мелководных прибрежных участков, увеличилась на 1,4 м. Строительство причалов в районе ее береговой полосы и части акватории причальных сооружений привело к ухудшению водообмена вдоль береговой линии. Бухта и впадающие в неё река Объяснения и ручей Буяковка стали приемниками сточных вод предприятий и ливневых вод с урбанизированной территории. Это привело к значительному загрязнению вод и донных отложений бухты. Забор воды из Уссурийского залива для охлаждения агрегатов Владивостокской ТЭЦ-2 и отведение ее в реку Объяснения в объеме 206,6 млн.м^3 в год увеличил водообмен бухты Золотой Рог с 0,3:1 до 3,2:1.

Используя методологические подходы, разработанные в ДальНИИВХ (балансовые модели при наличии и недостаточности гидрохимических и других исходных данных), выполнен расчет нормативов допустимого воздействия ($НДВ_{хим}$) на бухту Золотой Рог. В соответствии с формулировкой понятия $НДВ_{химi}$, его величина выражена в форме: $НДВ_{химi} = (С_н – С_ф)_i \cdot V$, где $С_н$ – нормативы качества воды для морских вод; $С_ф$ – фактическая концентрация загрязняющего вещества (ЗВ) – средняя по акватории бухты за расчетный период; V – объем бухты. Для веществ двойного генезиса за нормативы качества воды приняты предельно допустимые концентрации химических веществ, определенные с учетом регионального естественного (условно естественного) гидрохимического фона.

Нормативный показатель качества воды $С_н$ определялся следующим образом: при $С_{фон} \geq ПДК_{рх}$, $С_н = С_{фон}$; при $С_{фон} \leq ПДК_{рх}$, $С_н = С_{ПДКрх}$.

Выявлен перечень приоритетных ингредиентов, влияющих на экологическое состояние бухты, приносимых со сточными водами предприятий, с ливневыми и талыми сточными водами. К ним относится девять следующих ЗВ: легко окисляемые органические вещества; взвешенные вещества, нефтепродукты, фосфаты, аммонийный азот, фенолы, СПАВ, железо, жиры. Для реки Объяснения, кроме перечисленных выше веществ, добавляются еще и нитриты. Наибольшее негативное воздействие на качество

вод и гидробионты бухты в ливневом стоке оказывают пять ингредиентов: легкоокисляемые органические и взвешенные вещества, нефтепродукты, фенолы и железо.

Воднобалансовые модели включали расчет всех составляющих баланса массы i-го ЗВ в том числе ассимиляционной емкости (AEt).

В результате выполненных расчетов выявлено, что из 9 рассматриваемых ингредиентов нормированию, за счет имевшей место высокой ассимиляционной емкости, подлежат 3 (нефтепродукты, фенолы и аммонийный азот).

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАМСАРСКИХ ТЕРРИТОРИЙ РЕГИОНА ФИНСКОГО ЗАЛИВА БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

Бубличенко Ю.Н. [1], Бубличенко А.Г. [2]

СПбНЦ РАН, г. Санкт-Петербург, Россия
ЗИН РАН, г. Санкт-Петербург, Россия
julandb@mail.ru

Ключевые слова: Финский залив, Рамсарские территории, антропогенное воздействие, деградация экосистем.

Геополитические изменения последних десятилетий вызвали смену приоритетов в Морской политике России, и в первую очередь это коснулось Балтики, где после распада Советского Союза прибрежно-портовая инфраструктура была серьезно нарушена. Развитие новых портовых мощностей в регионе предполагает активное освоение побережья и островов Финского залива: вместе с тем, именно на этой акватории расположены три природные территории, номинированные в рамках Рамсарской конвенции как особо ценные места обитания водоплавающих и околоводных птиц – Кургальский п-ов, архипелаг Березовые острова и заказник «Лебяжий».

В настоящее время фауна позвоночных животных этих территорий насчитывает порядка 120 видов птиц, более 15 видов млекопитающих, 5 видов амфибий и рептилий, 75 видов рыб, многие из которых включены в региональные и международные Красные книги. Здесь пролегают пути весенних и осенних миграций, расположены места стоянок лебедей, морских и речных уток, куликов, встречается исчезающий балтийский подвид кольчатой нерпы (*Pusa hispida botnica*).

Среди основных естественных факторов, лимитирующих стабилизацию экосистем Финского залива называют потепление климата, и действительно, на побережье и акватории в последнее время можно наблюдать явно выраженную экспансию «южных» видов птиц; вместе с тем, для некоторых аборигенных животных, и в первую очередь для балтийской нерпы, ухудшение состояния ледяного покрова в местах размножения оказались катастрофическими, вызвав резкое снижение ее численности. К естественным проблемам, определяющим деградацию прибрежных территорий можно отнести также экзогенные геологические процессы.

Но, главное – морские экосистемы Финского залива испытывают сильнейший антропогенный пресс, выражающийся в загрязнении среды, судовом трафике, запредельно высоком уровне рыболовства, добыче песка и полезных ископаемых, дноуглублении и намывке грунтов. За счет выгодного стратегического положения через регион проходят пути транспортировки нефти: с 1995 г. количество танкеров, на акватории Финского залива увеличилось в 4 раза, и такая тенденция продолжится в будущем; многократно возрастают объемы перевозок сжиженного природного газа и других грузов. Слив балластных вод приводит к появлению видов-вселенцев, роль которых в водных экосистемах востока Финского залива пока не выяснена. Однако наиболее разрушительное воздействие оказала реализация проектов строительства портов, расположенных в непосредственной близости от охраняемых территорий – в Бронке, Усть-Луге, Приморске и Высоцке: с началом строительства замутненность воды залива повысилась в 10 раз, вызвав уничтожение прибрежных донных сообществ, являвшихся кормовой базой для рыб и мигрирующих птиц.

Говоря о негативных антропогенных воздействиях нельзя не упомянуть такой фактор, как беспокойство. Даже кратковременное появление людей или плавсредств в местах обитания животных приводят к оставлению этих территорий, не говоря уже о строительстве или производственных шумах.

Охрана акваторий и прибрежных ландшафтов невозможна в рамках одного субъекта федерации: в связи с этим реализована программа «Интеграция региональных особо охраняемых природных территорий Ленинградской области (Российская Федерация) в европейский контекст», согласно которой все три приморские Рамсарские территории области номинированы в сеть охраняемых районов Балтийского моря.

ПРИРОДНЫЙ ФАКТОР В ПОДВОДНЫХ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ СЕВАСТОПОЛЬСКИХ БУХТ

Букатов А.А.

Херсонес Таврический, г. Севастополь, Россия
abukatov@chersonesos-sev.ru

Ключевые слова: Херсонес Таврический, подводные археологические исследования, абразия, колебания уровня моря, аккумуляция донных наносов, тектонический фактор.

С 30-х годов XX века, при проведении подводных археологических работ в бухтах Гераклейского п-ова, выделился ряд природных факторов, без учета влияния которых невозможна полноценная интерпретация результатов исследований. Это, в первую очередь, волновая абразия, колебания уровня моря, процессы аккумуляции донных наносов, тектонические и климатические факторы. Указанные процессы, влияющие на очертание берегов и глубину акватории, важны для корректной реконструкции утраченных участков территории Херсонеса и его хоры, а также понимания динамики наступления моря за рассматриваемый исто-

рический период. Эту проблему можно решать только при комплексном использовании данных естественных наук и результатов археологических исследований. Данные бурения у 19 куртины оборонительной линии Херсонеса позволяют предполагать, что колебания глубины моря, начиная с момента возведения оборонительных сооружений города на берегу Карантинной бухты, не превышали 2,5 м. Эта величина соответствует толщине грунта, залегающего между основанием оборонительной стены и подстилающим слоем голоценовых песчаных отложений, что позволяло сооружению находиться выше уровня моря. Современный уровень моря практически соответствует основанию этой оборонительной стены.

В кутовой части Карантинной бухты, где процессы абразии наиболее слабы, был выявлен затопленный участок гончарного производства, хорошо датируемый по однотипному археологическому материалу VIII- первой половиной IX в. Этот участок частично находится на берегу, частично под водой, до глубины около 0,9 м. Это несколько большее значение, чем у башен XXVI и XXVII, находящихся на удалении 4–7 м от современного уреза берега, на глубине 0,3–0,5 м и датируемых IX–X в.

Процессы аккумуляции донных наносов влияли на очертания берега и глубину в портовой части Херсонеса. При затоплении части оборонительных сооружений города они становились препятствием, у которого происходило активное накопление песка. В настоящее время это осложняет обнаружение и изучение археологических объектов.

Дно акватории Карантинной бухты сильно изменено за счет активных дноуглубительных работ. Карты начала XIX века дают представление о глубинах до начала современного использования бухты, а также о разрушении входных мысов в результате абразии, где этот процесс наиболее активен.

Археологический материал из бухты Круглой, а также структурное, геологическое и тектоническое сходство бухт Гераклейского п-ова позволяет предполагать возможность использования ее акватории в античное и средневековое время в качестве одной из гаваней для стоянки и разгрузки судов. Судя по находкам на отмели в центральной части бухты, можно предположить, что постройки на месте «островка» могли существовать в римское и

средневековое время, что вполне вероятно, связано с колебаниями уровня моря. Это перекликается с ситуацией в Карантинной бухте, где башни средневековой оборонительной линии Херсонеса (XXVI, XXVII и «ромбовидная» башня), датируемые IX–X вв. в настоящее время частично или полностью затоплены морем. Отметим, что при археологической датировке этих событий, интерпретируемая реакция на воздействие природных факторов должна рассматриваться только с учетом возможной «инерции» за счет влияния экономических и политических процессов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №18-05-80028.

ОЦЕНКА ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫХ ПОТОКОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В АЗОВСКОЕ МОРЕ

Буфетова М.В.

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

Ключевые слова: тяжелые металлы, свинец, кадмий, медь, цинк, загрязнение, потоки, морская экосистема.

Азовское море относится к морским экосистемам повышенного экологического риска с интенсивной антропогенной деятельностью.

Целью исследования было разработать критерии нормирования антропогенного воздействия на акваторию Азовского моря по потокам депонирования в толщу донных отложений наиболее токсичных тяжелых металлов – свинца, кадмия, меди и цинка.

Тяжелые металлы являются консервативными загрязнителями. Поэтому основные механизмы самоочищения морской среды от подобных загрязнителей связаны только со снижением их концентраций в воде за счет их миграции в смежные акватории и с седиментационной элиминацией в донные отложения.

В работе были использованы данные, предоставленные ФГУ «Азовморинформцентр» по концентрации тяжелых металлов в

воде и донных отложениях в 2010–2018 гг. в рамках сотрудничества с кафедрой экологии и природопользования МГРИ. Пробы воды и донных отложений отбирались на 32 станциях. Измерения проводились в испытательной лаборатории ФГУ «Азовморинформцентр». Также для установления межгодовых трендов использованы литературные данные по содержанию свинца, кадмия, меди и цинка в воде и донных осадках Азовского моря в 1986–2009 гг.

В Азовском море были выделены три бокса, отличающихся по своим морфометрическим и гидрологическим характеристикам: Таганрогский залив, собственно море и Керченский пролив с предпроливьем.

В штормовых условиях наблюдается некоторая ремобилизация загрязняющих веществ в водную толщу за счет взмучивания донных осадков. Но исследования их содержания в колонках донных отложений показали, что основная часть загрязняющих веществ достаточно прочно депонируется в грунтах. Поэтому оценки депонирования загрязняющих веществ в донные отложения могут с достаточной степенью адекватности характеризовать седиментационное очищение вод.

Концентрации свинца, кадмия, меди и цинка в различные годы превышали предельно-допустимую концентрацию в воде Азовского моря, что указывает на неблагоприятную экологическую обстановку в водоеме. Анализ скорости осадконакопления и содержания тяжелых металлов в донных осадках показал, что седиментационные процессы протекают на сезонных и годовых масштабах времени, а потоки депонирования тяжелых металлов являются значимым фактором седиментационного самоочищения вод. Именно поэтому оценки потоков депонирования тяжелых металлов могут использоваться для целей экологического нормирования.

Из условий стационарности системы тяжелый металл в воде – тяжелый металл в донных отложениях можно определить предельные потоки депонирования свинца, кадмия, меди и цинка в донные осадки, при которых их концентрация в воде не превысит предельно-допустимую.

В результате расчетов было получено, что предельный поток свинца, кадмия, меди и цинка в Таганрогский залив составляет 234, 15,7, 816, 1595 т/год, соответственно.

В собственно море предельный поток свинца не должен превышать 598 т/год, кадмия – 40,1 т/год, меди – 2086 т/год и цинка – 4078 т/год.

Для района Керченского пролива с предпроливьем оценка предельно допустимого потока составила для свинца 20,5 т/год, для кадмия – 1,3 т/год, для меди – 70,2 т/год и для цинка – 137,3 т/год.

ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ И ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ И В ПРИУСТЬЕВОЙ ЗОНЕ ДУНАЯ

Валле А.А., Полонский А.Б.

ИПТС, г. Севастополь, Россия

Ключевые слова: кислородный режим, гидрологические особенности, температура, соленость, северо-западная часть Черного моря, приустьевой район Дуная.

Изучение изменчивости гидрохимических и гидрологических характеристик северо-западной части Черного моря актуально в связи с постоянно обостряющимся антропогенным загрязнением в данном районе.

Известно, что растворенный кислород является одним из важнейших показателей качества водной среды, поэтому изучение этого параметра очень важно. Анализ сезонной изменчивости содержания кислорода, температуры, солености в верхнем слое в северо-западной части Черного моря и в устье Дунай с 1955 по 2015 гг. не проводился.

Получены внутригодовые изменения температуры, солености и кислорода в прибрежной зоне Черного моря, которые имеют хорошо выраженный сезонный характер. Анализ показал, что Дунайские воды существенно охлаждают поверхностный слой в

зимние месяцы. В январе температура в устье Дуная на 2 °С ниже, чем на северо-западном шельфе, а в декабре на 4 °С в устье Дуная температура воды ниже.

По многолетним среднемесячным данным солености поверхностные воды в приустьевом районе Дуная сильно распреснены. Такое сезонное изменение солености связанно с объемом стока и направлением ветра в поверхностном слое, которое изменяет соленость в течение года от 12,5 ‰ – 17,5 ‰. В С-З шельфе воды не так сильно распреснены (16 ‰ – 17,7‰). Осенне-весенний период характеризуется осадками, которые превышают объем материкового стока, что приводит к распреснению в приустьевой зоне Дуная. В весенний период наблюдаются паводки и сток, которые несут слабосоленые воды, а для летнего периода характерно испарение, что так же приводит к пониженному содержанию солей в поверхностных водах. На динамику и термохалинную структуру вод оказывают сильное влияние ветровой режим, а также сгонно-нагонные явления, которые достаточно активны в приустьевом районе Дуная.

Полученное сезонное распределение кислорода в приустьевой зоне Дуная показывает повышенное содержание кислорода в весенне-летний период по сравнению с С-З шельфом в связи с обильным стоком и паводками, а также активное потребление фитопланктоном азота, кремния, фосфора и др. веществ, что приводит к дополнительному образованию кислорода в процессе фотосинтеза. В зимне-осенний период распределение кислорода в приустьевой зоне Дуная и в С-З шельфе совпадают, кроме января месяца, где скорее всего перемешивание в С-З части сильнее, что приводит к насыщению вод кислородом из атмосферы.

Получен гармонический анализ сезонного хода температуры, солености, кислорода в приустьевом районе Дуная, который показал, что годовая гармоника температуры описывает 98,7 % общей дисперсии сезонной изменчивости температуры; кислорода – 92,5 %; полугодовая гармоника солености описывает 60,5 % общей дисперсии сезонной изменчивости солености. В шельфовой зоне годовая гармоника температуры описывает 97,2 % общей дисперсии сезонной изменчивости температуры; кислорода – 96 %; солености – 84,8 % общей дисперсии сезонной изменчивости солености.

Таким образом, анализ многолетних исследований в приустьевой зоне Дуная и С-З шельфа на протяжение 60 лет позволил уточнить сезонные особенности трансформации речных вод на С-З шельфе и в приустьевой зоне Дуная.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ НАД Г. СЕВАСТОПОЛЕМ

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

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

Ключевые слова: атмосфера, микрочастицы, концентрация, PM2,5, PM10, ПДК.

Под атмосферным пограничным слоем понимается переходная зона от подстилающей поверхности к свободной атмосфере. Толщина его изменяется от нескольких десятков метров до нескольких километров. Именно в пограничном слое происходит наиболее полное перемешивание примесей, поступающих от источников загрязнения, здесь явно проявляется влияние подстилающей поверхности на распределение метеоэлементов.

Актуальность проблемы загрязнения атмосферного воздуха крупных городов не вызывает сомнений. В том числе это относится и к присутствию в атмосфере взвешенных крупно- и мелкодисперсных частиц. Твердые частицы – это сложная смесь сажи, дыма, металлов, нитратов, сульфатов, пыли, воды, резины, асфальта и т. д. Они имеют различные размеры и происхождение, как природное, так и антропогенное. Первичными источниками этих частиц в атмосфере являются выбросы от автотранспорта и процессов горения (лесные пожары, сжигание биомассы, а также, к примеру, дым от процесса приготовления пищи), выбросы от промышленных предприятий, пыль от строительных площадок. Вторичные источники – химические реакции в атмосфере.

Цель работы – изучить содержание частиц PM10 и PM2,5 в атмосферном воздухе г. Севастополя и его изменение, а также возможные причины этого изменения.

За время проведения измерений среднесуточная концентрация частиц PM10 и PM2,5 лишь в единичных случаях превышала ПДК (ПДКс.с.). Один из таких случаев был зафиксирован 26 марта 2020 года, когда концентрация PM10 составила 0,202 мг/м^3, что практически в 3,5 раза превышало значение ПДК. При анализе информации об обратных траекториях воздушных масс было определено, что именно в этот день был зафиксирован интенсивный пылевой перенос. По всей видимости перенос пыли с востока и стал причиной присутствия в атмосферном воздухе г. Севастополя повышенного содержания частиц PM10.

Средние значения максимальных разовых концентраций PM10 и PM2,5 не превышали установленных нормативов содержания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе.

Работа выполнена в рамках темы № 0827-2019-0004, проекта РФФИ № 19-05-50023 Микромир «Изучение процессов и факторов формирования загрязнения атмосферного воздуха мелкодисперсными частицами в г. Севастополе».

ЭКСТРЕМАЛЬНОЕ ЦВЕТЕНИЕ ЦИАНОБАКТЕРИЙ В АЗОВСКОМ МОРЕ И ЮЖНОЙ ЧАСТИ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

Василенко Н.В., Медведева А.В.

МГИ, г. Севастополь, Россия.
nadinkot.nk@gmail.com

Ключевые слова: Азовское море, Каспийское море, цианобактерии, цветение.

Азовское и Каспийское море имеют общие черты – выраженный прогрев вод в летний сезон и невысокую соленость. Эти фоновые условия являются благоприятными (в совокупности с иными факторами) для возникновения экстремальных цветений цианобактерий. Так, за период с 2003 по 2019 гг. в Каспийском

море (в южной части) случаи экстремальных цветений цианобактерий регистрировались в 2005, 2008, 2009, 2010, 2017 и 2018 гг., а в Азовском море (исключая Таганрогский залив) – с 2005 по 2010 гг., в 2012 и 2013 гг.

В настоящей работе на основе использования оптических данных дистанционного зондирования среднего и высокого разрешения (SeaWIFS OrbWiew, MODIS Aqua и Terra, AVHHR NOAA, OLI Landsat-8, MSI Sentinel-2) дается характеристика случаям экстремального цветения цианобактерий в Азовском и Каспийском морях в период с 2003 по 2019 гг. и факторам, способствующим возникновению и эволюции цветений. В частности, даются пространственно-временные характеристики цветений, оценивается роль прогрева вод, речного стока и влияние ветра. В результате получено, что экстремальные цветения цианобактерий в Азовском и южной части Каспийского моря имею схожие фоновые условия. В частности, при оценке пространственного распределения наблюдается возникновение экстремальных цветений цианобактерий в областях влияния речных стоков (основных источников поступления биогенных элементов).

В случае интенсивного развития цианобактерий регистрируются изменения температуры вод в области цветения за счет увеличения поглощения солнечной радиации в поверхностном слое моря: температура этих вод превышает воды вне области цветения на 0,5–3 °С.

В обоих морях эволюция цветения в существенной мере определяется влиянием ветра: экстремальные цветения цианобактерий возникают и развиваются при малых скоростях ветра (до 5–7 м/с), при высоких скоростях, как правило, прекращают свое существование в результате турбулентного перемешивания поверхностного слоя вод.

Также на развитие экстремального цветения цианобактерий оказывает количество поступающей фотосинтетически активной радиации: при высоких значениях характерный для акваторий фитопланктон подвергается процессам фотоингибирования, тогда как цианобактерии продолжают интенсивно развиваться в поверхностном слое вод.

Исследование выполнено при поддержке госзадания по теме № 0555-2019-0001 и гранта РФФИ 20-35-70034.

ДИНАМИКА АНТРОПОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИБРЕЖНЫХ ВОД В СВЯЗИ С АКТИВИЗАЦИЕЙ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В СЕВАСТОПОЛЬСКОМ РЕГИОНЕ

Вержевская Л.В., Миньковская Р.Я.

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

Ключевые слова: антропогенное загрязнение, биогенные вещества, загрязняющие вещества, морское природопользование.

Прибрежные акватории Севастопольского региона подвергаются достаточно интенсивной антропогенной нагрузке, при этом на экологическое состояние акватории наряду с природными факторами, оказывают влияние выпуски муниципальных канализационных коллекторов. С целью выявления вклада этих источников в загрязнение прибрежной зоны и тенденций концентрации и поступления биогенных и загрязняющих веществ был проанализирован массив многолетних данных (1998–2018 гг.) Главного управления природных ресурсов и экологии г. Севастополя. В результате выполнена современная оценка качества сточных вод, сбросов биогенных (соединения минерального азота и фосфора) и загрязняющих (поверхностно-активные вещества и нефтепродукты) веществ в прибрежную зону Севастополя. Установлено, что причинами положительных тенденций концентрации нефтепродуктов и аммонийного азота являются прирост населения и увеличение транспортной нагрузки, отмечающиеся с 2014 г. В структуре сбросов преобладают нитраты и аммонийный азот.

Подходы к оценке количественных и качественных характеристик, освещенных в данном исследовании, планируется использовать в исследовании экологического и рекреационного состояния береговой зоны. Полученные результаты могут быть использованы для расчета составляющих баланса растворенных веществ, оценки антропогенной нагрузки на акватории, их ассими-

ляционной емкости, а также регулирования хозяйственной деятельности и усовершенствования природопользования для устойчивого развития региона.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2019-0004.

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНФИГУРАЦИИ ГОРОДСКОЙ ЛИВНЕВОЙ КАНАЛИЗАЦИИ В БУХТЕ ЭСТУАРНОГО ТИПА НА СОСТОЯНИЕ БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ

Вержевская Л.В. [1], Рябцев Ю.Н. [1], Цыганова М.В. [1], Рауэн Т.В. [2], Багаев А.В. [1]

[1] МГИ, г. Севастополь, Россия
[2] ИнБЮМ, г. Севастополь, Россия
ludmyla.ver@mhi-ras.ru

Ключевые слова: Севастопольская бухта, ливневые стоки, сопряженная задача, ГИС.

Рассмотрена задача о распространении загрязняющей примеси в районе Севастопольской бухты. В качестве природоохранного объекта выбраны рекреационная зона пляжа на мысе Хрустальный и в Ушаковой балке, Артбухта и набережная центра города, мидийная ферма в районе южного мола, набережные у Михайловской батареи и у пл. Захарова. На первом этапе решена сопряженная задача переноса примеси и вычислена функция влияния. На следующем этапе решены несколько вариантов прямой задачи (при различных размещениях источников примеси) и проверено соответствие результатов решений прямой и сопряженной задач.

Задача переноса примеси решалась численно с применением конечно-разностных схем. В расчетах была использована сетка с шагами по горизонтали Δx = 39,5 м, Δy = 55,5 м. По вертикали принималось неравномерное разбиение по слоям. Коэффициенты горизонтальной и вертикальной диффузии примеси принимались

постоянными: $\mu = 10^2$ см^2/с, $\kappa = 0{,}1$ см^2/с. Коэффициенты вертикальной вязкости и рэлеевского трения считались также постоянными: $A = 20$ см^2/с, $r = 10^{-4}$ 1/с. Параметр Кориолиса $f = 10^{-4}$ 1/с. Течения рассчитывались в рамках линейной баротропной модели, коэффициенты турбулентной диффузии полагались постоянными.

Расчеты переноса примеси в прямой и сопряженной задачах проведены на время $T = 2$ сут с шагом $\Delta t = 1$ мин. Устойчивость численной схемы обеспечивалась подбором шага по времени. Мощность источника принималась равной 1 т/мин. Изменчивость по направлению и скорости ветра в районе Севастопольской бухты уточнялась по архиву данных на метеостанции на м. Павловский (http://rp5.ru). Итоговая функция влияния была рассчитана как линейная взвешенная сумма функций влияния, отвечающих 8 расчетным румбам. Веса соответствовали частоте повторяемости соответствующего направления ветра.

По результатам моделирования, с использованием ГИС QGIS и данных о расположении ливневых стоков городской канализационной сети, выявлены районы, размещение в которых источников загрязнения приведет к нарушению санитарных норм в рассматриваемой природоохранной зоне при средней климатической ветровой ситуации.

В центральной части города наиболее подвержена загрязнению от выпусков в Артбухте акватория самой бухты. К выбранным областям (набережная Приморского бульвара и пляж Хрустальный), согласно расчетам, попадает менее 20 % от общей сброшенной взвеси из стоков на берегах Артбухты. Кроме того, сопоставимый вклад дают источники вдоль набережной Приморского бульвара.

В районе пляжа Ушакова балка ситуация наименее благоприятная. Этот район открыт для течений в основной части бухты и именно здесь наиболее сильное влияние (до 90 %) оказывают аварийные выпуски в прилегающих областях (у причала и за яхтклубом). Кроме того, около 20 % приходящей взвеси может поступать из источников с противоположной части Севастопольской бухты: выпусков в Инженерной, Доковой бухте и бухте Голландия.

Аварийный выпуск сточных вод в районе пл. Захарова сильнее всего оказывает влияние на качество воды в районе причала паромов и расположенных там же нескольких «диких» пляжей.

На качество воды у предлагаемого для защиты участка береговой линии в районе набережной Михайловской батареи может влиять выпуск сточных вод ливневой канализации в бух. Старосеверная, при этом максимальное влияние (до 100 %) достигается при расположении стока непосредственно в восточной части рассматриваемой области.

Мидийной ферме в районе Южного мола может быть нанесен вред от выпуска сточных вод без очистки, находящегося на противоположной стороне Мартыновой бухты, при этом концентрация до 50 % от общего количества взвеси в бухте способно попасть в область расположения мидийной фермы.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №20-45-920019.

ОПЫТ ПРОВЕДЕНИЯ МОЛОДЕЖНОЙ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ НА БОРТУ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО СУДНА – НА ПУТИ К «ПЛАВУЧЕМУ УНИВЕРСИТЕТУ»

Волкова И.И. [1], Деменина А.Б. [2], Шаплыгина Т.В. [1]

[1] БФУ, г. Калининград, Россия
[2] ИО РАН, г. Калининград, Россия
allademenina@mail.ru

Ключевые слова: международная молодежная летняя школа, образование, плавучий университет, Балтийское море.

Океанографическое направление в системе образования Калининградского региона берет начало с 1971 г., когда в университете была создана кафедра географии океана; с 2013 г. она приобрела статус базовой. На современном этапе развитие направления в регионе связано с тесной интеграцией академической науки (АО Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН) и образовательного процесса (Балтийский федеральный университет им.

И. Канта). В настоящее время в результате этого сотрудничества успешно реализуются сквозные траектории: бакалавриат-магистратура-аспирантура. За период функционирования базовой кафедры 64 бакалавра, магистранта и аспиранта приняли участие в 36 экспедициях в Атлантический океан, Арктику, Антарктиду и др.; 8 выпускников кафедры защитили кандидатские диссертации. С 2018 г. начала проводиться международная летняя школа.

II Международная молодежная летняя школа «Береговая зона моря: в исследования, управление и перспективы» прошла с 29 августа по 7 сентября 2019 г. в рамках 49-го научного рейса НИС «Академик Сергей Вавилов» в Балтийском море в исключительных экономических зонах России, Швеции и Польши.

Школа организована БФУ им. И. Канта в рамках программы 5–100 в тесном партнерстве с АО ИО РАН. Слушателями школы стали 28 бакалавров, магистрантов и аспирантов естественнонаучных направлений БФУ им. И. Канта, Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева, Клайпедского университета, Брестского государственного университета им. А.С. Пушкина и Института природопользования НАН Беларуси. В работе школы приняли участие 15 лекторов из разных городов России (Калининград, Москва, Санкт-Петербург, Нижний Новгород), Литвы.

Программа школы включала лекции, семинары, мастер-классы, творческие конкурсы, деловые игры и др. Уникальность школы проявилась в ее научно-образовательной направленности, в возможности всесторонне ознакомиться в режиме реального времени с ходом научных исследований, проводимых в рамках плановых комплексных экспедиционных исследований АО ИО РАН по изучению природных комплексов Балтийского моря в условиях усиливающейся антропогенной нагрузки и изменения климата с учетом влияния Атлантического океана. Через мастер-классы по гидрохимическим и гидрофизическим, метеорологическим, геологическим и геоакустическим исследованиям слушатели имели возможность приобрести новые компетенции. Осуществлялся принцип TTR (Training-through-Research) – обучение через исследования. По итогам Школы всем участникам были вручены сертификаты.

Успешный опыт интеграции науки и образования в области океанологии имеет перспективу дальнейшего развития, в частности, реализацию на постоянной основе проекта «Плавучий университет».

ТЕРРИТОРИАЛЬНЫЙ ТУРИСТСКО-РЕКРЕАЦИОННЫЙ КОМПЛЕКС АНАПСКОЙ ПЕРЕСЫПИ

Волкова Т.А., Пикалова Н.А.

КубГУ, г. Краснодар, Россия
mist-next4@inbox.ru

Ключевые слова: туристско-рекреационный комплекс, Анапская пересыпь, туризм, Анапа, Темрюкский район, рекреационная нагрузка, деградация ландшафта, уникальный береговой ландшафт.

Территория Анапской пересыпи включает в себя Анапскую (Витязевскую) косу, Кизилташскую и Голенькую косы, а также Витязевский, Кизилташский и Бугазский лиманы. Территория, протяженностью около 40 км шириной от 60 до 1 600 м, протянулась узкой полосой от устья реки Анапка в г. Анапа до района оз. Соленое на Таманском п-ове. Фактически, Анапская пересыпь – это аккумулятивное песчаное тело, расположенное в северо-западной части российского побережья Черного моря и состоящее из кварцевого песка с примесью измельчённых раковин. Муниципальное образование город-курорт Анапа является курортом федерального значения. Постепенно локальный туристско-рекреационный комплекс (ЛТРК) Анапы со временем соединяется с ЛТРК Черноморского побережья Темрюкского района (поселок Веселовка и поселок Волна), образуя территориальный туристско-рекреационный комплекс (ТТРК) Анапской пересыпи. Ежегодно, в пределах территории, отмечается увеличение рекреационной нагрузки, что в конечном итоге приводит в деградации природных компонентов, являющихся базовым рекреационным

ресурсом территории. Бесспорно, что состояния Анапской пересыпи во многом зависит дальнейшее развитие данной территории как рекреационного региона.

На сегодняшний день именно рекреационная деятельность является одной из наиболее негативно влияющих видов антропогенной деятельности в пределах Анапской пересыпи.

На территории ТТРК Анапской пересыпи можно выделить 4 точки роста, характеризующиеся значимой и возрастающей рекреационной нагрузкой: г. Анапа; пос. Витязево; ст. Благовещенская; с. Веселовка. В пределах исследуемой зоны наибольшей популярностью среди рекреантов пользуется территория города-курорта Анапа, территории Темрюкского районы значительно отстают количеству принятых туристов. Одной из проблем в процессе определения реальной рекреационной нагрузки на территорию в настоящее время является значительное количество средств размещения, не зарегистрированных в качестве гостиниц. Одним из наиболее негативных видов воздействия является организация автокемпингов и автостоянок, что ведет к нарушению естественного ландшафта, деградации растительных сообществ, скоплению ТБО, ухудшению санитарно-гигиенической обстановки. Значительный ущерб состоянию ландшафтов наносит передвижение на кроссовых мотоциклах и квадроциклах – неконтролируемая рекреационная деятельность, организованная с нарушением действующего Закона Краснодарского края от 05.07.18 №3818-КЗ. Также значительный ущерб наносится в процессе строительства капитальных зданий, возведения временных сооружений и организации доступа рекреантов к пляжам. В целом, рекреационное использование территории приводит к нарушению строения песчаных дюн (площадь воздействия ежегодно увеличивается), сокращению растительного покрова, загрязнению биогенными и абиогенными элементами. Таким образом решение вопроса нормирования рекреационной нагрузки в ближайшее время может стать острой необходимостью для сохранения уникальных береговых ландшафтов, расположенных в пределах ТТРК Анапской пересыпи.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ (проект № 20-17-00060).

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ ПОДВОДНОГО АРХЕОЛОГИЧЕСКОГО НАСЛЕДИЯ В АКВАТОРИИ СУДАКСКОЙ БУХТЫ

Горбунов П.А.

ЧЦПИ, г. Симферополь, Россия
pauels@mail.ru

Ключевые слова: кораблекрушение, керамический материал, ареал распространения материала, скопление якорей.

Акватория Судакской бухты в Крыму считается одним из перспективных районов для проведения подводных археологических исследований. На морском дне имеется разнообразный археологический материал – в первую очередь керамика. Однако следует учитывать, что находки средневековой керамики хотя и свидетельствуют о возможных кораблекрушениях, однако говорить о конкретных объектах пока приходится мало, поскольку гидрофизическое и биологическое влияние на малых глубинах приводит к полному разрушению деревянных конструкций корпусов кораблей.

Проблемы идентификации кораблекрушений как объектов подводного археологического наследия весьма актуальны. Несмотря на ряд успехов в области проведения подводных разведок, многие исследователи допускают ряд методических ошибок. Это, в первую очередь, касается критериев определения кораблекрушения. Очень часто под кораблекрушением понимается простое скопление археологического материала на морском дне, в основном керамики, что в итоге приводит к выводам, будто всё побережье Крыма усеяно остатками кораблекрушений. Такие примеры показывают слабую методическую базу определения кораблекрушения как объекта археологического наследия.

Тем не менее, одним из немногих, наиболее точно идентифицированных кораблекрушений является средневековое кораблекрушение XIII в., на дне бухты Зеленая возле пгт Новый Свет (за-

падная часть Судакской бухты). Письменные итальянские источники и археологический материал дают все основания считать, что здесь найдены остатки пизанской торговой галеры, сожжённой после морского сражения с генуэзцами. Новосветовское кораблекрушение находится на достаточно малых глубинах (до 14 м), и вследствие действия природных факторов, деревянные конструкции корпуса корабля не сохранились. Во время исследований в предшествующие годы были обнаружены лишь отдельные небольшие фрагменты древесины, сопутствующие фрагменты такелажа и корабельных гвоздей. Однако относительно хорошо сохранился груз судна, представленный керамическим материалом, преимущественно амфорной тарой, столовой поливной посудой и другими предметами материальной культуры. Археологический материал разбросан по поверхности морского дна, а также находится в слое грунта.

Новосветовское кораблекрушение широко известно в научном сообществе. Однако необходимо отметить, что керамический материал в этом месте бухты относится к трем разным хронологическим периодам. Здесь можно выделить три хронологических периода, а материал потенциально отнести к трем разным кораблекрушениям. Исследователями выделяются ареалы распространения археологического материала с данных кораблекрушений. Причем, все три ареала накладываются друг на друга и керамический материал разных периодов часто встречается вперемешку. То же самое относится и к материалу, залегающему в грунте – разновременная керамика перемешана в слоях. В целом, мы можем фиксировать здесь поврежденный культурный слой.

На дне Судакской бухты напротив горы Крепостной находится еще один интересный объект – место скопления средневековых железных якорей. Идентификация данного скопления также вызывает немало вопросов. Первая версия – это часть якорной стоянки средневекового Судака, поскольку якоря расположены напротив портовой части средневекового города. Но другая версия, которую нельзя исключать – эти якоря являются частью кораблекрушения.

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОДОРОДНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ВОД ПРИУСТЬЕВОЙ АКВАТОРИИ У Р. ДУНАЙ И ЕГО ВНУТРИГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ

Гребнева Е.А.

ИПТС, г. Севастополь, Россия
Lenagrebneva12@gmail.com

Ключевые слова: pH, Черное море, приустьевая акватория реки Дунай, сезонных ход, поле pH.

Северо-западная часть Черного моря (СЗЧМ) – гипертрофная акватория, в которую впадают четыре крупные реки – Дунай, Днепр, Днестр и Южный Буг. Дунай – наиболее полноводная река Черноморского бассейна, на него приходится около 80 % речного стока в СЗЧМ и около 36 % естественного притока пресных вод Черного моря. Основное влияние на колебания стока р. Дунай оказывают изменения климатических условий над площадью его водосбора. Годовой сток в полноводные годы достигает 313 км^3, а в засушливые – может снижаться до 123 км^3. Это приводит к значительным межгодовым вариациям гидролого-гидрохимических характеристик вод в приустьевой зоне моря. В тоже время на качественные характеристики этих вод (особенно за последние тридцать лет) оказывают принципиальное влияние развитие промышленности крупных городов, расположенных в бассейне реки, а также сельскохозяйственная деятельность. Это проявляется в эвтрофикации вод СЗЧМ и приводит к существенным изменениям гидрохимических и фитопланктонных характеристик. Необходимо подчеркнуть, что этот район подвержен влиянию не только стока Дуная, собирающего отходы промышленности и жизнедеятельности десяти государств Европы, но также стоков Днепра, Южного Буга и Днестра. Вместе с тем, взморье Дуная представляет собой зону постоянного взаимодействия речных и морских вод, в результате которого изменяются их свойства, образуются водные массы с новым качеством.

Формирование гидрохимических условий взморья происходит под воздействием сложных гидрофизических, гидродинамических процессов характерных для этого района. Поэтому приустьевое взморье Дуная представляет собой одно из самых сложных для исследования гидролого-гидрохимического режима районов Черного моря. Поступление значительного количества биогенных элементов с пресноводным стоком обеспечивает обильную кормовую базу для фитопланктона в течение всего года. В период максимального развития эвтрофирования, концентрация биогенных элементов возрастает в десятки раз. В результате, в шельфовой зоне регулярно отмечается неконтролируемые локальные повышения биопродуктивности, так называемое «цветение», последствием чего является возникновение гипоксии в теплый период года, снижение биоразнообразия и рыбных запасов. Именно по этой причине значительное внимание исследователей биогеохимического режима Черного моря было сосредоточено на акватории приустьевых областей СЗЧМ. Описанная особенность приустьевого района СЗЧМ выражается и в значительном возрастание размаха колебаний величины pH (одного их важнейших гидрохимических показателей вод) по сравнению с открытой частью Черного моря.

На основе массива архивных данных Института природно-технических систем за период с 1960 по 2000 гг. описаны крупномасштабные структуры поля pH и сезонный ход в акватории приустьевого взморья р. Дунай. Пространственные неоднородности величины pH акватории исследования устанавливаются биологическими процессами в зоне смешения речных и морских вод, а в непосредственной близости к дельте р. Дунай характеристиками речной воды. Диапазон климатических значений величин pH изменяется в пределах 8,42–8,47 при среднем по полю 8,46 ед. pH. Максимальные величины (8,45–8,47 ед. pH) сосредоточены в районе трансформации и перемешивания речных и морских вод. Вблизи дельты р. Дунай (в области превалирования речных вод) располагаются более низкие величины 8,42–8,44 ед. pH. Сезонная динамика pH в значительной степени определяется сезонным циклом в развитии биопродукционных процессов, зависящих от температурных условий и вертикальной стратификации, на которые существенным образом влияет объем стока речных вод. От

зимы к лету начинается постепенное увеличение значений, а затем падение к осени. Размах осредненной сезонной изменчивости величины pH составляет 0,22 ед. Корреляционная функция, характеризующая влияние расходов р. Дунай на величину pH, достигает максимума при временном сдвиге (запаздывании pH) на два месяца.

Работа частично выполнена при поддержке РФФИ (грант № 18-45-920014).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БРОМА КАК ИНДИКАТОРА ПАЛЕОСОЛЁНОСТИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ БАЛТИЙСКОГО, БЕЛОГО И ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО МОРЕЙ

Григорьев А.Г., Жамойда В.А.

ВСЕГЕИ, г. Санкт-Петербург, Россия
Andrey_Grigiryev@vsegei.ru

Ключевые слова: бром, хлор, палеосоленость, донные отложения, палеогеография, рентгенофлуоресцентный анализ.

В процессе своего развития акватории ряда современных морей и озер прошли несколько исторических стадий, попеременно представляла собой то связанную с океаном открытую морскую систему, то замкнутую пресноводную озерную систему, либо прибрежную част суши. Изучение изменения солевого состава донных отложений в зависимости от времени т. е. по глубине исследуемых отложений позволит характеризовать палеогеографическую ситуацию на конкретном этапе развития акватории и на конкретном ее участке.

Суть предлагаемой методики заключается в следующем: Соленость поровых вод и соответственно материала донных отложений в основном определяется концентрацией в них соединений хлора, составляющих приблизительно (NaCl+MgCl2) 88,7 % от общего состава содержащихся в них солей. Во многих работах, в частности [Кнудсен, 1934; В.А. Снежинский, 1951] приводиться

эмпирическая формула, позволяющая пересчитать содержание хлора на общую соленость S ‰ = 0,03+1,805 Cl ‰. Элемент группы галогенов – бром может служить достаточно надежным индикатором степени солености поровых вод и донных отложений. Соотношение Cl/Br в иловых водах осадков для различных акваторий известно. Таким образом расчетным путем может быть получено содержание Cl по вертикальному разрезу отложений. В качестве примеров эффективности предложенного метода приводится ряд примеров определения палеогеографической обстановки для ряда шельфовых морей России.

Колонка POS303700 отобрана в Гданьской котловине Балтийского моря. Используя полученные данные о распределении концентрации брома по разрезу колонки и соответственно палеосолености условия существования бассейна можно разделить на существенно озерные и существенно морские. Границей, между ними, вероятно, следует считать отметку 549 см, соответствующую возрасту 7700 лет н., где отмечается скачкообразный рост солености от 2 ‰ до 9 ‰. Отложения Литоринового моря характеризуются четырьмя четкими пиками максимумов солености обусловленными усиливающимся водообменном с океаном во время трансгрессивных фаз. Из четырех максимумов солености три приходятся на Атлантический период (At). Два из них датируются возрастом 6700 лет н. и 6475 лет н., а самый значительный максимум, датирующийся возрастом 5080 лет н., был достигнут во время климатического оптимума послеледниковья в At2. Последний четвертый максимум солености относится к нижнему суббореалу (Sb1) (4640 лет н.).

Станция 18-ВСМ-96 отобрана в открытой части Восточно-Сибирского моря Отложения нижней части колонки аккумулировались в конце неоплейстоцена – начале голоцена в условиях опресненного бассейна. Отложения верхней части разреза накапливались в ходе морской трансгрессии. Изменение концентрации брома по разрезу и соответственно палеосолености отчетливо отражают периоды развития бассейна от существенно пресноводного до солоноводного периода трансгрессии. Станция 18-ВСМ-3 расположена в проливе Лонга. Накопление отложений происходило, начиная с конца неоплейстоцена, в условиях относи-

тельно мелководного, существенно опресненного, полузамкнутого бассейна (лагуна или мелководный залив). По мере трансгрессии в начале голоцена влияние моря стало превалировать, что выразилось в повышении солености вод. Изменение концентрации брома по разрезу и соответственно палеосолености отчетливо отражают периоды развития бассейна от существенно пресноводного до солоноводного периода трансгрессии.

СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В ОЧАГАХ СУБМАРИННОЙ РАЗГРУЗКИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД У М. АЙЯ

Довгий И.И., Козловская О.Н., Вертерич А.В., Чайкин Д.Ю.

МГИ, г. Севастополь, Россия
dovhyi.illarion@yandex.ru

Ключевые слова: субмаринная разгрузка подземных вод, м. Айя, биогенные элементы.

Экспедиционные работы по изучению субмаринной разгрузки подземных вод выполнялись в районе мыса Айя («Екатерининский грот») в марте и сентябре 2019 г. и феврале 2020 г. Были отобраны пробы для определения растворенного неорганического фосфора, общего растворенного фосфора, аммония, нитритов, нитратов, кремнекислоты, изотопов радия (^{226}Ra, ^{228}Ra), выполнялись гидрологические измерения (соленость, температура, скорость течения в гроте. Работы были выполнены на 25 станциях: 5 станциях в полости, 5 на выходе из полости и еще 15 в небольшой бухте, образованной м. Пелекето.

Полученные результаты показали, что для всех измеряемых показателей концентрация уменьшалась с отдалением от берега. Наибольшие значения наблюдались в кутовой части полости, наименьшие в фоновой станции.

Наиболее высокие концентрации биогенных элементов наблюдались в феврале 2020, минимальные в сентябре 2019 и связаны с различием в потоках субмаринной разгрузки, которые

зависят от количества выпавших на площади водосбора осадков за предшествующий период. По полученным данным концентрация биогенных элементов коррелирует с соленостью. Аппроксимация значений концентрации к нулевой солености дает их предполагаемые концентрации в подземной воде.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ и г. Севастополя в рамках научного проекта №18-33-50001 (конкурс «Наставник»), а также в рамках государственного задания (тема «Прибрежные исследования» № 0827-2019-0004).

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ И ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ШЕЛЬФОВЫХ ЗОН СЕВАСТОПОЛЬСКОГО РЕГИОНА В 2019–2020 ГГ.

Дьяков Н.Н., Мальченко Ю.А., Липченко А.Е., Боброва С.А.

ГОИН, г. Москва, Россия
dyakoff@mail.ru

Ключевые слова: Севастопольский шельф, мониторинг, канализационные очистные сооружения, загрязнение вод.

Для Крымского п-ова одним из основных источников загрязнения прибрежных вод, наряду со стоком рек, являются выпуски сточных вод, многие из которых были построены в 70-х гг. прошлого столетия и в настоящее время изношены. Большинство очистных сооружений производят только механическую очистку сточных вод или производят сброс неочищенных сточных вод. Все это создает условия для значительного снижения качества прибрежных морских вод.

На основе материалов экспедиционных наблюдений СО ФГБУ «ГОИН» в 2019–2020 гг. выявлены основные источники загрязнения морских прибрежных вод г. Севастополя и Крыма сточными водами. Определены объемы сбрасываемых стоков и степень их очистки, современное состояние трубопроводов вы-

пусков канализационных очистных сооружений и гидрологические условия в районах оголовков выпусков. Выявлено, что в связи с недостаточным заглублением, большим сроком эксплуатации трубопроводов, их повреждениями, недостаточной очисткой сбрасываемых вод, особенностями плотностной стратификации и режима течений, выпуски сточных вод в рекреационных зонах Севастополя и Крыма являются значимыми источниками загрязнения морской среды и негативно влияют на санитарно-экологическую обстановку. При этом наиболее опасная ситуация складывается в период туристического сезона.

В Севастопольском регионе ситуация с загрязнением морских вод сточными водами вызывает наибольшие опасения. Крупнейшие канализационные очистные сооружения (КОС) города – «Южные-1» – осуществляют только механическую очистку сточных вод (запланированная биологическая очистка отсутствует). Ежедневно в море сбрасывается до 80 тыс. м3 недостаточно очищенных сточных вод, что приводит к загрязнению акватории и негативно влияет на санитарно-экологическую обстановку.

Особенно неблагополучная ситуация наблюдается со сбросами сточных вод г. Балаклавы. Выпуск КОС Балаклавы не имеет оголовка с диффузором. Конец трубы на консоли опущен до изобаты 9 м и находится в 55 м от уреза воды. Выпуск неочищенных сточных вод производится выше скачка плотности, что создает условия для струйного подъема неразбавленных сточных вод на поверхность. Во время проведения гидролого-гидрохимических съемок максимальная концентрация нитратного азота в районе выпуска Балаклавских КОС достигала 340 мкг/л, при этом был отчетливо виден плюм сточных вод с выносом на поверхность плавающих предметов. Шлейф этих вод прослеживался до мыса Айя. Сравнительно высокие концентрации нитратного азота обнаруживались и в фоновом районе у мыса Фиолент.

По гидрохимическим показателям, в шельфовой зоне Севастопольского региона наиболее частыми были случаи превышения ПДК по величине БПК5 и меди. Для первого показателя, случаи превышения наблюдались на поверхностном горизонте в летний период, и их доля, по результатам отдельных съемок, изменялась от 80 до 100 %. Превышение ПДК по концентрациям меди наблю-

далось практически во всех отобранных пробах со всех горизонтов. Превышение ПДК по нефтепродуктам отмечалось в единичных пробах, а его максимальное значение не превышало 1,2 ПДК.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-45-920016.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ МИКРОПЛАСТИКОМ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ

Ершова А.А., Макеева И.Н., Еремина Т.Р., Татаренко Ю.А.

РГГМУ, г. Санкт-Петербург Россия
ershova@rshu.ru

Ключевые слова: микропластик, морской мусор, Арктика.

На сегодняшний день загрязнение морской среды микропластиком (частицы пластика менее 5 мм) является глобальной экологической проблемой. Из-за сложности изучения и новизны этой проблемы еще пока не существует единой стандартизированной методики по определению концентрации микропластиковых частиц в воде.

Находясь в водной среде микропластик попадает под влияние течений и распространяется по всему Мировому океану до тех пор, пока не достигнет зоны аккумуляции. В мире существует несколько таких зон («мусорных пятен»), и одна из них находится в Арктическом бассейне [A. Cózar, E. Martí, C. M. Duarte, J García-de-Lomas, E. V. Sebille, T. J. Ballatore, V. M. Eguíluz, J. I. González-Gordillo, M. L. Pedrotti, F. Echevarría, R. Troublè, XIrigoien. The Arctic Ocean as a dead end for floating plastics in the North Atlantic branch of the Thermohaline Circulation. Science advances, 2017, №3 (4), ñ. 1–8]. Российская Арктика является одной из важнейших высокопродуктивных морских экосистем Северного Ледовитого океана (СЛО), с постоянно увеличивающейся антропогенной нагрузкой, но при этом остающейся достаточно мало изученной. Поэтому изучение распространения и аккумуляции микропластиковых частиц в Арктике является новой и актуальной задачей.

Основной целью исследования была отработка методики отбора проб на содержание микропластиковых частиц в поверхностном слое воды в арктических морях, характеризующихся высокой продуктивностью, а также получение предварительных оценок загрязнения морской среды Арктики.

В 2019 г. РГГМУ были проведены экспедиционные исследования в рамках программы «ТРАНСАРКТИКА-2019» с целью количественной и качественной оценки аккумуляции микропластиковых частиц в акватории российской части Арктического бассейна. Отбор проб производился на протяжении всего маршрута Северного морского пути от г. Владивосток до г. Мурманск: Охотское море – Берингово море – Чукотское море – Восточно-Сибирское море – море Лаптевых – Карское море – Баренцево море. Исследования водной среды проводились в летний период 2019 г. (июль – сентябрь). В процессе экспедиции было отобрано более 120 проб воды с поверхностного горизонта.

Для получения предварительной оценки загрязнения микропластиком арктических морей обработано 14 проб, отобранных во всех морях Арктического бассейна. Получены результаты количественной и качественной оценки содержания микропластиковых частиц в поверхностном слое – среднее содержание частиц составило 0,03 шт./л. Проведено сравнение результатов с результатами международных исследований в СЛО. Полученные данные показали, что на протяжении Северного морского пути происходит накопление микропластика в дальневосточных морях, а также Баренцевом море, что подтверждает данные международных исследований в данном регионе.

ВЛИЯНИЕ ВОЗРАСТА МАКРОФИТНЫХ ЗАРОСЛЕЙ И ТЕХНОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ИХ РОЛЬ В ЭКОСИСТЕМЕ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА

Жигульский В.А. [1], Шуйский В.Ф. [1], Чебыкина Е.Ю. [1], Булышева М.М. [1], Фёдоров В.А. [2], Успенский А.А. [3], Паничев В.В. [1], Былина Т.С. [1], Булышева А.М. [1]

[1] ООО «Эко-Экспресс-Сервис», г. Санкт-Петербург, Россия
[2] СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия
[3] «ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга, г. Санкт-Петербург, Россия

Ключевые слова: сообщества макрофитов, восточная часть Финского залива, Невская губа, техногенное воздействие, гидротехнические работы, аэрофотосъемка, квадрокоптер, БПЛА.

Прибрежные заросли макрофитов играют важную многоплановую роль в жизни Балтийского моря. Они создают необходимые условия для нереста рыб, миграционных стоянок и размножения водно-болотных и околоводных птиц, формируют сообщества гидробионтов с высоким биоразнообразием, очищают воду, укрепляют берег и т. д. В восточной части Финского залива (ВЧФЗ) десятилетиями ведутся разнообразные гидротехнические работы. Некоторые виды этих работ оказывают на макрофиты и создаваемые ими экосистемы разрушительное или угнетающее воздействие. Однако последствия других (а иногда и тех же самых) гидротехнических работ нередко стимулируют появление и экспансию новых зарослей макрофитов. Важно выяснить баланс этих процессов, изучить тенденции изменения ресурсов как самих зарослей, так и создаваемых ими упомянутых полезных услуг для всей морской экосистемы. В частности, нужно понять, насколько полезны новые заросли макрофитов, возникающие после гидростроительства. Дают ли они полноценную замену зарослям, утраченным при гидростроительстве? Решением этих вопросов занимается комплексная научная программа компании «Эко-Экспресс-Сервис», начатая в 2016 г.

Ежегодные комплексные исследования включают: аэрофотосъемку и картирование водной растительности (более 35 км^2);

фитоценологические исследования; отбор на 28 станциях и анализ проб воды, грунта, фитопланктона, зоопланктона, зообентоса (3 раза в год); наблюдения за водоплавающими и околоводными птицами при весенних и осенних миграциях и при гнездовании; изучение нереста и нагула молоди фитофильных видов рыб.

Представленный доклад дает некоторые предварительные ответы.

В процессе исследований оказалось, что заросли макрофитов, возникающие непосредственно возле новых гидротехнических сооружений или в местах их влияния на морскую среду, достигают своих оптимальных средообразующих характеристик примерно через 30–40 лет. К этому времени они разрастаются достаточно широко и плотно, однако сохраняют множественные внутренние лакуны. Такая «ажурная» конфигурация зарослей позволяет птицам, рыбам и другим животным наиболее активно использовать не только внешнюю границу, но и всю внутреннюю область зарослей. Более старые заросли постепенно становятся слишком плотными (сплошными), что вынуждает животных использовать преимущественно их периферию. Более молодые заросли, наоборот, еще слишком разрежены и пока не способны выполнять свои основные экосистемные функции.

ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ОЗ. ЧОКРАКСКОЕ

Жиляев Д.А., Дьяков Н.Н., Мальченко Ю.А., Тимошенко Т.Ю.

ГОИН, г. Москва, Россия
nikolaevka2010@inbox.ru

Ключевые слова: Чокракское озеро, соленость, рапа, водный баланс, лечебные грязи.

Гиперсоленое озеро Чокракское (Чокрак) расположено на Азовском побережье Керченского п-ова, примерно в 16 км от

Керчи. К востоку от озера находится населённый пункт Курортное, к западу – Караларский региональный ландшафтный парк. С северной стороны озеро граничит с Азовским морем – их разделяет песчаная Чокракская пересыпь. Площадь озера около 8,5 км^2, а его водосборного бассейна – 74 км^2. По своему генезису озеро относятся к водоемам морского типа. Наибольшее значение водоем имеет как рекреационный объект. В настоящее время Чокракское озеро обладает одним из крупнейших на Крымском п-ове запасом лечебных грязей, о целебных свойствах которых известно с давних времен. Лечебные свойства Чокракских грязей намного превосходят сакские и мойнакские грязи и являются одними из лучших на территории РФ. С 2011 г. водоем и прилегающая территория получили статус гидрологического заказника местного значения «Озеро Чокрак». Существуют (и уже отчасти реализуются) проекты по возрождению бальнеологического курорта, существовавшего здесь в XIX–XX вв. В связи с вышесказанным системный научный мониторинг гидрологического и гидрохимического состояния вод оз. Чокракское видится актуальной и перспективной задачей, призванной способствовать сохранению уникального природного объекта с целью эффективного и рационального использования его богатого рекреационного потенциала.

Исследования отдельных показателей рапы оз. Чокракское, а также отдельных его акваторий и притоков были начаты сотрудниками СО ФГБУ «ГОИН» в 2016 г. и проводятся по настоящее время. Выявлено, что минерализация (соленость) озера характеризуется высокой пространственной и временной изменчивостью. Сравнение величин солености свидетельствует о близости минерального состава вод озера к азовоморской воде. Минерализация за весь период наблюдений не опускалась ниже 140 г/л, что соответствует солености ~130 ‰. Максимум показателя наблюдался летом 2018 г., когда ее значение достигало величин, характерных для насыщенных растворов поваренной соли.

Важной приходной составляющей водного баланса озера является разгрузка пресноводных и сероводородных источников. Крупнейшим из которых, является известный еще с античных времен т. н. Чокракский родник, находящийся в устье Бабчик-

ской балки. В последние десятилетия вода родника в озеро практически не поступает из-за искусственной дамбы, сооруженной при слиянии балки с водоемом у основания Чокракского мыса. Таким образом, в результате сооружения пруда от озера был отсечен обширный водосборный бассейн, до этого имевший для системы питания озера существенное значение. Следует отметить, что в настоящее время, в районе озера Чокракское отмечаются значимые тенденции повышения среднегодовых и сезонных значений температуры воздуха. При этом наблюдается сокращение количества выпадающих атмосферных осадков, особенно в августе, когда испарение максимально. Все это привело к тому, что озеро стало к концу почти каждого летнего сезона регулярно пересыхать, и возникла угроза потери запасов его ценнейших лечебных грязей.

Ликвидация искусственной запруды видится наиболее простым и целесообразным решением вопроса увеличения приходной части водного баланса озера, и, как следствие, сохранения его уникальных богатств.

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НЕФТЕПРОЯВЛЕНИЙ В РАЙОНЕ ШЕЛЬФА КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА ПО ДАННЫМ КОМПЛЕКСНОГО КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ЗА 2019 ГОД

Замшин В.В., Матросова Е.Р., Харченко В.Д., Ходаева В.Н., Чверткова О.И., Шлюпиков В.А.

НИИ «АЭРОКОСМОС», г. Москва, Россия
office@aerocosmos.info

Ключевые слова: Черное море, мониторинг, дистанционное зондирование, космическая съемка, нефтепроявление, оптические изображения, радиолокационные изображения.

Предложена и апробирована методика исследования пространственного распределения нефтепроявлений на морской поверхности по данным ДЗЗ, позволяющая получать количественные оценки уровня загрязнения участков акватории нефтепроявлениями на основе обработки больших объемов космических оптических многоспектральных и радиолокационных изображений с учетом вариаций метеорологических условий и частоты выполнения съемки различными спутниковыми системами.

На примере тестового участка Черного моря площадью 80 тыс. км^2, охватывающего прибрежные акватории Крыма, проведена обработка массива из 4 428 космических изображений, полученных со спутников Landsat-8, Sentinel-1A/B, Sentinel-2A/B с 01.01.2019 по 31.12.2019. На основании обобщения и анализа результатов обработки годового временного ряда разнородных космических данных установлены средний (0,012 %) и пиковый (0,44 %) уровни нефтяных загрязнений, определяемые как отношение площади обнаруженных нефтепроявлений к дешифрируемой площади космических изображений в каждой из 8 857 исследуемых ячеек района исследования на регулярной сетке размером 3×3 км^2. Приведены и проанализированы карты растровых масок 2 499 обнаруженных в 2019 г. нефтяных сликов и уровней загрязнения водной поверхности нефтепроявлениями.

В исследуемом районе наблюдается ярко выраженная пространственная изменчивость. Выполненный предварительный анализ полученной картины пространственного распределения нефтепроявлений свидетельствует о том, что имеющиеся на сегодняшний день представления о характере нефтепроявлений в пределах исследуемой акватории могут быть уточнены с использованием результатов настоящего исследования.

Согласно полученным данным среди наиболее «нефтенагруженных» участков исследуемой акватории можно отметить районы западного побережья Крыма вблизи г. Севастополь, Керченского пролива и юго-восточной части района исследования. Наиболее свободным от нефтепроявлений регионом является южное побережье Крыма, а также полоса акватории, локализованная вдоль меридиана 32°20' в. д.

Исследование выполняется при поддержке Минобрнауки России, уникальный идентификатор проекта RFMEFI60419X0223.

ЭМИССИЯ МЕТАНА НА МЕЛКОВОДЬЕ, ЛАБОРАТОРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

Ивахов В.М., Привалов В.И., Зинченко А.В., Парамонова Н.Н., Семенец Е.С.

ГГО, г. Санкт-Петербург, Россия
ivakhooo@mail.ru

Ключевые слова: потоки метана, литораль, Обская губа, лабораторный эксперимент, Арктика.

Баланс парниковых газов (ПГ) в атмосфере определяется вкладом различных и многочисленных источников и стоков, как естественных, так и антропогенных. Метан является вторым по значимости долгоживущим парниковым газом и определяет около 17 % радиационного форсинга от всех ПГ. Одним из самых малоизученных объектов с точки зрения вклада в баланс ПГ в атмосфере остаются моря российской Арктики. В частности, мелководная прибрежная акватория с глубинами от 0 до нескольких метров. К таким объектам относится Обская губа, в литоральной зоне которой происходят интенсивные процессы газообмена с атмосферой. Эмиссия CH4 на мелководье определяется, главным образом, количеством органического вещества в донных осадках, структурой грунта и уровнем воды. Вследствие интенсивного перемешивания и малых глубин, воды литоральной зоны насыщены кислородом. Присутствие кислорода наряду с большим количеством продуцируемого в донных осадках метана, является благоприятным условием для жизнедеятельности метанотрофных бактерий, которые оказывают влияние, как на содержание метана, так и углекислого газа в воде

Для учета влияния скоротечных изменений уровня воды в литоральной зоне Обской губы на эмиссию метана был организован лабораторный эксперимент, продолжающийся в настоящее время. Идея эксперимента заключается в измерении эмиссии метана из аквариума с озерной водой, на дно которого помещен образец осадка (дернина), отобранный в литоральной зоне Обской

губы в районе с. Новый Порт. Измерения потоков CH4 проводятся с помощью плавающей камеры при разных уровнях воды. Концентрация метана в камере определяется с помощью лазерного газоанализатора модель G-2401, фирмы Picarro (США). Высокое содержание органического вещества в дернине и ее механические свойства способствуют продуцированию метана и его накоплению в порах осадка. Вследствие изменения гидростатического давления (уровень воды в аквариуме варьируется в пределах от 9 до 70 см) проявляется следующая закономерность: с уменьшением глубины увеличивается частота выхода пузырей с метаном и, наоборот. Диффузионный поток при этом остается постоянным. Данный вывод является предварительным и в значительной степени зависит от конкретных условий эксперимента.

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

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОМЫСЛОВЫХ СКОПЛЕНИЙ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ АРКТИЧЕСКОЙ ТРЕСКИ (БАРЕНЦЕВО МОРЕ)

Кивва К.К., Кровнин А.С., Мурый Г.П., Сумкина А.А.

ВНИРО, г. Москва, Россия
kirill.kivva@gmail.com

Ключевые слова: Баренцево море, северо-восточная арктическая треска, шельф, морской лед, температура, соленость, адвекция, бореализация.

Атлантическая треска (*Gadus morhua*) – вид с широким ареалом, охватывающим шельфовые области западной и восточной Атлантики, а также Норвежского и Баренцева морей. В пределах Баренцева моря выделяют популяцию этого вида, именуемую северо-восточной арктической треской (СВАТ). СВАТ имеет важное экономическое значение: вылов в некоторые годы составлял

до 1,2 (1969 г.) и даже 1,4 млн. т (1956 г.). На современном этапе вылов составляет 0,6–0,8 млн. т. Для СВАТ характерна значительная межгодовая изменчивость численности пополнения и общей биомассы. Также описано изменение в распределении промысловых скоплений СВАТ для интервалов лет с разными термическими и ледовыми условиями. Существует предположение, что промысловые скопления продолжат смещаться в северном, северо-восточном и восточном направлениях. Однако модельные расчеты это не подтверждают. Цель данной работы – охарактеризовать изменчивость распределения промысловых скоплений СВАТ в 1980–2019 гг. и определить в них роль изменений термических и ледовых условий.

В анализе использованы данные по уловам СВАТ российским рыболовным флотом из трех баз данных (БД): «Риф» (1980–1991 гг.), «Рыболовство» (1995–2002 гг.) и «Отраслевая система мониторинга» (2003–2019 гг., далее – ОСМ). БД «Риф» содержит пооперационные записи, в то время как БД «Рыболовство» и ОСМ содержат лишь судовые суточные донесения (ССД) каждого судна, выполняющего промысел рассматриваемого вида. Данные о распределении уловов в 1992–1994 гг. включительно отсутствуют. Для каждого месяца всех лет с данными по уловам определены положения основных районов промысла (ОРП) – районы с относительно высокой плотностью тралений или положений судов, отправляющих ССД. Основные направления смещений районов промысла (ОНС) выбраны исходя из распределения центроидов ОРП за каждый месяц. Для всех месяцев, имеющих хотя бы один ОРП в пределах полосы ± 50 км от оси выбранного ОНС, рассчитано расстояние вдоль оси ОНС от ее начала до точки, соответствующей проекции центроида всех уловов ОРП (L, км). Многолетняя динамика этой величины характеризует общее смещение основных промысловых скоплений вдоль выбранной оси ОНС и предлагается в качестве количественной оценки смещения промысловых скоплений.

Связь временного хода данной величины (L) для трех ОНС с изменчивостью полей температуры, солености и дат полного очищения акватории ото льда исследовали с помощью кластерного анализа. Наиболее высокие и статистически значимые на об-

ширной акватории коэффициенты корреляции получены для температуры и солености за холодный период года. При этом смещение промысловых скоплений связано, вероятно, с адвекцией теплых атлантических вод и изменением условий питания трески.

НЕЗАВИСИМЫЕ КОМПОНЕНТЫ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ПОЛЕЙ ХЛОРОФИЛЛА *А* В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ НА СЕВЕРО-ЗАПАДНОМ ШЕЛЬФЕ ЧЕРНОГО МОРЯ

Кириленко Н.Ф. [1], Евстигнеев В.П. [2]

[1] ИнБЮМ, г. Севастополь, Россия
[2] СевГУ, г. Севастополь, Россия,
kyrylenkonatalya@gmail.com

Ключевые слова: хлорофилл а, северо-западный шельф, пространственно-временные массивы, метод разложения на независимые компоненты.

Северо-западный шельф Черного моря привлекает внимание многих ученых, исследование которого представляет научный интерес и практическую значимость, как с океанологической, так и с биологической точек зрения. Влияние речного стока, разнообразие режимов циркуляции вод на шельфе, образование локальных мезомасштабных вихрей обусловливает формирование характерных структур поверхностного распределения фитопланктона и, как следствие, пигмента хлорофилла а с учетом текущей стадии сукцессии фитопланктонного сообщества.

Целью исследования является выделение основных типов пространственно-временной организации полей хлорофилла а в поверхностном слое, формирующихся под действием гидродинамических факторов водной среды. Основным источником информации о содержании пигмента служат данные спутникового зондирования, которые, вообще говоря, представлены в различном временном разрешении. С одной стороны, процессы ветрового

воздействия и возникновение дрейфовых течений на шельфе относятся к синоптическому масштабу времени, поэтому для решения поставленной задачи следует использовать спутниковые данные субмесячного разрешения. С другой стороны, поля такого временного разрешения могут содержать участки потерянной информации вследствие наличия облачности, ошибок алгоритма атмосферной коррекции и пр.

В настоящей работе использован массив полей хлорофилла a 8-дневного осреднения за период 1997–2016 гг. Соответствующие участки потерянной информации были восстановлены статистически с использованием эмпирических ортогональных функций по методу DINEOF. В работе помимо данных о речном стоке основных рек шельфа, для характеристики внешних факторов среды и их изменчивости был дополнительно привлечен суточный массив данных ре-анализа ERA-Interim (в узлах сетки 0,25º×0,25º) по таким параметрам, как компоненты ветра и касательное напряжение трения ветра в зональном и меридиональном направлениях, рассчитана завихренность касательного напряжения трения ветра.

В результате проделанной работы методом разложения на независимые компоненты было выделено 6 характерных мод пространственно-временной организации полей хлорофилла a в поверхностном слое северо-запада Черного моря. Используемый метод разложения имеет некоторое преимущество перед традиционным ЭОФ-разложением, которое, вообще говоря, используется, если имеется априорная информация об ортогональности объективных факторов, формирующих физическое явление.

Изменчивость временных коэффициентов мод имеет четкую внутригодовую структуру и пространственную локализацию максимумов и минимумов коэффициентов разложения, отражающих области их согласования с действующими факторами.

В работе проведено сравнение внутригодового хода характеристик ветра (компоненты вектора скорости, касательное напряжение трения ветра, завихренность) и речного стока с аналогичным ходом временных коэффициентов разложения массива полей содержания пигмента.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ DATA SCIENCE В ОЦЕНКЕ СТЕПЕНИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ МОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КУРОРТНЫХ РЕГИОНОВ

Кирюшина А.А. [1], Жукова Л.В. [2], Чикина Л.Г. [3]

[1] ЗАО «ЕС-лизинг», г. Москва
[2] НИУ ВШЭ, г. Москва
[3] ЮФУ, Ростов-на Дону
akiryushina@ec-leasing.ru

Ключевые слова: Data Science, инструмент управления в области экологии, обработка больших данных, привлечение данных из открытых источников.

Сегодня в мире происходит взрывной рост объемов переданной информации. Так, согласно прогнозу IDC, в 2020 г. более 59 зеттабайт данных будет создано, скопировано и использовано в мире. Объем данных, созданных в течение следующих трех лет, будет больше, чем объем данных, созданных за последние 30 лет.

В области морской экологии одной из важных задач является предотвращение загрязнения прибрежной зоны морского побережья курортных регионов. Данная задача входит в «Цели устойчивого развития ООН» как задача 14.1: «К 2025 году обеспечить предотвращение и существенное сокращение любого загрязнения морской среды, в особенности вследствие деятельности на суше, включая загрязнение морским мусором и питательными веществами». Индикатором данной задачи является «Индекс прибрежной эвтрофикации и плотность плавающего лома пластмасс».

При этом расчет данного индикатора, как и для большинства показателей по данным из официальных источников, не надёжен в силу своей ограниченности и недостоверности. Повышение качества информации, увеличение управляемости достигается через подключение данных из открытых источников, что приводит к необходимости использования методов Data Science. Показа-

тели, полученные по результатам обработки данных из различных источников, – это социально-экономические характеристики прибрежной зоны морского побережья курортных регионов, например, количественные и качественные показатели населения, туристов, объектов недвижимости, свалок и полигонов ТБО, объектов туризма и т. д. Информация из открытых источников позволяет получить характеристики реального использования прибрежных территорий.

Предлагается подход к оценке степени загрязнения прибрежной морской территории в курортных регионах путем учета антропогенных бытовых отходов в местах, не оборудованных мусорками.

Для получения оценки фактической степени загрязнения прибрежных территорий в курортных регионах России необходимо создание следующих показателей:

– открытые данные с геокарт, позволяющие получить информацию о фактической застройке территорий, и, соответственно, выявить дополнительные источники отходов;

– данные о бизнес страницах, содержащие информацию о строениях, которые фактически являются мини гостиницами и производят бытовые отходы и канализационные сливы;

– открытые данные с форумов и тематических сайтов, позволяющие оценить степень использования территории под неофициальный пляж или акваторию для малых судов.

Примером подхода для оценки индикатора является созданный авторами статьи подход для оценки степени обеспеченности детей и подростков услугами дополнительного образования. Для получения достоверных данных о степени обеспеченности был смоделирован и рассчитан индикатор, оценивающий, реальный спрос и предложение

Таким образом, представленный подход на основе анализа открытых больших данных позволяет получить оценки фактического положения использования территорий и оценить экологическую угрозу для прибрежных районов.

ВЛИЯНИЕ ГИДРОЛОГО-МОРФОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА СОСТОЯНИЕ РЕСУРСОВ АНАДРОМНЫХ РЫБ П-ОВА КАМЧАТКА

Коваль М.В. [1], Горин С.Л. [2]

[1] КамчатНИРО, г. Петропавловск-Камчатский, Россия
[2] ВНИРО, г. Москва, Россия
koval.m.v@kamniro.ru

Ключевые слова: физико-географические условия, естественные популяции, воспроизводство, продуктивность, рыболовство, Камчатка.

Камчатский край (п-ов Камчатка и Корякия) – это один из важнейших рыбопромысловых районов России. Экономика этого региона всегда была основана на рыбном промысле, ресурсной базой которого до сих пор являются естественные популяции, в том числе анадромных видов рыб (тихоокеанских лососей, гольцов, корюшек, мойвы и др.). В настоящее время суммарный вылов анадромных рыб в Камчатском крае ежегодно составляет 300–500 тыс. т. (преимущественно, лососей).

Анадромные рыбы размножаются в пресных водах, затем скатываются в море для нагула (покатная миграция), а после снова возвращаются в реки для воспроизводства (анадромная миграция). Во время таких миграций анадромные рыбы играют ключевую роль в составе прибрежных, эстуарных и речных экосистем, а также имеют важнейшее экономическое и социальное значение для населения. Основной промысел анадромных рыб имеет сезонный характер и происходит по большей части в теплое время года во время их массового нерестового хода в реки.

Начиная с 2002 г., мы проводим комплексные исследования, основная цель которых заключается в оценке воздействия абиотических, биотических и антропогенных факторов на воспроизводство и состояние ресурсов естественных популяций анадромных рыб на п-ове Камчатка. За 18 лет полевых работ было исследовано более 15 водных объектов, расположенных в различных районах региона.

В результате было установлено, что состояние ресурсов анадромных рыб в различных районах Камчатки определяется комплексом физико-географических условий в бассейнах отдельных рек, которые позволяют реализовать потенциал естественного воспроизводства популяций в рамках видовых жизненных стратегий. Например, горбуша (самый массовый вид тихоокеанских лососей и основной объект лососевого промысла) наиболее эффективно воспроизводится в небольших реках; продуктивность популяций кеты, чавычи и кижуча наиболее высока в крупных речных бассейнах; для успешного воспроизводства нерки, необходимо наличие в бассейне нерестовой реки подходящих нагульно-выростных водоемов для молоди и т. п.

Другим важнейшим естественным фактором, который в значительной степени влияет на продуктивность популяций анадромных рыб, являются гидролого-морфологические условия морского побережья и эстуариев. Специфика этих условий определяет экологию среды обитания рыб на начальных и завершающих этапах морского нагула и формирует урожайность отдельных поколений. Так, смертность молоди некоторых видов анадромных рыб (например, лососей, корюшек и сельдей) от совокупности абиотических и биотических факторов во время покатной миграции может превышать 95–98 % общей численности популяции. В период анадромной миграции, численность рыб снижается за счет смертности взрослых особей от естественных хищников (например, птиц и морских млекопитающих, которые концентрируются в устьевых областях рек во время нерестового хода), а также под воздействием рыболовства.

Эффективность хозяйственного освоения ресурсов анадромных рыб на п-ове Камчатка также во многом зависит от гидролого-морфологических условий на отдельных участках побережья и в устьях рек. Эти условия определяют расположение рыболовных участков, а также конструктивные особенности орудий и методов рыболовства. Эти же условия зачастую становятся причиной правовых проблем организации промысла (например, при определении положения устьев некоторых нерестовых рек). В свою очередь, рыболовная нагрузка также может быть одной из ключевых причин, определяющих общее состояние ресурсов анадромных рыб в районах их воспроизводства.

КЛАССИФИКАЦИЯ И КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ДОННЫХ БИОТОПОВ ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРИРОДНОГО ЗАПОВЕДНИКА УТРИШ

Козловский В.В. [1], Симакова У.В. [2], Папунов В.Г. [3], Федорович В.С. [4], Терёхина Я.Е. [4], Куликова Д.С. [4], Галаев В.Е. [5], Шабалин Н.В. [1], Колючкина Г.А. [2], Семин В.Л. [2], Любимов И.В. [2], Тимофеев В.А. [6], Мокиевский В.О. [2]

[1] ЦМИ МГУ, г. Москва, Россия
[2] ИО РАН, г. Москва, Россия
[3] Оперативный центр Института Океана, г. Москва, Россия
[4] МГУ, г. Москва, Россия
[5] ИФЗ РАН, г. Москва, Россия;
[6] ИнБЮМ, г. Севастополь, Россия
vlad.kozlovskiy@marine-rc.ru

Ключевые слова: донные биотопы, картографирование, гидролокатор бокового обзора, Черное море.

Впервые в 2016 г. было проведено картирование донных биотопов Участка 2 государственного природного заповедника Утриш (северо-восточное побережье Черного моря) до глубин 50 м. Основанием для составления карты биотопов была гидроакустическая съемка с использованием гидролокатора бокового обзора (ГЛБО). На основании комплексного интерпретирования данных ГЛБО, результатов бентосной съемки и водолазных наблюдений построены карта ожидаемого распределения сообществ. Пробы макрозообентоса были собраны на 5 станциях на рыхлых грунтах в диапазоне глубин 20–50 м с помощью дночерпателя Океан-0,1 (три повторности на станцию). Также в районе работ были получены данные о гранулометрической структуре донных осадков и проведены водолазные наблюдения на скальных грунтах.

Были составлены видовые списки макрозообентоса, проведена оценка численности и биомассы каждого вида. На основа-

нии количественных данных (биомасса) и данных о присутствии/отсутствии видов на станциях было выделено три сообщества макробентоса на рыхлых грунтах с доминированием двустворчатых моллюсков – *Chamelea gallina – Lucinella divaricata* (20–30 м), *Pitar rudis-Gouldia minima* (40 м) и *Parvicardium simile* (50 м). Донные осадки в изученном районе закономерно изменялись с глубиной от среднезернистого песка на 20–30 м до мелкозернистого заиленного песка на 40 м и ила на 50 м. Таким образом, типы сообществ соответствовали типам донных осадков.

Для комплексного интерпретирования данных по распределению бентоса, грунтов и геофизической съемки был проведен расчет атрибутов гидролокации бокового обзора. Проведена кластеризация методом К-средних с учетом трех классов (два класса для трех групп бентосных станций и один класс для каменистых грунтов). Каменистым грунтам соответствовал 3-ий класс атрибутов, 1-ый и 2-ой соответствовали рыхлым грунтам и, соответствующим донным сообществам. Второму классу геофизических атрибутов соответствовали станции с высокой ролью *G. minima* (глубины 35–42 м) остальные станции, на которых были отмечены два сообщества *P. simile* и *C. gallina – L. divaricata* соответствовали первому классу атрибутов. Была проведена верификация соответствия геофизических атрибутов бентосным сообществам, с учетом преобладающего в 50 м от точки отбора бентосных проб геофизического атрибута. Верификация показала 80 %-е соответствие второго геофизического атрибута станциям с преобладанием *G. minima* и 78,5 % соответствие первого геофизического атрибута сообществам *P. simile* и *C. gallina – L. divaricata*. На основании полученных данных составлена карта донных биотопов Участка 2 государственного природного заповедника Утриш.

Работа выполнена в рамках плановой темы Лаборатории экологии прибрежных донных сообществ Института Океанологии имени П.П. Ширшова РАН и при поддержке ЦМИ МГУ.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗООБЕНТОСА КОНТИНЕНТАЛЬНОГО СКЛОНА СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ ЧЕРНОГО МОРЯ

Колючкина Г.А. [1], Семин В.Л. [1], Сергеева Н.Г. [2], Любимов И.В. [1], Басин А.Б. [1], Подымов О.И. [1], Островский А.Г. [1]

[1]ИО РАН, г. Москва, Россия
[2]ИнБЮМ, г. Севастополь, Россия
galka.sio@gmail.com

Ключевые слова: гипоксия, пикноклин, макрозообентос, мейобентос, анализ биологических признаков, Черное море.

Одним из наиболее важных факторов, влияющих на морские экосистемы, является прогрессирующее снижение снабжения кислородом в толще воды, наблюдаемое в XXI в. Черное море является ярким примером водоема, в котором этот фактор играет ключевую роль. Здесь, на глубине 60–200 м, присутствует постоянный пикноклин, ограничивающий перемешивание верхних опресненных вод с более глубокими и более солеными сероводородными водами. Положение верхней границы зоны гипоксии меняется со временем. Одним из показателей длительности гипоксии является состояние сообществ зообентоса. Данные о состоянии донных сообществ нижних границ оксифильной зоны в XXI в. касаются в основном северо-западного шельфа, Крымского побережья и Румынии. Здесь был выявлен тренд сужения кислородной зоны и запаса кислорода в толще. Менее изучен район узкого северо-восточного шельфа. Поэтому мониторинг состояния донных сообществ здесь является актуальной задачей в свете продолжающихся изменений климата и возрастающей рекреационной нагрузки на черноморское побережье Краснодарского края.

В настоящем докладе дана оценка состояния зообентоса северо-восточного побережья Черного моря на глубинах 80–195 м и проведена оценка времени, прошедшего с последнего периода гипоксии. Обилие как мейобентоса, так и макрозообентоса было

максимальным в диапазоне глубин 80–120 м и уменьшалось с глубиной. Выделено три зоны: фазеолиновый ил, обедненный глубоководный биоценоз (биоценоз зоны постоянных заморов) и азойная зона. Первая зона – пояс инфауны, здесь доминируют долгоживущие фильтраторы и собирающие детритофаги, размножающиеся сезонно. Возраст этих сообществ (на основании оценки размерной структуры доминирующих видов) составлял более одного года, что свидетельствует об отсутствии регулярных гипоксических периодов. Донные осадки в этой зоне не содержали прослоек гидротроилита, что указывает на отсутствие длительных периодов сероводородного заражения.

Напротив, биоценоз зоны постоянных заморов (130–145 м) представлял собой зону эфемерных сообществ короткоживущих и короткоцикловых роющих детритофагов, которые размножаются круглый год (*Oligochaeta sp., Capitella capitata*). Возраст этих сообществ составлял менее одного года. В донных осадках здесь прослойки серого ила чередуются с прослойками гидротроилита, что указывает на регулярное сероводородное заражение. По нашим данным, граница эукариотического бентоса, установленная по данным измерений 2019 г., практически совпадает с оценками начала XX в. (135–165 м).

Работа выполнена при поддержке Министерства образования, науки и молодежной политики Краснодарского края и РФФИ по гранту № 19-45-230012.

ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЛОКАЛЬНОЙ ГИПОКСИИ В ВОДАХ СЕВАСТОПОЛЬСКОЙ БУХТЫ

Кондратьев С.И., Видничук А.В.

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

Ключевые слова: Севастопольская бухта, гипоксия, сероводород, придонные воды, биогенные элементы.

Результаты ежеквартального экологического мониторинга Севастопольской бухты по 36-ти станциям, начавшегося в 2006 г.,

показали регулярное возникновение в летнее время гипоксийных условий (содержание растворенного кислорода менее 60 мкМ) в придонных водах станции, расположенной рядом с плавучим доком. Дважды там было зафиксировано присутствие сероводорода, в сентябре 2009 г. с концентрацией 37 мкМ, в сентябре 2014 г. органолептически.

Основной причиной возникновения гипоксии оказался рельеф дна, а именно искусственное углубление под плавучим доком, которое стало отражаться на картах только с 2003 г. Глубины в этом районе непосредственно возле дока достигают 20–21 м и около 10–11 м на соседних станциях.

Такой рельеф дна должен способствовать возникновению придонной гипоксии в теплый период года, когда вследствие прогрева поверхностных вод возникает плотностная стратификация, препятствующая вертикальному обмену и поступлению кислорода в придонные воды. В самом деле в летнее время в районе искусственного углубления различие в температуре на глубинах 18–20 м и 11–12 м достигало в некоторых случаях 8°С, тогда как в остальных частях бухты наблюдался равномерный прогрев всей водной толщи.

Важной особенностью вертикальных профилей солености над углублением является периодически отмечавшийся на глубинах 12–16 м слой вод пониженной солености, толщиной около 4 м. В некоторых случаях (в шести случаях из 36 съемок) на этих же глубинах возникал слой повышенной солености. Причины возникновения таких слоев, также замедляющих вертикальный обмен, не вполне понятны.

Процесс возникновения гипоксии является результатом одновременного действия двух факторов – стратификации, ограничивающей вертикальный обмен, и расхода кислорода на минерализацию взвешенного органического вещества (ВОВ). Образованию в описываемом районе значительного количества ВОВ, для которого 10-метровое углубление является прекрасной ловушкой, способствуют два фактора: во-первых – поступление биогенных элементов со стоком реки Черной, устье которой расположено примерно в двух км выше по течению. Во-вторых, сброс в этом районе бухты теплых вод, охлаждающих севастопольскую ТЭЦ.

При возникновении гипоксийных условий в придонных водах искусственного углубления в них заметно уменьшается величина pH, возрастает содержание кремнекислоты (в 3–10 раз), фосфатов (в 10–100 раз), аммония (в 10–20 раз). В сентябре 2009 г. в сероводородной воде полностью отсутствовали окисленные формы азота (нитраты и нитриты), в полном соответствии с тем, что при недостатке кислорода его извлечение сначала происходит из окисленных форм азота, а уже затем из сульфатов.

Возникновение зоны придонной гипоксии на границе вода-донные отложения приводит к извлечению из донных отложений в придонные воды минеральных форм азота, фосфора и кремния, таким образом донные отложения в углублении становятся дополнительным источником биогенных элементов. Этот источник, вероятнее всего, сыграл свою роль при оценке акватории в районе плавучего дока как наиболее загрязненной в Севастопольской бухте.

Работа выполнена в рамках государственных заданий по темам 0827-2019-0003 и 0827-2019-0004, и при финансовой поддержке проектов РФФИ № 18-45-920018 и № 18-05-80028.

СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ КАЛАМИТСКОГО ЗАЛИВА (ЧЕРНОЕ МОРЕ)

Котельянец Е.А.

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

Ключевые слова: Каламитский залив, донные отложения, тяжелые металлы, антропогенная нагрузка.

К Каламитскому заливу относится акватория, заключенная между мысом Лукулл и мысом Евпаторийским. Залив расположен отдельно от районов северо-западного шельфа, открыт влиянию глубоководной части Черного моря и является переходным

звеном от открытой части моря к северо-западному шельфу, благополучно избегая таких явлений как придонная гипоксия и заморов рыбы.

Донные отложения рассматривают как основной индикатор экологического состояния водного объекта, отображающего уровень техногенного воздействия на исследуемые экосистемы.

В данной работе залив рассматривается как фоновая акватория по особенностям накопления и пространственного распределения микроэлементов и тяжелых металлов в донных отложениях в сравнении с исследуемыми ранее акваториями севастопольского региона, которые позиционируются как районы с интенсивным антропогенным воздействием и с затрудненным водообменом.

Представлены результаты исследований уровня загрязнения донных отложений Каламитского залива As, Ti и Pb, Zn, Cu, Ni, Co, Cr, V, Sr, Fe, Mn в августе 2011 г. и в сентябре 2012 г. Показано, что среднее содержание Ni, Zn, Cr, As, Fe, Mn в донных осадках не превышает геохимического фона, а среднее содержание Co выше чем в фоновых районах черноморского шельфа. В то же время максимальные концентрации всех элементов, за исключением Co, V, Sr, и Ti не превышают фоновых значений.

В акватории Каламитского залива наблюдается увеличение концентраций исследуемых микроэлементов и тяжелых металлов в прибрежной части и южной части залива. В мористой и северной частях наблюдается значительное уменьшение концентраций исследуемых металлов, содержание которых не превышает геохимического фона.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2019-0004 «Прибрежные исследования», а также при поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-45-920007.

РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ БАЛАКЛАВСКОЙ БУХТЫ (ЧЕРНОЕ МОРЕ)

Котельянец Е.А. [1], Гуров К.И. [1], Тихонова Е.А. [2], Кондратьев С.И. [1], Забегаев И.А. [1]

[1]МГИ, г. Севастополь, Россия
[2]ИнБЮМ, г. Севастополь, Россия
plistus@mail.ru

Ключевые слова: Балаклавская бухта, загрязняющие вещества, донные отложения, тяжелые металлы, нефтяные углеводороды, гранулометрический состав.

Балаклавская бухта, длительно подвергалась антропогенному воздействию. Известно, что антропогенное воздействие на прибрежно-морскую экосистему сопровождается накоплением в толще донных отложений загрязняющих веществ органического и неорганического происхождения, в том числе тяжелых металлов и нефтяных углеводородов. Это нарушает развитие процессов самоочищения морской среды и способствует формированию устойчивых техногенных аномалий, соответствующих ареалам экологического риска для бентосных сообществ и вероятного вторичного загрязнения.

Цель работы – исследование процессов формирования и динамики донных отложений путем изучения особенностей вертикального распределения их основных геохимических характеристик и загрязняющих веществ; оценка уровня накопления органических веществ и уровня загрязнения донных отложений тяжелыми металлами и нефтяными углеводородами в различных районах бухты, а также источников их поступления в акваторию.

В вертикальном разрезе донных отложениях Балаклавской бухты выполнялось определение валового содержания металлов Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, V, Sr и оксидов металлов TiO_2, MnO, Fe_2O_3 методом рентгенофлуоресцентного анализа, а также содержание органического и неорганического углерода (кулонометрический

метод). В поверхностном слое осадка определялось содержание хлороформ экстрагируемых веществ (ХЭВ) и нефтяных углеводородов (НУ).

Материалами для данной работы послужили 16 проб поверхностного слоя, отобранные в октябре 2018 г. и пять колонок донных отложений, отобранные в сентябре 2018 и 2019 гг. в северной, центральной и южной частях северного бассейна и в северной части южного бассейна Балаклавской бухты.

В работе выполнена сравнительная оценка степени накопления органического вещества и уровня загрязнения донных отложений Балаклавской бухты с предыдущими исследованиями в различных бухтах Севастопольского региона и в некоторых прибрежных акваториях Черного моря. Полученные результаты позволяют оценить современное экологическое состояние бухты.

Получены оценки пространственного и вертикального распределения исследуемых параметров и найдены корреляционные связи между содержанием органического углерода и повышенными концентрациями тяжелых металлов. Для проб поверхностного слоя корреляционные зависимости установлены между содержанием загрязняющих веществ и гранулометрическим составом осадка.

Отмечено, что исследованные группы органических веществ (ХЭВ и НУ) в донных отложениях Балаклавской бухты распределены в поверхностном слое неравномерно: повышенные концентрации отмечены в вершине и центральной части акватории вдоль восточного берега, пониженные – на выходе из нее.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2019-0004 «Прибрежные исследования», а также при поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-45-920007.

КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ПРИРУСЛОВЫХ ОТМЕЛЕЙ В ДЕЛЬТЕ ЕНИСЕЯ ПО КОСМИЧЕСКИМ СНИМКАМ

Кравцова В.И., Вахнина О.В., Чалова Е.Р.

МГУ, г. Москва, Россия
valentinamsu@yandex.ru

Ключевые слова: космические снимки, прирусловые отмели, дешифрирование, карта.

В связи с обострением внимания к Северному морскому пути предпринята попытка картографирования по космическим снимкам распределения отмелей в дельте Енисея, являющейся замыкающим звеном выхода водного транспорта к океану. Использовались современные снимки со спутника Sentinel с достаточно высоким пространственным (10 м) и спектральным (12 каналов) разрешением, полученные в период летней межени 2017–2019 гг. На Танамо-Мунгуйское расширение дельты составлена карта, на которой показаны песчаные и песчано-илистые прирусловые отмели, выделены отмели эстуарного залива, стрежневые зоны русел. Дополнительно отражены формы рельефа дна – участки грядового рельефа на песчаных отмелях, подводные продолжения русел и стрежневых зон в эстуарии, показано распространение водной растительности. Для выделения разных объектов используются различные снимки и методы их дешифрирования. Песчаные отмели, грядовый рельеф на них, подводные продолжения русел дешифрируются по июльским снимкам в красной зоне. Для выделения нечетких контуров песчаных и песчано-илистых отмелей применяется яркостное квантование этих снимков. Для контроля правильности выделения трудно дешифрируемых песчано-илистых отмелей применяется индикационное дешифрирование по снимкам, полученным в августе, когда на этих отмелях развивается водная растительность, четко выявляемая на снимках, синтезированных с естественной цветопередачей. Границы илистых отмелей выявляются на снимках, полученных в сентябре, когда максимальное развитие получает распространенная

на них погружённая растительность. На этих же снимках выделяются и стрежневые зоны. Для выявления продолжения стрежневых зон в эстуарии используется цветовой синтез разновременных снимков.

Работа над картой высветила методические проблемы, возникающие при использовании космических снимков для исследования и картографирования подводных объектов; предложены пути их решения. Учёт глубины проникновения в воду солнечных лучей и анализ спектральной яркости подводных объектов позволяют определить оптимальную для дешифрирования песчаных прирусловых отмелей зону спектра (красная зона) и варианты цветового синтеза. При ограниченном по погодным условиям Арктики выборе безоблачных снимков и необходимости иметь снимки, полученные при минимальных уровнях воды, учитывается не только сезон съемки (меженный период), но и межгодовые колебания стока. Мутность вод ограничивает возможности дешифрирования. Отбираются снимки, полученные при минимальной мутности, используется сопоставление разновременных снимков для отделения изображения изменчивых мутных вод от более стабильных донных объектов; применяется разновременный цветовой синтез. Выделение песчаных отмелей, форм грядового рельефа на них, выраженных в рельефе подводных русел выполняется прямым дешифрированием по вариациям яркости изображения в красной зоне. Для выявления песчано-илистых и илистых отмелей используется индикационное дешифрирование распространенной на них водной растительности. Для выделения нечетких границ между отмелями и стрежневыми зонами русел применяется яркостное квантование снимков.

Сопоставление составленной по современным снимкам карты отмелей дельты Енисея с топографическими и лоцманскими картами 1970–1980-х годов показывает сокращение пощади отмелей, примыкающих к оголовкам крупных островов восточной части дельты, что находится в соответствии с выявленной нами ранее активизацией размыва берегов рукавов дельты Енисея в XXI в.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ № 18-05-60221.

КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ДЕЛЬТЫ ЕНИСЕЯ В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА ПО КОСМИЧЕСКИМ СНИМКАМ

Кравцова В.И., Вахнина О.В.

МГУ, г. Москва, Россия
valentinamsu@yandex.ru

Ключевые слова: аккумуляция наносов, береговая линия, карта динамики, космические снимки, предкарта изменений, размыв берегов.

Устьевые области северных рек в условиях потепления климата привлекают особое внимание исследователей в связи с проблемами использования Северного морского пути.

Енисей – самая многоводная река России с годовым объемом водного стока 630 км^3, но относительно малым стоком наносов 6,4 млн т/год. В устьевой области сформировалась эстуарно-дельтовая система, включающая многорукавную дельту протяжённостью 200 км и ее устьевое взморье в верхней части Енисейского залива длиной 120 км. Дельта Енисея, как и дельты других северных рек, характеризуется слабой изменчивостью. Предшествующие исследования, охватившие вторую половину XX века, показали небольшое нарастание ее площади, преобладавшее над размывом. В лаборатории аэрокосмических методов кафедры картографии и геоинформатики Географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова предпринято исследование динамики дельты Енисея в XXI веке.

Для изучения изменений использовались многозональные снимки со спутников Landsat-7 1999 г. и Sentinel-2 2017 г., полученные в период летней межени при отсутствии облачности и сгонно-нагонных явлений. Геометрическое и яркостное согласование снимков для обеспечения их сопоставимости и другая компьютерная обработка выполнены в Erdas Imagine. Положение береговой линии определено путем квантования снимков в ближнем инфракрасном канале по уровню яркости на объекты «вода»–«суша». После совмещения квантованных снимков получено растровое изображение – «предкарта», показывающая появление

участков суши на месте воды (аккумуляция отложений) и воды на месте суши (размыв берегов). С «предкарты» были удалены участки изменений, не превышающие погрешности их определения.

Малые площади участков аккумуляции и размыва позволяют отображать их реальные размеры лишь на крупномасштабных картах (1:25 000). На обзорной карте дельты в целом (1:200 000) узкие полосы вдольберегового размыва и аккумуляции не отображаются, но по ширине этих полос на «предкарте» можно рассчитать среднегодовую скорость смещения береговой линии. Поэтому на обзорной карте осуществлён переход к обобщающим характеристикам – выделению участков изменений разной направленности (аккумуляция или размыв) и интенсивности процессов, определяемой среднегодовой скоростью перемещения береговой линии (м/год).

Анализ составленных карт показывает, что дельта продолжает оставаться мало динамичной, но в начале XXI века тенденция ее развития изменилась от слабого нарастания к размыву. При общем уменьшении площади дельты, размыв берегов (125 км^2) превысил аккумуляцию (около 14 км^2) в 9 раз.

Нарастание суши наблюдается лишь локально на морском крае. Размыв охватывает как морской край дельты, так и берега магистральных рукавов. Если ранее размыв оголовков крупных островов дельты сопровождался аккумуляцией наносов в их ухвостьях, то теперь такой аккумуляции почти не происходит. Для осерёдков и побочней в руслах характерна разнонаправленная динамика – их размыв и образование новых ниже по течению, с перемещением отмелей и осерёдков.

Переход от медленного выдвижения нижнего края дельты в залив к его отступанию, увеличению размыва берегов рукавов можно объяснить общим изменением природной обстановки при потеплении климата, увеличением водного стока Енисея без увеличения стока наносов. Отмеченное изменение тенденции развития в целом представляется весьма благоприятным с точки зрения развития судоходства, особенно имея в виду сильно возрастающую роль Северного морского пути.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ № 18-05-60221.

ПРИУСТЬЕВЫЕ ГЕОЭКОСИСТЕМЫ ЮЖНОЙ БАЛТИКИ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ СОВРЕМЕННОГО РАЗВИТИЯ

Краснов Е.В., Баринова Г.М., Рябкова О.И., Ушакова Л.О.

БФУ, г. Калининград, Россия
ecogeography@rambler.ru

Ключевые слова: сокращение биоразнообразия, чужеродные виды, эвтрофикация, деградация связей, природно-антропогенные риски, экологизация природопользования.

Геоэкологический подход к решению множества проблем природопользования в прибрежной зоне моря, в отличие от узкоспециализированных разработок (к примеру, берегозащиты, добычи янтаря, развития туризма и т. п.), требует интегрирования самых разнообразных данных с учетом системы методологических принципов (взаимодействия, дополнительности, относительности и др.), базирующихся на биосферно-ноосферной концепции, разделяемой многими зарубежными исследователями, но почти забытой в России. Геоэкосистемы береговой зоны понимаются в качестве совокупностей взаимосвязанных и обменивающихся вещественно-энергетическими и информационными потоками компонентов (от геолого-геоморфологических и биотических до антропогенных и космогенных), сопряженно развивающихся в пространственно-временных континуумах. Наглядный пример длительной коэволюции – развитие приустьевых геоэкосистем Южной Балтики – между Вислой и Неманом, с момента появления в палеолите первых рыболовов, охотников и добытчиков янтаря до современных нефтедобытчиков и рыбопромышленников, мало заботящихся об охране природно-ресурсного потенциала, не говоря уже о его воспроизводстве. Чрезмерная эксплуатация природных ресурсов прибрежных геоэкосистем уже обернулась сокращением биологического разнообразия лагунных и шельфовых вод, эвтрофикацией и иными видами загрязнения. Это, в свою очередь, чревато ростом патогенных заболеваний гидробионтов, а через них – наземных животных и человека.

Возрастают риски, бактериального и вирусного патогенеза, связанные со вторжением чужеродных видов беспозвоночных и рыб из прибрежно-морских зон США, Китая и других стран. При этом нарушаются эволюционно обусловленные связи и отношения местных видов.

Все более очевидны конфликты между разными группами природопользователей соседних стран и регионов (Россия, Польша, Литва), сотрудничество между которыми в прежние годы способствовало сокращению количества «горячих точек» на Калининградском побережье, строительству общегородских систем очистки сточных вод, закрытию вредных производств, повышению уровня экологической культуры населения, экологизации образования и др.

Для комплексного управления прибрежной зоной (КУПЗ) следует разработать междисциплинарные программы и алгоритмы, не только описательного, но и упреждающего прогнозного характера, на основе более глубокого понимания солнечно-земных связей в геоэкосистемах, их квазициклических изменений. Положительный опыт прогнозирования вариаций биологической продуктивности гидробионтов, широко известен. Не менее важны вековые циклы между панэпидемиями вирусного происхождения (гриппа и его производных).

Для охраны и воспроизводства местной фауны и флоры, предотвращения инвазии чужеродных видов с их микроорганизмами система экологического мониторинга прибрежных вод должна быть более регулярной и всесторонней.

Для оптимизации природопользования в прибрежной зоне необходимо на федеральном уровне разработать и принять, наконец, Береговой кодекс РФ. Несовершенство существующего законодательства создает серьезные помехи для согласованного управления этой критически значимой для России зоной.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ЗАЛИВА ДОНУЗЛАВ В СОВРЕМЕННЫЙ ПЕРИОД (2017–2020 ГГ.)

Липченко А.Е., Дьяков Н.Н., Мальченко Ю.А., Белогудов А.А.

ГОИН, г. Москва, Россия
lipch2015@yandex.ru

Ключевые слова: залив Донузлав, соленость, водный баланс, биогенные вещества.

Залив Донузлав является важным объектом хозяйственной, рекреационной и природоохранной деятельности человека. От Черного моря зал. Донузлав отделён пересыпью длиной около 10 км, площадь залива около 48 км^2. До соединения с Черным морем в 1961 г., когда в пересыпи был прорыт канал шириной около 400 м с судоходным фарватером, было озеро Донузлав, которое представляло собой типичное минеральное озеро Тарханкутской группы. Его распреснение после соединения с морем, произошло довольно быстро, уже к концу 60-х годов прошлого века соленость в озере сравнялась с соленостью примыкающих морских вод Черного моря.

В период 2017–2020 гг. сотрудники СО ФГБУ «ГОИН имени Н.Н. Зубова» проводили регулярные гидролого-гидрохимические съемки залива с использованием CTD зондов. Всего было выполнено 8 съемок. Период исследований охватывал все сезоны года.

Полученные данные позволили выявить значительную сезонную и пространственную изменчивость полей распределения температуры воды и солености в заливе. Наименьшие величины солености в поверхностном слое (2,43–13,68 ‰) наблюдались у Аблямитского моста, наибольшие (18,92–19,66 ‰) – у Донузлавской пересыпи (косы Беляус).

Выявлено увеличение солености воды в заливе по сравнению с предыдущими исследованиями. В сентябре-октябре 2018 г. соленость в поверхностном слое вод залива достигала на отдельных станциях 18,84–18,92 ‰. Средняя соленость по всему слою составила 18,81 ‰ в сентябре и 18,78 ‰ в октябре.

В сентябре 2019 г. максимальная соленость в поверхностных водах залива оставалась высокой, достигая величин 18,71 ‰, при средней величине солености на всех горизонтах 18,59 ‰. В апреле 2020 г., максимальное значение солености поверхностного слоя составило 18,74 ‰, при средней величине во всем слое глубин – 18,57 ‰.

Рост солености зал. Донузлав обусловлен аридизацией климата Западного Крыма. В последние годы здесь наблюдается повышение температуры воздуха, при снижении количества осадков, что приводит к более интенсивному испарению с поверхности залива и способствует осолонению его вод. В этих условиях можно и в дальнейшем ожидать увеличения солености в зал. Донузлав, что может привести к негативным экологическим последствиям, таким как изменениям биопродуктивности и биоразнообразия залива.

Отрицательное воздействие на экосистему залива оказывает и неконтролируемое развитие мидийных и устричных хозяйств. Многочисленные плантации моллюсков истощают запас биогенных веществ и негативно сказываются на биоразнообразии залива. При проведении экспедиционных исследований в центральной части зал. Донузлав в мае 2019 г. нами наблюдалось практически полное отсутствие неорганических соединений фосфора вплоть до аналитического нуля. Аналогичный вывод может быть сделан по характеру распределения концентраций общего фосфора. Минимальные концентрации элемента наблюдались в районе выпуска канализационных очистных сооружений пгт Новоозерное и южной части залива. Эти районы являются основными центрами выращивания устриц и мидий. Более высокие значения концентрации элемента наблюдались только в кутовой части Донузлава, где поступление элемента происходит с притоком подземных вод и фильтрацией вод пресноводной части залива через дамбу Аблямитского моста, а также у косы Беляус, где поступление фосфора обеспечивается затоком морских вод.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ МЕТАНОВОЙ ДЕГАЗАЦИИ НА ДНЕ БУХТЫ ЛАСПИ (ЮБК)

Лысенко В.И. [1], Шик Н.В. [2]

[1] Филиал МГУ в г. Севастополе, г. Севастополь, Россия
[2] Севастопольский центр туризма, краеведения, спорта и экскурсий, г. Севастополь, Россия
niagara@mail.ru

Ключевые слова: дегазация, этан, метан, флюиды, бактериальные постройки, археи, метанолиты.

Наблюдения за выходами пузырьков газа на дне кутовой части бухты Ласпи ведутся на протяжении 15 лет. Выходы точечных струек газа (более 20) находятся на расстоянии от 10 до 60 м. от береговой линии на глубине от одного до трех метров и занимают площадь около 2 500 м^2. Участок дегазации находится на пересечении зон разломов в перемятых породах таврической серии. В составе флюидов присутствуют метан, этан, пропан и сероводород. Дебит газовых струй равен 140–480 л/сутки. Возможно, его выбросы резко возрастают в периоды сейсмической активности/

Результатом особой деятельности геологических, биологических и экологических процессов на дне бухты Ласпи являются «скальные гряды», сформированные в местах выхода газа. Они представлены тремя субпараллельными куэстообразными бактериальными постройками. Эти подводные гряды, в отличии от окружающих рыхлых отложений, дна сложены конгломератами и гравелитами. В них терригенные породы имеют слабовыраженную слоистость, повышенную пористость и содержат большое количество мелких створок двухстворчатых моллюсков и трубок серпул. Пленочный цемент в грядах представлен бактериальным карбонатом. Подводные куэсты можно считать «пляжными» бактериальными карбонатными постройками. Они сложены гравием и мелкой галькой, которые цементированы материалом хемогенного синтеза. В осадках обнаружены различные роды Methanogenium, а также археи группы ANME-2a/b, что указывает

на формирование «пляжных» карбонатных бактериальных построек за счет переработки метана прокариотами. Поэтому такие образования относятся микробиолитам. Так-как в их генезисе значительная роль принадлежит метану, то их более правильно называть «пляжными» метанолитами бухты Ласпи.

С грядами «пляжных» метанолитов связаны местные «оазисы жизни». Богатство и разнообразие животного и растительного мира карбонатных бактериальных построек резко отличает их от почти безжизненного окружения рыхлых песчаных отложений. С поверхности постройки покрыты зарослями бурых, красных и зеленых водорослей, колониями мшанок. В большом количестве на поверхности «оазисов жизни» встречаются моллюски (митилястеры, рапаны, мидии) и карбонатные трубки полихет. Червеобразные закрученные раковины сидячих червей–полихет серпул и спиральные кольца спирорбусов характеризуются довольно крупными размерами и массивной скульптурой. В их центральной части отмечаются налеты органики черного цвета следов симбиоза с метанотрофными и метаногенными археями и бактериями. При исследовании осадочных отложений бухты Ласпи сотрудниками ИнБЮМ РАН г. Севастополя было установлено, что на станциях, которые находились в зонах дегазации, отмечаются значительные разнообразия мейобентоса, а его численность по сравнению с другими точками опробования в этой бухте выше в тысячу раз, что связано с симбиозом прокариот. Изобилие рыбы в бухте Ласпи отмечено в научной и художественной литературе.

«Пляжные» метанолиты в подводной части бухты Ласпи являются уникальными геолого-биологическими объектами в зоне соприкосновения и взаимодействия литосферы, гидросферы, атмосферы и биосферы. Поступление метана и сероводорода контролируют жизнь и экологию данной акватории.

ОПАСНЫЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В УСТЬЯХ РЕК: КЛАССИФИКАЦИЯ, СОБЫТИЯ, РИСКИ

Магрицкий Д.В.

МГУ, г. Москва, Россия
magdima@yandex.ru

Ключевые слова: устье реки, опасные гидрологические процессы, явления и события, терминология, классификации.

Неординарное строение, природные условия и гидрометеорологический режим устьевых областей рек (УОР) созданы такими же специфическими природными процессами. В устьях рек они сложны и изменчивы, иногда приобретают опасный характер. Среди них превалируют опасные гидрологические процессы. В УОР их состав, повторяемость и магнитуда обычно выше, чем в бассейне реки и на др. участках побережий. Способствуют этому также низменный рельеф, обилие водных объектов, нестабильность грунтов, высокая плотность населения и хозяйственное освоение территории, ценность и уязвимость биоценозов. Из-за климатических изменений и расширения природопользования опасность возрастает.

Опасными гидрологическими процессами (ОГП) следует называть те из них, которые по своим характеристикам могут оказать негативное или даже поражающее воздействие на людей, сельскохозяйственные растения и животных, объекты экономики и социальные, природные памятники и редкие/охраняемые биоценозы. К ним могут относить некоторые геологические и морские гидрометеорологические процессы. Неблагоприятные процессы – лишь подвид опасных процессов, но с наименее тяжелыми последствиями. Гидрологическое явление – внешняя форма, результат одной или нескольких стадий (фаз, этапов) одного или сочетания нескольких природных процессов, включая гидрологические. К явлению, опасный потенциал которого реализовался, и с ним связан ущерб, применимо понятие «опасное гидрологическое событие».

ОГП и связанные с ними события различаются своим происхождением и характеристиками. Так как они вызываются разными факторами, то относятся к нескольким генетическим типам. В соответствие с авторским подходом, их можно, во-первых, объединить (применительно к УОР) в семь больших групп: наводнения и опасные обмеления разного происхождения и отношения к «каркасным водным объектам», опасные ледовые процессы, опасные морфодинамические процессы, подтопление, заболачивание и аридизация земель, опасные гидродинамические процессы, главным образом, на устьевом взморье, ухудшение качества поверхностных и подземных вод. В зависимости от степени участия морских, речных и местных (физико-географических) факторов опасные события в УОР могут быть речного, морского, местного и смешанного (суммарного) типа, человека и естественных факторов – исключительно природного, антропогенного (техногенного), либо природно-антропогенного происхождения.

Во-вторых, сами события различают с учетом временного фактора. Они могут быть практически мгновенными (секунды, минуты), кратковременными (от нескольких часов до 1,5–2 нед.), сезонными, многолетними (от одного года до нескольких лет), внутривековыми и вековыми. Принимают во внимание также их случайность, периодичность, фактор внезапности и др.

В-третьих, события разделяют по размерам подвергшейся воздействию территории, или акватории. Выделяют события локальные, районного и даже регионального масштаба, национальные или трансграничные. Они также могут быть точечными, линейными, площадными и объемными.

В-четвертых, по характеристикам и тяжести воздействия события ранжируют от малоопасных (небольших, неблагоприятных, легчайших и т. п.) до катастрофических (выдающихся, разрушительных и т. п.). По этому вопросу существует много подходов и градаций, в том числе у автора. Немаловажным здесь служит уникальная авторская база данных по опасным гидрологическим событиям в стране, включая арктические районы, начиная с событий с начала XVIII в.

Исследование выполнено при финансовой поддержке ГБ темы №I.10 ЦИТИС АААА-А16-116032810054-3.

БИОЛОГИЯ КРАБОВ БАРЕНЦЕВА МОРЯ, ПОРАЖЕННЫХ ПАНЦИРНОЙ БОЛЕЗНЬЮ

Макеенко Г.А.

ПИНРО, г. Мурманск, Россия
makeenko@pinro.ru

Ключевые слова: камчатский краб, краб-стригун опилио, панцирная болезнь, Баренцево море.

В Баренцевом море наиболее значимыми являются два вида крабов: камчатский краб *(Paralithodes camtschaticus*, сем. Lithodidae) и краб-стригун опилио (*Chionoecetes opilio*, сем. Magidae). Первый вид был акклиматизирован к условиям Баренцева моря в начале 1970-х гг., но до сих пор сохраняет невысокую численность. Второй впервые был зарегистрирован в Баренцевом море в 1996 г. и к настоящему времени образовал самовоспроизводящуюся популяцию на северо-востоке моря и активно расширяет свой ареал.

В связи с увеличением общей численности и биомассы крабов возникает необходимость изучения их эпизоотического состояния. Одним из наиболее распространенных заболеваний считается панцирная болезнь, сопровождающаяся язвенными поражениями экзоскелета.

Всего за период с февраля 2019 по февраль 2020 г. сотрудниками Полярного филиала ФГБНУ «ВНИРО» («ПИНРО им. Н.М. Книповича») клиническому осмотру на наличие признаков панцирной болезни подвергли 6 307 экз. камчатского краба и 6006 экз. краба-стригуна. Размеры карапакса у больных особей камчатского краба варьировали от 99,2 до 234,9 мм, масса от 586 до 6150 г. У краба-стригуна опилио 31–138 мм и 12–1113 г, соответственно. Все пораженные крабы имели карапакс в 3 или 4 межлиночной стадии. Средний процент особей, у которых зафиксировали внешние проявления панцирной болезни разной степени интенсивности, составил 9,2 % у камчатского краба и 6,1 % у краба-стригуна опилио.

При начальной степени заболевания у обследованных крабов отмечали пятна и неглубокие эрозии экзоскелета темно-коричневого или черного цвета в основном в области ходильных ног (5,1–5,3 % от числа пораженных особей). Площадь отдельных участков не превышала 0,5 см^2. При дальнейшем развитии заболевания у крабов со II степенью (средняя) панцирной болезни фиксировали расширение зоны поражения экзоскелета до 1 см^2 и вовлечение в патологический процесс поверхности карапакса и абдомена. У ракообразных с III степенью панцирной болезни (сильная) наблюдали глубокие изъязвления экзоскелета (площадь поражения более 1 см^2) вплоть до полного его прободения.

Гистологические исследования показали, что при начальной и средней степени болезни состояние внутренних органов не изменяется. При прободении экзоскелета на ходильных ногах наблюдается некротическое поражение мышц: они становятся белыми на вид, разрушается клеточная структура волокон. Чаще всего поражаются отдельные участки мышц, поэтому способность краба к передвижению сохраняется.

При прободении карапакса наблюдаются кровоизлияния в жабрах, некроз отдельных участков жабренных лепестков и их редукция, а также частичное разрушение гепатопанкреаса.

Таким образом, можно отметить, что с увеличением межлиночной категории у крабов происходит постепенное прогрессирование панцирной болезни и язвенное поражение наблюдается не только на экзоскелете, но и во внутренних органах (некроз мышц и редукция жаберных лепестков).

В целом, в настоящее время в Баренцевом море отмечается невысокий уровень встречаемости панцирной болезни с сильной степенью развития. Эпизоотическую ситуацию по этому заболеванию крабов можно считать удовлетворительной. Однако требуется постоянное наблюдение за состоянием популяций камчатского краба и краба-стригуна для оценки возможных негативных последствий панцирной болезни, в том числе влияние на репродуктивную функцию особей.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ КРИЗИС В СЕВЕРНОМ КРЫМУ (Г. АРМЯНСК) И ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ ЕГО РЕШЕНИЯ

Мальченко Ю.А., Дьяков Н.Н., Жиляев Д.А., Боброва С.А.

ГОИН, г. Москва, Россия
mvr121@yandex.ru

Ключевые слова: Армянск, Сиваш, экологическая катастрофа, кислотонакопитель-испаритель, химическое загрязнение

Одной из существенных причин возникновения чрезвычайных ситуаций в Крыму является химическое загрязнение его водных объектов и прибрежных акваторий, обусловленное техногенными факторами. Мониторинг этого загрязнения уже многие десятилетия осуществляет специализированное подразделение Росгидромета – Севастопольское отделение ФГБУ «Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова».

Формирование промышленной зоны в Северном Крыму было начато в 1932 г. с открытием на Перекопском перешейке Крымского бромного завода (ныне – АО «Бром»). После войны завод был восстановлен, а в 1973–1974 гг. были построены Крымский содовый завод (ныне АО «Крымсода») и завод «Крымский титан» (ныне АФ ООО «Титановые инвестиции»).

Для хранения отходов производства двуокиси титана завод «Крымский титан» использует специальный кислотонакопитель-испаритель (КН). Расположенный между п-овами Ад и Литовский КН представляет собой отшнурованный от залива Западный Сиваш построенной дамбой (длиной 7 км и высотой 6–7 м) замкнутый водоем. С августа 2018 г. Северный Крым оказался на грани экологической катастрофы, обусловленной грубыми технологическими нарушениями безопасной эксплуатации КН завода. В результате недостаточных объемов подачи пресной воды в КН и интенсивного испарения с поверхности КН нарушился баланс вод КН и произошло его высыхание (уровень воды понизился ниже критической отметки). В итоге произошло повышение концентрации кислот в КН и в атмосферу стали попадать аэрозоли кислот, а в Армянске был введен режим чрезвычайной

ситуации и проведена частичная эвакуация. В настоящее время в КН поступают промышленные стоки завода «Крымский титан», а также неочищенные сточные воды г. Армянск. Сброс сторонних отходов не учтен в проекте КН и может привести к выходу его из строя, усилению загрязнения воздуха и подземных вод.

Не многим лучше обстоят дела с содовым и бромным производством. Для первого, используемый метод Сольве предусматривает регенерацию аммиака из раствора хлористого аммония обработкой гидроокисью кальция. При этом образуется раствор хлористого кальция, объем которого составляет 10 $м^3$ на тонну произведенной соды. Этим раствором в настоящее время заполнены озера Красное и Янгул, а также отсеченные от Сиваша лиманы Филатовской засухи. Последние находятся в непосредственной близости от КН и при взаимодействии этих жидкостей возможно выделение чрезвычайно опасного для биоты хлороводорода. Не исключено, что взаимодействие этих жидкостей в грунтовых водах или коммуникациях привело к тяжелым экологическим последствиям наблюдающихся с конца 2018 г.

Производство брома связано с образованием отработанной рапы. Эта жидкость заполнила часть акватории оз. Старое и нуждается в утилизации. Нами было установлено, что часть рапы перекачивается на Красноперекопские КОС, где, смешиваясь с хозяйственно-бытовыми стоками, сбрасывается по системе каналов в Каркинитский залив. О влиянии сброса на качество вод залива может свидетельствовать тот факт, что на расстоянии ~20 м от места сброса, в заливе, величина солености составляет 183 ‰. Сбрасываемые воды содержат многократно превышающие ПДК концентрации биогенных элементов и СПАВ.

По нашему мнению, решение экологических проблем региона, заключается в реорганизации технологического цикла с внедрением более экологически чистых технологий. В случае невозможности проведения таких мероприятий, химическое производство в Северном Крыму следует ликвидировать с проведением комплекса рекультивационных мероприятий.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-05-41101.

КЛАССИФИКАЦИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МОРСКОГО ПРИБРЕЖНОГО МУСОРА МЕТОДОМ OSPAR НА ПЛЯЖАХ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

Лобчук О.И., Килесо А.В.

ИО РАН, г. Москва, Россия
olga_may87@mail.ru

Ключевые слова: морской прибрежный пластик, антропогенный мусор, метод OSPAR.

В современной жизни пластик играет важную роль, он легкий, долговечный и дешевый. Массовое производство пластмасс началось в 1940-х гг. и с тех пор количество производимости пластмассы ежегодно увеличивалось [Hofer, 2008; Roy and Visakh, 2015]. Мировое производство пластмасс в 2013 г. достигло уровня 299 млн. т в год [Plastics Europe, 2015]. Наиболее распространенными пластмассами, на которые приходится около 80 % европейского спроса на пластмассы, являются полиэтилен (PE), полипропилен (PP), вспененный полистирол (пенополистирол) (EPS or PS foam), поли (винилхлорид) (PVC), полистирол (PS), поли (этилентерефталат) (PET) и полиуретан (PU) (Plastics Europe, 2008). Практически все эти виды можно встретить на пляжах Калининградской области.

Чтобы провести классификацию загрязнения пляжей с различной антропогенной нагрузкой по методу OSPAR, был проведен отбор проб на песчаных пляжах в шести точках региона (Балтийская коса, Балтийск, Янтарный, Пионерский, Зеленоградск и Куршская коса) в период 2019–2020 г. Метод OSPAR широко используется для пляжей Балтики [Balčiūnas и Blažauskas, 2014; Haseler et al., 2017; Schernewski et al., 2018]. Согласно методике, пляжи должны состоять из песка или гравия; подвергается воздействию открытого моря; быть доступным для исследователей весь год; минимальная длина пляжа должна быть не менее 100 метров и по возможности более 1 км в длину.

По результатам мониторинга получилось, что на побережьях Калининградской области число элементов мусора варьировалось от 169 шт./100 м до 728 шт./100 м. Для сравнения, на пляжах Литвы число элементов морского мусора варьировалось от 138 шт./100 м до 340 шт./100 м [Balčiūnas и Blažauskas, 2014], а вдоль побережья Балтийского моря Германии – от 7 шт./100 м до 404 шт./100 м [Haseler et al., 2017].

Исследования проводятся при поддержке РФФИ, грант № 19-45-393006 р_мол_а.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА БИОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ ПРИБРЕЖНЫХ ВОД КРЫМА НА ОСНОВЕ БИОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Мельникова Е.Б. [1], Серебренников А.Н. [1], Мельников А.В. [2]

[1] ИПТС, г. Севастополь, Россия
[2] СевГУ, г. Севастополь, Россия
helena_melnikova@mail.ru

Ключевые слова: Черное море, планктонные сообщества, интенсивность биолюминесценции, продуктивность вод.

Рациональное использование морских промысловых акваторий требует знания пространственной и функциональной структуры эксплуатируемых экосистем и оценки их продуктивности. Планктонные сообщества являются базовым звеном морских экосистем и, обладая быстрым реагированием на изменения в экосистеме, могут служить оперативным индикатором биологической продуктивности вод.

Известно, что интенсивность биолюминесценции, формируемая планктонным сообществом, характеризуется высокой корреляционной связью с концентрацией планктона, отражает его функциональное состояние и пространственную структуру и, как следствие этого, биолюминесцентные измерения могут быть использованы в качестве индикатора состояния биотопов, а также для сравнительной оценки биологической продуктивности морских акваторий.

Биолюминесцентные измерения проводили методом многократного батифотометрического зондирования толщи воды с использованием гидробиофизического комплекса «Сальпа-М».

В докладе проведена сравнительная оценка продуктивности прибрежных вод Крыма в летний период на основе анализа вертикального распределения интенсивности биолюминесценции гидробионтных сообществ, расчете предложенным методом интегральной интенсивности биолюминесценции гидробионтных сообществ (ИИБГС) и спутниковых измерений аномалий уровня моря, позволивших выделить зоны конвергенции и дивергенции в районе проведения исследований. Предложенный метод определения ИИБГС, характеризующей биологическую продуктивность вод, не требует сложной лабораторной обработки биологического материала, обеспечивает возможность проведения оперативных исследований на больших пространствах, позволяет получать информацию в реальном масштабе времени.

В докладе приведены рассчитанные значения ИИБГС для 31 станции, расположенных от мыса Тарханкут на западе до Керченского предпроливного района на востоке в шельфовой и глубоководной зонах Крыма. Получено, что на ИИБГС в прибрежных и глубоководных районах Крыма в летний период оказывают влияние достаточно высокие температуры верхнего перемешанного слоя, глубина региона, термохалинная структура вод и характер циркуляционных процессов.

Отмечено, что на глубоководных станциях с глубинами более 2000 м в юго-западной части Черного моря устойчивая стратификация вод в летний период способствовала формированию двух слоев с высокой концентрацией гидробионтов: верхний слой на глубине 8,5–14 м образован теплолюбивыми формами фитопланктона, второй слой на глубине 40–45 м образован холодолюбивыми (глубоководными) видами фитопланктона. При этом ИИБГС глубоководного слоя превышала ИИБГС верхнего слоя в 1,56 раза.

В прибрежных районах Крыма наибольшая средняя ИИБГС, составляющая 37830±283,5 пВт·см$^{-2}$·л$^{-1}$, наблюдалась на юго-западном шельфе Крыма, что характеризует этот район как высокопродуктивный. При этом слой с высокой интенсивностью свечения гидробионтов располагался на глубинах от 15 до 23 м.

В Керченском предпроливном районе, в котором станции находились в основном в зоне дивергенции, средняя ИИБГС составляла 30530±268,1 пВт·см$^{-2}$·л$^{-1}$, уступая лишь в 1,24 раза значению на высокопродуктивном мелководном юго-западном шельфе.

КОГДА ЮЖНЫЙ БУГ БЫЛ БОРИСФЕНОМ

Миньковская Р.Я.

МГИ, г. Севастополь, Россия
rosmink@yandex.ru

Ключевые слова: Устье рек Днепр и Южный Буг, палеогеография, реконструкция, Борисфен.

В современной научной и учебной литературе утверждение, что в античное время р. Днепр называли Борисфеном, никогда не подвергалось сомнению. Тот факт, что Геродот при описании «Скифского квадрата» в V–IV вв. до н.э. указывал, что полис Ольвия (с. Парутино) располагался в устье р. Борисфен (р. Южный Буг) либо игнорируется, либо объясняется «ошибками» автора «Истории», в частности, его книги IV «Мельпомена».

Цель работы – обоснование гипотезы о том, что р. Южный Буг, а не р. Днепр являлась Борисфеном. Для доказательства достоверности работы Геродота выполнен анализ литературы по палеогеографии, геоморфологии, палеогидрологии, археологии, геологии, истории, а также старинных карт северо-западной части Черного моря и архивных материалов.

Совместный историко-географический анализ подтверждает гипотезу о том, что р. Борисфеном являлась р. Южный Буг на всём протяжении, известном греческим колонистам северного Причерноморья. Река Гипанис идентифицируется с р. Березань–Чичиклея, Пантикапа – с р. Ингул, Гипакирис – с р. Ингулец.

Река Герр, нижнее течение многорукавной р. Днепр, не осваивалась греческими поселенцами V–IV вв., поэтому не ассоциировалась с р. Борисфен, а лишь с его левым, несудоходным рукавом,

что, однако, в дальнейшем привело к ошибочным выводам о том, что р. Днепр – на всём своём протяжении называлась Борисфеном, а Гипанис (Южный Буг) был рукавом Борисфена.

Предлагаемая идентификация рек Скифии, основанная на данных палеогеографии северного Причерноморья позволит без каких-либо противоречий с данными истории, археологии и геологии, идентифицировать расселение древних племен на этой территории и исправить неточности в географической литературе.

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В СЕВАСТОПОЛЬСКОЙ БУХТЕ

Мыслина М.А., Орехова Н.А., Вареник А.В., Козловская О.Н.

МГИ, г. Севастополь, Россия
569455@mail.ru

Ключевые слова: биогенные элементы, Севастопольская бухта.

Исследование экологического состояния морских акваторий при решении проблем рационального природопользования является актуальным на протяжении многих десятилетий. Севастопольская бухта как морская экосистема является сложным водным объектом, так как принадлежит к числу морских акваторий, которые подвержены постоянному антропогенному воздействию. В кутовой части бухты расположено устьевое взморье реки Черной, здесь происходит смешение речных и морских вод. Все эти факторы способствуют увеличению поступления биогенных элементов в акваторию, что может приводить к эвтрофикации.

Для изучения особенностей распределения биогенных элементов в Севастопольской бухте были использованы данные ежеквартального мониторинга гидрохимических характеристик вод бухты в период с 2014 по 2019 гг. Лабораторный анализ проб морской воды на содержание в них неорганических форм азота,

фосфора и кремнекислоты осуществлялся стандартными методами гидрохимического анализа в ФГБУН ФИЦ МГИ РАН.

В результате исследований было установлено, что в среднем концентрация аммонийного азота в водах бухты в исследуемый период изменялась от 0,2 до 1,6 мкмоль/л как в поверхностном, так и придонном слое вод. Максимальные величины концентраций были отмечены в декабре 2015 г, минимальные – в сентябре 2015 г., апреле 2016 г., августе 2018 г. В целом повышенное содержание ионов аммония наблюдалось в зимний период, для теплого времени года были характерны незначительные концентрации.

Концентрация суммы нитратов и нитритов в поверхностном слое вод бухты изменялась в широких пределах от 0,4 мкмоль/л (апрель 2018 г.) до 6,8 мкмоль/л (февраль 2015 г.). В придонном слое концентрации были ниже и составляли 0,3–5,0 мкмоль/л.

В поверхностных водах бухты концентрация кремнекислоты изменялась в диапазоне от 0,6 мкмоль/л (май 2017 г.) до 6,8 мкмоль/л (декабрь 2016 г.). В придонном слое вод – 0,9 мкмоль/л (апрель и ноябре 2019 г.) – 7,5 мкмоль/л (декабрь 2016 г.).

Содержание фосфатов в большинстве случаев было ниже аналитического нуля, однако в зимний период могло достигать 0,1 мкмоль/л в поверхностном и придонном слоях.

При рассмотрении пространственного распределения биогенных элементов отмечено, что максимальные концентрации их наблюдались в поверхностном слое кутовой части Южной бухты. Концентрация ионов аммония достигала 30,5 мкмоль/л, суммы нитратов и нитритов – 285,2 мкмоль/л, кремнекислоты – 92,5 мкмоль/л. Повышенное содержание аммонийного азота и кремнекислоты также отмечалось в придонном слое в районе ГРЭС в гидрологический летний сезон (с июня по сентябрь). Концентрации составляли соответственно 35,2 мкмоль/л и 29,7 мкмоль/л.

В сезонном распределении биогенных элементов отмечалось увеличение содержания от летнего к зимнему периоду за счет более интенсивного перемешивания вод по сравнению, а также поступления их с терригенным и речным стоком. Снижению концентрации в поздне-весенний и летний периоды способствовала

активизация процессов фотосинтеза, приводящего к потреблению этих элементов фитопланктоном.

Работа выполнена в рамках госзадания ФГБУН ФИЦ МГИ № 0827-2019-0004 «Прибрежные исследования» и проекта РФФИ № 18-05-80028 «Опасные явления».

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МЕТАБОЛИТОВ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ ЯПОНСКОГО МОРЯ НА ПАТОГЕННЫЕ БАКТЕРИИ

Огнистая А.В., Тананаев И.Г.

ДВФУ, г. Владивосток, Россия
alya_lokshina@mail.ru

Ключевые слова: морские микроводоросли, экстракты, метаболиты, патогенные микроорганизмы, биопленка, антимикробная активность.

С каждым годом резистентность болезнетворных бактерий к антибиотикам возрастает. Неспособность инактивировать патогенные микроорганизмы основывается на формировании в процессе жизнедеятельности высоко структурированного сообщества клеток, которое обеспечивает мощную защиту при антибактериальных процедурах и дезинфекции. Такое сообщество носит название биопленка. Бактериальные биопленки представляют собой значительные скопления бактерий, заключенные во внеклеточный матрикс, где создана оптимальная среда, в которой компонентные микробные клетки достигают гомеостаза. Поиск новых эффективных препаратов из природных источников является актуальным направлением для исследования.

Представители, населяющие морскую среду, имеют огромный потенциал для получения новых биопродуктов. Известно, что морские микроводоросли являются богатым источником биологически активных веществ -фенолов, аминокислот, жирных кислот, каротиноидов, альгицидов, алкалоидов, флавоноидов и др. В

процессе жизнедеятельности представители фитопланктона способны производить вторичные метаболиты, обладающие мощными антибактериальными, противогрибковыми, противовирусными, противораковыми и противовоспалительными свойствами. Интерес к одноклеточным водорослям заключается в их быстром росте, простым потребностям в питательных веществах, а также запуске вторичного метаболизма в экстремальных условиях. Метаболизм микроводорослей активно реагирует на изменения внешней среды – температура, pH, соленость и др., что, в свою очередь, меняет внутриклеточную среду организма. При манипулировании условиями культивирования существует возможность стимуляции биосинтеза желаемого соединения.

Скрининг вытяжек, полученных от разных штаммов микроводорослей, является универсальным методом определения биологической активности. В нашей работе посредством экстракции было получено два типа метаболитов: эндометаболиты, изолированные из клеточной массы водорослей, и экзометаболиты, выделенные из культуральной среды. Проведена оценка влияния этих метаболитов на выживаемость патогенных бактерий в планктонной и биопленочной форме. Исследование микроводорослей, изолированных из Японского моря, позволило обнаружить несколько штаммов, приостанавливающих рост и биопленкообразование болезнетворных микроорганизмов. В результате эксперимента выявлено два вида микроводорослей, обладающих антибиопленочной активностью и являющихся перспективными объектами для дальнейшего изучения. Следует отметить, что виды, отличающиеся антимикробной активностью, в данной работе являются продуцентами фикотоксинов и способны вызывать цветение в прибрежных акваториях Японского моря. Настоящее исследование подтверждает необходимость подробного изучении биохимического состава микроводорослей, имеющих свойства подавлять бактерии, а также указывает на возможность тестирования микроводорослей в качестве источника естественных антибиотиков.

ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ МОРСКИХ ПРИБРЕЖНЫХ ЭКОСИСТЕМ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Орехова Н.А. [1], Куринная Ю.С. [1], Овсяный Е.И. [1], Гуров К.И. [1], Тихонова Е.А. [2]

[1] МГИ, г. Севастополь, Россия
[2] ИнБЮМ, г. Севастополь, Россия
Kurinnaya-jul@yandex.ru

Ключевые слова: донные отложения, поровые воды, кислород, полярография, Черное море.

Увеличение уровня антропогенной нагрузки, приводящей к поступлению органических веществ и биогенных элементов, способствует возникновению крайне негативных изменений в прибрежных морских экосистемах.

Осаждение органического вещества в донных отложениях обуславливает расход кислорода на его окисление. Потребление кислорода на процессы минерализации органического вещества приводит к накоплению последнего в донных отложениях, дефициту кислорода в придонном слое вод и, как следствие, развитию анаэробных условий в осадках. Формируются зоны дефицита кислорода (гипоксии), что влияет на экологические характеристики и биоразнообразие морских экосистем.

В работе рассматриваются прибрежные районы Крымского побережья с различным уровнем антропогенной нагрузки и гидродинамическими условиями. Были проанализированы данные, полученные в период 2018–2019 гг. Пробы отбирались с помощью трубок из оргстекла которые герметично закрывали сверху и снизу. Для получения химического профиля поровых вод с высоким вертикальным разрешением использовался полярографический метод анализа со стеклянным Au-Hg микроэлектродом. В работе были изучены геохимические характеристики донных отложений, химический состав поровых вод. На основе полученных данных исследованы основные биогеохимические процессы,

определяющие формирование донных отложений и выделены определяющие их факторы.

В прибрежных районах с ограниченным водообменом (бухты Севастопольского региона) в верхнем слое донных отложений преобладают субкислородные или анаэробные условия. Основные процессы контролируются реакциями с участием растворенных форм железа, восстановленных форм серы и продуктов их взаимодействия. Ограниченный водообмен данных акваторий способствует накоплению органического вещества в донных отложениях, расходованию кислорода, как в толще донных отложений, так и в придонном слое вод.

В южной части Крымского побережья в условиях открытой системы в верхнем слое (0–20 мм) донных отложений преимущественно наблюдаются аэробные условия. В западной части побережья (Каркинитский и Каламитский заливы) отмечено отсутствие кислорода в поверхностном слое донных отложений и его дефицит в придонном слое вод. В донных отложениях восточного побережья (район Феодосийского залива) в верхнем слое отложений зафиксированы условия гипоксии, а основные процессы в донных отложениях протекают с участием железа и сульфатредукции. В районе Керченского пролива со стороны Черного моря в придонном слое вод и верхнем слое донных отложений преобладают аэробные условия. В придонном слое вод в районе Керченского пролива со стороны Азовского моря в поверхностном слое донных отложений отмечено отсутствие кислорода, основные процессы (в слое 0–100 мм) протекают с участием восстановленных форм железа и марганца. Образование сероводорода и других восстановленных форм серы в этом районе не является преобладающими процессами.

Работа выполнена в рамках темы госзадания ФГБУН ФИЦ МГИ № 0827-2019-0004, проектов РФФИ № 18-45-920008 р_а и № 18-05-80028 «Опасные явления».

АНТРОПОГЕННАЯ МОДИФИКАЦИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ПРИБРЕЖНО-ШЕЛЬФОВОЙ ЗОНЫ Г. СЕВАСТОПОЛЯ В РАЙОНЕ РАЗГРУЗКИ СТОЧНЫХ ВОД

Орехова Н.А., Овсяный Е.И.

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

Ключевые слова: донные отложения, сточные воды, органическое вещество.

Рассмотрены особенности техногенной трансформации донных отложений при длительном неконтролируемом сбросе сточных вод в прибрежную зону моря. В зонах экстремального загрязнения морской среды неочищенными сточными водами КОС-1 «Южные» уровни загрязнения донных отложений органическим веществом антропогенного генезиса резко повышается. Его содержание достигает около 6 %, что сопоставимо с содержанием органического углерода в техногенных илах Севастопольской бухты.

Изменение условий накопления органического вещества в этом районе под воздействием техногенеза, наглядно демонстрируют результаты сравнительного анализа содержания органического углерода в донных отложениях некоторых акваторий юго-западного шельфа Крыма с умеренным уровнем антропогенной нагрузки на морскую среду (Лименский залив, бухта Ласпи).

Отмечается существенное изменение гранулометрического состава донных отложений в зоне воздействия сточных вод: характерно увеличение мелкодисперсной части (алеврито-пеллитовой) в литоральной зоне шельфа. Для донных осадков с умеренным антропогенным воздействием (Лименский залив, бухта Ласпи) в этой части шельфовой зоны превалируют крупнодисперсные фракции – песчаная и гравийная.

Работа выполнена в рамках темы госзадания ФГБУН ФИЦ МГИ № 0827-2019-0004 и проекта РФФИ №18-05-80028.

СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЗАПАСА КИСЛОРОДА В ПРИСКЛОНОВЫХ ВОДАХ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ ЗАЯКОРЕННОГО ПРОФИЛОГРАФА АКВАЛОГ И БУЕВ-ПРОФИЛЕМЕРОВ АРГО

Островский А.Г., Соловьев В.А., Стунжас П.А.

ИО РАН, г. Москва, Россия
osasha@ocean.ru

Ключевые слова: кислород, вертикальная стратификация, временная изменчивость, Черное море.

Представлены результаты анализа временной изменчивости вертикальной стратификации кислорода по данным шести буев-профилемеров Арго, оснащенных датчиками кислорода, которые дрейфовали в северо-восточной части Черного моря в период с февраля 2014 г. по февраль 2019 г., а также по данным постановок заякоренного профилографа Аквалог (11 537 зондирований) в районе Геленджикской бухты с 2014 по 2019 г. Установлено наличие приглубленного максимума кислорода в сезонном пикноклине в теплый период года с мая по октябрь. Характерно, что этот слой, располагается непосредственно под горизонтом максимума вертикального градиента плотности воды в диапазоне глубин от 10 м до 40 м. В этом слое концентрация растворенного кислорода достигает 320–350 мкм/кг, что на 30–70 мкм/кг больше, чем в верхнем перемешанном слое. Важно, что приглубленный максимум кислорода по абсолютной величине превышает значения содержания кислорода в толще воды в зимний период. Данные Арго в целом соответствуют данным зонда-профилографа Аквалог. По данным измерений содержания кислорода с помощью зонда-профилографа Аквалог удалось получить статистически достоверные среднемесячные профили распределения кислорода с глубиной. По этим профилям построен временной ход запаса кислорода на станции. Выделены основные элементы кислородной стратификации. Установлен временной ход верхней и нижней границ оксиклина, горизонта максимального градиента

в оксиклине, а также положения субоксильной зоны и нижней границы кислородной зоны. Оценены статистические моменты распределений кислорода с глубиной для различных сезонов года.

Работа выполнена при поддержке проекта РФФИ № 19-05-00459.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПРЕСНОГО СТОКА, ПОСТУПАЮЩЕГО В АЗОВСКОЕ МОРЕ ИЗ УСТЬЕВЫХ ОБЛАСТЕЙ ДОНА И КУБАНИ ПОД ВЛИЯНИЕМ КЛИМАТИЧЕСКИХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ

Остроумова Л.П., Соловьева Л.Н., Вишневская И.А.

ГОИН, г. Москва, Россия
Lostroumova@mail.ru

Ключевые слова: сток , климат, хозяйственная деятельность.

Исследованы закономерности изменения стока воды за период инструментальных наблюдений в замыкающих створах бассейнов в вершинах устьевых областей рек Дона и Кубани, впадающих в Азовское море. При этом использованы данные стандартной гидрологической сети Росгидромета по фактическому стоку и по восстановленному с учетом антропогенных потерь условно естественному стоку воды. С помощью разностно-интегральных кривых условно естественного годового стока выявлены климатические изменения гидрологического режима в устьях рек Азовского моря за весь период наблюдений. Оценено влияние на изменения стока воды антропогенных потерь стока для обеспечения оросительных систем в сельском хозяйстве, сооружения крупных водохранилищ, регулирующих сток рек и небольших водохранилищ, поддерживающих уровень воды для судоходства. Выделены характерные периоды с учетом естественных и антропогенных изменений фактического стока воды. Получены статистические характеристики годового стока воды для различных

исторических периодов с учетом роли антропогенного влияния на него.

Для анализа изменений стока воды, поступающего на устьевой участок Дона использованы данные по фактическому стоку воды по г/с ст-цы Раздорская с 1881 г. Норма восстановленного естественного годового стока воды в вершине устьевой области р. Дон, определенная за период 1899–2006 гг., составляет 851 м^3/с (26,8 км^3/год), фактического – 770 м^3/с (24,3 км^3/год). Антропогенное снижение стока воды составило 18 %. В период 2007–2016 гг. средний годовой сток воды значительно ниже нормы (15,5 км^3) и приблизился к объему стока в маловодный период 1972–1976 гг. (12,3 км^3). С 2007 г. начался период маловодья. Сток воды в вершине устьевой области р. Дон за этот период составил 491 м^3/с (15,5 км^3/год) составило 58 % от нормы естественного стока. В период 1982–2017 гг. на устьевом участке реки от ст. Раздорской до Азовского моря происходило антропогенное увеличение стока за счет переброски воды в р. Дон из рек Кубани и Кумы. С 2001 г. увеличение стока воды (2,4 км^3) стабилизировалось, достигнув величины 9 % от естественной нормы стока р. Дон.

Для анализа изменений стока воды, поступающего в дельту Кубани, использованы данные по фактическому стоку воды в вершине дельты по г/с хут. Тиховский с 1912 по 2005 гг. Принято, что с 1912 по 1939 гг. данные по наблюденному и восстановленному стоку совпадают. Существенное увеличение изъятия стока из р. Кубани началось с началом действия в 1949 г. Невинномысского канала (НК), а затем в 1966 г. Большого Ставропольского канала (БСК). За период до 1968 г. антропогенные потери стока воды в вершине дельты были определены как сумма стока воды, забираемого в НК и БСК и величины использования стока воды р. Кубани на участке между г. Краснодар и хут. Тиховский. С помощью данных, опубликованных в Гидрологических ежегодниках и ежегодных изданиях ГВК, был восстановлен многолетний ряд условно естественного стока в вершине дельты р. Кубани за период 1912–2005 гг. Антропогенные потери стока воды в вершине дельты р. Кубань на г/с х. Тиховский составили от естественной нормы стока: 12,4 % в 1949–1966 гг., после ввода Невинномысского канала (НМК), 20,5 % в 1967–1972 гг., после

ввода первой очереди Большого Ставропольского канала (БСК. После сооружения Краснодарского водохранилища в 1973 – 1986 гг., в период его наполнения и период среднего восстановленного естественного стока они составили 31,7 %, далее в 1987–2006 гг. в многоводный период потери уменьшились до 18,4 %, а затем в 2007–2015 гг. в средний по водности период, антропогенные потери вновь увеличились до 21,3 %.

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МАКРОФИТОБЕНТОСА В ЛАНДШАФТАХ ЗАКАЗНИКА «КАРАНЬСКИЙ»

Панкеева Т.В., Миронова Н.В.

ИнБЮМ, г. Севастополь, Россия
tatyanapankeeva@yandex.ru

Ключевые слова: Черное море, Севастополь, донная растительность, ландшафтная структура.

С целью сохранения ландшафтного и биологического разнообразия в юго-западной частиг. Севастополя в 2017 г. был создан государственный природный заказник регионального значения «Караньский». В состав заказника включена акватория (117,74 га), которая обеспечивает сохранность уникального природного резервата морской флоры и донной растительности.

В ландшафтной структуре прибрежной зоны заказника (по материалам гидроботанической и ландшафтной съемки 2016 г.) выделено пять донных природных комплексов (ДПК). Показано, что на распределение макрофитобентоса в ДПК существенное влияние оказывают особенности геолого-геоморфологического строения береговой зоны. Установлено, что для изучаемого района характерно поясное распространение фитобентоса вдоль береговой линии. Максимальную площадь прибрежной акватории, составляющую 49 % общей площади, занимает подводный склон, сложенный глыбово-валунными отложениями с преобладанием видов цистозиры, который простирается на глубине 0,5–10 м.

Описан фитоценоз *Cystoseira crinita+C. barbata–Cladostephus spongiosus–Ellisolandia elongata*. Доля видов цистозиры достигает 71 % биомассы макрофитов ДПК.

ДПК подводной абразионной террасы, сложенной псаммитовыми отложениями, незначительной долей битой ракуши и гальки, с преобладанием филлофоры курчавой и отдельно расположенных глыб с доминированием цистозиры, занимает акваторию от Мраморной балки до м. Фиолент на глубине от 10 до 15 м, что составляет 31,5 % общей площади. Здесь описаны фитоценозы *Phyllophora crispa* и (*Cystoseira barbata*)*–Phyllophora crispa–Cladophora dalmatica*. Доля цистозиры и филлофоры не превышает 67 и 9 % биомассы макрофитов ДПК соответственно.

Площадь остальных выделенных ДПК незначительна. Валунно-глыбовый бенч с преобладанием видов цистозиры и мозаичным произрастанием дилёфуса ленточного и падины павлиньей приурочен к небольшим бухточкам и глубине 0,5–1 м. Здесь зарегистрированы фитоценозы *Cystoseira crinita+C. barbata–Cladostephus spongiosus–Ellisolandia elongata* и *Dilophus fasciola+Padina pavonia*. Вклад видов цистозиры в этом ДПК достигает 71 % биомассы макрофитов. ДПК подводного берегового склона, сложенного псефитовыми отложениями, с доминированием видов цистозиры и с чередованием галечно-гравийных отложений с битой ракушей, где преобладает филлофора курчавая распространён на глубине от 5 м до 10 м. Здесь описаны фитоценозы *Cystoseira crinita+C. barbata–Cladostephus spongiosus–Ellisolandia elongata и (Cystoseira barbata)–Phyllophora crispa–Cladophora dalmatica.* Вклад видов цистозиры и филлофоры достигает 63 и 18 % биомассы макрофитов ДПК соответственно.

ДПК подводного берегового склона, сложенного псаммитовыми отложениями с доминированием филлофоры курчавой и отдельно хаотически расположенными глыбами, где преобладает занардиния типичная и нерея нитевидная зарегистрирован в акватории от Василёвой балки до Мраморной балки на глубине 10–15 м. Здесь описаны фитоценозы *Phyllophora crispa* и *Zanardinia typus+Nereia filiformis*. Вклад филлофоры достигает 76 %, тогда как видов цистозиры – снижается до 21 % биомассы макрофитов ДПК.

Применение ландшафтного подхода к изучению макрофитобентоса дает возможность отражать региональные закономерности пространственного распространения растительной компоненты ДПК и вырабатывать принципы рационального природопользования в береговой зоне.

Исследование выполнено в рамках государственного задания № АААА-А18-118021350003-6 ФИЦ ИнБЮМ.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОНИКНОВЕНИЯ ОСОЛОНЕННЫХ ВОД В УСТЬЯ МАЛЫХ РЕК БАССЕЙНА БЕЛОГО МОРЯ

Панченко Е.Д.

МГУ, г. Москва, Россия
panchenko.zhe@yandex.ru

Ключевые слова: соленость, осолоненные воды, устье, зона смешения, приливы, Белое море, Сёмжа, Кянда, одномерная гидродинамическая модель, HEC-RAS.

Малые реки Сёмжа и Кянда впадают в Белое море, Сёмжа – в эстуарий Мезени, Кянда – в Онежский залив. Они схожи по размерам, условиям формирования стока, но различаются по величине прилива в устье (у Кянды до 2 м, у Сёмжи до 8 м). Целью данной работы являлось воспроизведение взаимодействия речных и морских вод в этих устьях с помощью гидродинамического моделирования.

Для расчетов проникновения осолоненных вод в русла рек Сёмжи и Кянды использовалась одномерная модель, так как по результатам полевых измерений было выявлено, что стратификации вод в зоне смешения обоих эстуариев в течение приливного цикла практически не наблюдается. Моделирование проводилось в программном комплексе HEC-RAS (США), были разработаны гидродинамические блоки моделей (в основе система уравнений Сен-Венана), далее на основе результатов моделирования гидродинамики рассчитывалось распространение осолоненных вод (на

основе уравнения адвекции-диффузии). Калибровочным параметром для расчетов солености в одномерной модели является коэффициент диффузии D, зависящий в главной степени от скорости течения воды.

Для разработки, калибровки и верификации моделей использовались данные экспедиционных измерений уровней, расходов, скоростей течения, солености и температуры воды: на Сёмже в августе 2015 и августе 2018 гг., на Кянде в августе 2016 и августе 2017 гг.

Оценка качества моделирования проводилась по двум параметрам: соответствие дальности распространения осолоненных вод величиной 1 епс фактической и воспроизведение хода солености воды в калибровочных створах.

Для Кянды подобранный коэффициент диффузии равен 70 $м^2/с$, в результате дальность распространения осолоненных вод соленостью 1 епс составила 5,8 км, что близко к данным измерений (6 км). На расстоянии 2,8 км от устья, в калибровочном створе, при таком коэффициенте диффузии максимальное значение солености воды оказалось на 18 % меньше фактического (11,6 епс вместо 14,1 епс), однако время наступления максимума и форма графика солености воды воспроизведены правдоподобно.

На Сёмже дальность проникновения вод соленостью 1 епс (13 км) наилучшим образом воспроизводится при $D = 200$ $м^2/с$, однако в калибровочном створе, на расстоянии 3,9 км от устья, наиболее близкий к фактическому ход солености воды и максимум (14,4 епс) моделируется при $D = 800$ $м^2/с$ (при коэффициенте диффузии равном 200 $м^2/с$ максимальное значение занижено на 10 %).

Таким образом, на обеих реках при калибровке необходимо было решать, какой из параметров моделирования более важен в исследовании: ход солености воды в калибровочном створе или дальность распространения осолоненных вод.

Качество моделирования проникновения осолоненных вод напрямую зависит от качества воспроизведения скоростей течения воды. На Кянде в калибровочном створе диапазон изменения за приливный цикл скоростей течения воды в результате моделирования был завышен на 17 %, на Сёмже, наоборот, занижен на

20%. Возможно, отчасти это обуславливает разные порядки величин коэффициентов диффузии помимо разной величины приливного воздействия.

Работы выполнялись при поддержке РФФИ (проекты №№ 18-35-00531, 19-35-90032 и 18-05-60021).

ЛИТОГЕННЫЙ ФАКТОР В ФОРМИРОВАНИИ И РАСПРОСТРАНЕНИИ ДОННЫХ БИОЦЕНОЗОВ (АПШЕРОНСКИЙ АРХИПЕЛАГ, КАСПИЙСКОЕ МОРЕ)

Петров К.М.

СПБГУ, г. Санкт-Петербург, Россия
k.petrov@spbu.ru

Ключевые слова: литогенный фактор, донные природные комплексы, подводные угодья, подводный ландшафт, донные биоценозы, бентос, Апшеронский архипелаг, Каспийское море.

Комплексный ландшафтно-биономический подход к изучению донных сообществ предполагает рассмотрение отдельных компонентов природы как экологические факторы, определяющие биономические (экологические) типы бентали. На ландшафтном уровне они представлены системой морфологических единиц. Последние являются биотопами, характеризующимися определенным рельефом, грунтом, гидрологическим режимом и связанными с ними биоценозами [Петров, 1989].

Апшеронский п-ов и мелководье Апшеронского архипелага формируется на восточном продолжении мегаантклинория Большого Кавказа. Акватория Апшеронского архипелага представляет ландшафт, где распространение угодий разного типа контролируется геологическим и геоморфологическим строением [Шарков, 1964]. Дно обширного мелководья доступно для аэрофотосъемки, при этом угодья разного типа получают характерное аэрофотоизображение благодаря чему их контуры легко дешифрируются и переносятся на основу морских карт [Гурьева, Петров, Шарков, 1976]. Итогом дешифрирования аэрофотоснимков в

процессе морских и подводных исследований явилась ландшафтно-биономическая карта акватории Апшеронского архипелага. Раскроем тесную связь образования и распространения основных типов подводных угодий с геолого-геоморфологическим строением морского дна. Так, контуры абразионно-аккумулятивной равнины совпадают с контурами угодий полей ракуши; контуры абразионного скульптурно-грядового рельефа и растущих локальных антиклинальных поднятий, выраженных в рельефе, совпадают с контурами угодий скал и камней и т. п. Использование современных средств аэрокосмического зондирования открывают новые возможности в изучении и картировании дна морских мелководий.

Ландшафтно-биономические особенности Апшеронского архипелага определяются следующими главными типами подводных угодий: скал и камней; полей ракуши; равнин, покрытых литифицированной коркой; лугов морских трав; илистых равнин береговой зоны и илистых равнин за пределами береговой зоны на глубине свыше 20 м. Отметим особенности донных зооценозов, свойственных названным типам подводных угодий.

Угодья полей ракуши представлены песчано-ракушечными осадками, покрывающими абразионно-аккумулятивную равнину. Они занимают наибольшую площадь в ландшафте Апшеронского архипелага. Формирование осадочного покрова происходит здесь без участия выноса флювиального терригенного материала с Апшеронского п-ова. Накоплению мощной толщи осадков препятствует унаследованное поднятие восточного продолжения мегаантиклинория Большого Кавказа, определяющее образование мелководья Апшеронского архипелага в целом. Основным компонентом осадков является биогенный материал (ракуша) и хемогенные осадки (оолитовые пески и карбонатные илы), а также осадки, образующиеся в результате абразии коренных пород.

Выравненные пространства дна, покрытые маломощным слоем песчано-ракушечных наносов, сочетаются с абразионно-скульптурными формами. В осадкообразовании ведущую роль играет ракуша, поступающая в результате осыпания раковин отмерших моллюсков, обрастающих скалы, и образующие своеоб-

разный танатоценоз (сообщество мертвых). В составе ракуши доминируют створки *Dreissena elata* и *Mytilaster lineatus*. Танатоценоз развит на глубине от 3–4 до 10–15 (20) м. В осадкообразовании ведущую роль играет ракуша, поступающая в основном в результате осыпания раковин отмерших моллюсков, селящихся на скалах. Инвазия *Mytilaster lineatus* из Черного моря и массового развития его популяции в 20–30-е годы XX века привела к гибели аборигенного моллюска *Dreissena elata* [Зарбалиева и др., 2016]. Створки последнего доминируют в танатоценозе. В настоящее время поступление ракуши продолжается за счет продукции *Mytilaster lineatus*, который обрастает скалы. В условиях умеренной гидродинамической обстановки в нижнем этаже сублиторали плотные популяции на грунте образует митилястр.

Угодья скал и камней представлены абразионно-скульптурными формами рельефа, обусловленными выходами пластов крепко сцементированных пород в коренном залегании и отторгнутыми от них обломками. Они являются биотопом литофильных гидробионтов: водорослей и беспозвоночных животных. Среди зарослей водорослей в массе селятся питающиеся диатомовыми обрастаниями брюхоногие моллюски *Theodoxus pallasi*. Сразу ниже уровня моря под покровом водорослей камни и скалы сплошь покрыты щеткой двустворчатых моллюсков *Mytilaster lineatus*. По мере увеличения глубин покров водорослей исчезает и облик биоценоза в нижней сублиторали определяется щеткой мителястра и обрастающим створки моллюсков усоногим рачком *Balanus improvisus*.

Угодья равнин, покрытых литифицированной коркой, формируются на глубине 2–5 м, в условиях умеренного волнового воздействия. Литифицированная корка состоит из зерен оолитового песка, целой и битой ракуши, скрепленных известковым цементом, выпавшим в осадок из морской воды. Мощность корки колеблется от нескольких до десятков сантиметров. Литифицированные отложения являются новейшими образованиями, о чем свидетельствует наличие в их составе створок митилястра – моллюска, вселившегося в Каспийское море в 20-е годы XX века. Корка цементации залегает горизонтально на современных рых-

лых осадках. Это угодье представляет биотоп зарослей нитевидной красной водоросли *Ceramium diaphaum* и плотных поселений Mytilaster lineatus+Balanus improvises.

Угодья лугов морских трав формируются в прозрачной воде на глубине до 5–6 м под защитой от волн и течений выступами берега, островами и каменистыми грядами. Господствующими жизненными формами являются травянистые корневищные растения *Zostera minor* и *Ruppia maritima*, образующие заросли с высокой, иногда сплошной сомкнутостью на песчано-илистых с примесью ракуши грунтах. В качестве сопутствующих видов распространены харовые водоросли, а также красная водоросль *Ceramium diaphaum*, ведущая эпифитный образ жизни. На поверхности дна местами селится *Mytilaster lineatus*, в толще грунта обитают моллюски *Abra ovata*, *Cerastoderma lamarcki* и черви *Nereis diversicolor*. Моллюски, входящие в состав биоценоза, обогащают отложения автохтонным ракушечным материалом.

Материалы комплексного изучения морских мелководий у западных берегов Среднего Каспия показывают ведущую роль литогенного фактора в формировании и распространении донных биоценозов на мелководье Апшеронского архипелага. При сопоставлении составленной ландшафтно-биономической карты с геоморфологической картой Апшеронского архипелага наблюдается, что их выделы часто совпадают. Литогенный фактор выступает в качестве прямо и косвенно действующего экологического фактора. Прямо действующим фактором для биоценозов обрастателей является каменистый субстрат; косвенно действующим фактором служат унаследованные поднятия локальных структур, что в условиях мелководий Апшеронского архипелага ведет к абразии дна и формированию угодий скал и камней.

СОПОСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТОВ КОНЦЕНТРАЦИИ ФИТОПЛАНКТОНА, НИТРАТОВ, СЕРОВОДОРОДА И РАСТВОРЕННОГО КИСЛОРОДА В ЧЕРНОМ МОРЕ ПО БИОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МГИ С ДАННЫМИ КОНТАКТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ НИС «ПРОФЕССОР ВОДЯНИЦКИЙ» И БУЕВ БИО АРГО

Ратнер Ю.Б., Дорофеев В.Л., Орехова Н.А., Иванчик М.В., Вареник А.В.

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

Ключевые слова: фитопланктон, нитраты, растворенный кислород, концентрация, сопоставление, измерения, модель МГИ.

В составе Черноморского центра морских прогнозов (ЧЦМП) ФГБУН ФИЦ МГИ имеется два модели – первая позволяет выполнить анализ и прогноз на 5 суток трехмерных полей концентрации биогеохимических параметров по трехмерной модели, разработанной сотрудником отдела динамики океанических процессов ФГБУН ФИЦ МГИ Дорофеевым В.Л. С помощью второй, аналогичной модели был выполнен реанализ концентрации биогеохимических параметров с 1998 по 2016 гг.

Сопоставление результатов с данными контактных измерений до настоящего времени затруднялось из-за крайне низкого объема контактных измерений биогеохимических параметров. Ситуация с обеспеченностью этими данным существенно улучшилась за последние 5 лет. Это позволяет начать систематические работы по валидации и уточнению биогеохимических моделей, функционирующих в ЧЦМП.

В настоящей работе представлены результаты сопоставления модельных расчетов полей биогеохимических параметров, выполненных с помощью биогеохимических моделей ЧЦМП, с контактными измерениями, полученными с буев-профилемеров Bio

Argo и в экспедиционных исследованиях, выполненных в рейсах ФГБУН МГИ, в период 2014–2019 гг.

Анализ номенклатуры и качества данных, полученных с буев Bio Argo, показал принципиальную возможность сопоставления данных измерений концентрации хлорофилла и диоксида кислорода в морской воде с величинами этих параметров, полученными в результате выполнения модельных расчетов. Результаты сопоставления модельных расчетов с данными измерений показали качественное согласие между сопоставляемыми величинами. Вместе с тем в ряде случаев наблюдалось занижение концентрации сопоставляемых параметров, полученных на основе выполнения модельных расчетов, по сравнению с измеренными величинами в верхнем слое моря, толщиной до 50 м. Отмечались также случаи, когда крутизна модельных профилей концентрации и положение слоя скачка концентрации не соответствовало аналогичным характеристикам, полученным по данным измерений.

На основе использования данных экспедиционных исследований МГИ было выполнено сопоставление результатов расчетов концентрации растворенного кислорода, нитратов и сероводорода в слое от 2,5 до 200 м. В результате было установлено наличие качественного соответствия между рассчитанными концентрациями и данными измерений. Однако величины отклонений между рассчитанными и измеренными значениями концентраций оказались достаточно большими. Причины возникновения наблюдаемых больших расхождений требуют дальнейшего изучения.

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И ПЕРСПЕКТИВ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ПРИМОРСКИХ АРКТИЧЕСКИХ РЕГИОНОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Румянцева Е.А., Гогоберидзе Г.Г.

МАГУ, г. Мурманск, Россия
rumkate@rambler.ru

Ключевые слова: социально-экономическое развитие, приморские субъекты Российской Федерации, Арктика, индикаторная система.

Арктическая зона Российской Федерации (АЗРФ) является стратегически важным регионом для устойчивого развития страны в целом, что подчеркивает необходимость фундаментально проработанного обоснования принимаемых управленческих решений социально-экономического развития. Научной и практической основой для таких обоснований должна служить информационно-аналитическая система поддержки принятия управленческих решений в целях обеспечения национальных интересов России в АЗРФ, в виде модели территориального планирования.

Разработанная динамическая модель пространственного планирования морехозяйственной деятельности приморских регионов АЗРФ на основе комплексного анализа является информационной системой обработки пространственной информации в целях прогнозирования хозяйственной деятельности с учетом климатических, экологических, социально-экономических и геополитических изменений. Это предполагает использование комплексной индикаторной системы, состоящей из пяти факторных подсистем:

- общеэкономические факторы устойчивости;
- социально-демографические факторы устойчивости;
- ресурсно-отраслевые факторы устойчивости;
- природно-экологические факторы устойчивости;

– политико-географические факторы устойчивости.

Комплексный интегральный показатель оценки устойчивости региона рассчитывается как среднее из 27 показателей, являясь интегральным индикатором, получаемым для каждого арктического приморского регионального образования. При этом учет указанных параметров и факторов даст возможность проведения комплексной оценки текущей устойчивости арктического региона, включающую в себя не только интегральный показатель, но и комплексные покомпонентные факторные оценки устойчивости.

В качестве арктического приморского региона рассматривалось территориальное образование, объединяющее береговую составляющую и прилегающую морскую акваторию. Всего были проанализированы 8 арктических регионов, причем для Республики Карелия, Архангельской области, Красноярского края и Республики Саха (Якутия) при расчете индикаторов и интегральных показателей принимались поправки на частичное (совокупность муниципальных образований районного уровня управления) территориальное вхождение данных субъектов Российской Федерации в АЗРФ.

Результаты расчетов и анализа комплексной и пофакторной устойчивости арктических приморских регионов показали применимость данной модели для проведения ретроспективного анализа и прогноза развития морехозяйственного комплекса, в том числе с использованием сценарного подхода социально-экономического развития приморских регионов АЗРФ. В такой постановке модель во многом соответствует содержанию Государственного кадастра береговой зоны Российской Федерации (ГКБЗ РФ), представляющим собой методически систематизированный свод сведений, количественно и качественно характеризующий определенный вид природных ресурсов, включающий качественную и количественную опись объектов или явлений, с их экономической оценкой.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-05-00312.

РАЗВИТИЕ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ЧЕРНОГО МОРЯ НА ОСНОВЕ ОПТИМИЗАЦИИ ИХ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ НАГРУЗКИ

Рябовая В.О.

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

Ключевые слова: информационные системы, мониторинг, функциональная нагрузка, реструктуризация.

Одной из стратегических целей современных информационных систем мониторинга является повышение эффективности их функционирования. Основной задачей исследования береговой и шельфовой зон является минимизация или полное исключение негативного влияния производственной деятельности на экосистему за счет внедрения современных природоохранных технологий и специального оборудования.

Для развития информационных систем экологического мониторинга морской среды необходимо провести анализ данных, синтез, прогноз состояний, их оценку и т. п.

В новых научно-обоснованных программах мониторинга окружающей среды разработан ряд показателей качества, чтобы интегрировать значительные объемы обрабатываемых данных, классифицировать их и интерпретировать смысл интегральных оценок.

Особенностью информационных систем экологического мониторинга морской среды, по отношению к другим информационным системам, является необходимость сочетания точности оценок параметров, учета предельно-допустимой концентрации, сбора первичной информации, создания и ведения баз данных о состоянии и загрязнении компонентов природной среды, формирования (на основе первичной информации) комплексной оценки экологического состояния природных сред, анализа текущей экологической обстановки и прогнозирования динамики ее развития.

Поэтому для решения поставленной задачи используется метод структурного синтеза, а именно реструктуризация информационной системы экологического мониторинга морской среды, которая позволяет учесть дополнительную информацию о сочетаемости объектов и их функциональностей в составе одного решения.

В ситуации, когда реализация некоторого требования к информационной системе экологического мониторинга морской среды повлечет необходимость ее реструктуризации, задача будет решаться выбором из множества вариантов тех, которые минимизируют совокупный коэффициент пересечения функций, привнесенных новыми элементами или условиями.

Функционирование информационной системы экологического мониторинга морской среды осуществляется с учетом реализации двух видов требований: к данным (точность, качество) и к самой системе (функции и ресурсы). Это связано с модернизацией двух типов: по структуре и по функциям системы. Для оценки и отбора вариантов системы применяется критериальный подход. Критериями, участвующими в отборе, являются: достоверность информации, своевременность реализации требований к системе и к данным мониторинга, надежность системы.

В представленной многокритериальной задаче, для аналитической оценки эффективности иерархических структур, применяется метод вложенных скалярных сверток.

Преимущество представленного метода, по сравнению с существующими – более полный учет данных, минимизация функциональной нагрузки элементов системы в составе одного решения по мере наращивания задач, что позволяет повысить такие свойства системы как качество, эффективность и точность полученных данных.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 17-77-30001 «Новые методы и суперкомпьютерные технологии анализа и прогноза Мирового океана и Арктического бассейна».

ПРОБЛЕМЫ КОМПЛЕКСНОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ПЛЯЖЕЙ НА СЕВЕРНОМ ПОБЕРЕЖЬЕ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Рябкова О.И., Баринова Г.М., Краснов Е.В.

БФУ, г. Калининград, Россия
ecogeography@rambler.ru

Ключевые слова: рекреационные ресурсы, пляжи, экологические риски, Калининградская область.

Региональное природопользование и устойчивое развитие исследуемой территории невозможно без постоянного комплексного мониторинга береговой зоны, в т. ч. за состоянием морских пляжей.

В условиях устойчивой активизации циклонической деятельности и поднятия уровня моря, а также усиления антропогенного воздействия интенсивность разрушения берегов и размыв пляжей в пределах юго-восточной Балтики прогрессирует, приближаясь на некоторых аварийных участках к критической.

Успешное развитие курортно-рекреационной деятельности требует проведение комплекса берегозащитных мероприятий, лучшее средство защиты берега от размыва его волнами – пляж.

В данной статье пляж рассматривается как структурный элемент контактной зоны суша-море, обладающий особым статусом и режимом природопользования.

Береговая зона моря обладает разнообразными рекреационными ресурсами. Основным видом рекреационной деятельности в береговой зоне является купально-пляжный отдых. По принадлежности пляжи могут быть: муниципальные, частные, ведомственные, арендованные. По местонахождению различают пляжи: городские, загородные.

Пляжная зона Калининградской области является важным объектом для рекреации. В последние годы отмечается интенсивное разрушение морских берегов Калининградской области, что

влечет за собой снижение их привлекательности для отдыхающих и создает проблемы по дальнейшему освоению прибрежных территорий, тем самым, нанося ущерб экономике всего региона.

Изменчивость динамики пляжа проявляется в многолетнем разрезе времени, по сезонам года, в зависимости от конкретных сильных штормов и динамики пляжевых форм рельефа. Наиболее опасными с точки зрения размыва пляжа на побережье г. Зеленоградска являются штормы от Западного и ЗСЗ направления. На описываемых берегах происходят процессы сокращения ширины пляжей и смещения бровок береговых уступов (авандюны) в направлении суши. Особенно активны эти процессы на северном побережье. Мониторинг за параметрами пляжей в системах бун в Зеленоградске показывает увеличение ширины пляжей на 20–30 %. При постоянном увеличении антропогенной нагрузки происходит усиление загрязнения окружающей среды, деградация пляжей.

Общая протяженность оборудованных пляжей в Зеленоградске составляет 1120 м (27 %), на которых могут разместиться около 4 500 человек. Протяженность необорудованных пляжей – 2 880 м. (73 %), на которых могут разместиться около 6 000 человек, если считать, что на каждого человека приходится по 5 $м^2$.

Побережье Калининградской области с городами-курортами Федерального значения – Зеленоградск, Светлогорск/Отрадное имеют все условия и предпосылки для превращения в туристско-рекреационный и бальнеологический центр мирового уровня. Поэтому важной целью для них должно быть преимущественное стимулирование долгосрочного развития тех направлений туризма, для которых характерна круглогодичная загрузка, с меньшей составляющей сезонности. Наряду с санаторно-курортным направлением, необходимо также развивать индустрию отдыха и развлечений, которая привлечет дополнительный поток туристов, внедрение здоровьесберегающих технологий, в рамках медицинского зонирования, способствующего санитарно-гигиеническому благоустройству территории.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПОДСИСТЕМ В ОПЕРАТИВНОЙ СИСТЕМЕ АНАЛИЗА И ПРОГНОЗА СОСТОЯНИЯ ЧЕРНОГО МОРЯ

Рябовая В.О., Холод А.Л.

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

Ключевые слова: информационные системы, эффективность, анализ, прогноз, мониторинг.

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».

Таким образом, основные показатели эффективности функционирования подсистем в оперативной система анализа и прогноза

состояния Черного моря формируются на основе требований, предъявляемых к ним со стороны метасистемы – иерархически вышестоящая системы, автоматической оперативной системы анализа и прогноза состояния Черного моря.

Комплексная проблема совершенствования системы в целом состоит из задач повышения оперативности доступа к хранимой информации, уровня программной совместимости с другими подсистемами и с информационными приложениями, степени безопасности хранения данных, степени доступности данных для пользователей, возможности формирования нестандартных запросов и т. д. Необходимость учета частных показателей приводит к специфическим методам анализа и синтеза в подсистемах, основанным на многокритериальном подходе.

На вербальном уровне эффективность функционирования подсистем определяется как количественная мера способности подсистемы выполнять возложенные на них задачи. Прямой эффект от применения конкретной подсистемы оценивается так называемой функциональной эффективностью.

Для автоматической оперативной системы анализа и прогноза состояния Черного моря рассматриваются следующие технические характеристики: допустимый объем хранения полезной информации; реальный объем памяти hardware, занимаемый системой; время доступа (время получения пользователем единицы объема востребованных данных из СХИ); степень безопасности системы в отношении несанкционированного доступа; степень надежности сохранения информации; открытость системы и т. п.

Из приведенного перечня видно, что собственные показатели эффективности системы могут обладать различной природой, в связи с чем применяются специальные методы обработки, основанные на правилах символьного исчисления, неметрическом шкалировании, теории нечетких множеств и т. п.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 17-77-30001 «Новые методы и суперкомпьютерные технологии анализа и прогноза Мирового океана и Арктического бассейна».

ОЦЕНКА ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ УЧЕТА ВОДНОГО БАЛАНСА Р. СУХАЯ

Савоськин В.М., Андросович А.И.

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

Ключевые слова: суммарный сток, режим наполнения, водный баланс.

Проблемы со снабжением водой Крыма и Севастополя, в частности, общеизвестны. Эти проблемы особенно обостряются в года с малым количеством осадков, что происходит с периодичностью в 8–10 лет. Такая ситуация вызывает необходимость искать дополнительные источники питьевой и технической воды, не требующих привлечения больших капиталовложений.

Потребности г. Севастополя, в среднем составляет 27,62 км^3/год, из них 0,12–0,13 км^3/год питьевая. Потребление пресной воды в Севастополе имеет устойчивый тренд к увеличению (за последние 5–6 лет население города выросло почти в 2 раза). Еще острее дефицит воды обостряется в летне-осеннее время года, что связано с большим притоком туристов, увеличением объемов поливов и прочее.

Река Сухая, являющаяся притоком р. Черная, берет свое начало в пруду с. Гончарное и имеет русло длиной около 12 км практически строго на север. Общая площадь водосбора составляет 51,7 км^2. Весь бассейн следует разделить на два участка: первый, площадью около 20 км^2, от дамбы пруда в гончарном до г. Чалмы Баир (место впадения р. Суук Су), имеет небольшой уклон русла (менее 1 %) и удаленные границы бассейна (до 6 км от русла, с перепадами высот до 350–400 м). Второй участок, с площадью более 30 км^2, представляет собой каньон шириной от 1,5 до 3,5 км, перепадом высоты до 400 м. Уклон русла второго участка около 3 %. Склоны русла на этом участке густо покрыты лесом, но в местах с особо крутыми склонами имеют скальные выходы. Дерн на склонах каньона рыхлый и имеет толщину не

более 30–35 см., что способствует медленному питанию реки и интенсивному испарению (особенно летом). С правой стороны по ходу течения реки площадь водосбора ограничена автомобильной трассой Севастополь-Ялта.

Режим стока р. Сухая очень зарегулирован. В истоке, от платины, река практически не имеет питания, так как почти весь дебет осадков с половины долины с. Гончарное уходит на хозяйственные нужды и фактически 100% испаряется. В нижнем течении река имеет русло с дном высокой шероховатости и большим количеством трещин, поэтому наполнение русла имеет нерегулярный по времени и протяженности характер. На протяжении второго отрезка река Сухая питает два водоема (Торопов пруд и Гасфортское озеро). Связь плотины Гасфортского озера с р. Черная весьма условна, имеет протяженность порядка 1,5 км и перепад по высоте более 20 м.

Воспользовавшись массивом данных SKIRON за период с 2007 по 2019 гг., был восстановлен приток осадков бассейна р. Сухая. Межгодовые колебания суммы притоков весьма значительны и составляют от 0,2–0,22 км^3/год. в 2008, 2012 гг. до 0,32–0,33 км^3/год. в 2011, 2018 и 2019 гг.

Количество осадков по сезонам в течение года распределяются неравномерно и значительно меняются год от года. Среднее значение объема осадков за год составляет 0,262 км^3/год, что могло бы перекрыть потребности Севастополя не более 13 % по питьевой или менее 1 % технической воды. Эти цифры очень оптимистичны и с учетом всего вышесказанного о неизбежных потерях их стоит уменьшить их более чем в двое.

В заключении хотелось бы отметить, что приток пресной воды из придонных источников Гасфорского озера, по самым осторожным оценкам, составляет 0,6 км^3/год, что в 3 раза превышает дебет осадков р. Сухая.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ СЦЕНАРИЕВ ПОТРЕБЛЕНИЯ РЕКРЕАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ СЕВАСТОПОЛЯ

Свищев С.В., Игумнова Е.М., Тимченко И.Е.

МГИ, г. Севастополь, Россия
sergsvishchev09@gmail.com

Ключевые слова: эколого-экономическое моделирование, рекреационный потенциал, Севастополь, адаптивный баланс влияний.

Развитие туризма в Севастопольском регионе, обладающем высоким туристско-рекреационным потенциалом, уникальными природными и культурно-историческими ресурсами, сдерживается рядом факторов, к основным из которых можно отнести неоднородное и недостаточное развитие туристской инфраструктуры; отсутствие комплексного взгляда на регион как на туристскую дестинацию; отсутствие иерархичности и взаимосвязанности широкого ассортимента предлагаемых туристских и сопутствующих услуг; низкая платежеспособность населения; отсутствие действенных механизмов регулирования и поддержки развития туризма в регионе. Важное значение имеет пространственно-временная оценка рекреационно-туристской привлекательности отдельных районов и локаций, их синергии и совокупного вклада в рекреационно-туристский потенциал региона.

Предлагается методика интегральной оценки рекреационно-туристской привлекательности территории, основанная на комплексном подходе с использованием экспертных оценок и статистического анализа, учитывающая транспортную доступность, природно-экологические и социально-экономические условия, уровень развития рекреационно-туристской инфраструктуры по предложенной совокупности сгруппированных показателей с вычисляемыми весовыми коэффициентами.

Постулируется максимальное значения рекреационной емкости на пляжах, с последующим поэтапным понижением для объектов кратковременного туристического интереса – памятников, театров, музеев, храмов, для сферы туристических услуг – гостиниц, домов отдыха. Транспортная обеспеченность мест расположения потребителей рынка туристских услуг и рекреационных ресурсов, повышает значение индекса рекреационной привлекательности в районах с остановками общественного транспорта. Негативный эффект от антропогенного загрязнения для районов сброса сточных вод отражен в понижении индекса рекреационной привлекательности.

Выбранный район Севастопольского региона – Большая Севастопольская бухта обладает малым потенциалом пляжной рекреации – 2,5 % от общей площади пляжей. Это пляжи «Ушакова балка», «Хрустальный», водной станции КЧФ и «Матюшенко». Помимо них на границах рассматриваемого района расположены пляжи «Толстяк», «Песочный» и «Солнечный». Однако историко-культурный рекреационный потенциал данного района имеет чрезвычайно высокую плотность. Рассмотрены 48 основных достопримечательностей (включая Диораму, Максимову дачу, крепость Каламита), 32 крупнейших гостиницы и гостевых дома, 35 точек сброса сточных вод – 15 постоянных и 20 переменных.

Получена карта распределения индекса рекреационной привлекательности вокруг Севастопольской бухты и произведены численные эксперименты по усвоению разработанного индекса эколого-экономической моделью, основанной на принципах адаптивного баланса влияний. Выделены несколько центров привлекательности: район парка Ахматовой, центр города, Ушакова балка и Малахов курган, Северная сторона, район пляжа Толстяк, – и несколько центров с отрицательным прогнозом развития рекреации, обусловленным как затрудненной или ограниченной доступностью, так и неблагоприятной экологической ситуацией.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-47920001 р_а, а также госзадания 0827-2019-0004 («Прибрежные исследования»).

ВЛИЯНИЕ ЗИМНЕГО ВЫХОЛАЖИВАНИЯ НА ДИНАМИКУ РАСТВОРЕННОГО КИСЛОРОДА ПО ДАННЫМ БУЕВ БИО-АРГО

Свищев С.В., Кубряков А.А.

МГИ, г. Севастополь, Россия
sergsvishchev09@gmail.com

Ключевые слова: буи Био-Арго, зимняя конвекция, растворенный кислород, Черное море.

Одним из наиболее важных гидрохимических показателей является содержание растворенного в воде кислорода. Сезонные изменения его распределения являются результатом двух групп процессов: физических (изменения интенсивности ветрового и конвекционного перемешивания вод, а также влияющие на растворимость кислорода сезонные изменения термогалинного режима) и химико-биологических (продукции кислорода в результате фотосинтеза, потребления кислорода на окисление органического вещества и дыхание гидробионтов).

До недавнего времени количественные оценки вклада зимней конвекции в баланс растворенного кислорода Черного моря были весьма разрозненными и неточными в силу малого количества данных наблюдений в зимний период и их низкого вертикального разрешения. Однако современные методы измерений, в частности контактные данные буев Био-Арго о концентрации растворенного кислорода с высоким вертикальным разрешением (1 метр), накопленные за последние пять лет, позволяют повысить качество подобных оценок.

Для анализа особенностей режима растворенного кислорода, связанных с интенсивностью зимней конвекции был проанализирован массив профилей температуры, солености и концентрации растворенного кислорода, полученных 12 буями Био-Арго в верхнем 200 м слое вод глубоководной части Черного моря, ограниченной изобатой 1 500 м, за период с марта 2011 г. – по январь 2020 г. Данный район выбран как обладающий достаточной го-

ризонтальной однородностью в силу своей удаленности от влияния берегового стока и антропогенной деятельности, что позволяет сравнивать вертикальные профили растворенного кислорода не учитывая неоднородность их пространственного расположения.

Проведена экспертная оценка качества контактных измерений буев БиоАрго, выполнен статистический анализ гидролого-гидрохимических параметров по горизонтам глубины и условной плотности, для построения сезонных и межгодовых вертикальных профилей среднемесячного содержания растворенного кислорода в глубоководной части Черного моря с высоким разрешением.

Наибольший вклад в кислородозапас Черного моря вносит верхний квазиоднородный слой вод, характеризующийся максимумом содержания кислорода в зимний период и минимумом в летний период, что определяется зависимостью растворимости кислорода от температуры. Однако зимняя конвекция и интенсивное ветровое перемешивание приводят к вовлечению холодных поверхностных вод с высоким содержанием растворенного кислорода в нижележащие слои.

Для оценки режимных характеристик растворенного кислорода, обусловленных интенсивностью зимней конвекции произведен расчет корреляционной связи между концентрациями кислорода для различных изопикнических поверхностей поверхностного и холодного промежуточного слоев в летний период и значениями зимней минимальной температуры поверхности моря (ТПМ), выступающими индикатором суровости зимы и интенсивности вертикального перемешивания. Значимые величины коэффициентов обратной корреляции между концентрацией кислорода в теплый период и температурой поверхностного слоя вод в зимний период приходятся на изопикны 13,8–14,4, что соответствует условной границе раздела нижней части верхнего сезонного термоклина и верхней части холодного промежуточного слоя.

Исследование межгодовой изменчивости концентрации кислорода выполнено при поддержке госзадания 0555-2019-0001 (шифр «Перспективные методы»), анализ качества контактных измерений буев Био-Арго выполнен при поддержке гранта РНФ 19-77-00029.

ДИНАМИКА ФИТОГЕННЫХ БЕРЕГОВ В ЗАЛИВЕ СИВАШ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

Совга Е.Е., Ерёмина Е.С., Станичный С.В.

МГИ, г. Севастополь, Россия
shchurova88@gmail.com

Ключевые слова: залив Сиваш, Северо-Крымский канал, Азовское море, тростниковая растительность.

Залив Сиваш является наиболее антропогенно и техногенно нагруженной акваторией прибрежной зоны Крыма со специфическими гидродинамическими и гидрохимическими процессами, обусловленными орографией берегов, особенностями рельефа дна и малыми глубинами, водообменом с Азовским морем.

К видам деятельности человека, которые существенно повлияли на экосистему залива, следует отнести функционирование, а затем и перекрытие в 2014 г. Северо-Крымского канала.

За период эксплуатации Северо-Крымского канала в экосистеме залива Сиваш создались определенные условия природного равновесия, которые кроме уменьшения солености залива проявились в формировании фитогенных берегов за счет поступления в залив дренажных вод канала, обогащенных биогенными элементами.

В связи с перекрытием в 2014 г. Северо-Крымского канала эти равновесия нарушились и начались изменения гидрохимического и гидрологического режимов залива, о чем свидетельствуют результаты экспедиционных исследований 2014–2019 гг.

С момента перекрытия Северо-Крымского канала в 2014 г. в восточной ветви залива Сиваш наблюдается рост солености. Экспедиционные исследования МГИ РАН в 2014–2019 гг. подтвердили, что рост солености носит и сезонный и межгодовой характер и проявляется как в Южном, так и Восточном Сиваше, где в июне 2019 г. соленость составляла 82–94‰ и 34–65‰ соответственно.

С ростом солености происходят изменения во всей экосистеме залива Сиваш. В ходе экспедиций было отмечено сокращение

тростниковой растительности вдоль балок, по которым ранее поступали дренажные воды из Северо-Крымского канала. Тростниковые заросли имеют большое экологическое значение, так как являются уникальным биотопом, с характерным, богатым набором орнитофауны.

Для оценки динамики фитогенных берегов после перекрытия СКК был произведен качественный анализ космических многоспектральных снимков Sentinel-2 L1C. Были выбраны районы заливов Княжевича и Балгановского в Восточном Сиваше и район Алексеевской засухи в Южном Сиваше, снимки отбирались с 2015 по 2019 гг., сравнивались изображения, сделанные в вегетативный период май-июнь с осенними снимками.

В районе Алексеевской засухи площади тростниковой растительности сократились практически в два раза.

Для количественного анализа необходимо продолжение исследования, совмещение результатов натурных наблюдения со спутниковыми изображениями.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2019-0004 при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-43-920005.

ВЛИЯНИЕ ШТОРМОВОЙ АКТИВНОСТИ НА ОБЪЕКТЫ МОРСКОГО НАСЛЕДИЯ ПОБЕРЕЖЬЯ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Стонт Ж.И., Ульянова М.О.

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

Ключевые слова: морское культурное наследие, прибрежная зона, экстремальные штормы, ветровое волнение.

Штормы наносят большой ущерб объектам инфраструктуры, оказывающимся в зоне штормового воздействия, среди которых встречаются подводные и наземные объекты природно-культурного наследия. Морское культурное наследие (МКН) – объекты

культурного наследия в историко-культурной и природной среде, связанные с историей морской деятельности, морские традиции; объекты природного наследия, относящиеся к морским и прибрежным территориям [Вышкварцев, 2011].

По данным гидрометеорологического мониторинга, проводимого в АО ИО РАН, в начале XXI века в среднем отмечается более 25 штормов в год. Согласно рассчитанным трендам за период 2005–2019 гг. увеличилось количество штормов (~2 шторма/период). Уменьшилась повторяемость преобладавших ранее ветров юго-западного направления. Но увеличилось количество ветров северных румбов.

Исходя из особенностей конфигурации Балтийского моря, северные ветры и связанное с ними волнение имеют максимальный разгон (около 1 000 км), обладают наибольшей потенциальной энергией, что способствует интенсивной переработке отложений и значительному развитию вдольбереговых потоков песчаных наносов. Этим ветрам открыт северный берег Самбийского п-ова Калининградской области. В этой части прибрежной зоны на незначительных глубинах (10–15 м) м всего два затопленных судна (предположительно, баржи с боеприпасами). Однако к природно-культурным объектам, имеющим историческую значимость как морское наследие, можно отнести берегозащитную инфраструктуру, например, валунно-галечную отмостку на мысе Таран, частично сохранившиеся буны. На пляже восточной части г. Зеленоградск на глубине около 1 м находятся реликтовые пни, обнажающиеся при понижении уровня моря. Эти объекты не имеют какого-либо охранного статуса, несмотря на то, что представляют историческую ценность как пример различных видов морской деятельности прошлого. Поскольку количество штормов, приходящих с севера, увеличивается, вероятность разрушения данных объектов высока.

У берега Куршской косы на глубине 2 м в зоне активного ветро-волнового воздействия находится деревянное неидентифицированное судно с металлическим каркасом, предположительно торговое судно первой трети XX века.

На западном береговом склоне расположены около 10 затопленных судов. Среди них есть уникальные идентифицированные объекты, например, ледокол Pollux (длина 78 м, ширина 19 м,

глубина залегания – 13–17 м), затонувший в 1945 г. (http://blog.demersus.ru/pollux/). Этот берег экспонирован западным штормам с длиной разгона волн около 300 км, то есть менее разрушительных, чем на северном побережье.

При дальнейшем включении объектов МКН в морские планы необходимо учитывать их локализацию с точки зрения воздействия природных явлений, в частности, ветро-волнового воздействия в период сильных штормов, на степень сохранности затопленных судов и наземных объектов МКН.

Сбор данных по объектам морского наследия проведен в рамках проекта BalticRIM: Комплексное управление морским культурным наследием региона Балтийского моря. Гидрометеорологические характеристики получены в рамках гранта РФФИ №19-45-390012_р. Анализ и интерпретация данных выполнены в рамках госзадания ИО РАН (тема № 0149-2019-0013).

«ЦВЕТЕНИЕ» МИКРОВОДОРОСЛЕЙ В ПРИБРЕЖНЫХ ВОДАХ БУХТЫ ПАРИС (ЗАЛИВ ПЕТРА ВЕЛИКОГО, ЯПОНСКОЕ МОРЕ)

Тевс К.О. [1], Шевченко О.Г. [2,3]

[1] ДВФУ, г. Владивосток, Россия
[2] ННЦ МБ ДВО РАН, г. Владивосток, Россия
[3] Дальрыбвтуз, г. Владивосток, Россия
tevs.kirill.95@yandex.ru

Ключевые слова: фитопланктон, видовой состав, плотность, бухта Парис, залив Петра Великого, Японское море.

Структура сообщества микроводорослей, выраженная числом видов, может быть применимой при анализе флоры и является одним из наиболее объективных индикаторов состояния морских экосистем. Детальное исследование фитопланктона особенно актуально для прибрежных вод, относящихся к особо охраняемым акваториям или участкам марикультуры. К таким акваториям относится бухта Парис, где расположена База изучения морских

млекопитающих Научно-образовательного комплекса «Приморский океанариум» – филиал ННЦМБ ДВО РАН. Изучение состава и количественных характеристик микроводорослей позволит оценить состояние исследуемой акватории, а также их возможное воздействие на морских млекопитающих.

В результате проведенного исследования и на основании анализа проб фитопланктона, собранных в б. Парис с июня по декабрь 2019 г. отмечено 108 видов и внутривидовых таксонов микроводорослей, относящихся к 5 отделам. Диатомовые водоросли преобладали по количеству видов. Отдел включал 63 вида и внутривидовых таксона. Из них самым разнообразным был род Chaetoceros – 21 вид. Динофлагелляты были представлены 38 видами, среди них преобладали виды рода Protoperidinium – 15 видов. В остальных отделах насчитывали меньшее число видов: охрофитовые – 3, криптофитовые – 2 и эвгленовые – 1 вид. Плотность фитопланктона в период исследования изменялась от 57,7 тыс. кл./л до 4,6 млн кл./л. Было выявлено 4 пика развития микроводорослей, наиболее значительные из которых наблюдали в летний и осенний периоды. Вспышки обилия фитопланктона были обусловлены развитием представителей отдела Bacillariophyta. Так, летом «цветение» воды (9 июля – 4,6 млн кл./л) было вызвано массовым развитием Skeletonema dorhnii. Анализ соотношения плотности диатомовой водоросли и прочих видов фитопланктона показал, что доля S. dorhnii достигала 91,6 % от общей плотности микроводорослей. Осенью наблюдали две вспышки развития фитопланктона (3 сентября – 4,4 млн кл./л; 29 октября – 2,3 млн кл./л). В сентябре в фитоценозе доминировал комплекс видов рода Cyclotella. Суммарно доля видов превышала 72 % от общей плотности фитопланктона. Из-за мелких размеров клеток разделение этих видов на уровне световой микроскопии крайне затруднительно. Октябрьский пик уступал предшествующему и был обусловлен интенсивным развитием S. japonicum, доля вида от общей плотности фитопланктона составляла 92 %. Зимний пик плотности (24 декабря – 1,2 млн кл./л) микроводорослей был наименьшим за весь период исследования; в планктоне доминировали виды рода Thalassiosira, достигая 95,6 % от общей плотности фитопланктона.

В целом, видовой состав микроводорослей характерен для прибрежных вод о-ва Русский. Сравнительный анализ количественных данных с результатами исследования фитопланктона, проведенного в 2014–2015 гг. в бухте Парис показал отсутствие единого тренда среди компонентных характеристик микроводорослей. Необходимо проведение дальнейшее мониторинга фитопланктона в б. Парис для уточнения тренда развития сообщества, что позволит более детально исследовать степень воздействия содержания морских млекопитающих на акваторию.

Исследование проведено при финансовой поддержке РФФИ, грант № 19-04-00752, на площадке ЦКП «Приморский океанариум».

ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ ЗИМНЕГО РЕЖИМА В УСТЬЕ Р. ВАРЗУГИ (КОЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ, БАССЕЙН БЕЛОГО МОРЯ)

Терский П.Н. [1], Горин С.Л. [2], Панченко Е.Д. [1], Попрядухин А.А. [1]

[1] МГУ, г. Москва, Россия
[2] ВНИРО, г. Москва, Россия

Ключевые слова: устьевая область, эстуарий, приливы, зона смешения, Варзуга, Белое море, уровень, соленость.

Река Варзуга находится на южном (Терском) берегу Кольского п-ова. Длина реки 254 км, площадь водосбора 9 840 км^2, средний годовой расход воды в вершине устьевой области 83,6 м^3/с. В районе впадения реки в Белое море приливы правильные полусуточные величиной до 1,5–2,0 м.

Настоящая работа основана на материалах совместной экспедиции кафедры Гидрологии суши Географического факультета МГУ, ВНИРО и ГОИН, проходившей с 28 января по 2 февраля 2020 г. Участок исследований составил 27 км и охватил нижнее течение р. Варзуги от ее устья до с. Варзуга. В состав полевых

работ входило: измерения уровня и температуры воды на 5 автоматических постах (0, 4, 9, 15, 19 км от устья реки); измерения солености и температуры воды на 4 автоматических постах (0, 2, 4, 7 км от устья реки); измерения глубины русла и толщины льда по фарватеру реки на участке от 2 до 15 км от устья (через каждые 0,5 км); гидрологические съемки – измерения температуры и солености воды через каждые 0,5 км вдоль фарватера реки в пределах зоны проникновения осолоненных вод; гидрологическая станция – измерение скорости и направления течения, температуры и солености воды в течение одного приливного цикла в 4,5 км от устья; измерение расхода воды в реке.

Результаты наших наблюдений показали, что приливные колебания уровня из моря проникали подо льдом в устье реки и затем распространяются по ее руслу на 21 км – до первого речного порога. Величины этих колебаний составляли: 25–50 см в 15 км; 70–90 см в 9 км; 90–110 см в 4 км от устья реки; 120–130 см в устьевом створе. Благодаря приливам лед на мелководьях дважды в сутки приподнимался над дном, а затем снова ложился обратно. Соответствующим образом изменялись и глубины в реке: в прилив они увеличивались, а в отлив уменьшались. В устье р. Варзуга дважды в сутки затекали осолоненные воды. Верхняя граница зоны осолонения находилась в 7–7,5 км от устья (здесь соленость воды у дна в прилив повышалась до 1 епс). В 4 км от устья реки соленость воды повышалась до 23–26 епс, а в непосредственной близости от устья она достигала величин, характерных для Белого моря – 26–27 епс. Температура воды в вершине устьевой области была близкой к 0°С, а в местах проникновения осолоненных вод колебалась от 0 до –1,5 °С (чем выше соленость, тем ниже температура). На участке реки 0–8 км от устья скорость и направление течения воды изменялись с полусуточной приливной периодичностью. В створе 4,5 км во время отлива максимальная скорость течения (из реки в море) достигала 0,6 м/с. Во время прилива скорость обратного течения возрастала до 0,4 м/с.

В нижнем течении р. Варзуги в зимнее время выделяется три гидрологических участка. На первом (27–21 км от устья) гидрологические условия соответствуют речным. На втором (21–8 км от устья) вода всегда пресная, но заметны приливные изменения уровня воды с периодом около 12 ч. На третьем участке (8–0 км)

все основные гидрологические характеристики – уровень, температура, соленость, скорость и направление течения воды – имеют полусуточную приливную изменчивость. Условия здесь колеблются в широких пределах от речных (на минимуме отлива) до морских (на максимуме прилива).

ПРОБЛЕМЫ СОХРАНЕНИЯ АКВАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ОПУКСКОГО ПРИРОДНОГО ЗАПОВЕДНИКА

Тимошенко Т.Ю., Дьяков Н.Н., Мальченко Ю.А., Жиляев С.А.

ГОИН, г. Москва, Россия
tanatimosh@yandex.ru

Ключевые слова: Опукский природный заповедник, гиперсоленые озера, Кояшское озеро.

Сохранение природных экосистем береговой зоны Черного моря наиболее эффективно в границах аквальных комплексов, входящих в состав особо охраняемых природных территорий (ООПТ) и заповедников. В Крыму в разное время были созданы пять заповедников, с аквальными комплексами.

Прибрежный аквальный комплекс у мыса Опук является частью самого молодого на территории Керченского п-ова Опукского природного заповедника (ОПЗ). В его состав входит участок суши в районе мыса Опук, гора Опук, Кояшское озеро, и прилегающая акватория Черного моря вместе с островами Скалы-Корабли.

В условиях отсутствия стационарных гидрологических наблюдений индикатором последних климатических изменений может служить Кояшское озеро, его морфометрические, гидрологические и гидрохимические характеристики. С октября 2015 года сотрудниками СО ФГБУ «ГОИН» проводится регулярный мониторинг гиперсоленых озер вблизи ОПЗ. В ходе проведения работ выполнялось определение температуры воды, солености, растворенного кислорода, pH, щелочности, биогенных веществ и

содержания тяжелых металлов. Всего за период 2015–2020 гг. нами было выполнено 15 гидрологических и гидрохимических съемок озер, включая исследования прибрежного аквального комплекса Черного моря ОПЗ.

По данным наблюдений соленость Кояшского озера изменялась в широких пределах от 19,5 до 305 ‰ при среднем значении 223 ‰. Кояшское оз. единственное из гиперсоленых озер Керченского п-ова, которое практически никогда не пересыхает. Питание озера осуществляется в большей степени за счет фильтрации морских вод Черного моря через песчаную пересыпь. В случаях интенсивной фильтрации соленость вблизи пересыпи может уменьшаться до 19,7–20,9 ‰.

Балансовые запасы лечебных грязей оз. Кояшское составляют 1 720,0 тыс. м^3 по категории С1. По своему минерально-солевому составу Кояшские грязи сопоставимы с грязями Мертвого озера. В настоящее время рапа и грязи озера не эксплуатируются и могут являться резервом для использования их здравницами Крыма.

Еще более существенны (9 100,0 тыс. м^3 по категории С1) балансовые запасы ценнейших лечебных грязей расположенного западнее ОПЗ – Узунларского озера. В настоящее время акватория оз. Узунларское активно используется как военный полигон. Дно озера и его берега изобилуют воронками бомб и снарядов, осколками, частями и целыми неразорвавшимися боезарядами. Значительная часть боезарядов и их осколков находится на поверхности чаши озера. Техногенная замусоренность грязевой залежи в дальнейшем сильно затруднит эксплуатацию месторождения грязей и рапы, если в ближайшее время не произойдет снижение интенсивности техногенной нагрузки на озеро, гидроминеральный потенциал озера может быть утрачен. Расположение военного полигона является основным фактором беспокойства для авифауны заповедника. За последние годы из-за бесконечных стрельб в период гнездования в ОПЗ практически полностью утрачена крупнейшая в Крыму и России гнездовая колония редчайшего розового скворца (*Sturnus roseus*). Кроме того, вблизи озера Узунларское находится жемчужина Крыма – знаменитое, самое крупное в Европе дикорастущее тюльпанное поле (*Tulipa suaveolens*). Данное поле не относится к ОПЗ и находится под угрозой сельскохозяйственной распашки, и полного уничтожения.

АДАПТИВНАЯ МОДЕЛЬ РЕСУРСНОЙ ЕМКОСТИ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ МОРЯ

Тимченко И.Е., Игумнова Е.М., Свищев С.В.

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

Ключевые слова: система берег – море, ассимиляционные и биологические ресурсы, потребление и воспроизводство ресурсов, адаптивная эколого-экономическая модель, скорости загрязнения и самоочищения, агенты управления, анализ сценариев природопользования.

Понятие «ресурсная емкость» прибрежной зоны моря выражает ограниченную способность морской среды противостоять изъятию из нее части концентрации конкретного вида возобновляемого ресурса путем восстановления (воспроизводства) этой концентрации. Рациональное использование морских ресурсов предполагает создание моделей эколого-экономических систем берег – море, позволяющих контролировать баланс допустимых объемов потребления морских ресурсов с учетом ресурсной емкости среды. Интенсификация хозяйственной деятельности в прибрежной зоне увеличивает береговой сток загрязняющих веществ, что означает рост потребления двух наиболее важных видов ресурсов: ассимиляционных и биологических.

Цель исследования – разработать адаптивную модель рационального потребления ассимиляционных и биологических ресурсов прибрежной зоны моря, основанную на управлении балансом скоростей накопления и деструкции загрязнений, поступающих в море от береговой социально-экономической системы.

Построена интегральная модель формирования концентрации загрязнения морской среды от стационарного (фонового) значения при отсутствии стока до уровня, пропорционального объемам производства обобщенного продукта береговой социально-экономической системы. С целью упрощения было принято, что концентрация загрязнения представляет собой взвешенную сумму концентраций биохимических веществ, представляющих

наибольшую угрозу для включенных в модель морской экосистемы низших звеньев пищевой цепи: фитопланктона, зоопланктона и бактериопланктона. Считалось, что концентрация загрязнения формируется под влиянием перемешивания, равномерно распространяющего загрязнение по объему среды, и биогеохимических реакций самоочищения, происходящих в морской экосистеме. Получена формула, выражающая интегральный баланс скоростей загрязнения и самоочищения среды, которая была использована в динамическом уравнении концентрации загрязнения. Уравнения модели системы берег – море построены методом адаптивного баланса влияний, сохраняющим материальные балансы реакций взаимодействия как экологических, так и экономических процессов. Средние многолетние значения переменных экосистемы приняты за ее стационарное состояние, что позволило выразить коэффициенты модели через нормированные отношения средних значений переменных. Управление эколого-экономическими процессами осуществляли агенты (логические операторы), следившие за уровнем загрязнения и индексом биоразнообразия морской среды, параллельно с оценкой экономической эффективности потребления ресурсов и наложением штрафных санкций за загрязнение. Предложенные механизмы контроля были применены в модели береговой сток – Севастопольская бухта, для которой известны средние многолетние значения концентраций планктонной группы, а также содержания аммония, нитратов, органического вещества и детрита. Были построены сценарии эколого-экономических процессов, характеризующие эффективность использования ассимиляционных и биологических ресурсов бухты при различных внешних условиях, включая динамику среды.

Предложенная модель может служить инструментом управления балансом потребления и воспроизводства ресурсов морской среды. Постановка исследований выполнена по теме «Прибрежные исследования», разработка модели и вычислительные эксперименты проведены при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Севастополя по гранту № 18-47-920001.

ВКЛЮЧЕНИЕ ОБЪЕКТОВ МОРСКОГО КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ В ПРОСТРАНСТВЕННОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Ульянова М.О. [1,2], Баширова Л.Д. [1,2], Сивков В.В. [1,2], Волкова И.И. [2], Шаплыгина Т.В. [2]

[1] ИО РАН, г. Москва, Россия
[2] БФУ, г. Калининград, Россия
marioches@mail.ru

Ключевые слова: морское культурное наследие, морское пространственное планирование, проект BalticRIM, Балтийское море.

Морское культурное наследие (МКН) является широким и комплексным термином. В соответствии с определением Института наследия им. Д.С. Лихачева МКН представляет собой систему материальных и нематериальных ценностей, доставшихся нам от предшествующих эпох, являющихся результатом деятельности человека (или природы и человека), имеющих исключительное научное, социокультурное, историческое значение, играющих роль в социализации личности, ее дальнейшего развития и сохранения цивилизации.

Российское законодательство не наделяет МКН, включая подводное культурное наследие (ПКН), особым статусом, описывая и регламентируя использование и сохранение лишь культурного наследия в целом. Так, согласно ст. 18 №73-ФЗ «Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации» объектом культурного наследия могут быть признаны объекты, старше 40 лет, археологического наследия – старше 100 лет.

Согласно международному законодательству объявить культурным наследием можно объект, обладающий соответствующими историко-культурными признаками. Конвенцией ЮНЕСКО об охране ПКН (2001) возраст объектов, которые могут быть отнесены к ПКН, не должен быть менее 100 лет.

До сегодняшнего дня лишь немногие из объектов МКН (в том числе ПКН) учитываются в процессе МПП в Балтийском море. Более того, сам процесс МПП в России не имеет легального статуса, несмотря на то, что в отдельных законодательных актах различного уровня основные положения МПП прописаны.

Тем не менее, сохранение и рациональное использование МКН – одна из актуальных задач МПП. В российском секторе Юго-Восточной Балтики судоходство, рыболовство (в том числе траление), добыча полезных ископаемых и другие виды морепользования могут иметь негативные последствия для захороненных под водой объектов ПКН. Обломки судов могут быть повреждены или смещены.

Анализ конфликтов между видами морепользования (в том числе в прибрежной зоне Калининградской области) и совместимости некоторых их них с охраной и использованием МКН позволит, при принятии соответствующего законодательства в РФ, вносить коррективы в морские планы на стадии их разработки, чтобы предотвратить разрушение объектов МКН.

В рамках проекта BalticRIM страны-участники разработали новые морские планы с учетом сохранения и использования МКН в Балтийском море. В России в рамках реализации проекта подготовлена база данных общеизвестных и потенциальных объектов МКН в российских секторах Балтики, содержащая 287 объектов. Определены критерии отнесения объектов к МКН, каждому объекту присвоен статус и уникальный код. В российском секторе Юго-Восточной Балтики описано 107 объектов МКН, из которых ни один из объектов ПКН не включен в Единый государственный реестр объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации (Реестр) ввиду отсутствия соответствующего законодательства. Некоторые наземные объекты МКН также отсутствуют в Реестре.

Несмотря на то, что созданная база данных не имеет правового статуса, она является первым этапом формирования морских планов в России с учетом МКН.

Работа выполнена при поддержке проекта BalticRIM.

ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ДОННОГО ФИТОЦЕНОЗА ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОДНОГО ОБЪЕКТА

Филиппова Т.А., Васечкина Е.Ф.

МГИ, г. Севастополь, Россия
deryabina1993@yandex.ru

Ключевые слова: экологический мониторинг, имитационное моделирование, фитоценоз, фотосинтез.

Для определения экологического состояния водного объекта необходимо проводить регулярный мониторинг. Комплексную оценку степени загрязненности водного объекта нужно проводить по гидрологическим, гидрохимическим, геохимическим и гидробиологическим показателям морской среды, учитывая данные о сбросах загрязненных вод и иной техногенной нагрузке. К сожалению, такие исследования достаточно ресурсо- и трудоёмкие, поэтому зачастую для полной картины экологического состояния водного объекта недостаёт большого количества данных. Частично решить эту проблему можно при помощи экологического моделирования. В работе предлагается использовать имитационную модель экосистемы водного объекта для уточнения гидрохимических и гидрологических показателей морской среды. Модель включает в себя гидрохимическую часть и блоки, описывающие динамику фитопланктона и донных макроводорослей.

В мелководной прибрежной зоне заросли водорослей и морских трав – основной источник кислорода и потребитель биогенных элементов, главными из которых являются азот и фосфор. Положительное влияние макроводорослей наблюдается в двух направлениях – обеспечение аэрации прибрежной зоны и снижение в ней фондов биогенных веществ. Таким образом, донные фитоценозы способствуют естественному очищению прибрежных вод от избыточного поступления питательных веществ вследствие хозяйственной деятельности.

В процессе фотосинтеза за счет поглощения солнечной энергии из неорганических соединений углерода и других биогенных элементов они синтезируют органическое вещество. Фотосинтез идёт с выделением кислорода. Имитационная модель фитоценоза позволяет рассчитать количество изъятых биогенных элементов, массу образовавшегося органического вещества и выделившегося кислорода. На рост растений влияют инсоляция, температура среды и концентрация биогенных элементов в воде. Внутренними параметрами выступают величины, характеризирующие эффективность метаболизма растения, их значения оцениваются по данным лабораторных экспериментов. Начальное распределение биомассы макроводорослей предлагается определять при помощи данных аэрофотосъемки.

В общей экологической модели вертикальная структура представлена в виде двух слоев, разделенных термоклином. В пределах слоя все характеристики однородны. По мере прогрева двухслойная структура преобразуется в однослойную, однако, усиление ветра может приводить к образованию нового перемешанного слоя. Внешние управляющие переменные модели: фотосинтетически активная радиация, температура воздуха, средние скорости течения.

Для экологического мониторинга интересны следующие величины, которые можно получить при помощи имитационного моделирования: сезонная динамика биомассы растений, количество изъятых биогенных элементов, количество выделенного кислорода и органики. Наличие значительных отклонений величин от известного сезонного хода, временной сдвиг периода активного роста или его угнетения свидетельствуют о значительных изменениях экологических параметров среды. Факторами изменений могут выступать: сброс загрязненных вод с высоким содержанием биогенных элементов, увеличение температуры и мутности воды, приводящие к недостатку освещенности нижнего слоя. Фитоценозы водорослей быстро реагируют на изменения во внешней среде, поэтому изменение их состояния является достаточным свидетельством происходящих в среде неблагоприятных процессов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №19-05-80028.

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОЛОГИИ ДЕЛЬТОВОЙ ОБЛАСТИ ДОНА

Чикин А.Л. [1], Клещенков А.В. [1], Чикина Л.Г. [2]

[1] ЮНЦ РАН, г. Ростов-на Дону
[2] ЮФУ, г. Ростов-на Дону
chikin1956@gmail.com

Ключевые слова: русловой поток, вычислительный эксперимент, уравнения Сен-Венана.

В настоящей работе представлен один из подходов к численному исследованию гидрологии дельтовой части Дона, когда основное русло распадается на несколько рукавов, впадающих в Таганрогский залив. Движение воды в дельте р. Дон описывается системой уравнений Сен-Венана, записанной в характеристической форме. Область расчета представлена в виде графа, где ребра соответствуют открытым участкам русла, а вершины – узлам разветвления. Решение задачи проводится конечно-разностными методами, где уравнения системы аппроксимируются неявными схемами.

Калибровка модели проводилась с учетом двух условий. Во-первых, расчетные значения уровня водной поверхности должны быть равны определенным значениям на станциях наблюдения в г. Ростове-на-Дону, г. Аксае, ст. Багаевской и ст. Раздорской. При этом предполагалось, что расход воды, вышеуказанные величины уровня воды и уровень в Таганрогском заливе равны медианным значениям за период наблюдений с 2001 по 2015 гг. Медианные значения выбраны по причине, что, в отличие от средних, они не подвержены влиянию случайных выбросов. Результаты статистической обработки наблюдений приведены в [Чикин А.Л., Клещенков А.В., Чикина Л.Г., Коршун А.М. Сгонно-нагонные колебания уровня воды устьевой области Дона: численное моделирование и сценарии изменения // Наука Юга России. 2017.

Т. 13, № 3. С. 39–490], откуда видно, что медианное значение расхода равно 535 $м^3/с$, а значения уровенной поверхности (БС) на станциях наблюдения равны соответственно: Ростов-на-Дону – 0,05 м; Аксай – 0,23 м; Багаевская – 0,99 м; Раздорская – 2,23 м. Уровень воды в Таганрогском заливе считался равным – 0,34 м.

Во-вторых, расчетные значения расходов воды и скорости течения должны совпадать с измеренными величинами на станциях наблюдения. Измерения проводились в период 22–23 сентября 2014 г.

Сравнение расчетных и наблюденных значений расходов показало, что на большинстве станций относительная погрешность составляет 3–17 %. Только на станции, расположенной в рукаве Старый Дон, погрешность составила 64 %, что связано с ослаблением восточного ветра и формированием во время наблюдений на данной станции противотечения из Таганрогского залива в дельту Дона по глубокому врезу судоходного канала в системе рукавов Песчаный – Старый Дон.

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».

ТЕСТОВЫЕ РАСЧЕТЫ НА МОДЕЛИ ПОСТУПЛЕНИЯ СОЛЕНОЙ ВОДЫ ИЗ ТАГАНРОГСКОГО ЗАЛИВА В ДЕЛЬТУ ДОНА

Чикина Л.Г. [1], Чикин А.Л. [2]

[1] ЮФУ, Ростов-на Дону
[2] ЮНЦ РАН, Ростов-на Дону
chikin1956@gmail.com

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

Рассматривается русло Дона от станицы Раздорская и рукав Старый Дон до места впадения в Таганрогский залив. Математическая модель состоит из двух составляющих – гидродинамическую и транспортную. Гидродинамическая составляющая описывается уравнениями Сен-Венана. Подробное описание численной реализации гидродинамической составляющей приведено в работе [Чикин А. Л., Клещенков А. В., Чикина Л. Г. Численное исследование влияния расхода воды на уровенный режим в устьевой области Дона // Морской гидрофизический журнал. 2019. Т. 35, № 4. С. 355–366]. Транспортная составляющая консервативного вещества описывается уравнением конвекции-диффуз ии. Все уравнения замыкаются соответствующими начальными и граничными условиями.

На верхней границе русла (входе) задается значение концентрации, например, можно считать, что соль отсутствует (C=0). На нижней границе (устье) условие меняется в зависимости от знака скорости течения. В случае поступления воды из залива в устье (v<0), как это происходит во время сильных нагонов, ставится условие $\frac{\partial C}{\partial s} = \frac{\nu}{\mu}(C - C_{zal})$ – равенства концентраций в заливе и устье. В случае нормального состояния или сгона, когда вода поступает из устья в залив (v>0), ставится условие $\frac{\partial C}{\partial s} + C\frac{\nu}{\mu} = 0$, которое соответствует удалению соли из устья.

Задача решается конечно-разностными методами на равномерной сетке. Было рассмотрено несколько сценариев, характерных для устьевой части Дона. По первому сценарию уровень воды на правой границе сначала резко, а потом плавно повышается (случай нагона), затем остается некоторое время в покое, а потом снижается. При этом расход поступающей в русло воды и концентрация соли в устьевой точке оставались постоянными. По второму сценарию к изменению уровня воды добавлялось изменение концентрации соли в устьевой точке. По третьему сценарию к предыдущим условиям добавлялось изменение расхода поступающей воды.

Проведенное численное исследование показало, что представленная модель дает представление об общей тенденции развития процесса возможного осолонения дельты Дона при нагонных явлениях. Публикация подготовлена в рамках научного проекта РФФИ № 18-05-80025 «Опасные явления». Расчеты выполнены на кластере ЦКП «Высокопроизводительные вычисления».

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ВИРУСНОГО ЛИЗИСА КОККОЛИТОФОРИДЫ EMILIANIA HUXLEYI НА ПРОЗРАЧНОСТЬ МОРСКОЙ ВОДЫ

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: кокколитофориды, микроводоросль *Emiliania huxleyi*, численность клеток, альговирусы, вирусный лизис, показатель ослабления света, прозрачность морской воды.

По мнению ученых, морские вирусы, в том числе и альговирусы, занимают ключевые позиции в глобальной экологии, при этом вирусный лизис микроводорослей оказывают значительное влияние на состав водной среды их обитания (РОВ, ОВВ).

Известно, что при «цветении» воды кокколитофоридами происходит значительное повышение количества минеральной взвеси, что увеличивает рассеяние света и существенно снижает прозрачность воды. В литературных источниках есть сведения о влиянии кокколитофорид на прозрачность водной среды, однако данные о влиянии вирусного лизиса кокколитофорид на прозрачность представлены слабо. Так имеется информация о том, что вирусный лизис кокколитофорид может увеличивать отражательную способность поверхности океана, наблюдаемую по спутниковым снимкам, а контактными методами определяется увеличения оптического поглощения света в морской воде в период вирусного лизиса этих микроводорослей.

Нашими экспериментальными исследованиями было установлено, что вирусный лизис некоторых представителей фитопланктона, на примере культур микроводорослей *Tetraselmis viridis, Dunaliella viridis* и *Phaeodactylum tricornutum,* сопровождался снижением показателя ослабления света и коррелирующим с ним снижением численности клеток микроводорослей.

Цель работы – в условиях эксперимента установить изменения в динамике показателя ослабления света (ПОС) морской воды под влиянием черноморской микробиоты, в состав которой включали культуру микроводоросли *Emiliania huxleyi*, моделируя пик «цветения», и альговирус к этой микроводоросли (опыт) на фоне контроля (рост и развитие микроводоросли без вируса) с возможным учетом и/или экстраполяцией полученных результатов на морскую среду черноморского региона.

Проводимые в 2020 г. эксперименты по изучению влиянию на ПОС вирусного лизиса *Emiliania huxleyi* штаммом альговируса этой микроводоросли, выделенным из экосистемы Черного моря по запатентованной авторской методике, проводили с использованием двух емкостного (опыт и контроль) лабораторного стенда, описанного ранее. Культура микроводоросли *Emiliania huxleyi* была получена из коллекции живых культур микроводорослей отдела экологической физиологии водорослей Федерального исследовательского центра «Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН». Эксперименты выполнялись с использованием пастеризованной морской воды (объем до 10,0 л) с добавлением культуры микроводоросли (до 1,2 л) и вирусной

суспензии (до 1,2 л) в опыте. В контроль кроме культуры микроводоросли добавляли пастеризованную морскую воду в идентичном вирусной суспензии объеме. Измерения ПОС в динамике проводили спектральным измерителем показателя ослабления света, созданным на базе МГИ.

В ходе проведенных экспериментов было подтверждено влияние вирусного лизиса на снижение ПОС и численность клеток микроводоросли *Emiliania huxleyi*. В отличие от других черноморских культур суммарный коэффициент детерминации для контроля и опыта между численностью клеток и ПОС был невысок R^2=0,74 (для *Tetraselmis viridis* R^2=0,93). При этом в контроле коэффициент детерминации достигал R^2=0,82, тогда как в опыте R^2=0,26. Это, по нашему мнению, связано с присутствием в опыте нелизирующихся кокколитов клеток водорослей.

Работа выполнена в рамках госзадания по теме № 0827-2019-0002 ФИЦ МГИ; по госбюджетной теме ИПТС № 0012-2019-0003 и госзадания ФИЦ ИнБЮМ № АААА-А18-118021490093-4.

.

ПЕРЕЧЕНЬ ОРГАНИЗАЦИЙ

ААНИИ – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт», г. Санкт-Петербург.

АО «Балт АГП» – «Балтийское аэрогеодезическое предприятие», г. Калининград.

АО «СПИИРАН-НТБВТ» – Акционерное общество «СПИИРАН – Научно-техническое Бюро Высоких Технологий», г. Санкт-Петербург.

БФУ – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта», г. Калининград.

ВНИИОкеанология – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана имени академика И.С. Грамберга»», г. Санкт-Петербург.

ВНИРО – Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», г. Москва.

ВСЕГЕИ – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского», г. Санкт-Петербург.

ГГО – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова», г. Санкт-Петербург.

ГЕОХИ РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук, г. Москва.

Гидрометцентр России – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации», г. Москва.

ГОИН – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова», г. Москва.

ГосНИОРХ им. Л.С. Берга – Санкт-Петербургский филиал федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», г. Санкт-Петербург.

ДальНИИВХ – Дальневосточный филиал ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», г. Владивосток.

Дальрыбвтуз – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет», г. Владивосток.

ДВНИГМИ – Дальневосточный региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт, г. Хабаровск.

ДВФУ – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный федеральный университет», г. Владивосток.

ЗАО «ЕС-лизинг», г. Москва

ЗИН РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Зоологический институт Российской академии наук», г. Санкт-Петербург.

ИВиС ДВО РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт вулканологии и сейсмологии Дальневосточного отделения Российской академии наук», г. Петропавловск-Камчатский.

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.

ИЗК СО РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт земной коры Сибирского отделения Российской академии наук», г. Иркутск.

ИЗМИРАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт Земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова Российской Академии наук», г. Москва.

ИИМК РАН – Институт истории материальной культуры Российской Академии наук, г. Санкт-Петербург.

ИМГиГ ДВО РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук», г. Южно-Сахалинск.

ИМЗ СО РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова Сибирского отделения Российской академии наук», г. Якутск.

ИнБЮМ – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Институт морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского РАН», г. Севастополь.

Институт криосферы Земли – Институт криосферы Земли Тюменского научного центра Сибирского отделения РАН, г. Тюмень.

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.

ИПЭЭ РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки» Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова Российской академии наук», г. Москва

ИФА РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова Российской академии наук», г. Москва.

ИФЗ РАН – федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва.

КамчатНИРО – Камчатский филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», г. Петропавловск-Камчатский.

КНЦ РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Кольский научный центр Российской академии наук», г. Апатиты.

Крымпроектреставрация – Государственное унитарное предприятие Республики Крым «Комплексная архитектурно-реставрационная мастерская «Крымпроект-реставрация»», г. Симферополь.

Кубанский ГАУ – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», г. Краснодар.

КубГУ – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный университет», г. Краснодар.

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.

НИИ «АЭРОКОСМОС» – Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Научно-исследовательский институт аэрокосмического мониторинга "АЭРОКОСМОС" Министерства науки и высшего образования и Российской Федерации под научно-методическим руководством Российской академии наук», г. Москва.

НИУ ВШЭ – Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики, г. Москва.

ННЦ МБ ДВО РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского» Дальневосточного отделения РАН, г. Владивосток.

ООО «Арктический Научный Центр», г. Москва.

ООО «КрымТехПроект», г. Ялта.

ООО «Эко-Экспресс-Сервис», г. Санкт-Петербург.

Оперативный центр института океана – автономная некоммерческая организация «Оперативный центр по координации морских научных исследований Международного Института Океана», г. Москва.

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.

РУДН – ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», г. Москва.

РФФИ – Российский фонд фундаментальных исследований, г. Москва.

СГУ – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение Высшего образования «Сочинский государственный университет», г. Сочи.

Севастопольский центр туризма, краеведения, спорта и экскурсий – государственное бюджетное образовательное учреждение дополнительного образования города Севастополя «Севастопольский центр туризма, краеведения, спорта и экскурсий учащейся молодежи», г. Севастополь.

СевГУ – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение Высшего образования «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь.

СО ГОИН – Севастопольское отделение Федерального государственного бюджетного учреждения «Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова», г. Севастополь.

СПбГУ – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», г. Санкт-Петербург.

СПбНЦ РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Санкт-Петербургский научный центр Российской академии наук», г. Санкт-Петербург.

ТОИ ДВО РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук», г. Владивосток.

Филиал АО ЦНИИС «НИЦ «Морские берега» – Филиал Акционерного общества «Научно-исследовательский институт транспортного строительства» «Научно-исследовательский центр «Морские берега», г. Сочи.

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 РГГМУ в г. Туапсе – Филиал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный гидрометеорологический университет» в г. Туапсе Краснодарского края, г. Туапсе.

Херсонес Таврический – Федеральное государственное бюджетное учреждение культуры «Государственный историко-археологический музей-заповедник «Херсонес Таврический», г. Севастополь.

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.

ЧЦПИ – Государственное бюджетное учреждение Республики Крым «Черноморский центр подводных исследований», г. Симферополь.

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.

Вильнюсский университет, г. Вильнюс, Литва.

ИЭАНА – Институт Экологии Академии Наук Абхазии, г. Сухум, Республика Абхазия.

ОНУ – Одесский национальный университет имени И.И. Мечникова, г. Одесса, Украина.

AWI – Институт полярных и морских исследований им. Альфреда Вегенера (нем. Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, AWI), г. Бремерхафен, Германия.

Design Solutions – ООО "CHR Design Solutions", г. Рига, Латвия

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.

JRC – Joint Research Centre in Ispra, Italy.

NIVA – Норвежский институт водных исследований, г. Осло, Норвегия.

198 НИЦ МО РФ – 198 научно-исследовательский центр МО РФ, г. Севастополь

Работы сотрудников ФГБУН ФИЦ 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: исследования береговой и шельфовой зон»

Подписано к печати 20 августа 2020 г.
Формат 60 84 1/6.

Отпечатано СРОО «Дом солнца»,
ул. Хрусталева, 143, тел. 8692 656011.
Заказ 16, тираж 200.