

Рабочая группа «Морские берега» при СОФАГ РАН

**Географический факультет Московского
государственного университета имени М.В.Ломоносова**

Русское географическое общество

Институт экологического проектирования и изысканий

БЕРЕГОВАЯ ЗОНА МОРЕЙ РОССИИ В XXI ВЕКЕ

**ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ
XXX ВСЕРОССИЙСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
3-7 июня 2024 г.**

г. Москва

УДК 556.54
ББК 26.323

Опубликовано при финансовой поддержке Института экологического проектирования и изысканий

Рецензенты:

П.О. Завьялов, доктор географических наук, член-корреспондент РАН
И.В. Землянов, кандидат физико-математических наук

В настоящий сборник вошли тезисы докладов, представленных на XXX (юбилейной) всероссийской конференции «Береговая зона морей России в XXI веке», проведенной 3-7 июня 2024 года на географическом факультете МГУ имени М.В.Ломоносова рабочей группой «Морские берега» под научно-методическим руководством Секции океанологии, физики атмосферы и географии Отделения наук о Земле РАН. На конференции в рамках тематических секций (1) гидро-, лито- и морфодинамика береговой зоны, (2) геоморфология и палеогеография морских побережий, (3) береговая зона в условиях глобальных изменений (климат и техногенез), (4) инженерные изыскания и строительство гидротехнических сооружений в береговой зоне, (5) береговая зона на пути к устойчивому развитию (комплексное управление и социально-экономическое развитие), - состоялось всестороннее обсуждение фундаментальных и прикладных проблем изучения морских берегов, эволюции и динамики береговой зоны, оценки ее экологического состояния в XXI веке на фоне климатических изменений и в контексте устойчивого развития.

Береговая зона морей России в XXI веке / Тезисы докладов XXX всероссийской конференции, Москва, 3–7 июня 2024 г. – М.: Географический факультет МГУ, 2024. 187 с. ISBN: 978-5-89575-269-2

Редактор:

С.А. Огородов, доктор географических наук, профессор РАН

Технический редактор:

Р.В. Собин

ISBN: 978-5-89575-269-2

@ Географический факультет МГУ, 2024
@ Коллектив авторов, 2024

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Матишов Г.Г., Добролюбов С.А., Огородов С.А.</i> Береговая зона морей России в XXI веке (ПРЕДИСЛОВИЕ).....	11
---	----

СЕКЦИЯ 1

«ГИДРО-, ЛИТО- И МОРФОДИНАМИКА БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ»

<i>Афанасьев В.В., Казаков А.И., Уба А.В.</i> Многолетняя динамика прибрежных волновых энергетических характеристик берегов о. Сахалин	13
<i>Баранская А.В., Богатова Д.М., Новикова А.В., Другов М.Д., Шабанов П.А., Шабанова Н.Н.</i> Факторы уязвимости термоабразионных берегов к размыву на примере южной части Карского моря.....	14
<i>Бобыкина В.П., Чубаренко Б.В., Пинчук В.С.</i> Косы Юго-Восточной Балтики как современные источники наносов.....	16
<i>Бобыкина В.П., Стонт Ж.И.</i> Последствия воздействия «ныряющих» циклонов на северное побережье Калининградской области по результатам мониторинга (начало XXI в.).....	18
<i>Богатова Д.М.</i> Количественная оценка пространственных особенностей темпов отступления берега Карского моря, как основа для моделирования динамики берегов методами машинного обучения	20
<i>Бровко П.Ф.</i> Геомониторинг береговой зоны Охотского и Японского морей .	22
<i>Гиппиус Ф.Н., Мысленков С.А.</i> Многолетние тренды параметров штормового волнения в прибрежных акваториях Чёрного моря по данным численного моделирования и реанализов.....	24
<i>Глинка В.В., Сапрыгин В.В., Беспалова Л.А., Ивлиева О.В.</i> Исследование типов берегов Волгоградского водохранилища с использованием беспилотных (БПЛА) летательных аппаратов (на примере Дубовского района).	26
<i>Горин С.Л., Корзинин Д.В., Любичкий Ю.В., Вражкин А.Н.</i> О соотношении отдельных составляющих (приливной, ветро-барической и волновой) в штормовом затоплении на берегах Западной Камчатки на примере экстраординарного случая в пос. Крутогоровский 11 ноября 2013 г.	28
<i>Двоглазова Н.В., Шушарин А.В.</i> Учет эффекта естественной пятнистости гидрологических характеристик при изучении устьевой зоны смешения реки Преголи (Юго-Восточная Балтика).....	30

<i>Дивинский Б.В.</i> Трехмерная структура климатических полей течений Азовского моря	33
<i>Игнатъев Д.Е., Гордеева С.М.</i> Изменчивость потоков воды, тепла и соли через Берингов пролив и их связь с ветром	35
<i>Казаков А., Штремель М.Н.</i> Анализ динамики подводного рельефа береговой зоны Балтийской косы под действием ветрового волнения	38
<i>Кажукало Г.А., Еременко Е.А., Жива Р.Ю., Дбар Р.С.</i> Морфология и динамика (1943-2022 гг.) морских берегов Пицундского полуострова и Мюссерской возвышенности (Западная Абхазия)	40
<i>Кленин А.В., Иванова И.Н., Будников А.А.</i> Подповерхностный максимум температуры в Кисло-Сладком озере в математической модели LAKE.....	43
<i>Колпакова Е.С., Вельямидова А.В., Королева Т.А.</i> Уровни содержания и состав хлорорганических соединений в озерных экосистемах на разной стадии отделения от Белого моря	45
<i>Коробченкова К.Д., Ульянова М.О.</i> Распределение растворенных в воде металлов в устьевой области р. Преголя в 2023 году	46
<i>Коробченкова К.Д., Килесо А.В., Гриценко В.А., Куприянова А.Е.</i> Широтный фактор в изменчивости термогравитационной конвекции в прибрежных водах Балтики.....	49
<i>Кузнецов С.Ю., Сапрыкина Я.В.</i> Феноменологический метод прогноза деформаций рельефа песчаного дна за счёт поперёк берегового транспорта наносов	51
<i>Мисиров С.А., Беспалова Л.А.</i> Оценка динамики бровки клифа в береговой зоне Таганрогского залива на основе данных ДЗЗ и ГИС.....	53
<i>Осадчиев А.А.</i> Малые речные плюмы в Черном море	55
<i>Пака В.Т., Кондрашов А.А., Корж А.О., Крек А.В.</i> Инструментальное определение проникновения поверхностных волн в придонный слой в зависимости от глубины моря и силы ветра	56
<i>Пижанкова Е.И., Гаврилов А.В.</i> О соотношении динамики берегов морей, заливов и озер Яно-Индигирской низменности.....	59
<i>Рыбченко А.А., Юрьев А.А., Кадетова А.В.</i> Опыт использования БПЛА для мониторинга абразионных берегов озера Байкал.....	61
<i>Сапрыкина Я.В., Кузнецов С.Ю.</i> Увеличение основного периода волн в береговой зоне моря	63

Хомчановский А.Л. Морфолитодинамика берегов Дальнего Востока (Камчатка, Курильские острова) 64

Юровский Ю.Ю., Кудинов О.Б. О применимости неспециализированных инерциальных датчиков в волнографических буях 67

СЕКЦИЯ 2 «ГЕОМОРФОЛОГИЯ И ПАЛЕОГЕОГРАФИЯ МОРСКИХ ПОБЕРЕЖИЙ»

Алейников А.А., Богданович А.Ю., Липка О.Н. Изменение береговой линии Каспийского моря и залива Кара-Богаз-Гол с учетом климатических изменений 69

Афанасьев В.В. Трендовые тенденции эволюции береговых геосистем холодных морей в среднем - позднем голоцене, потенциал устойчивости и возможности адаптации в условиях быстрых климатических и техногенных изменений 71

Губин С.В., Лупачёв А.В., Шамрикова Е.В., Денева С.В., Кубик О.С. Почвообразование и почвенный покров побережья Арктической зоны России 73

Ермолов А.А., Кажукало Г.А., Огородов С.А. Геоморфологическое строение дна Обской губы Карского моря 75

Кашдан А.И., Шейнкман В.С. Моделирование палеокриологических обстановок в береговой зоне западного сектора Арктики 77

Костин Д.Н., Куприянова Н.В., Григорьев В.А. Особенности распространения и фациальная характеристика морских отложений позднего неоплейстоцена на северо-западе полуострова Таймыр 79

Левицкий А.И., Афанасьев В.В. Основные закономерности эолового морфолитогенеза на берегах Северной Пацифики 80

Леонтьев И.О. Ритмические формы прибрежного рельефа 82

Лукашенко Д.Р., Еременко Е.А., Жиба Р.Ю., Луговой Н.Н., Нешенко И.П., Авидзба Р.Д., Алдошин И.А., Зарайский Н.П., Фатеева М.А., Фоминых П.И., Шереметьев И.А., Дбар Р.С. Рельеф подводного берегового склона в районе каньона Акула и устья реки Ряпш (Пицундский полуостров, Абхазия) 84

СЕКЦИЯ 3
«БЕРЕГОВАЯ ЗОНА В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ
(КЛИМАТ И ТЕХНОГЕНЕЗ)»

<i>Багдасаров И.Е., Бобрик А.А., Ильичев И.А., Красильников П.В., Огородов С.А., Терехова Е.Н., Цейц М.А., Шу Л.-Г.</i> Запасы углерода в прибрежных экосистемах, почвах и отложениях в контексте глобальных климатических изменений	87
<i>Беспалова Л.А., Беспалова Е.В., Цыганкова А.Е., Ивлиева О.В., Кривогуз Д.О., Иошпа А.Р., Мисиров С.А.</i> Проблемы берегозащиты урбанизированных территорий (на примере г. Таганрога)	88
<i>Васильев А.А., Малкова Г.В., Облогов Г.Е., Широков Р.С.</i> Эволюция мерзлоты в береговой зоне ЮВ части Баренцева и Карского морей при потеплении климата	90
<i>Виноградов Р.А., Андреев О.М., Морозова О.А., Скутин А.А.</i> Техногенное влияние на ледовые условия береговой зоны морей на фоне глобальных климатических изменений.....	92
<i>Годецкий С.В., Богатова Д.М., Ликутова О.А., Вергун А.П., Огородов С.А.</i> Ледяной покров залива Шарапов Шар (Карское море) и его влияние на формирование мерзлых грунтов на дне	94
<i>Горячкин Ю.Н.</i> Береговая зона Крыма в XXI веке.....	95
<i>Есюкова Е.Е., Стонт Ж.И., Ульянова М.О.</i> Последствия влияния природных и антропогенных факторов на побережье Калининградской области в начале XXI в.	97
<i>Исаев А.В., Рябченко В.А.</i> Моделирование современного состояния биогеохимических циклов Ладожского озера.....	99
<i>Кажукало Г.А., Новикова А.В., Белова Н.Г., Шабанова Н.Н., Огородов С.А.</i> Проблема оценки климатического фактора разрушения арктических берегов (Харасавэй и Черный Берег, Западный Ямал).....	101
<i>Ковалевская А.И., Пеллинен В.А., Шубин А.П.</i> Эколого-геохимическое состояние побережья островного бара Ярки озера Байкал.....	103
<i>Кузякин Л.П., Огородов С.А., Кажукало Г.А., Богатова Д.М.</i> Опасные криогенные процессы на берегах Обской губы Карского моря в районе поселка Новый Порт.....	105
<i>Лаптева Е.М., Денева С.В.</i> Аккумуляция и миграция тяжелых металлов в почвах Арктики и Субарктики европейского Северо-Востока.....	107

<i>Лосюк Г.Н., Попов С.С., Кокрятская Н.М.</i> Биогенные элементы в озерах, полностью отделившихся от Белого моря (на примере оз. Верхнее Ершовское и оз. Нижнее Ершовское).....	109
<i>Малавенда С.В.</i> Современное состояние литорального макрофитобентоса Мурманского берега Баренцева моря	111
<i>Пеллинен В.А., Светлаков А.А., Добрынина А.А., Шубин А.П.</i> Современное состояние береговой зоны аккумулятивного берега Баргузинского залива озера Байкал.....	112
<i>Рябчук Д.В., Сергеев А.Ю., Жамойда В.А., Ковалева О.А., Неевин И.А., Буданов Л.М.</i> Эволюция береговых морфолитосистем восточной части Финского залива в голоцене под воздействием региональной тектоники, климатических изменений и техногенеза	114
<i>Сергеев А.Ю., Рябчук Д.В., Жамойда В.А., Неевин И.А.</i> Анализ рисков, обусловленных климатозависимыми экзогенными геологическими процессами в береговой зоне Финского залива	116
<i>Соколов А.Н., Чубаренко Б. В.</i> Многолетняя динамика высот волн в Балтийском море с середины XX века по настоящее время.....	118
<i>Стекольников И.О., Маслаков А.А., Другов М.Н., Баранская А.В.</i> Изучение динамики береговых криогенных процессов Восточной Чукотки	120
<i>Теребова Е.Н., Павлова М.А., Багдасаров И.Е., Красильников П.В.</i> Депонирование углерода в растительных сообществах Карельского берега Белого моря	122
<i>Чубаренко Б.В., Есюкова Е.Е., Лобчук О.И., Двоеглазова Н.В.</i> Первые результаты оценки загрязнения частицами микропластика устьевого участка реки Преголи (Юго-Восточная Балтика).....	124
<i>Шабанов П.А., Осадчиев А.А., Шабанова Н.Н., Огородов С.А.</i> Расширение безлёдного периода как следствие сокращения морского ледяного покрова в Карском море и море Лаптевых по спутниковым данным за 1979-2022 гг. ..	126

СЕКЦИЯ 4
«ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВО
ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ В БЕРЕГОВОЙ ЗОНЕ»

<i>Григорьев М.Н.</i> Криогенные береговые процессы и проблемы прибрежной инфраструктуры арктических морей Восточной Сибири в условиях потепления климата	129
<i>Гудошников Ю.П., Гладыш В.А., Воскресенский К.С., Логвина Е.А., Драбенко Д.В., Головин Н.В., Орлова Е.Ю.</i> Изменение литодинамического режима и оценка заносимости акватории Обская губы в районе терминала «Утренний»	131
<i>Долгушев Т.В.</i> Учёт влияния прогнозных изменений уровня моря при проектировании портовых гидротехнических сооружений	133
<i>Ермолов А.А., Землянов И.В., Огородов С.А.</i> Инженерно-геоморфологические условия косы Арабатская Стрелка	135
<i>Закиров Р.Б., Чубаренко Б.В., Бурнашов Е.М.</i> Возможность применения байпасинга для реализации комплексного плана берегозащиты абразионного участка морского берега Балтийской косы (Балтийское море)	137
<i>Кривогуз Д.О., Беспалова Л.А.</i> Использование ДЗЗ и искусственного интеллекта (ИИ) для анализа многолетней динамики береговой линии моря.	139
<i>Кривогуз Д.О., Беспалова Е.В., Беспалова Л.А.</i> Современные методы получения и трансфера информации в банк данных на компьютере при полевых исследованиях.....	141
<i>Локтионов Е.Ю., Шараборова Е.С., Николаев Е.Ю.</i> О возможности замедления термоабразии береговых обрывов с использованием возобновляемых источников энергии	143
<i>Макаров К.Н., Макаров Н.К.</i> Уточнение некоторых методов расчета морских гидротехнических сооружений	145
<i>Марков А.А., Фомин В.В., Горячкин Ю.Н., Харитонова Л.В.</i> Оценка эффективности берегозащитных сооружений и научное обоснование проектов реконструкции южного побережья Крыма на примере пгт. Массандра (г. Ялта)	146
<i>Миронюк С.Г., Либина Н.В.</i> Из опыта сейсмического микрорайонирования участков береговой зоны ряда морей: некоторые практические аспекты оценки расчетной сейсмичности	148

Чубаренко Б.В., Дикий Д.И., Домнин Д.А., Закиров Р.Б., Бабаков А.Н., Пака В.Т., Кондрашов А.А., Корж А.И., Бурнашов Е.М., Карманов К.В., Ефремов В.И., Басс О.В. Натурный эксперимент по применению проницаемого волнолома для целей берегозащиты (Балтийское море, Калининградская область)..... 150

СЕКЦИЯ 5
«БЕРЕГОВАЯ ЗОНА НА ПУТИ К УСТОЙЧИВОМУ РАЗВИТИЮ
(КОМПЛЕКСНОЕ УПРАВЛЕНИЕ И СОЦИАЛЬНО-
ЭКОНОМИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ)»

Амосов М.И., Сафина С.С., Толмачёва Е.М. Создание искусственных земель: сравнение опыта Осаки и Санкт-Петербурга..... 152

Бадина С.В. Социально-экономическое развитие Печорско-Карского региона в контексте рисков климатических изменений..... 154

Гогоберидзе Г.Г., Румянцева Е.А. Концепция Кадастра морских берегов Российской Федерации 157

Гогоберидзе Г.Г., Румянцева Е.А. Устойчивость развития береговых территорий Кольского полуострова: сильные и слабые стороны..... 158

Грант Е.М., Губарева Е.К. Устойчивое развитие береговой линии Балтийского моря 160

Жигульский В.А., Шуйский В.Ф., Чебыкина Е.Ю. О применении результатов научно-исследовательской программы "Плавни Невской губы" для рационального многоцелевого использования прибрежных макрофитных экосистем 162

Кузнеченко П.А., Алексеенко Н.А., Медведев А.А. Динамика берегов озера Севан на разных этапах социально-экономического развития Армении 164

Неевин И.А., Жамойда В.А., Рябчук Д.В., Ткаченко М.А., Спиридонов М.А., Гогоберидзе Г.Г. Мониторинг прибрежно-шельфовых зон как составляющая кадастра береговой зоны..... 166

Огородов С.А., Бадина С.В. Управление природопользованием в береговой зоне федеральной территории Сириус 168

Румянцева Е.В., Муждаба О.В., Пискун А.А., Третьяков М.В. Значимость гидрологических наблюдений в устьевых областях рек Арктической зоны как в особых береговых акваториальных комплексах 172

Румянцева Е.А., Гогоберидзе Г.Г. Оценка рисков арктического природопользования для береговой зоны Мурманской области..... 174

<i>Савчук Е.А.</i> Социально-экономическое освоение прибрежной зоны Хасанского района (Приморский край)	176
<i>Санин А.Ю.</i> Некоторые проблемы управления природопользованием на приморских туристических территориях и подходы к их решению.....	177
<i>Спирина В.А., Погожева М.П.</i> Загрязнение морским мусором северо-восточных берегов Черного моря.....	180
<i>Турлучев А.П., Филобок А.А.</i> Исследование территориальной динамики морских портов (на примере Краснодарского края).....	182

БЕРЕГОВАЯ ЗОНА МОРЕЙ РОССИИ В XXI ВЕКЕ (ПРЕДИСЛОВИЕ)

Матишов Г.Г.¹, Добролюбов С.А.², Огородов С.А.²

¹*Южный научный центр РАН, г. Ростов-на-Дону, Россия*

²*МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия*

ogorodov@geogr.msu.ru

В настоящее время береговая зона Мирового океана и морей, омывающих территорию Российской Федерации, испытывает серьезную нагрузку, обусловленную глобальными климатическими изменениями окружающей среды и локальным техногенным воздействием. Повышение уровня моря, рост числа и высоты экстремальных штормовых нагонов, сокращение твердого стока рек, изъятие наносов с пляжей и подводного склона, строительство портовых сооружений и судовых подходов каналов, локальные берегоукрепительные мероприятия – все эти факторы привели к тому, что с начала XXI века повсеместно произошла активизация береговых процессов. Разрушение берегов захватывает все более протяженные сегменты береговой линии. На других участках вследствие перераспределения вдольберегового потока наносов, обусловленного природными и техногенными причинами, имеет место существенная трансформация контура берега, аномальный рост протяженности береговых аккумулятивных форм. В свою очередь, в арктических и дальневосточных морях России, где большая часть протяженности береговой линии находится в криолитозоне, на фоне деградации многолетней мерзлоты и снижения ледовитости акваторий скорости отступления морских берегов на отдельных участках достигли катастрофических масштабов.

Описанные изменения оказывают серьезное влияние на освоение морских побережий и развитие береговой инфраструктуры. Хозяйствующие субъекты и государственные регулирующие органы постоянно сталкиваются не только с проявлением опасных и неблагоприятных процессов в береговой зоне, но и большим количеством экологических и экономических вопросов, связанных здесь с природо- и землепользованием, строительством и эксплуатацией гидротехнических сооружений. Проблема усугубляется отсутствием кадастра морских берегов Российской Федерации, несовершенством или отсутствием законодательной и нормативно-юридической базы для решения спорных ситуаций, оценки воздействия техногенных нарушений в береговой зоне.

В настоящий сборник вошли тезисы докладов ведущих специалистов в области береговедения, сделанные 3-7 июня 2024 года на географическом факультете МГУ имени М.В.Ломоносова на XXX (юбилейной) конференции «Береговая зона морей России в XXI веке» рабочей группы «Морские берега»

под научно-методическим руководством Секции океанологии, физики атмосферы и географии Отделения наук о Земле РАН. Всего в рамках секций (1) гидро-, лито- и морфодинамика береговой зоны; (2) геоморфология и палеогеография морских побережий; (3) береговая зона в условиях глобальных изменений (климат и техногенез); (4) инженерные изыскания и строительство гидротехнических сооружений в береговой зоне; (5) береговая зона на пути к устойчивому развитию (комплексное управление и социально-экономическое развитие; было сделано более 70 докладов. С учетом соавторов в конференции приняли участие около 300 ученых, инженеров и студентов из различных регионов Российской Федерации.

СЕКЦИЯ 1
«ГИДРО-, ЛИТО- И МОРФОДИНАМИКА БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ»

**МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ПРИБРЕЖНЫХ ВОЛНОВЫХ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БЕРЕГОВ О. САХАЛИН**

Афанасьев В.В.^{1,2}, Казаков А.И.^{1,2}, Уба А.В.^{1,2}

*¹Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск,
Россия*

*²Береговой научно-технологический центр Сахалинского государственного
университета, г. Южно-Сахалинск, Россия
legn@inbox.ru*

Ключевые слова: береговая зона, волновые характеристики, наносодвижущая сила, Сахалин.

Выполнен анализ прибрежных волновых энергетических характеристик берегов о. Сахалин. Используются срочные данные о скорости и направлении ветра по 13 метеостанциям Сахалина за последние 57 лет, инструментальные данные охватывают не менее 44 лет. Период повторяемости экстремальных ветров со среднемесячной скоростью 12-20 м/с составляет в среднем 20-50 лет, на мысах 5-10 лет. Для ответа на вопрос, носят ли прибрежные волновые энергетические характеристики у берегов Сахалина циклический характер, потребовалось рассмотреть данные за весь период наблюдений, поскольку продолжительность предполагаемых циклов составляет несколько десятков лет. Полнота данных о скорости и направлении ветра 94.95-99.99 %. Установлено, что многолетняя динамика годовых равнодействующих румбовых потоков волновой энергии сильно различается на протяжении восточного побережья Сахалина. Наибольший интерес представляет участок в районе метеостанции Пограничное. При среднеквадратических отклонениях азимутов равнодействующей 8-22 градуса по всему восточному побережью на указанном участке эта величина превышает 30 градусов. Поскольку в районе Пограничного среднедолголетнее направление волн восточно-северо-восточное, что ортогонально береговой линии, большие отклонения от этого азимута в первые годы изучаемого периода усиливает береговой наносодвижущий эффект. После 1988 г. поток волновой энергии здесь ни разу не превысил 4.1 млн. т/год на 1 м фронта волны. Оказалось, что даже по самым минималистическим оценкам длины разгона волн и при учете завышенных флюгерных показаний потоки волновой энергии в 70-80-е годы экстремальных ветров на порядок больше значений последних десятилетий. Высокие (или завышенные) оценки потоков волновой

энергии в первые 10-20 лет изучаемого периода характерны для многих районов восточного побережья Сахалина. В период инструментальных наблюдений цикличность энергии волн просматривается с периодом 20-30 лет для многих районов юго-восточного берега и для некоторых - северо-восточного. В районе Поронайска и мыса Терпения ряды потоков волновой энергии тяготеют к цикличности 40-50 лет. В результате исследования описана многолетняя динамика прибрежных волновых энергетических характеристик. Сопоставление с измерениями, касающимися морфолитодинамики исследуемых берегов, позволило уточнить некоторые тенденции в их развитии.

ФАКТОРЫ УЯЗВИМОСТИ ТЕРМОАБРАЗИОННЫХ БЕРЕГОВ К РАЗМЫВУ НА ПРИМЕРЕ ЮЖНОЙ ЧАСТИ КАРСКОГО МОРЯ

**Баранская А.В., Богатова Д.М., Новикова А.В., Другов М.Д.,
Шабанов П.А., Шабанова Н.Н.**

*МГУ имени М.В. Ломоносова, географический факультет, НИЛ геоэкологии
Севера, г. Москва, Россия
alisa.baranskaya@yandex.ru*

Ключевые слова: термоабразия, Арктика, Карское море, динамика берегов.

Термоабразия – один из наиболее разрушительных современных геоморфологических процессов в арктической зоне. В этом процессе объединяется разрушение мерзлых пород береговых уступов под действием таяния мерзлоты и размыв берегов под действием энергии волн. Поскольку термоабразия – комплексное явление, оно зависит от множества факторов. Несмотря на то, что теоретические основы, дающие понимание влияния каждого их факторов на отступление мерзлых берегов, существуют давно (Ogorodov et al., 2016), анализ реальных скоростей отступления берегов, основанный на мониторинге с помощью анализа натуральных данных, в частности, спутниковых изображений, позволяет оценить, насколько велик вклад каждой из составляющих в реальных условиях.

В настоящей работе мы проанализировали разновременные космические изображения ключевых участков южного побережья Карского моря, находящихся в различных условиях: в относительно открытой Байдарацкой губе (Уральский и Ямальский берег), в более закрытой Обской губе (полуостров Явай, мыс Хонарасаля), и на открытом участке Карского моря (остров Белый, западный и восточный берег). Все эти участки также различаются по морфологии и высоте береговых уступов и слагающим их

отложениям, криолитологическому строению и наличию подземных льдов, продолжительности безледного периода. Кроме того, среди них есть участки, подвергшиеся техногенному воздействию (Уральский и Ямальский берег Байдарацкой губы) и ненарушенные участки (все остальные).

Выделить какой-то один фактор, влияние которого преобладает над всеми остальными, сложно, однако в наибольшей степени мозаичность скоростей отступления берегов на разных сегментах береговой линии определяется наличием подземных льдов. Этот же фактор решающе влияет на ускорение отступления в последние годы. Он определяет экстремумы скоростей отступления. На участках, где присутствовали крупные выходы подземного льда, максимальные скорости достигали значительных величин: до 6,5 м/год в 2010-2022 г. (залив Крузенштерна, закрытый от прямого волнового воздействия, средняя скорость размыва берегов 1-1,2 м/год). Среднегодовое скорости (1969-2016) на наиболее интенсивно размывающихся участках острова Белого составляли от 5,4 м/год на восточном берегу до 7,2 м/год на западном берегу, и также предположительно увеличивались в последние годы. Уральский берег Байдарацкой губы, где есть пластовые льды, также характеризуется повышенными скоростями отступления по сравнению с Ямальским. Выявлено, что как пластовые льды (залив Крузенштерна, Уральский берег Байдарацкой губы), так и часто расположенные повторно-жильные льды (остров Белый) способствуют быстрому разрушению берегов.

Значительное влияние на среднегодовое линейные скорости отступления влияет длина разгона волны и ориентировка берега. К примеру, берега острова Белого отступают значительно быстрее берегов полуострова Явай с похожей морфологией и отложениями. Западный берег острова Белого, открытый преобладающим западным ветрам, характеризуется более высокими скоростями размыва по сравнению с восточным. Уральский берег, выходящий в более открытую часть Байдарацкой губы, размывается быстрее Ямальского.

Для линейных скоростей разрушения берегов важна высота береговых уступов. К примеру, средние скорости размыва высоких 30-метровых уступов участка мыс Хонарасаля за последние несколько десятков лет (до 0,3 м/год) показывают, что даже при значительных объемах размываемой породы береговых уступов продвижение береговой линии в глубь суши невелико, в отличие от, к примеру, лайдовых сегментов залива Крузенштерна, или острова Белого, где даже небольшое увеличение ветроволновой энергии дает значительное линейное отступление.

Анализ продолжительности безледного периода для всех участков показывает, что время воздействия волн на берег может быть разным в зависимости от расположения участка. К примеру, в более южных участках в закрытых заливах продолжительность безледного периода может составлять даже меньше, чем в более северных в открытом море. Увеличение продолжительности безледного периода в последние два десятилетия более,

чем на месяц для некоторых участков существенно влияет на увеличение скоростей отступления в последние годы.

Техногенное воздействие на берега также способствует ускоренному их размыву. Тем не менее, временная динамика скоростей размыва Уральского и Ямальского берега Байдарацкой губы показывает, что максимальное воздействие проявляется в годы непосредственного строительства объектов (в данном случае, подводного перехода газопровода «Бованенково-Ухта»). После строительства скорости отступления берегов могут вновь снижаться.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ogorodov, S., Baranskaya, A., Belova, N., Kamalov, A., Kuznetsov, D., Overduin, P., Shabanova, N., and Vergun, A. Coastal dynamics of the Pechora and Kara seas under changing climatic conditions and human disturbances. *Geography, Environment, Sustainability*, Vol. 9, No3, 2016, p. 53–73.

КОСЫ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ БАЛТИКИ КАК СОВРЕМЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ НАНОСОВ

Бобыкина В.П.¹, Чубаренко Б.В.¹, Пинчук В.С.^{1,2}

¹*Институт океанологии им. П.П. Ширшова, г. Москва, Россия*

²*Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград,*

Россия

bobyval@mail.ru

Ключевые слова: аккумулятивные берега, динамика берега, штормы, наносы, мониторинг, Юго-Восточная Балтика.

Вислинская и Куршская косы – крупные аккумулятивные формы Юго-Восточной Балтики протяженностью 65 и 98 км соответственно, простирающиеся к северо-востоку и юго-западу от Самбийского п-ва. Они сложены эоловыми песками и имеют донный рельеф. Морской берег представляет собой пляж, прислоненный к авандуне (защитному береговому донному валу). В верхней части пляжа у подножья авандюны формируются первичные эоловые формы.

Береговой мониторинг, начиная с 2002-2003 гг., показал активную динамику берегов кос с преобладанием процесса размыва, особенно на Куршской косе. Во время осенне-зимних штормов бровка авандюны может отступать до 6-10 м. В береговую зону в это время поступают значительные массы песка.

На примере Балтийской косы (русская часть Вислинской косы, 25 км) рассчитан средний объем поступления наносов в береговую зону за 3 года за счет размыва аккумулятивного берега сильными штормами от северных румбов “Angus”, “Barbara”, “Axel” – с октября 2016 по апрель 2017 гг. и “Alfrida” в январе 2019 г. (скорость ветра 23 – 24 м/сек), сопровождавшихся нагонным поднятием уровня моря.

Динамика берега и объемы его деформации определялись путем сравнения наложенных нивелирных профилей стационарных береговых поперечников, расположенных по периметру берега, и полученных в летний период 2016 и 2019 гг.

Наибольший суммарный (2016 – 2019 гг.) размыв наблюдался на северной оконечности косы, в районе пос. Коса – до 14 м. Вблизи польско-русской границы от -1,7 м до -6,5 м. В средней части косы наблюдалось чередование стабильных и относительно слабо размываемых участков.

Впервые для Балтийской косы сделан расчет объемов деформаций морского склона аванюны методом трапеций отдельных сегментов профиля для каждого года. Разница в объемах являлась показателем положительного или отрицательного баланса. Для каждого берегового поперечника были получены значения объемов деформации для его двух главных составляющих – аванюны и пляжа.

Объем штормовых размывов склона аванюны за 2016-2019 гг. на северном участке косы протяженностью 5 км (примыкающего к Балтийскому проливу) составил 187,5 тыс. м³ песка. Вблизи польско-русской границы на участке протяженностью 5,2 км аванюна потеряла за 3 года около 83,5 тыс. м³ песка. В средней части косы сохраняется чередование стабильных и относительно слабо размываемых участков. Здесь на участке протяженностью 23,5 км с аванюны в береговую зону поступило за 3 года около 70 тыс. м³ материала. В целом за 3 года в береговую зону Гданьского залива с 25 км русской части Вислинской косы в результате штормовых размывов со склона аванюны поступило около 340 тыс. м³ эоловых песков (~110 тыс. м³ в год). Таким образом, в среднем в год смывало 4,5 м³ с погонного метра берега.

Примером максимального поступления наносов за счет размыва аванюны может быть экстремальный шторм 1983 г. (повторяемостью 1/100 лет). На Куршской косе в прикорневой части смыло 15 – 20 м склона аванюны объемом примерно 400 тыс. м³ песка. В средней части косы отступление составило 5-20 м, смыло около 150 тыс. м³ песка. На северном отрезке аванюна отступила на 10 – 20 м, смыло около 375 тыс. м³ песка (Гуделис, Кирлиса и др., 1992). Всего в береговую зону поступило более 900 тыс. м³ песчаного материала, т.е. было мобилизовано около 9 м³ с погонного метра берега.

Учитывая тенденцию к увеличению повторяемости штормов в ЮВ Балтике, отсутствие устойчивого ледового покрова, тенденцию подъема уровня моря и др., на современном этапе надо принимать штормовые размывы

морского берега Вислинской и Куршской кос устойчивое явление. И, следовательно, рассматривать поступление эолитовых песков, как значимый источник наносов для Юго-Восточной Балтики.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема № FMWE-2024-0025).

ПОСЛЕДСТВИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ «НЫРЯЮЩИХ» ЦИКЛОНОВ НА СЕВЕРНОЕ ПОБЕРЕЖЬЕ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МОНИТОРИНГА (НАЧАЛО XXI В.)

Бобыкина В.П.¹, Стонт Ж.И.^{1,2}

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова, г. Москва, Россия

²Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград, Россия

bobyval@mail.ru

Ключевые слова: «ныряющий» циклон, северная траектория, штормы, динамика берега, мониторинг, Юго-Восточная Балтика.

На примере Калининградского побережья исследован отклик берегов на штормы северного направления («ныряющие» циклоны) методом сопряженного анализа штормовых условий и количественных характеристик переформирования берегов в первой четверти XXI в. Эти штормы по силе ветра, как правило, ранее относили к категории редкой повторяемости (1 раз в 25, 50 лет). Однако в последнее время наблюдается их положительный тренд.

Результаты воздействия этих штормовых нагонов на побережье отслеживались на основе данных берегового мониторинга и анализа гидродинамических и метеорологических параметров при прохождении северных циклонов и их кластеров через юго-восточную часть Балтийского моря.

Материалы для исследования:

а) архивные и современные данные по штормовым условиям (ветер, уровень, волнение);

б) синоптическая ситуация в соответствии с картами приземного атмосферного давления метеоцентра Бракнелл;

в) траектории экстремальных штормов, восстановленные с помощью расчетной модели HYSPLIT;

г) количественные данные по штормовой переработке морского берега по результатам ежегодного и послештормового наземного мониторинга

стационарных береговых поперечников (реперы заложены по периметру берега в 2002–2003 гг.).

Для побережья юго-восточной части Балтики наиболее типичными являются циклоны западных румбов. Однако в последнее время участились циклоны, приходящие по северной траектории, так называемые «ныряющие» циклоны. Со скоростью до 50 км/ч эти циклоны перемещаются с Баренцева моря, через Финляндию и восточное побережье Балтики в южном направлении. В тыловой ветреной части такого циклона наблюдаются ветры северных румбов скоростью более 20 м/с. Ветро-волновое воздействие такого шторма обладает значительной потенциальной энергией, поскольку разгон волны от Ботнического залива до побережья Юго-Восточной Балтики составляет более 1000 км. При высоком нагонном стоянии уровня моря это приводит к катастрофическим последствиям, особенно на берегах северной экспозиции.

По всему периметру Самбийского п-ова, сложенного ледниковыми отложениями, активизируются склоновые процессы, наблюдается отступление берегов. Максимальная величина абразии отмечена в районе Куликова – от 4 до 10 м. Полностью смываются пляжи, обнажается их основание. С этими штормами связано максимальное разрушение береговой курортной инфраструктуры, исторически сосредоточенной на побережье Самбийского п-ова.

На донных берегах Куршской косы с этими циклонами связано максимальное воздействие на прикорневую часть между г. Зеленоградском и пос. Лесной. Здесь в шторм 1983 г. произошел первый прорыв морских вод через авандону с подтоплением автомобильной трассы и прилегающих лесных массивов («море соединилось с заливом»). С начала XXI века такая ситуация повторилась в 2012, 2019, 2022 гг. При этом к 2022 г. полностью разрушены остатки авандоны и волнозащитные конструкции. В пос. Лесной смываются песчаные пляжи до выхода на поверхность плотных древних илов и, несмотря на берегозащитные мероприятия, активизируется абразия, формируется уступ размыва. Полностью разрушается инфраструктура зоны отдыха. На отдельных участках косы авандона отступает до 10 м. На северо-восточном продолжении косы штормовой размыв носит избирательный характер.

На Балтийской косе, начиная с 2012 г., наблюдается периодический штормовой прорыв и затопление окраины пос. Коса. В такие штормы на участках размыва авандона на косе отступает на 4–13 м, а по всему периметру на морском склоне формируется уступ размыва.

Анализ кластера «ныряющих» циклонов 2022 г., состоявшего из четырех последовательных северных циклонов, показал, что степень разрушения берега зависит от количества, последовательности их следования. Это в итоге приводит к максимальному нагонному поднятию у берега уровня моря, высота которого может превышать высоту пляжа. Именно тогда

происходят катастрофические размывы берега, сравнимые по эффекту воздействия одного циклона, но большой продолжительности (шторм 1983 г. длительностью 10 суток, отнесенный к разряду штормов редкой повторяемости силы ветра северного направления 1 раз в 100 лет).

Результат воздействия северных ветров и генерируемых ими волн при поднятии уровня >1 м:

– абразия и размыв берегов происходит почти повсеместно;

– на участках с дефицитом наносов и низким пляжем морские воды прорываются на сушу с затоплением прилегающей суши, как, например, в прикормовой части Куршской косы или прилегающей к проливу территории у пос. Коса на Балтийской косе;

– штормы разрушают или повреждают береговую инфраструктуру зон отдыха на всем побережье, принося серьезный экономический ущерб.

Исследование берегов выполнено в рамках государственного задания № FMWE-2024-0025 (ИО РАН), анализ метеорологических параметров – в рамках темы № FZWM-2023-0004 (БФУ им. И. Канта).

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ТЕМПОВ ОТСТУПАНИЯ БЕРЕГА КАРСКОГО МОРЯ, КАК ОСНОВА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ БЕРЕГОВ МЕТОДАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Богатова Д.М.

*НИЛ геоэкологии Севера, Географический факультет, Московский
Государственный Университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия
aleksyutina@geogr.msu.ru*

Ключевые слова: динамика берегов, термоабразия, Арктика, Карское море, вариография, пространственные корреляции.

Мерзлые берега Карского моря имеют большую изменчивость, а скорости их разрушения варьируют до нескольких метров в год, а на отдельных участках в некоторые годы – десятков метров в год. Побережье и шельф Карского моря богаты множеством месторождений углеводородов, разведка и добыча которых будет способствовать развитию инфраструктуры данного региона. Кроме того, изменение климата в Арктическом регионе проявляется более явно, чем в центральной части России, а берега Карского моря сложены засоленными дисперсными грунтами, которые активно реагируют на изменение температуры воздуха. Недоучет природных особенностей Карского региона может грозить экологической катастрофой в случае некоторых

коллизий, в том числе связанных с климатическими изменениями. Освоение и использование труднодоступных ресурсов Арктики и так является достаточно дорогостоящим процессом, а наличие природных высокодинамичных систем и явлений только усложняет это дело. Поэтому выбор для хозяйственных нужд наиболее устойчивого и стабильного участка на берегу является актуальной задачей. Учитывая множество факторов, влияющих на динамику берегов, применение нейронной сети может помочь в решении многих проблем, связанных со стратегией развития побережья Карского моря.

Для получения пространственных закономерностей динамики берегов были выбраны три ключевых участка на побережье Карского моря – Уральский и Ямальский берега Байдарацкой губы близ подводного перехода трубопровода «Бованенково-Ухта» и участок берега к юго-западу от поселка Харасавэй. Мониторинг за динамикой берегов выбранных участков ведется сотрудниками лаборатории геоэкологии Севера начиная с конца 1980-х годов. Протяженность изучаемых берегов: Уральский берег 4,5 км, Ямальский берег 10 км, Харасавэй – 9 км. Территория исследований расположена в области сплошного распространения многолетнемерзлых пород, однако ввиду засоленности последних в разрезах мерзлые грунты чередуются с охлажденными. В геоморфологическом плане исследуемые берега характеризуются различными абсолютными отметками: лайда (затопляемая в период сильных нагонов территория) высотой до 2-3 м, низкая терраса 4-9 м над уровнем моря, высокая терраса 10-20 м.

Для оценки численных характеристик длины участка берега, который ведет себя как единый ансамбль, нами были построены вариограммы величин отступления берега. Вариограмма представляет собой графическое отображение вариации данных в зависимости от расстояния между точками наблюдения. Основные параметры моделей вариограмм включают эффект самородка, порог и ранг. Эффект самородка представляет собой значение полудисперсии при расстоянии, равном 0. В нашем случае эффект самородка в общем виде отражает погрешность полученных данных, иными словами погрешность привязки снимков и неточности дешифрирования береговой линии. Порог представляет собой постоянное значение, к которому стремится полудисперсия с увеличением расстояния. Ранг представляет собой расстояние, на котором значения переменной становятся независимыми от дистанции. Это расстояние, на котором величины перестают коррелировать между собой. Получая ранг на вариограмме, мы определяем максимальную длину участка берега, на котором поведение точек на профилях взаимосвязано.

Таким образом, при прогнозировании изменения в какой-либо точке береговой линии необходимо учитывать всю совокупность данных на расстоянии не превышающей ранг вариограммы.

Использование данного подхода ложится в основу для создания научно-методической базы для прогнозирования динамики берегов посредством применения искусственных нейронных сетей.

Работа выполнена при поддержке Некоммерческого Фонда развития науки и образования «Интеллект».

ГЕОМОНИТОРИНГ БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ ОХОТСКОГО И ЯПОНСКОГО МОРЕЙ

Бровко П.Ф.

*Институт Мирового океана ДВФУ, г. Владивосток, Россия
peter.brofuko@yandex.ru*

Ключевые слова: геомониторинг, береговая зона, абразия, аккумуляция, лагуны, Охотское море, Японское море.

Большое теоретическое и практическое значение для освоения береговой зоны моря имеют длительные геоморфологические наблюдения за морфодинамикой, гидродинамикой и литодинамикой побережья (береговой мониторинг) в различных морфоструктурных и морфоклиматических зонах. Широкий спектр таких условий – от субарктических до субтропических – представлен в дальневосточных морях России. Полевые работы проводятся как в освоенных районах, так и в местах труднодоступных, малонаселенных, часто на открытом морском берегу. При этом рекомендуются полустационарные исследования на полигонах.

Такие исследования охватывают разные периоды: от несколько часов или дней при оценке, например, эффекта воздействия на берега штормовых нагонов, цунами, торошения льда, выбросов вулканических продуктов при извержениях и др., до отдельных сезонов года и даже нескольких лет. Оцениваются среднегодовые темпы абразии клифов, сложенных породами разной степени прочности, динамика аккумулятивных форм, движение береговой линии речных и приливных дельт, уникальных лагунно-эстуарных комплексов. Наряду с геоморфологическим описанием береговых форм и процессов применяется широкий спектр методов.

Геомониторинг береговой зоны моря включает топосъемку с картографированием активных участков берега. Литодинамические процессы изучаются инструментально, через составление планов деформации рельефа дна, профилирование пляжей, повторные промеры и съемку устьев рек и лагунных проливов. Проводится нивелирование аккумулятивных форм с разными временными интервалами, создание сети реперов для слежения за абразией берега, повторная фотосъемка береговых форм, дешифрирование аэро- и космических снимков, а также снимков с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).

Эти аппараты весьма эффективно применяются в последние годы в комплексе с методами классической береговой геоморфологии. При этом особое внимание уделяется фиксации и анализу последствий природных катастроф, связанных с прохождением тайфунов, штормовыми нагонами, другими природными аномалиями. Такие процессы в различные сезоны года являются «визитной карточкой» многих участков дальневосточного побережья. Эффективны БПЛА при оценке рекреационного потенциала побережья, влияния особо опасных явлений антропогенного характера.

Кроме того, мониторинг необходим в местах формирования техногенных берегов. Последние представляют собой значительные по протяженности участки с большим количеством гидротехнических или иных сооружений – отсыпанные территории под промышленное и гражданское строительство, причалы, пирсы, волноломы, буны, берегозащитные сооружения из каменной наброски и тетраподов, шпунтовые стенки и др. В южной части Дальнего Востока техногенные берега наиболее широко распространены в бухтах и лагунах о. Сахалин, по континентальному берегу Татарского пролива, в заливе Петра Великого и на его островах.

Между устьями рек Кухтуй (Охотское море) и Туманган (Японское море) наблюдения разной степени интенсивности проводятся ДВГУ (с 2010 г. ДВФУ) на 20 полигонах с интервалом наблюдений от 2-х до 50-ти и более лет. Установлены темпы абразии, достигающие 2-10 м/год, скорости смещения лагунных проливов (до 40 м в год), величины сезонных изменений профиля (деформации) пляжа, участки воздействия цунами и др. Хороший сравнительный материал дает анализ результатов гидрографических работ и специальных береговых исследований (вторая половина XX – начало XXI в.) других организаций: Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева, Тихоокеанский институт географии, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Дальневосточный научно-исследовательский, проектно-изыскательский и конструкторско-технологический институт морского флота, Гидрографическая служба Краснознаменного Тихоокеанского флота.

МНОГОЛЕТНИЕ ТРЕНДЫ ПАРАМЕТРОВ ШТОРМОВОГО ВОЛНЕНИЯ В ПРИБРЕЖНЫХ АКВАТОРИЯХ ЧЁРНОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И РЕАНАЛИЗОВ

Гиппиус Ф.Н.^{1,2,3}, Мысленков С.А.^{1,2,3}

¹МГУ имени М. В. Ломоносова, г. Москва, Россия

²Институт океанологии РАН, г. Москва, Россия

³ФГБУ "Гидрометцентр России", г. Москва, Россия
gippiusfn@ty.msu.ru

Ключевые слова: Чёрное море, штормовое волнение, численное моделирование, реанализы.

Прибрежные акватории Чёрного моря уникальны с природной и социально-экономической точек зрения. На побережье и в прибрежной морской полосе расположены специфические ландшафты, некоторые из которых находятся под защитой в составе ООПТ. На берегу расположены промышленные и инфраструктурные сооружения, в том числе порты и подводные трубопроводы. Ветровые волны влияют как на природные, так и на техногенные объекты – например, вызывают вдоль береговые переносы наносов, а также повреждают инженерные сооружения. Знание режимных и экстремальных параметров ветровых волн, а также оценки этих параметров в будущем климате важны при проектировании вновь возводимых объектов. Этими соображениями обусловлена актуальность исследований ветровых волн в прибрежных акваториях Чёрного моря.

В настоящей работе будут показаны и сопоставлены оценки многолетних трендов параметров ветрового волнения (в первую очередь – штормового волнения), полученные по различным исходным данным.

В качестве первого источника данных будет использован собственный массив информации, полученный путём численного моделирования с применением спектральной волновой модели третьего поколения SWAN (Booij N., Ris R., Holthuijsen L., 1999; Ris R., Holthuijsen L., Booij N., 1999). В качестве атмосферного форсинга использовались данные о ветре из реанализов NCEP CFSR (Saha S. et al., 2010) и NCEP CFSv2 (Saha S. et al., 2014) за период с 1979 по 2016 гг. Для данного исследования была создана оригинальная неструктурная расчётная сетка, пространственное разрешение которой зависит от глубины моря. Расстояние между узлами сетки изменяется от 10 км в открытых частях моря до 25 м в прибрежных акваториях. Валидация результатов моделирования выполнена на основе данных инструментальных измерений, полученных с помощью волномерного буя и спутниковой альтиметрии. Для оценки многолетних тенденций выбраны 12 пунктов, равномерно расположенных вдоль побережья Чёрного моря. По данным этих

расчётов, несмотря на существенную межгодовую изменчивость параметров волнения, в большинстве рассмотренных пунктов не наблюдается значимая тенденция к их росту или убыванию. Так, в случае значимой высоты волны размах годовых максимумов варьирует от 2,0 м (Хопа) до 4,5 м (Кацивели). В то же время, только в 2 пунктах наблюдаются значимые тренды: в Галате отмечается убывание, а в Гиресуне – рост годовых максимумов высот волн.

В качестве двух других источников данных использованы реанализы – ERA5 (Hersbach H. B. et al., 2020) и специализированный реанализ ветрового волнения на Чёрном море Black Sea Waves Reanalysis (https://doi.org/10.25423/cmcc/blksea_multiyear_wav_007_006_eas4). Их преимущество относительно упомянутых ранее результатов моделирования заключается в большем временном охвате – с 1940 г. по настоящее время.

Обработка материалов реанализов ERA5 и Black Sea Waves Reanalysis выполнена Ф. Н. Гиппиусом за счет гранта Российского научного фонда № 23-77-01018, <https://rscf.ru/project/23-77-01018/>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Booij N., Ris R., Holthuijsen L. A third-generation wave model for coastal regions: 1. Model description and validation. // *J Geophys Res Oceans* № 104(C4). 1999. P. 7649–7666.
2. Ris R., Holthuijsen L., Booij N. A third-generation wave model for coastal regions: 2. Verification. // *J Geophys Res Oceans* № 104(C4). 1999. P. 7667–7681.
3. Saha S. et al. The NCEP Climate Forecast System Reanalysis // *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 2010. Vol. 91. № 8. P. 1015–1058. <https://doi.org/10.1175/2010BAMS3001.1>
4. Saha S. et al. The NCEP climate forecast system version 2 // *J. Clim.* 2014. Vol. 27. № 6. P. 2185–2208. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00823.1>
5. Hersbach H. B. et al. The ERA5 global reanalysis. // *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 2020. Vol. 146. P. 1999–2049. <https://doi.org/10.1002/qj.3803>
6. Black Sea Waves Reanalysis // URL: https://doi.org/10.25423/cmcc/blksea_multiyear_wav_007_006_eas4 (дата обращения: 14.02.2024)

ИССЛЕДОВАНИЕ ТИПОВ БЕРЕГОВ ВОЛГОГРАДСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЕСПИЛОТНЫХ (БПЛА) ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ (НА ПРИМЕРЕ ДУБОВСКОГО РАЙОНА).

Глинка В.В.¹, Сапрыгин В.В.¹, Беспалова Л.А.^{1,2}, Ивлиева О.В.^{1,2}

¹*Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов (ФГБУ РосНИИВХ), г. Ростов-на-Дону, Россия*

²*Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, Россия
vadim-glinka@mail.ru*

Ключевые слова: Волгоградское водохранилище, типы берегов, беспилотный летательный аппарат, дистанционное зондирование Земли.

Исследование типов берегов Волгоградского водохранилища в Дубовском районе проводилось с использованием материалов, полученных в ходе дистанционного зондирования Земли с применением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) Phantom 4 pro и Phantom 4 advanced, в период с 14 по 25 августа 2023 года. Было произведено 112 запусков БПЛА и получено более 26 000 фотографий земной поверхности (вертикальное положение объектива) и 2 видео в районе оползневого берега южнее Александровского Грабена. Общая протяженность снятой береговой линии составляет 135 км, от смежной границы Городищенского и Дубовского района Волгоградской области до Южного входа в залив Горный Балыклей.

В процессе исследования типов берегов использовались, как полученные непосредственно в ПО Agisoft Metashape: Professional цифровые модели рельефа и ортофотопланы, для построения поперечных профилей, так и ортофотопланы в формате (TIF), загруженные в проект ПО ArcMap, для создания схем расположения выявленных характерных типов берегов (Косолапов А. Е. и др., 2020; Скрипка Г. И. и др., 2020).

Правобережье водохранилища сложено прочными, очень устойчивыми к размыву верхнемеловыми породами (темно-серые и желтовато-серые опоки, черные плитчатые кремнистые глины с маломощным глауконитовым песчаником в основании, серые и темно-серые мергелистые глины) и породами палеогенового периода (опоки, слюдистые зеленовато-серые песчаники), так же встречаются супеси, суглинки, пески и глины хвалынского и хазарского возраста (Баранова М. С. и др., 2020; Баранова М. С. и др., 2020).

В последние годы развитие процессов переработки берегов Волгоградского водохранилища происходит при относительно стабильном уровне, близком к отметке нормального подпорного горизонта, за счет подмыва

основания склона, выработки ниш и карнизов, обрушения и осыпания пород, оползневых процессов, а также за счет накопления и перемещения разрушенного материала (Шубин М. А., Юшин О. В., 2016).

Согласно проведенным исследованиям, на участке были выявлены следующие типы берегов: абразионно-обвальные 6,7% (9,09 км), абразионно-оползневые 21,8% (29,5 км), абразионные, а так же берега с отмершим клифом и низкие берега затопления с абразионными процессами 20,9% (22,26 км), аккумулятивные и конусы выноса оврагов и балок 8,6% (11,69 км), нейтральные 40,1% (54,17 км), техногенные 1,8% (2,42 км).

Для абразионно-обвальных берегов характерны крутые уступы высотой от 5 до 20 метров, наличие следов обвала грунта в основании обрывов. В плане геологического строения берега представлены опоками и опокovidными песчаниками. Абразионно-обвальные высотой от 4 до 6 метров, сложенные суглинками, развиты у входов в заливы и балки.

Абразионно-оползневые берега распространены довольно широко и развиты южнее Александровского грабена (между сёлами Горная Пролейка и Горный Балыклей). Высота берегов может варьироваться от 15 до 40 метров.

Абразионных берега в основном сложены твердыми породами. Отнести их к одному из типов (обвальные, оползневые) на данный момент затруднительно, так как на небольших участках берега могут проявляться признаки одного из них. Высота берегов данного типа варьируется от 10 до 26 метров. Для отмершего клифа характерно зарастание берега влаголюбивой растительностью. При подъёме уровня воды в водохранилище абразионные процессы снова могут активизироваться.

Аккумулятивные берега представлены косами, пересыпями и конусами выноса оврагов и балок, которые образуются во входах в заливы и балки. Сложены эти берега в основном песками, чаще всего задернованы.

Техногенные берега состоят из берегозащитных сооружений и других антропогенных конструкций.

Нейтральные берега занимают большую часть протяженности исследуемой береговой линии и развиты они в заливах и подтопленных балках, где отсутствует волновое воздействие (Шубин М. А., Юшин О. В., 2016).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Косолапов А. Е. и др. Классификация берегов Цимлянского водохранилища на основе данных беспилотных летательных аппаратов //Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. – 2020. – Т. 14. – №. 1. – С. 92-99.
2. Скрипка Г. И. и др. Уточнение схемы типов берегов Цимлянского водохранилища на основе съемок с беспилотных летательных аппаратов //Закономерности формирования и воздействия морских, атмосферных опасных явлений и катастроф на прибрежную зону РФ в

условиях глобальных климатических и индустриальных вызовов ("Опасные явления-II"). – 2020. – С. 191-193.

3. Баранова М. С. и др. Периоды отделения и классификация заливов Волгоградского водохранилища по первоначальному объему //Региональные геосистемы. – 2020. – Т. 44. – №. 2. – С. 186-197.

4. Баранова М. С. и др. Морфометрические характеристики устьевых абразионно-аккумулятивных пересыпей и заливов озерного участка Волгоградского водохранилища //Географический вестник. – 2020. – №. 1 (52). – С. 70-83.

5. Шубин М. А., Юшин О. В. Мониторинг экологической безопасности прибрежных городских территорий Волгоградского водохранилища //Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2016. – №. 44-1. – С. 119-129.

О СООТНОШЕНИИ ОТДЕЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ (ПРИЛИВНОЙ, ВЕТРО-БАРИЧЕСКОЙ И ВОЛНОВОЙ) В ШТОРМОВОМ ЗАТОПЛЕНИИ НА БЕРЕГАХ ЗАПАДНОЙ КАМЧАТКИ НА ПРИМЕРЕ ЭКСТРАОРДИНАРНОГО СЛУЧАЯ В ПОС. КРУТОГОРОВСКИЙ 11 НОЯБРЯ 2013 Г.

Горин С.Л.¹, Корзинин Д.В.², Любичский Ю.В.³, Вражкин А.Н.³

¹Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, г. Москва, Россия

²Институт океанологии им. П.П.Шириова РАН, г. Москва, Россия

*³Дальневосточный региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт, г. Хабаровск, г. Владивосток, Россия
gorinser@mail.ru*

Ключевые слова: шторм, затопление, нагоны, волны, заплеск, морские берега, моделирование, Западная Камчатка, Охотское море.

Западное побережье Камчатки (на Дальнем Востоке России) омывается бурными водами Охотского моря. В этом регионе почти вся хозяйственная деятельность сосредоточена на узких и невысоких, вытянутых вдоль моря аккумулятивных формах – косах и барах. С этим связана давняя проблема: в сильные штормы морские волны затопляют и размывают барьерные формы и расположенные на них постройки. Это опасное явление наносит ощутимый экономический ущерб и представляет собой реальную угрозу для местных жителей. Оно случается ежегодно, преимущественно с

сентября по декабрь – когда над дальневосточными морями активизируется циклоническая деятельность, а в восточной части Охотского моря устанавливаются высокие приливы. В настоящее время на побережье Западной Камчатки осталось всего четыре населенных пункта и в трех из них – в поселках Октябрьский, Крутогоровский и Ичинский – эта проблема, как и прежде, актуальна.

Доклад посвящен обсуждению одного из главных вопросов проблемы штормовых затоплений на Западной Камчатке: каков вклад отдельных составляющих (приливной, атмосферной и волновой) в это явление? Работа выполнена на примере экстраординарного штормового затопления, случившегося 11 ноября 2013 г. в пос. Крутогоровский. Результаты получены с помощью моделирования на основе реанализов и собственных полевых наблюдений.

Установлено, что использованный комплекс моделей (модель ДВНИГМИ для приливов и штормовых нагонов, WAVEWATCH III и XBeach для волн на глубокой воде и у берега, соответственно) позволил получить удовлетворительные результаты. Они отразили главную особенность штормовых затоплений на Западной Камчатке – преобладающую роль приливов и волн (волновых нагонов и заплесков). Штормовые нагоны (барические и ветровые) в данном случае имеют второстепенное значение.

Применение модели XBeach с параметрами по умолчанию приводит к значительному (ок. 1.5 м) занижению максимальных величин заплесков волн. Эксперименты с моделью показали, что она чувствительна к параметру обрушения γ («gamma»). И если для него вместо величины по умолчанию ($\gamma=0.55$) использовать теоретический критерий Манка ($\gamma=0.78$), тогда результаты моделирования существенно улучшаются.

Обсуждаемое штормовое затопление было самым сильным за 35-38 лет, а возможно и более – за 50 лет. К нему привело сочетание хотя и сильного, но не выдающегося шторма, не самого высокого штормового нагона и среднего по величине прилива. Решающую роль в нем сыграло совпадение суточного максимума прилива и активной фазы шторма.

Рассчитанная по моделям и уточненная по фактическим данным о максимальных отметках заплесков волн оценка вклада отдельных составляющих в рассматриваемое штормовое затопление составляет: 4.0 м – волновой нагон и волновой заплесок, 1.3 м – прилив, 0.6 м – штормовой нагон. То есть, общая величина превышения максимальных отметок заплесков волн над средним уровнем моря достигла 5.9 м.

Анализ литературы показал, что в России аналогичные штормовые затопления (обусловленные наложением сильных волн на приливы) регулярно случаются на берегах Берингова и Охотского морей. Также они бывают на берегах Белого и Баренцева морей. За рубежом подобное явление известно для побережий юго-восточного Австралии, Гавайских островов, Ирландского моря, юго-запада Англии, Южной Африки и востока США и Канады.

Цель дальнейших исследований на Западной Камчатке состоит в достоверной оценке характеристик штормовых затоплений в прошлом и в их надежном прогнозировании в будущем. Этого можно достичь только на основе моделирования. Из-за отсутствия данных о режиме моря у берегов Западной Камчатки, рекомендуется использовать подход, опробованный в настоящей работе. Согласно ему, в качестве исходных данных следует использовать реанализы и морфометрию берегового склона, а калибровать параметры моделей и/или проверять результаты моделирования необходимо по отметкам максимальных заплесков волн для экстраординарных событий (их можно установить по опросам жителей, фото- и видеодокументам, а также по характерным следам на берегах). Наиболее перспективной локацией для продолжения исследований (с точки зрения доступности и наличия минимально необходимых данных) можно считать район пос. Октябрьский. Для получения действительно достоверных и надежных оценок характеристик штормовых затоплений на берегах Западной Камчатки, здесь необходимо организовать хотя бы один пункт со стационарными наблюдениями за уровнем моря (в виде двух волномерных буев – на глубинах ок. 100 и 10 м).

УЧЕТ ЭФФЕКТА ЕСТЕСТВЕННОЙ ПЯТНИСТОСТИ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ ИЗУЧЕНИИ УСТЬЕВОЙ ЗОНЫ СМЕШЕНИЯ РЕКИ ПРЕГОЛИ (ЮГО- ВОСТОЧНАЯ БАЛТИКА)

Двоеглазова Н.В.¹, Шушарин А.В.²

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия

*²Северо-Западный бассейновый филиал ФГУП «Росморпорт»,
Калининградское отделение, г. Калининград, Россия
nadya2eyes@mail.ru*

Ключевые слова: эстуарии, интрузии солоноватых вод, натурные данные, инструментальные измерения, Юго-Восточная Балтика, река Преголя.

Взаимодействие морских вод с речными в пределах устьевых областей изучается с помощью вертикальных гидрологических зондирований на фиксированной сетке станций, а также с помощью регулярных измерений характеристик в одной точке с таким шагом по времени, который возможен при имеющихся у исследователей ресурсах и приборной базе. Такие подходы применяются в том числе и для реки Преголи в условиях присутствия сгонно-нагонных явлений и отсутствия периодичной приливно-отливной динамики

(Чубаренко, Шкуренко, 1999, 2001; Чубаренко, 2007; Домнин и др., 2013; Домнин, Соколов, 2014; Chubarenko et al., 2017; Лукашин и др., 2018).

Цель настоящей работы - представить оценку погрешности измерений в связи с естественной пятнистостью гидрологических характеристик (солёности и температуры) в устьевой зоне смешения реки Преголи. Работа необходима для оценки значимости изменений гидрологических характеристик по времени и пространству, а также для оценки возможных вариаций в характеристиках загрязнения (в том числе и микропластика), получаемых при однократном пробоотборе.

По результатам гидрологических измерений (вертикальных STD-зондирований водной толщи) в устьевой области реки Преголи, проводившихся с 11.10.2022 по 27.12.2023 г., было выявлено наличие суточной изменчивости характеристик (солёности - до 3.1‰, температуры – до 1°C) и пространственной (в градиентной зоне до 3‰ и 2°C между соседними точками измерений). Для того чтобы трактовать такие изменения как результат смешения морских солоноватых вод с пресными водами реки Преголи, а не естественную пятнистость вод (например, Коршенко, 1991), необходимо убедиться в том, что пределы изменений являются значимыми для анализа гидрологических процессов.

Для определения погрешности измерений в связи с естественной пятнистостью гидрологических характеристик были проведены (18.06.2023 г.) последовательные повторные вертикальные зондирования с интервалом около 1 мин, а также эксперимент с выдерживанием прибора при каждом зондировании на глубинах 1 м, 3 м, 5 м (глубина в точке измерений 6.5 м) по 2 минуты.

По результатам трёх зондирований был построен ряд взаимных разностей значений температуры и солёности (для каждого слоя 0.1 м), после чего для каждой такой тройки определялось максимальное и среднее значения. Т.е. получалось два ряда данных для отклонений солёности и температуры в зависимости от глубины (с шагом 0.1 м).

Наибольшие расхождения между измерениями сконцентрированы локально в местах расположения максимальных градиентов характеристик (на глубине от 1.5 до 2.1 м): для солёности - 0.1–0.4‰, для температуры - 0.09–0.42°C. Средние по всей глубине значения расхождений между измеренными величинами составляют 0.04‰ (от 0.001 до 0.28‰) и 0.042°C (от 0.004 До 0.277°C).

В результате эксперимента, с трехкратным зондированиями и выдерживанием прибора на горизонтах через каждые 2 м, получено, что минимальные вариации сосредоточены слабоградиентной зоне на глубине 5 м. С помощью среднеквадратичных отклонений были определены вариации вокруг средних значений солёности и температуры (для каждой выдержки). Для глубин 1, 3, 5 м значения составили: 0.01–0.06 ‰ и 0.010–0.059 °C; 0.03–0.08 ‰ и 0.036–0.075 °C; 0.007–0.008 ‰ и 0.010–0.015 °C соответственно.

Максимальные вариации значений солёности и температуры были сосредоточены в поверхностном слое (на глубине 1 м), т.к. разбросы значений каждой выдержки для глубин 1, 3, 5 м составили: 0.048–0.347 ‰ и 0.056–0.416 °С; 0.111–0.280 ‰ и 0.161–0.264 °С; 0.031–0.032 ‰ и 0.059–0.068 °С соответственно.

Естественная пятнистость вод наиболее сильно проявляется в верхнем квазиоднородном слое, а вариации в слое с наибольшими градиентами солёности и температуры связаны с внутриволновой динамикой, обеспечивающей вертикальные движения слоёв воды.

В результате сделанных оценок следует сделать вывод, что изменчивость по пространству и времени, получаемая при проведении обследований - значима, но результат измерений солёности и температуры должен анализироваться с точностью до десятых и сотых соответственно.

Работа выполнена за счёт гранта РФФИ № 24-44-20027, <https://rscf.ru/project/24-44-20027/>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Домнин Д.А., Пилипчук В.А., Карманов К.В. Формирование затока солоноватых вод в лагунно-эстуарной системе водосборного бассейна Вислинского залива и реки Преголи в результате сгонно-нагонных явлений // Естественные и технические науки. 2013. № 6. С. 206–211.
2. Домнин Д.А., Соколов А.Н. Особенности и закономерности затока солоноватых масс в лагунно-эстуарной системе Калининградский залив-Преголя-Куршский залив посредством данных контактных измерений и моделирования // Известия КГТУ. 2014. № 35. С.11–20.
3. Чубаренко Б.В., Шкуренко В.И. Особенности гидрологической структуры вод в эстуарии реки Преголи и в точке стоянки НИС «Витязь» // Экологические проблемы Калининградской области и юго-восточной Балтики. Калининград. КГУ. 1999. С. 41–47.
4. Чубаренко Б.В., Шкуренко В.И. Физические механизмы проникновения солёных вод вверх по реке Преголе с учётом влияния рельефа дна // Физические проблемы экологии (экологическая физика). М.: Изд-во МГУ. 2001. №. 7. С. 80–88.
5. Коршенко А.Н. Формирование мезомасштабной неоднородности распределения зоопланктона в зависимости от гидрологической структуры вод (на примере прибрежного района Балтийского моря и открытого района Тихого океана): специальность 03.00.18: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук / Коршенко Александр Николаевич. – Севастополь, 1991. – 24 с.
6. Лукашин В.Н., Кречик В.А., Клювиткин А.А., Стародымова Д.П. Геохимия взвешенного вещества в маргинальном фильтре реки Преголи

(Балтийское море) // Океанология. 2018. Т. 58. № 6. С. 933–947. <https://doi.org/10.1134/S0030157418060102>.

7. Chubarenko B., Domnin D., Navrotskaya S., Stont Zh., Chechko V., Bobykina V., Pilipchuk V., Karmanov K., Domnina A., Bukanova T., Topchaya V., Kileso A. Transboundary Lagoons of the Baltic Sea (Chapter 6). [In] R. Kosyan (ed.) The Diversity of Russian Estuaries and Lagoons Exposed to Human Influence, Estuaries of the World // Switzerland: Springer. 2017. P. 149—191. https://doi.org/10.1007/978-3-319-43392-9_6.

ТРЕХМЕРНАЯ СТРУКТУРА КЛИМАТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ТЕЧЕНИЙ АЗОВСКОГО МОРЯ

Дивинский Б.В.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия
divin@ocean.ru*

Ключевые слова: Азовское море, течения, климат, моделирование.

До настоящего времени вопросы общей (климатической) циркуляции вод Азовского моря оставались открытыми и, в общем, дискуссионными. Схемы циркуляции вод, представленные в справочнике (Гидрометеорологические условия..., 1986), составлены для определенных метеорологических условий с заданными направлениями и скоростями воздушных потоков и вряд ли соответствуют климатическим обобщениям. В работах ряда исследователей (например, Фомин, 2002; Матишов, Матишов, 2009; Фомин и др., 2015; Матишов, Григоренко, 2020; Матишов, Григоренко, 2021) некоторые выявленные закономерности циркуляции вод также соотнесены с конкретными сезонными или штормовыми условиями. В статье (Дивинский и др., 2021) представлена климатическая картина течений на акватории Азовского моря, но только осредненных по глубине.

Основная цель представленных исследований – получение и анализ климатических полей поверхностных и придонных морских течений Азовского моря. Основной метод – численное моделирование.

В настоящем исследовании используется 5-слойная (σ -координатная) гидродинамическая модель течений ADCIRC. Параметры ветрового волнения рассчитываются с помощью спектральной волновой модели MIKE 21 SW. Взаимосвязь между моделями осуществляется следующим образом: параметры течений и возвышений уровня моря используются в спектральной волновой модели; значения радиационных напряжений, возникающие вследствие обрушения волн, передаются в гидродинамическую модель с

последующей коррекцией картины течений. В моделях также учитывается состояние ледового покрытия в зимний период.

Расчеты параметров морских течений на акватории Азовского моря выполнены с января 1979 по декабрь 2020 гг., что составляет климатический период в 42 года. Расчетными величинами являются трехмерные пространственные поля скоростей и направлений морских течений Азовского моря. Дискретность выходных данных – 1 час.

В результате исследований установлена структура климатических течений в акватории Азовского моря:

1. Поверхностные течения. Самые сильные течения с максимальными средними скоростями, превышающими 0.1 м/с, направлены из Таганрогского залива вдоль кос северного побережья. Всю центральную часть моря занимает обширное циклоническое образование, частично захватывающее восточную область. В западной части моря образуются локальные вихревые структуры с генеральным переносом вод в сторону Арабатской стрелки.

2. Придонные течения. В центральной части моря также формируется циклонический вихрь, но, в этом случае, с двумя выраженными центрами. На периферии этого вихря в южной и восточной областях моря, примыкающих к побережью, наблюдаются устойчивые антициклонические вихри. В западной части моря выделяется обширный антициклонический вихрь.

Средняя скорость морских течений составляет 0.05-0.07 м/с.

Небольшое отступление. В условиях дефицита прямых инструментальных наблюдений за параметрами морских течений Азовского моря есть смысл обратиться к историческим свидетельствам. Подтверждением полученной расчетным путем климатической картины течений может служить отчет британского капитана Осборна (Osborn, 1857). Как пишет Осборн, через шесть недель после военных операций английского флота против русских торговых судов, проходивших южнее Бердянска, деревянными обломками была усеяна вся Арабатская стрелка. Опираясь на полученную структуру глобальной (в масштабах моря) циркуляции вод, можно говорить о высокой вероятности таких событий, понимая при этом, что конкретные поля течений могут, естественно, отличаться от климатических.

Работа выполнена в соответствии с темой госзадания № FMWE-2024-0027.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР. Т. 3: Азовское море. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 218 с.
2. Дивинский Б.В., Косьян Р.Д., Фомин В.В. Климатические поля морских течений и ветрового волнения Азовского моря // Доклады Российской

Академии наук. Науки о Земле, 2021, том 501, № 1, с. 94–107. DOI: 10.31857/S2686739721090085.

3. Матишов Г.Г., Григоренко К.С. Динамический режим Азовского моря в условиях осолонения // Доклады Российской Академии наук. Науки о Земле. 2020. Т. 492, № 1, с. 107–112. DOI: 10.31857/S268673972005014X.

4. Матишов Г.Г., Григоренко К.С. Течения Азовского моря в период маловодья Дона // Океанология, 2021, Т. 61, № 2, стр. 198–208. DOI: 10.31857/S0030157421020131.

5. Матишов Г.Г., Матишов Д.Г. Новые представления циркуляции вод Азовского моря // Труды ЮНЦ РАН. Том 4: Моделирование и анализ гидрологических процессов в Азовском море. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2009. С. 196–203.

6. Фомин В.В., Полозок А.А., Фомина И.Н. Моделирование циркуляции вод Азовского моря с учетом речного стока // Морской гидрофизический журнал. 2015. №1 (180). С. 16–28.

7. Фомин В. В. Численная модель циркуляции вод Азовского моря // Науч. тр. УкрНИГМИ. 2002. Вып. 249. С. 246–255.

8. Osborn, S., 1857. On the Geography of the Sea of Azov, the Putrid Sea, and Adjacent Coasts. The Journal of the Royal Geographical Society of London, Vol. 27, pp. 133–148. Stable URL: <https://www.jstor.org/stable/1798371>.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОТОКОВ ВОДЫ, ТЕПЛА И СОЛИ ЧЕРЕЗ БЕРИНГОВ ПРОЛИВ И ИХ СВЯЗЬ С ВЕТРОМ

Игнатьев Д.Е.¹, Гордеева С.М.^{1,2}

¹*Российский государственный гидрометеорологический университет, г.
Санкт-Петербург, Россия*

²*Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Москва, Россия
denis.ignatev.2002@mail.ru*

Ключевые слова: Берингов пролив, поток воды, объемный расход воды, восточная Арктика, течения, ветер.

Через Берингов пролив (БП) тихоокеанские воды поступают в Северный Ледовитый океан, благодаря течениям, формируемым разностью плотности вод, ледовыми условиями и рельефом дна. Существует мнение, что потоки воды в проливе подчиняются ветровой циркуляции в регионе (Danielson S.L., Weingartner T.J., Hedstrom K.S. et al., 2014). В связи с изменениями климата поступление вод из Тихого океана в последние

десятилетия увеличивается, что способствует уменьшению ледяного покрова, солёности, увеличению теплозапаса вод и содержанию биогенных веществ арктических морей (Жук В.Р., Кубряков А.А., 2021). Целями исследования являются оценка изменчивости потоков воды, тепла и соли через Берингов пролив за последние 30 лет и оценка связей потоков с ветровым режимом.

В качестве исходных океанических данных выбраны реанализ GLORYS12V1

(https://data.marine.copernicus.eu/product/GLOBAL_MULTIYEAR_PHY_001_030/) со среднемесячным и the Operational Mercator global ocean analysis and forecast system

(https://data.marine.copernicus.eu/product/GLOBAL_ANALYSISFORECAST_PHY_001_024/) со среднесуточным временными масштабами соответственно, а атмосферных данных – среднемесячный реанализ ERA5 (<https://cds.climate.copernicus.eu/>) и GLO

(https://data.marine.copernicus.eu/product/WIND_GLO_PHY_L3_NRT_012_002/) с суточным масштабом. Из баз данных через 5' (2979,6 м) по разрезу вдоль параллели 65°75' с.ш. от 170°5' до 168°1' з.д. взяты значения меридиональной составляющей скорости течений, температуры и солёности воды на 18 горизонтах исходя из рельефа дна от 0 до 52 м за период с января 1993 по декабрь 2020 года ежемесячно и за период с октября по декабрь 2023 года ежесуточно. Данные о ветре рассматривались в квадрате 63–68° с.ш. 160–175 з.д. и были усреднены в двух областях: севернее БП и южнее БП, так как предварительный анализ показал, что в этих областях часто отмечаются противоположные направления зонального ветра. Объёмный расход, тепловой поток и поток соли рассчитаны согласно стандартной методике (Наумов Л.М., Гордеева С.М., 2020).

Распределение температуры и солёности воды соответствует основному переносу вод, направленному в Чукотское море и сосредоточенному в восточной части разреза у берегов Аляски, где южное течение с максимальными скоростями течения 67 см/с на поверхности несёт наиболее теплые и распресненные воды (2,27°C, 31,0 епс). А относительно холодные и солёные воды (0,27°C, 32,9 епс), приносимые с севера медленным противотечением (1 см/с) вдоль Чукотского полуострова, занимают практически весь придонный объём западной части пролива таким образом, что в этой части пролива пикноклин залегает на глубине 10 метров, а в восточной части – заглубляется с приближением к материку до 40 метров. В среднем через БП скорость течения составляет 33 см/с.

Основные потоки в среднем многолетнем усреднении, проходящие через разрез в Арктику гораздо больше, чем направленные на юг, и в сумме составляют: объёмный расход – 1,42 Св, поток тепла – 17,0 ТВт, поток соли – 47,1 т/с.

Для выявления связи ветра с потоками воды рассмотрена корреляция интегрального потока на каждой вертикали разреза через БП с компонентами

скорости ветра севернее и южнее БП при среднемесячной и суточной дискретности. В случае среднемесячного масштаба меридиональная составляющая скорости ветра со значимой корреляцией 0.4-0.6, возрастающей к востоку, преобладает над зональной со значимой корреляцией 0,44 только по краям пролива и не значимой по всему разрезу в пределах ± 0.3 в зависимости от рассматриваемого участка. Увеличение скорости ветра в западном (отрицательном) направлении усиливает поток воды в направлении Северного Ледовитого океана, что ярко выражено на востоке пролива, и также усиливает поток в направлении Тихого океана, что подтверждается отрицательной корреляцией у берегов Северной Америки и положительной корреляцией вдоль берегов п-ова Чукотка. Таким образом, усиление восточного ветра в регионе БП вызывает усиление динамики вод по обеим сторонам пролива.

В случае суточного масштаба в октябре – декабре 2023 года в основном дул северо-западный ветер также с преобладанием корреляции потока воды с меридиональной составляющей со значимыми показателями 0.6-0.8 над зональной с незначимыми коэффициентами корреляции 0.00-0.16.

Работа выполнена в рамках госзадания ИО РАН FMWE-2024-0028.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Danielson S.L., Weingartner T.J., Hedstrom K.S. et al. Coupled wind-forced controls of the Bering-Chukchi shelf circulation and the Bering Strait throughflow: Ekman transport, continental shelf waves, and variations of the Pacific-Arctic sea surface height gradient // *Progress in Oceanography*. 2014. V. 125. P. 40–61. (<https://doi.org/10.1016/j.pocean.2014.04.006>)

2. Жук В.Р., Кубряков А.А. Влияние Восточно-Сибирского течения на водообмен в Беринговом проливе по спутниковым альтиметрическим данным // *Океанология*.– 2021. – Т.61, № 6.– С. 856–868. – DOI: 10.31857/S0030157421060174

3. Наумов Л.М., Гордеева С.М. Боковой перенос тепла и соли в Лофотенском бассейне: сравнение на основе трёх баз данных // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*.– 2020.– Т. 13, № 3.– С. 43-50

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ПОДВОДНОГО РЕЛЬЕФА БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ БАЛТИЙСКОЙ КОСЫ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ

Казиков А., Штремель М.Н.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия
kazakov.ocean@gmail.com*

Ключевые слова: береговые зоны, ветровое волнение, подводный вал.

В данной работе приведено исследование динамики подводного рельефа полигона, находящегося в береговой зоне Балтийской косы. На примере трансформаций и миграций песчаного подводного вала рассматривается проблема перераспределения донных осадков в береговой зоне на многолетнем масштабе. Протекание и последствия процессов взаимодействия морских волн и дна – ключевой вопрос в управлении береговыми зонами: исследования механизмов диссипации волновой энергии, абразии и аккумуляции берегов улучшает понимание их устойчивости к этим процессам, что полезно в их инженерной оценке.

Современные теоретические представления о взаимодействии морских волн и береговых зон собраны в обзоре (Castelle B, Masselink G., 2023). Согласно центральному тезису обзора, трансформации береговых зон происходят из-за перехода между диссипативными, переходными и рефлективными условиями волнения. Показателем условий служит безразмерный коэффициент, зависящий от уклона дна и крутизны волн. Расчет этого коэффициента для исследуемого полигона показал, что данная береговая зона всегда находится в диссипативных условиях, но, тем не менее, ее подводный рельеф принимает черты переходных условий.

Основным источником данных о рельефе дна служит коллекция спутниковых снимков в видимом диапазоне миссии Sentinel-2 (пространственное разрешение – 10 м). За четырехлетний период 2017 - 2020 гг. было отобрано 110 снимков, на которых погодные условия позволяли наблюдать и картировать в среде QGIS положение и форму внешнего подводного вала и береговой линии. Период исследования был разделен на 41 временной промежуток по датам снимков, и изменения рельефа наблюдались в 24-х из них.

Для анализа волновых условий в рассматриваемые периоды изменений и статичности рельефа были использованы переменные из реанализа ERA 5. Из узла сетки (точки расчета почасовых значений), находящегося в Гданьском заливе, были взяты временные ряды значительных высот, периодов и направлений волн.

Совместный анализ последовательности спутниковых снимков и волновых условий позволил выявить следующие закономерности и прийти к следующему выводу:

80% штормов, подходящих к данной береговой зоне, характеризуются волнами с высотами более 1.5 м, распространяющимися по нормали или под острым углом (до 45° от перпендикуляра) к берегу.

Внешний подводный вал образуется во время зимних штормов на расстоянии порядка 200 м от берега в виде прямолинейной гряды. В дальнейшем он обретает серповидную форму, которая в течение года смещается вдоль берега как целое в направлении волнения с преобладающими высотами волн. Сегменты этой формы (прибрежный и мористый) могут смещаться по поперечному берегу профилю - они наблюдались на расстояниях от 130 до 280 м от береговой линии. Зимой 2018 и 2019 годов подводный вал был идентифицирован как образованный вновь после размыва предыдущей гряды.

Наиболее часто наблюдаемый вид трансформации подводного рельефа (15 периодов изменений) – это смещение гряды вдоль берега в северо-восточном направлении, в 45% случаев сопровождаемое взаимным отдалением сегментов вала (увеличением его кривизны). Каждой такой трансформации сопутствовало волнение, подходящее по нормали к берегу. Напротив, 4-м периодам смещения вала на юго-запад и сближения сегментов (выпрямления вала – в 30% случаев) соответствовало волнение, подходящее с севера-северо-востока.

Исходя из (Rutten et al., 2019), формированию и поддержанию ритмической структуры подводного рельефа (и, по данному исследованию, основного направления перемещения его форм) способствует волнение, распространяющееся по нормали к берегу. Волны же, подходящие под большим углом с севера, вероятно, способствовали развитию вдольбереговых течений, смещающих прибрежный сегмент вала ближе к мористому.

Цикличность морфодинамики береговой зоны свидетельствует об устойчивости берега даже перед сильными штормами (природный защитный механизм при неиссякаемом источнике материала, слагающего прибойную зону (Castelle B, Masselink G., 2023)).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Castelle B, Masselink G. Morphodynamics of wave-dominated beaches. *Cambridge Prisms: Coastal Futures*. 2023;1:e1. doi:10.1017/cft.2022.2
2. Rutten et al. Alongshore variability in crescentic sandbar patterns at a strongly curved coast. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 2019. 124, doi:10.1029/2019JF005041

МОРФОЛОГИЯ И ДИНАМИКА (1943-2022 ГГ.) МОРСКИХ БЕРЕГОВ ПИЦУНДСКОГО ПОЛУОСТРОВА И МЮССЕРСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ (ЗАПАДНАЯ АБХАЗИЯ)

Кажукало Г.А.¹, Еременко Е.А.¹, Жиба Р.Ю.², Дбар Р.С.².

¹*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
г. Москва, Россия.*

²*Институт экологии АН Абхазии, г. Сухум, Абхазия
kazhukalo@geogr.msu.ru*

Ключевые слова: динамика береговой линии, абразия, река Бзыбь, Черное море.

Береговая зона Абхазии с начала прошлого века подвергается интенсивному рекреационному освоению. В середине прошлого столетия здесь проводились широкомасштабные береговые исследования, результаты которых нашли отражение в концептуальных основах геоморфологии морских берегов (Зенкович, 1958, 1962). Именно в Западной Абхазии в целях предотвращения размыва берегов курортных зон впервые в Восточном Причерноморье в начале 20 века были использованы буны (Божич, 1949), а в начале 1980-х – созданы искусственные пляжи (Пешков, 2005).

В пределах Пицундского полуострова и Мюссерской возвышенности проблема размыва берегов проявилась во второй половине 20 века. Этот процесс активизировался в связи с сокращением объемов пляжеобразующих наносов из-за разработки русловых карьеров в р. Бзыбь, определенную роль могли сыграть и климатические изменения. В последние десятилетия рекреационная инфраструктура на территории Пицундского полуострова и Мюссерской возвышенности в значительной степени восстановлена, и на новых участках прибрежной зоны возводятся, в том числе, капитальные сооружения (пансионаты, гостиницы и пр.). В то же время, ежегодно размыв берегов во время сильных (осенне-зимних) штормов приводит к их ощутимому отступанию на ряде участков. Для рационального планирования хозяйственного освоения береговой зоны (в частности, выбора мест для строительства, а также пляжесберегающих технологий) необходимо проведение количественной оценки динамики берегов.

На основе результатов полевой геоморфологической съёмки (2022-2024 гг.) охарактеризована современная морфология берегов Пицундского полуострова и Мюссерской возвышенности. По результатам анализа данных дистанционного зондирования Земли (аэрофотоснимки Luftwaffe (1943), космические снимки Corona KH-4A (1965), Hexagon KH-9 (1979), данные аэрофотосъёмки института экологии АН Абхазии (2014), а также космические снимки Pleiades-1A (2022)) выявлены ведущие тенденции развития берегов за

последние 80 лет. Общая протяженность исследованной береговой зоны составила 28 км.

Изучаемый сектор береговой зоны можно разделить на несколько участков, различающиеся как морфологией берегов, так и выявленными тенденциями динамики за период с 1943 по 2022 г:

1. Участок к западу от устья р. Бзыби. Тип берега – аккумулятивный с песчано-галечным пляжем полного профиля шириной до 45-50 м. Питание пляжеобразующими наносами происходит со стороны р. Бзыбь. Практически в течение всего рассматриваемого периода происходило наращивание берега со скоростью до 1-1,5 м/год, лишь в последнее десятилетие наблюдается тенденция к отступанию – не более 1 м/год. Последнее может быть связано с увеличением энергии сильных волнений западных румбов, в результате которых значительная часть пляжеобразующего материала выносится в процессе поперечного перемещения в систему подводных каньонов близ устья Бзыби.

2. Участок от устья Бзыби до м. Пицунда. Тип берега – аккумулятивный с прислоненным выпуклым песчано-галечным пляжем шириной от 70 до 50-55 м. Пляжеобразующие наносы поступают в основном со стороны устья Бзыби со вдольбереговым потоком. В течение 80 лет наращивание берега непосредственно к востоку от устья Бзыби (до 1,5 м/год в период 1943-1965 гг.) сменилось его размывом (до 2,5 м/год в период 1965-1979 гг.), что, по-видимому, связано с активной разработкой русловых карьеров в этот период. В последние десятилетия берег здесь продолжает отступать со скоростью до 1,5 м/год. Некоторая тенденция к наращиванию отмечена лишь в бухте, образованной мысом Инкит (около 1 м/год). Восточнее берег продолжает размываться в течение всего анализируемого периода (пиковые скорости – до 2,5 м в год), что связано с высокой энергией волнения и приглубостью подводного берегового склона.

3. На мысе Пицунда берег является аккумулятивным с галечным пляжем полного профиля шириной до 100-120 м. В период сокращения твердого стока Бзыби из-за разработки русловых карьеров (1965-1979 гг.) сокращение ширины пляжа отмечалось в восточной части мыса (до 1 м/год), а в западной происходило его наращивание за счет поступления наносов в результате абразии к западу от мыса (до 1,5 м/год). Сокращение скоростей абразии в следующие десятилетия привело к возникновению дефицита с западной части мыса и в результате размыва и последующего вдольберегового транспорта происходило нарастание берега с восточной части (до 1 м/год). В последние десятилетия берег на мысе Пицунда является относительно стабильным.

4. Берега Пицундской бухты относятся к типу аккумулятивных с галечными пляжами полного профиля. Здесь, в волновой тени Пицундского мыса, энергия волнения сравнительно невысока, и происходит постепенное наращивание берега (в среднем 0,5-1 м/год). Питание пляжей осуществляется

как со стороны мыса Пицунда (источник наносов – твердый сток р. Бзыби), так и со стороны Мюссерской возвышенности (при редких восточных наносодвижущих волнениях). Размыв берегов отмечался здесь лишь в 1965-1979 гг. (до 1,5 м/год), когда приток наносов со стороны м. Пицунда иссяк в связи с разработкой русловых карьеров.

5. Берега Мюссерской возвышенности относятся к абразионным. Высота клифов, выработанных в неогеновых молассах, достигает здесь 50 м. У подножья клифов отмечается бенч шириной до нескольких сотен метров, в небольших бухтах – карманные галечные пляжи шириной до 10-15 м. Питание пляжеобразующими наносами осуществляется за счет размыва клифов и твердого стока небольших рек (р. Монах, р. Ряпш, р. Мюссера, р. Амбара). Отступление абразионного берега происходит в результате обвалов и оползней, стимулированных как абразией во время сильных штормов, так и ливневыми осадками. Материал, скапливающийся у подножья клифов, размывается с разной скоростью, в зависимости от степени сцементированности коллювия. Средние скорости отступления составляют около 0,2 м/год.

Таким образом, в течение последних 80 лет динамика берегов Пицундского полуострова и Мюссерской возвышенности определялась как природными, так и антропогенными факторами. Активизация размыва в результате изъятия пляжеобразующих наносов в середине второй половины 20 столетия характерна для аккумулятивных берегов Пицундского полуострова, тогда как на абразионных берегах Мюссерской возвышенности практически не выражена. В последние десятилетия данная тенденция вновь проявляется, но вероятной причиной этого является климатически обусловленное увеличение энергии штормовых наносодвижущих волнений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Божич П.К. Морское волнение и его действие на сооружения и берега. М.: изд-во Машстройиздата, 1949. 336 с.
2. Зенкович В.П. Основы учения о развитии морских берегов. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 719 с.
3. Зенкович В.П. Берега Черного и Азовского морей. М.: Государственное издательство географической литературы, 1958. 380 с.
4. Пешков В. М. Галечные пляжи непривливых морей. Основные проблемы теории и практики. Краснодар, 2005. 444 с.

ПОДПОВЕРХНОСТНЫЙ МАКСИМУМ ТЕМПЕРАТУРЫ В КИСЛО-СЛАДКОМ ОЗЕРЕ В МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ LAKE

Кленин А.В., Иванова И.Н., Будников А.А.

*МГУ имени М.В. Ломоносова, физический факультет, кафедра физики моря
и вод суши, г. Москва, Россия
klenin.av19@physics.msu.ru*

Ключевые слова: меромиктические водоемы, отделяющиеся водоемы, устойчивая стратификация, подповерхностный максимум температуры, поглощение солнечной радиации.

Изучение гидрологических процессов в меромиктических озерах важно для моделирования последствий при строительстве больших заградительных сооружений на водных объектах. Плотины и водохранилища часто образуют устойчиво стратифицированные водоемы, которые по совокупности факторов имеют много общего с озерами, отделяющимися от морей. Отделившиеся водоемы представляют особый интерес, как пример одновременного существования различных экосистем.

Данная работа посвящена исследованию озера Кисло-Сладкое, находящегося на берегу Ругозерской губы Кандалакшского залива Белого моря (66.548333, 33.134719). Водоем соединяется с морем небольшим каналом. Площадь исследуемого водоема около 1.5 га, максимальная глубина составляет 4,5-7,5 метров. В периоды высоких приливов морская вода попадает в озеро. На примере Кисло-Сладкого озера можно наблюдать особенности отделившихся водоемов, сохраняющих связь с морем. Озеро обладает выраженной стратификацией в распределении плотности, растворенного кислорода, мутности, и может считаться меромиктическим водоемом. Устойчивая стратификация иногда нарушается притоком морской воды во время больших приливов.

Измерения происходили во второй половине июля в 2022 и 2023 годах. Точки измерения были выбраны после подробной батиметрии озера. Поверхностный слой в водоеме летом имеет соленость на несколько единиц меньше, чем в море. Соленость воды в котловине озера устойчиво оказывается выше солености поверхностных вод и почти не изменяется в течение лета. Летом в водоеме образуются две зоны: аэробная и анаэробная. Максимум содержания кислорода располагается в нижней части галоклина. Профиль измеренной температуры от глубины явно показал наличие подповерхностного максимума температуры (ПМТ) 22,6°C и 25°C, в 2023 и 2022 годах соответственно, который находился на глубине около 2-х метров. В это время температура воды ближе к поверхности была холоднее в среднем на 4°C. После прохождения максимума температуры, ее профиль плавно уменьшался до

достижения дна. Таким образом, наблюдается воспроизводимость процесса образования подповерхностного максимума температуры в середине лета.

Предположение о том, что подобный максимум температуры в меромиктическом водоеме может возникать вследствие поглощения коротковолновой радиации под перемешанным слоем – ключевая идея исследования. Явление изучается с помощью модели LAKE. Основная цель – найти параметры, являющиеся определяющими в формировании подповерхностного максимума температуры. По найденным параметрам следует построить максимально совпадающий с натурными измерениями профиль температуры и солёности. После определения ключевых характеристик, влияющих на формирование ПМТ в Кисло-Сладком озере, станет возможным воспроизведение режима температуры и солёности в других отделяющихся от моря водоемах в данной местности.

С помощью модели удалось воспроизвести подповерхностный максимум температуры Кисло-Сладкого озера, что говорит о состоятельности модели для данного исследования. Выявлена зависимость расположения ПМТ в водной толще от коэффициента поглощения. Этот результат в дальнейшем будет играть важную роль при моделировании температурного режима других меромиктических водоемов из-за их сложной слоистой структуры с резкими скачками мутности.

Изучено явление устойчивости ПМТ с изменением сезонной активности. В полученных профилях температуры прослеживается осеннее выхолаживание, с которым связан эффект заглубленного максимума температуры. Однако однозначно отделить заглубленный максимум температуры (ЗМТ) от ПМТ во время осенней активности при условии наблюдения летнего ПМТ проблематично. Моделирование показало, что ПМТ разрушается при первых заморозках, сопровождаемых осадками со снегом.

На данный момент работа заключается в максимально возможном приближении моделируемого ПМТ к профилям, полученным в ходе проведения натурных измерений в 2022 и 2023 годах, а именно:

- вертикальное расположение ПМТ;
- температурные характеристики озера в целом и ПМТ в частности.

УРОВНИ СОДЕРЖАНИЯ И СОСТАВ ХЛОРООРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В ОЗЕРНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ НА РАЗНОЙ СТАДИИ ОТДЕЛЕНИЯ ОТ БЕЛОГО МОРЯ

Колпакова Е.С., Вельямидова А.В., Королева Т.А.

*ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН, г. Архангельск, Россия
kolpelen@yandex.ru*

Ключевые слова: хлороорганические соединения, Белое море, малые стратифицированные озера, газовая хроматография.

Экосистемы северных территорий отличаются слабой устойчивостью к любому виду воздействиям и крайне медленной скоростью восстановления. Акватория и береговая зона Белого моря подвержены антропогенному влиянию источников не только регионального, но и глобального значения. При этом наибольшую опасность представляют источники эмиссии хлороорганических соединений в окружающую среду. Эти токсичные высоколипофильные биоаккумулируемые вещества, обладая устойчивостью к разложению, накапливаются в компонентах природных экосистем, представляя потенциальную опасность для живых организмов, в первую очередь для человека.

Присутствие хлороорганических соединений в природных экосистемах связано не только с техногенными факторами. К настоящему времени накоплено достаточно информации об образовании хлороорганических соединений естественным путем, а именно в результате хлорирования органического вещества при взаимодействии с хлорид-ионами, а также в процессах ферментативного продуцирования.

В работе представлены результаты исследований по изучению уровней содержания и компонентного состава хлороорганических соединений в донных отложениях и почвах на водосборных территориях малых стратифицированных озер с разной степенью отделения от Белого моря. Пробы донных осадков и почв были отобраны в ходе экспедиционных работ сотрудниками ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН.

Для извлечения хлороорганических соединений использовали метод ускоренной жидкостной проточной экстракции воздушной-сухой пробы твердой матрицы (донные осадки и почвы) горячей смесью органических растворителей (гексан:ацетон в соотношении 3:1) при температуре ниже точки кипения. Определение концентраций хлорфенолов, хлорбензолов и их производных проводили газохроматографическим методом в соответствии со стандартами ISO 14154:2005 и Method 8081B (SW-846).

Анализ проб донных осадков и почв на содержание индивидуальных хлороорганических соединений проводился на газовом хроматографе

«Кристалл 5000.1» с электрозахватным детектором при использовании кварцевой капиллярной колонки с неполярной неподвижной жидкой фазой ZB-5 (30 м x 0,32 мм). Нижний предел обнаружения индивидуальных хлорорганических соединений – 0,0001 мкг/г в.с.в.

В донных отложениях и почвах на прилегающей территории водоемов со стратифицированной водной толщей, находящихся на разных стадиях отделения от Белого моря, установлено присутствие хлорорганических соединений. Компонентный состав хлорорганических соединений в почвах на водосборной территории был идентичен составу в озерных осадках. При этом в общем содержании хлорорганических соединений доминировали низкохлорированные соединения (моно- и дихлорфенолы и бензолы).

Высокохлорированные соединения разной степени токсичности в озерных осадках и почвах были определены в небольших концентрациях. Таким образом, уровни содержания и состав хлорорганических соединений в компонентах малых стратифицированных озер, находящихся на разной стадии отделения от Белого моря, обусловлен природными и техногенными источниками их образования.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАСТВОРЕННЫХ В ВОДЕ МЕТАЛЛОВ В УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ Р. ПРЕГОЛЯ В 2023 ГОДУ

Коробченкова К.Д.^{1,2}, Ульянова М.О.²

¹*Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград,
Россия*

²*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия
korobchenkova14@mail.ru*

Ключевые слова: устьевая область р. Преголя, металлы в воде, железо, марганец, фронтальная зона.

В устьевых областях рек происходят процессы осаждения взвеси, коагуляции и флокуляции растворенных элементов, влияющие на накопление и перераспределение загрязняющих веществ и формирование антропогенной нагрузки на прилежащие акватории. Устьевая область р. Преголя является геохимической барьерной зоной, в которой происходит смешение вод р. Преголи, Калининградского залива и вод Балтийского моря в Калининградском морском канале (КМК). В работе рассматривалось распределение растворенных в воде металлов (железо, марганец),

являющимися взвесеобразующими элементами-индикаторами (Лукашин В.Н., Кречик В.А., Клювиткин А.А., Стародымова Д.П., 2018).

Натурные данные получены в экспедициях в 2023 году (12 апреля, 27 июля, 11 ноября) на станциях, расположенных в КМК от устья р. Преголи до прибрежной части Балтийского моря. Данные по температуре, солености и мутности получены зондом Sea&Sun Tech STD90M. Содержание металлов в пробах воды определялось на атомно-абсорбционном спектрометре Varian AA240FS. Анализировались данные о режимообразующих факторах (скорость и направление ветра) из архива погоды на метеостанции в г. Балтийск.

В апреле водная толща однородна по температуре (от 8,2 °C в устье реки до 11,7 °C в прибрежной части моря). Между устьевой частью и до Приморской бухты установилась двухслойная стратификация с пространственным градиентом солености. Вынос речных вод с соленостью 2,5 пс распространялся в поверхностном слое до п. Взморье и вод залива в море, которому способствовал ветер юго-восточного направления накануне и в день съемки. Заток морских вод распространялся по дну до г. Светлый, которому способствовал ветер западного и северо-западного направлений за два дня до съемки.

Летом водная толща в КМК хорошо прогрета (максимум 21,1 °C) и однородна. Вертикальное распределение температуры в прибрежной части Балтийского моря было однородно до 25 м, ниже температура уменьшалась до 6,1 °C на глубине 40 м. Минимальные значения солености были отмечены в устьевой части реки (4,3 пс), вода в КМК однородна по солености до Балтийского пролива, западнее которого сформировался фронтальный раздел при взаимодействии вод залива и морских вод. Преобладающий устойчивый ветер западного направления способствовал нагону морских вод.

В ноябре водная толща сравнительно однородна по температуре и солености. Восточнее и западнее Приморской бухты наблюдался фронтальный раздел. Заток морских вод по дну КМК был выражен западнее пос. Взморье. Накануне съемки преобладал ветер южного и юго-западного направления, способствующий затоку морских вод.

Весной высокие значения мутности (до 25 ЕМФ) фиксировались единично в придонном слое в районе п. Взморье. Минимальные значения отмечены в море и зоне морского влияния, в канале распределение было достаточно однородным. Летом участок устья реки характеризовался высокоградиентным распределением мутности – поверхностный слой реки был достаточно прозрачными (15–20 ЕМФ), тогда как мутность в придонном слое была крайне высокой (до 40 ЕМФ). В ноябре в районе г. Светлый наблюдались повышенные (20–25 ЕМФ) относительно других частей акватории значения мутности.

Концентрации металлов в воде превышали установленный ПДК для рыбохозяйственных водоемов (железо – 0,1 мг/л, марганец – 0,01 мг/л) (Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации 13.12.2016 № 552,

2016). Для всех съемок характерны максимумы концентрации в устье р. Преголи, что обусловлено близостью к основному источнику поступления металлов в воду – г. Калининграду (хозяйственно-бытовые, промышленные стоки и сток с водосбора реки). Также отмечено увеличение концентраций перед фронтальными разделами и их последующим уменьшением (апрель – у п. Взморье, июль и ноябрь – в районе г. Светлый), что может быть связано с процессами коагуляции и флокуляции, приводящими к переходу металлов из растворенного состояния во взвешенное при изменении гидрологических условий. При продвижении к Балтийскому проливу концентрации металлов уменьшались в результате смешения в КМК вод залива с морскими более чистыми водами.

Таким образом, в распределении растворенных в воде железа и марганца в устьевой области р. Преголи в 2023 году выделяются два пика – в районе устья реки, обусловленный близостью источников загрязнения и перед фронтальным разделом, который мигрировал по КМК в зависимости от метеоусловий.

Анализ гидрологических условий был поддержан из средств программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030» БФУ им. И. Канта, научный проект № 122110200031-7. Гидрохимические исследования выполнены в рамках госзадания ИО РАН (тема № FMWE-2024-0025).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лукашин В.Н., Кречик В.А., Клювиткин А.А., Стародымова Д.П. Геохимия взвешенного вещества в маргинальном фильтре реки Преголи (Балтийское море) // *Океанология*. 2018. Т. 58. № 6. С. 933–947.

2. Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения: Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации 13.12.2016 № 552. – 2016. – с. 151.

ШИРОТНЫЙ ФАКТОР В ИЗМЕНЧИВОСТИ ТЕРМОГРАВИТАЦИОННОЙ КОНВЕКЦИИ В ПРИБРЕЖНЫХ ВОДАХ БАЛТИКИ

Коробченкова К.Д.^{1,2}, Килесо А.В.², Гриценко В.А.², Куприянова А.Е.^{1,2}

¹*Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград, Россия*

²*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия,
korobchenkova14@mail.ru*

Ключевые слова: конвекция, ветро-волновое перемешивание, выхолаживание воды с поверхности, поверхностный слой, Юго-Восточная Балтика.

Хорошо известно, что фактор сезонности играет существенную роль в формировании термохалинной структуры мелководного Балтийского моря. На акватории с глубинами менее 50 м приходится около 60% всей площади моря, а с глубинами более 200 м – всего около 3% (Гидрометеорология и гидрохимия шельфовых морей СССР, 1992). В результате конвективные движения, возникающие при осенне-зимнем выхолаживании и весеннем прогреве, могут достигать склона дна в прибрежных зонах моря и формировать вдольсклоновые движения более плотных вод. С другой стороны, из-за большой вытянутости Балтики с юго-запада на северо-восток примерно на 1900 км акватории моря размещаются в различных климатических зонах и неодинаково во времени реагируют на изменения метеорологических условий над его поверхностью. Широтный характер изменчивости погодных условий естественным образом порождает на поверхности моря горизонтальную неоднородность в формировании вод с большей плотностью. Данное обстоятельство значимо для прибрежной зоны моря, где формируемые на поверхности объемы вод с отрицательной плавучестью могут достигать дна на обширных отмелях восточных берегах и начинать свое движение по его склону. Благодаря возникновению вертикальных конвективных движений происходит аэрация подстилающих вод, а также перенос загрязнений с поверхностного слоя воды в глубину. Одним из известных проявлений конвекции является постоянное присутствие в Балтике холодного промежуточного слоя, по одной из гипотез имеющего конвективно-вдольсклоновую этимологию.

Целью данной работы является изучение необходимых условий для возникновения термогравитационной конвекции (ТГК) в прибрежных водах Восточной Балтики.

Для исследования особенностей ТГК использовались данные реанализа температуры поверхности океана (ТПО) (разрешение 0.25 градуса по широте и долготе) (Huang, B., C. Liu, V. Banzon, E. Freeman, G. Graham, B. Hankins, T. Smith, and H.-M. Zhang, 2021) и данные температуры воздуха на

прибрежных метеостанциях (<https://rp5.ru/>). В качестве района исследования выбран протяженный вдольбереговой участок от Гданьского до Ботнического заливов (от 54 до 63 градусов с.ш.). Из всего массива данных реанализа ТПО было выбрано 7 точек вдоль береговой линии рассматриваемого района, которые обеспечены архивами метеоданных на прибрежных метеостанциях. Выбранными точками с юга на север стали: район косы Хель, Польша, Калининградская области (г. Пионерский, Россия), Литва (г. Клайпеда), Латвия (г. Павилоста), Эстония (о. Вилсанди), Финляндия (о. Руссарё и о. Строммингсбадане). В данной работе предварительный качественный анализ выполнен по данным за период с 1 сентября по 30 ноября 2018 г. Выбор года мотивирован типичным характером выхолаживания воды и наличием подробного синхронного наблюдения за изменчивостью температуры воды и воздуха на платформе Д-6 (Куприянова А. Е., Гриценко В. А., Килесо А. В., Коробченкова К. Д., 2023).

Совместный анализ временных рядов ТПО и температуры воздуха показал, что необходимым условием для возникновения ТГК стало появление отрицательной разницы между дневными значениями температуры воздуха и воды, которое наблюдается во всех рассматриваемых точках, начиная с конца сентября. Среднесуточная температура воздуха практически на всем интервале наблюдения в 2018 году оказалась ниже ТПО. Максимальные скорости выхолаживания поверхностного слоя за осенний период отмечаются в районе Гданьского залива у берегов Калининградской области и Литвы и достигают значений -0.14 °C/сут. С увеличением широты данных параметр уменьшается до -0.12 – -0.1 °C/сут в Ботническом заливе.

Расчет зависимости плотности воды от температуры показал потенциальное изменение характера процесса выхолаживания при достижении температуры воды ~ 9.5 °C. После достижения данного значения температуры скорость выхолаживания замедляется. В самой северной из рассматриваемых точек в Ботническом заливе (63 с. ш.) температура воды 25 октября достигла значения в 9.5 °C, в центральных точках (примерно 58 с.ш.) 11 ноября, а в самой южной точке (54.5 с.ш.) только к 21 ноября. Таким образом задержка по времени наступления наиболее благоприятной для возникновения ТГК условий с севера на юг в прибрежных водах Балтики составляет практически 1 месяц. Дальнейший анализ всего массива данных позволит получить количественные оценки для всего восточного берега Балтийского моря.

Благодарность. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23–27–00150, <https://rscf.ru/project/23-27-00150/>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гидрометеорология и гидрохимия шельфовых морей СССР. Т. III. Балтийское море. Л.: Гидрометеоиздат, 1992. 450 с.

2. Huang, B., C. Liu, V. Banzon, E. Freeman, G. Graham, B. Hankins, T. Smith, and H.-M. Zhang, 2021: Improvements of the Daily Optimum Interpolation Sea Surface Temperature (DOISST) Version 2.1, *Journal of Climate*, 34, 2923–2939.

3. Архив погоды на метеостанции: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://gp5.ru/> (дата обращения: 10.01.2024).

4. Куприянова А. Е., Гриценко В. А., Килесо А. В., Коробченкова К. Д. О типичном и аномальном режимах выхолаживания морских вод в прибрежной зоне Куршской косы // *Гидрометеорология и экология*. 2023. № 73. С. 666—683. DOI: 10.33933/2713-3001-2023-73-666-683.

ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКИЙ МЕТОД ПРОГНОЗА ДЕФОРМАЦИЙ РЕЛЬЕФА ПЕСЧАНОГО ДНА ЗА СЧЁТ ПОПЕРЕК БЕРЕГОВОГО ТРАНСПОРТА НАНОСОВ

Кузнецов С.Ю., Сапрыкина Я.В.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия
kuznetsov@ocean.ru*

Ключевые слова: ветровое волнение, береговая зона, энергетический подход к транспорту наносов, деформации рельефа дна, сценарии трансформации волн.

Одним из ключевых вопросов, постоянно возникающих при экономическом и рекреационном освоении береговой зоны моря на протяжении всей истории развития человечества, является прогноз и оценки возможных размывов берегов волнами. В последние десятилетия мировым сообществом получено множество эмпирических параметризаций динамических процессов береговой зоны, на основе которых созданы вычислительные программы моделей, описывающих динамику рельефа дна береговой зоны, например, находящиеся в открытом доступе Delft3D и XBeach. Использование этих программ позволяет решить многие практически важные вопросы размывов берегов для каждого конкретного случая, но не позволяет ответить на общие вопросы, почему именно те или иные режимы волнения приводят к размывам или восстановлению берегов. Причина этих неясностей лежит в нелинейных зависимостях расхода наносов и результирующих деформаций рельефа дна от опять же нелинейных параметров волн, таких как амплитуды высших кратных гармоник волн и сдвигов фаз между ними. Для упрощения проблемы мы рассмотрим деформации рельефа дна на однородном вдоль берега участке, которые будут

вызываются только поперечной к берегу компонентой расхода наносов. На основе ранее установленных типичных сценариев нелинейной трансформации волн в береговой зоне Черного моря и на основе широко используемой формулы Бейларда для расхода наносов, нами разработана методика разделения волновых режимов в береговой зоне моря на размывающие берег и не размывающие. Критерием размыва служит наличие протяженного по ширине береговой зоны участка углубления дна за время шторма, вызываемого монотонным по пространству ростом второй нелинейной гармоники волн по мере их приближения к берегу.

Согласно проведенным ранее исследованиям, волны трансформируются в береговой зоне по двум основным сценариям: 1) с образованием абсолютного максимума второй гармоники волновых движений внутри береговой зоны и ярко выраженным периодическим обменом энергией между первой и второй нелинейными гармониками, и 2) когда вторая гармоника только растет и ее максимальное значение достигается у берега, а ярко выраженный периодический обмен между гармониками не наблюдается. Критерием, разделяющие эти сценарии служит соотношение между уклоном дна и крутизной волн на входе в береговую зону.

Поперек береговой транспорт наносов имеет две основные компоненты: в сторону берега за счет асимметрии волновых движений, создаваемой нелинейностью волновых движений, и в сторону моря за счет противотечения, возникающего как компенсация штормового нагона. Баланс между ними определяет результирующий расход наносов, а его нормальный к берегу градиент – знак и величину скорости изменений рельефа дна. Величина противотечения слабо зависит от нелинейных свойств волн и определяется их высотой и глубиной воды. Асимметрия волн, определяющая волновую компоненту транспорта наносов, определяется амплитудами и относительными фазами высокочастотных волновых гармоник.

Из упрощенного вида формулы Бейларда следуют два важных вывода:

1) так как сдвиг фаз (бифаза) между первой и второй гармониками лежит в диапазоне от $-\pi/2$ до $\pi/2$, то волновая компонента расхода наносов, определяемая асимметрией волновых движений, всегда положительная, т.е. направлена в сторону берега;

2) асимметрия волн, определяемая вторым и третьим моментом скорости, и противотечение дают независимые друг от друга вклады в расход наносов и поэтому эти компоненты расхода можно рассматривать по отдельности.

Величина и знак бифазы определяют, что размыв дна будет происходить во время роста второй гармоники, а намыв – когда вторая гармоника убывает. С учетом противотечения, величина отрицательных деформаций в стадии роста второй гармоники может быть еще больше. В стадии убывания амплитуды второй гармоники, даже при наличии

противотечения, возможны положительные деформации рельефа и намыв песка.

Исходя из вышеизложенного, можно считать «опасным» сценарий трансформации волн, когда во всей береговой зоне вторая гармоника растет, и ее максимальное значение наблюдается у берега. И, соответственно, «безопасным» - сценарий, когда в береговой зоне происходит периодический по пространству рост и убывание амплитуды второй гармоники, приводящий к образованию подводных валов и отсутствию глобальных размывов дна. Предложена методика оценки опасных, с точки зрения размыва, сценариев трансформации волн на качественном уровне без применения длительного численного моделирования. Полученные на основе предложенного метода оценки длины размываемого участка, хорошо совпадают с экспериментальными данными синхронного измерения волнения и рельефа в 15 точках береговой зоны в диапазоне глубин от 5 до 1 метра проведенными на болгарском побережье Черного моря.

ОЦЕНКА ДИНАМИКИ БРОВКИ КЛИФА В БЕРЕГОВОЙ ЗОНЕ ТАГАНРОГСКОГО ЗАЛИВА НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДЗЗ И ГИС

Мисиров С.А.¹, Беспалова Л.А.²

¹Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук, г. Ростов-на-Дону, Россия

*²Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, Россия
sam.misirov@gmail.com*

Ключевые слова: Таганрогский залив, абразия, данные дистанционного зондирования Земли, ГИС, береговая линия.

Для береговой зоны Азовского моря и в особенности Таганрогского залива, характерно развитие абразионных и оползневых процессов, а также овражной эрозии. Наряду с этим происходит интенсивное освоение береговой зоны - строительство автодорог, портовой инфраструктуры, развитие объектов рекреации и продолжающаяся урбанизация, все это обуславливает необходимость изучения этих процессов для минимизации возможного ущерба.

Специалистами Южного Федерального Университета совместно с Южным Научным Центром РАН осуществляется мониторинг отступления бровки клифов в береговой зоне Азовского моря на реперной сети, состоящей из более чем 100 точек наблюдений, заложенных еще в 60-х годах прошлого века. Однако следует отметить, что такой мониторинг основан на

инструментальном подходе, путем фиксации положения бровки клифа относительно реперного пункта. Это дает самую высокую точность измерений относительно других решений, но такой способ не лишен недостатков, главные из которых: измерения в ограниченном пространственном охвате, в следствии чего мониторинг не затрагивает участки береговой зоны между точками реперной сети и привлечение больших ресурсов на организацию масштабного мониторинга.

Анализ существующей практики изучения динамики береговой зоны морей и водохранилищ показывает, что наилучший результат мониторинга может быть достигнут при комбинации: классических инструментальных методов, применения данных ДЗЗ, картографических и фотограмметрических методов, а также современных ГИС технологий.

В настоящей работе для оценки динамики бровки клифа и расчета скоростей абразии в пределах береговой зоны Таганрогского залива Азовского моря была использована, разработанная в ЮИЦ РАН геоинформационная система (ГИС) «Берега Азовского моря», которая объединяет все данные собранные в рамках полувекowego мониторинга [Мисиров и др., 2022] и материалы дистанционного зондирования Земли для побережья Таганрогского залива, которые включали исторические спутниковые данные, полученные в ходе разведывательной программы CORONA за 1964, 1971 и 1975 гг. с разрешением 2 и 8 м/пикс. Другими источниками материалов космической съемки выступили данные с космических аппаратов (КА) «Spot 1-5» за 1988 и 2006 гг. (с разрешением 5-10 м), данные с российских КА «Ресурс-П» за 2017-2021 гг. (с разрешением менее 1м) и данные с КА «Sentinel 2» за 2020-2022 г. с разрешением 10 м. Подробная методика оценки динамики скоростей абразии описана в работе [Опасные абразионные и оползневые процессы..., 2022].

В результате исследований установлено, что среднемноголетние скорости абразии в пределах береговой зоны Таганрогского залива варьируются от 0,5 м/год до 6 м/год, наиболее низкие скорости приурочены к вершине Таганрогского залива, а наиболее интенсивно отстающие участки сосредоточены в основном в Краснодарском крае: между косой Долгой и х. Воронцовка (от 2 до 3,5 м/год); между с. Глафировка и с. Шабельское (от 1,5 до 3,5 м/год). В Ростовской области наибольшими скоростями отступления берега характеризуется участок от границы с Донецкой Народной Республикой до х. Приазовский (от 1 до 4 м/год).

Таким образом материалы космической съемки позволили рассчитать современные скорости абразии для побережья Таганрогского залива в пределах Ростовской области и Краснодарского края, а совместно с данными на реперной сети, установить наиболее подверженные проявлению опасных экзогенных геологических процессов участки побережья.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Опасные абразионные и оползневые процессы в береговой зоне Азовского моря и социально-экономические последствия их проявлений / С. В. Бердников, Л. А. Беспалова, А. Д. Хаванский [и др.]. – Ростов-на-Дону: Южный научный центр РАН, 2022. – 280 с. – ISBN 978-5-4358-0224-5.
2. Мисиров С.А., Магаева А.А., Кулыгин В.В. Геоинформационное обеспечение мониторинга опасных экзогенных геологических процессов в береговой зоне Азовского моря // ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий: Материалы Междунар. конф. М: Географический факультет МГУ. – 2022. – Т. 28. – Ч. 2. – С. 666–679. – DOI: 10.35595/2414-9179-2022-2-28-666-679.

МАЛЫЕ РЕЧНЫЕ ПЛЮМЫ В ЧЕРНОМ МОРЕ

Осадчиев А.А.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия
osadchiev@ocean.ru*

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

Малые речные плюмы – это плюмы, сформированные реками с небольшими среднегодовыми объемами стока и оказывающими региональное влияние на прибрежные процессы. Малые речные плюмы не формируют стабильные в синоптическом временном масштабе зоны опреснения в прибрежной зоне моря в среднеклиматических условиях (т.е. вне периодов возможных краткосрочных паводков). В мире насчитывается огромное количество таких речных плюмов, через них проходит значительная доля глобального переноса пресной воды, взвешенных и растворенных веществ с суши в Мировой океан, чем обуславливается актуальность их исследования. В этой работе приводится обобщение многолетних исследований малых речных плюмов, формируемых реками северо-восточного побережья Черного моря в прибрежных зонах России и Абхазии, которые изучались в рамках ежегодных экспедиций ИО РАН с 2010 по 2022 годы.

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

частности, был изучен и описан отклик малых речных плюмов на ветровое воздействие и изменчивость речного расхода, взаимодействие между близко расположенными малыми речными плюмами, взаимодействие речных плюмов и субмезомасштабных вихрей в прибрежной зоне, генерация высокочастотных внутренних волн в малых речных плюмах, формирование бароклинной неустойчивости, приводящее к специфическому механизму перемешиванию на границах малых речных плюмов.

В результате проведенной работы было показано, что по своей структуре и динамике малые речные плюмы очень сильно отличаются от больших по размеру речных плюмов. В малых плюмах эффекты сдвига скорости в приповерхностном слое преобладают над эффектами плавучести, а в больших плюмах – наоборот. Результаты, полученные для малых речных плюмов Черного моря, важны для понимания основных закономерностей формирования, распространения и перемешивания малых речных плюмов в других прибрежных морских акваториях, на долю которых приходится около 25% объема пресной воды и 40% объема терригенной взвеси, поступающего с суши в Мировой океан. Кроме того, полученные результаты имеют практическую значимость для обеспечения мониторинга и прогнозирования распространения антропогенных загрязнений в густонаселенной прибрежной зоне в северо-восточной части Черного моря.

ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОНИКНОВЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН В ПРИДОННЫЙ СЛОЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГЛУБИНЫ МОРЯ И СИЛЫ ВЕТРА

Пака В.Т., Кондрашов А.А., Корж А.О., Крек А.В.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия
kondrashoff1984@yandex.ru*

Ключевые слова: поверхностные волны, придонный слой, придонные течения, инструментальные измерения, инклинометр.

Из наблюдений известно, что на глубокой воде влияние поверхностных волн на большой глубине становится пренебрежимо малым. На мелкой воде влияние в виде индуцированных периодических колебаний скорости придонных течений максимально. Волновые уравнения для этих двух предельных случаев имеют сравнительно простые решения, но в общем случае, когда глубина моря соизмерима с длиной волны, решения волнового уравнения становятся весьма сложными, и получить количественные оценки проникновения волн в придонный слой можно только по результатам

инструментальных измерений [Лонгинов, 1963; Сафьянов, 1978; Айбулатов, 1990; Косьян, Пыхов, 1991].

В прибрежных районах возможность проникновения поверхностных штормовых волн в придонный слой, где они могут взмучивать донные отложения, имеет большое практическое значение для Юго-Восточной Балтики. С одной стороны, взмучивание оказывает влияние на перемещение песчаных наносов и, в том числе, вывод их за пределы прибрежной зоны, делая их безвозвратными. С другой стороны, в Балтийском море находятся впадины, заполненные илами, способные накапливать, в частности, тяжелые металлы и отравляющие вещества. [Пака, 2004; Söderström et al., 2018]. Взмучивание таких илов и их последующий транспорт может влиять на экологическую обстановку в регионе. Исходя из этого определение глубины проникновения волновых возмущений в придонный слой является актуальной задачей. Пределом такого проникновения можно считать глубину, на которой наблюдаются колебания с периодами 5-6 сек, доминирующие по отношению к турбулентным флуктуациям скорости. Значимые для взмучивания илов величины флуктуаций скорости составляют единицы см/сек [Леонтьев, 1961].

Для многих видов стандартных измерителей скорости течения измерения слабых, но быстрых флуктуаций невозможны или из-за недостаточной чувствительности, или из-за необходимости осреднения зашумленных сигналов на минутном и более временном интервале. Свободны от указанных недостатков инклинометрические измерители скорости придонных течений (ИСПТ), сконструированные в АО ИОРАН [Пака и др., 2019]. ИСПТ имеет перфорированную цилиндрическую оболочку, препятствующую срыву вихрей и демпфирующую поперечные колебания, что и позволяет ее использование для измерений слабых быстрых колебаний, наведенных поверхностными волнами, с достаточно высокой частотой 5 Гц. Инструментальная погрешность ИСПТ составляла 1 см/с. Измерения волновых колебаний придонной скорости при различных скоростях ветра выполнялись на разрезе в Юго-Восточная Балтике, пересекающий по нормали подводный береговой склон, на глубинах 20, 30 и 60 м. Измерения продолжались 3 недели в ноябре-декабре 2023г., когда вероятность штормовых ветров была достаточно высокой. Максимальная скорость ветра, определенная по данным реанализа, достигала 13,4м/с. Значительное время был штиль.

Результаты. На глубину 20 м волнение проникает даже в штилевую погоду, что легко объясняется постоянным существованием зыби; среднеквадратическое значение колебаний в выборке 300 с составляет 1-2 см/с. При скорости ветра 1,8 м/с до 30 м волнение не дошло. При скорости 7.0-8.3 м/с на глубине 30 м регистрировались колебания с размахом 6-7 см/с с цуговой структурой, в среднем по 10 волн в цуге и эпизодическими затуханиями до нуля; на глубине 60 м в это же время волнение проявлялось эпизодически с минимальной величиной сигнала, при этом нерегулярных

(турбулентных) флуктуаций, а также вариаций средней скорости отмечено не было. При скоростях ветра ок. 13.0 м/с с запада в разгар шторма, на глубине 60 м наблюдались волновые колебания с размахом 6-7 см/с в зависимости от расположения внутри цугов, при скорости среднего течения ок. 10 см/с, в то время как на глубинах 20 и 30 м в это же время среднеквадратические значения колебаний менялись в более широких пределах, достигая 17 см/с. Иногда колебания скорости ок. 2 см/с наблюдались при затухающем ветре (3.7 м/с, 26.11.23), что можно объяснить зыбью.

Выводы. Проникновение ветровых волн и зыби в придонный слой на глубину 60 м наблюдалось регулярно при умеренных и умеренно сильных ветрах. Ожидается, что при более сильных ветрах волновые колебания скорости будут наблюдаться и на больших глубинах.

Работы выполнены в рамках госзадания ИО РАН (тема FMWE-2024-0025).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лонгинов В.В. Динамика береговой зоны бесприливных морей // Издательство Академии наук СССР. Москва. 1963.
2. Сафьянов Г.А. Береговая зона океана в XX веке. М.: Мысль, 1978. 263 с.
3. Айбулатов Н.А. Динамика твердого вещества в шельфовой зоне. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 271 с.
4. Косьян Р.Д., Пыхов Н.В. Гидрогенные перемещения осадков в береговой зоне моря. М.: Наука. 1991. 280 с.
5. Пака В.Т. Затопленное химическое оружие: состояние проблемы // Российский химический журнал. 2004. Т. XLVIII. № 4. С. 99–109. УДК 623.459:591.571 (261.24)
6. Söderström, M. et al. (2018). Chemical Analysis of Dumped Chemical Warfare Agents During the MODUM Project. In: Beldowski, J., Been, R., Turmus, E. (eds) Towards the Monitoring of Dumped Munitions Threat (MODUM). NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security. Springer, Dordrecht. doi: 10.1007/978-94-024-1153-9_4
7. Леонтьев О.К. Основы геоморфологии морских берегов // Геоморфологии морских берегов. Москва. 1961. 407 с.
8. Пака В.Т., Набатов В.Н., Кондрашов А.О., Корж А.О., Подуфалов А.П., Облеухов С.Д., Голенко М.Н., Щука С.А. Об усовершенствовании инклинометрического измерителя скорости придонных течений // Океанологические исследования. Т. 47. № 2.2019. С. 220-229. doi: 10.29006/1564-2291.JOR-2019.47(2).13

О СООТНОШЕНИИ ДИНАМИКИ БЕРЕГОВ МОРЕЙ, ЗАЛИВОВ И ОЗЕР ЯНО-ИНДИГИРСКОЙ НИЗМЕННОСТИ

Пижанкова Е.И., Гаврилов А.В.

*МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия
rijankova@yandex.ru*

Ключевые слова: побережье, динамика берегов, термокарстовые озера, едома, дистанционные данные.

Исследована динамика восточного берега моря Лаптевых и южного берега пролива Дмитрия Лаптева, а также особенности распространения, количества, площадей и динамики берегов термокарстовых озер севера Яно-Индигорской низменности на основе использования разновременных дистанционных данных (аэро- и космических снимков), а также топографических и геологических карт и цифровой модели рельефа. Эти характеристики обусловлены принадлежностью к различным морфоструктурам территории и определяются геолого-геоморфологическим строением и гидрографическими параметрами. Характер развития термокарста по верхнелепестовому ледовому комплексу – затухающего или прогрессивного - обусловлен приуроченностью к положительным (поднимающимся) или отрицательным (опускающимся) морфоструктурам, что обуславливает распространение и площадь аласов, а также различие скоростей отступления берегов или спуска озер гидросетью.

По данным ближайшей метеостанции Чокурдах установлен значительный рост среднегодовой температуры воздуха, превысивший в XXI веке температуру в XX в. на 2°C (с -14,1°C до -12,1°C) и незначительное уменьшение среднегодовой суммы осадков (на 25 мм с 217 до 192 мм). Сравнение скоростей отступления морских берегов в XX и XXI веках показало значительное увеличение скоростей в XXI в. За период 1951-2000 гг. средние скорости отступления морских берегов менялись от 1,2 до 4,5 м/год. С 2001 по 2023 гг. они возросли до 1,7 – 6,2 м/год.

На основе использования КС Landsat, АФС и топоосновы на изучаемую территорию составлена карта-схема останцов ледового комплекса. При выделении морфоструктур учитывались: общий характер поверхности и соотношение останцов ледового комплекса (едом) и аласов, характер и площадь водоразделов, склонов, аласов, озер, уклон и коэффициент извилистости водотоков, а также характер побережья. Для отнесения той или иной территории к положительной или отрицательной морфоструктуре основным показателем являлось процентное соотношение между аласами и едомами.

Активными поднимающимися структурами являются горстово-купольные морфоструктуры на магматических породах с вовлеченной в поднятие прилегающей едомной равниной, а также аккумулятивные равнины, сложенные ледовым комплексом, но слабо измененные термокарстом. Озера, приуроченные к последней морфоструктуре, по количеству и площади очень невелики и скорости отступления берегов озер за 73 года (1951-2023 гг.) не превысили нескольких см/год.

Отрицательные морфоструктуры плейстоцена и голоцена представлены двумя основными типами: морфоструктурами с явно выраженной тенденцией к современному опусканию и позднеоплейстоценовыми отрицательными морфоструктурами, унаследовано развивавшимися в голоцене. Морфологически оба типа выражены аласными равнинами. Но первый из этих типов отличается существенно меньшим количеством останцов ЛК и выраженными гидрографическими признаками современного опускания.

Значительные площади занимают также стабильные морфоструктуры, характеризующиеся преобладанием аласных равнин и значительными отметками уреза воды в реках и озерах (5-13 м).

Подтверждением принадлежности озер к той или иной морфоструктуре является также характер (количественная характеристика) динамики берегов, особенно ярко проявившийся для положительных и отрицательных морфоструктур. Скорости отступления для положительных морфоструктур не превышают нескольких см/год, а для отрицательных достигают 1-1,5 м/год (измерения проводились для озер площадью более 10 га (0,1 км²). Примерно такие же скорости характерны для кутовой части Омляжской губы.

Как показал опыт исследования разносезонных КС (в пределах одного года съемки), площадь достаточно глубоких озер практически не меняется за исключением некоторых мелководных и прибрежных участков (например, оз. Бустах). А если глубина озера в целом невелика, то в конце летнего сезона (середина августа) наблюдается изменение конфигурации озера (например, оз. Солунтах) в сторону уменьшения площади водной поверхности за счет обнажения новообразованных мерзлых пород, фиксирующихся по буграм пучения и полигональному микрорельефу в прибрежной зоне. Эти криогенные явления дешифрируются с использованием детальных КС.

Таким образом, проведенные исследования показали, что озерам, расположенным в положительных морфоструктурах, свойственна относительная стабильность; в отрицательных – изменчивость с преобладанием процесса увеличения площади озер, а также спуск озер вследствие развития гидросети. Динамика берегов морей с учетом принадлежности к той или иной морфоструктуре показала их увеличение в XXI в.

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БПЛА ДЛЯ МОНИТОРИНГА АБРАЗИОННЫХ БЕРЕГОВ ОЗЕРА БАЙКАЛ

Рыбченко А.А., Юрьев А.А., Кадетова А.В.

*Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия
rybchenk@crust.irk.ru*

Ключевые слова: БПЛА, мониторинг, абразия.

Использование аэрофотосъёмки с целью мониторинга экзогенных геологических процессов (ЭГП) существенно возросло в последние годы. Причина этого связана с появлением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Доступная стоимость БПЛА, простота в управлении, программный софт для обработки материалов аэрофотосъёмки сделали их удобным инструментом для мониторинга ЭГП. В ряде зарубежных и отечественных работ описано применение БПЛА для мониторинга ЭГП в пределах береговых зон водоёмов - морей [Крыленко, Крыленко, 2020], водохранилищ [Ивлева и др., 2021] и рек [Ильясов, Колесников, 2022]. Использование БПЛА показало свою эффективность при получении данных динамики берегов.

В нашей работе представлен опыт использования БПЛА при ведении мониторинга на озере Байкал, на берегах абразионного типа. До использования БПЛА мониторинг абразионных берегов осуществлялся на основе реперной сети и замеров рулеткой, проведения тахеометрической съёмки с применением оптического теодолита, а затем электронного тахеометра.

Протяжённость берегов абразионного типа на озере Байкал составляет около 906 км или 44% от общей протяжённости берегов [Козырева и др., 2020]. Для мониторинга динамики абразионных процессов были выбраны участки берега в южной и средней частях оз. Байкал с формированием активного абразионного уступа. На выбранных участках были организованы полигоны мониторинга, установлена реперная сеть и с 2011 года осуществлялся ежегодный инструментальный мониторинг (тахеометрическая съёмка). В процессе тахеометрической съёмки отмечалось положение бровки абразионного уступа, а также, по возможности, подножия абразионного уступа и уреза. С 2018 года при проведении мониторинга стали использовать маловысотную аэрофотосъёмку с использованием БПЛА – DJI Inspire 1pro, DJI Phantom 4PRO RTK и Autel Robotics Lite+. На полигонах мониторинга проводится ежегодная аэрофотосъёмка, которая по типу относится к маловысотной плановой и перспективной аэрофотосъёмке, по результатам которой строятся трехмерные модели абразионного уступа, карты высот и ортофотопланы. Высота съёмки 30–50 м зависит от заселённости и рельефа полигона. В зависимости от программного оснащения БПЛА используется автоматический или ручной режим съёмки. Продольное и поперечное

перекрытие снимков при съёмке составляет около 70 %. Обработка материалов аэрофотосъёмки происходит в ПО Agisoft Metashape. Для получения данных пространственно-временного положения бровки и подножия абразионного уступа и других микроформ рельефа проводится дешифрирование ортофотопланов в ГИС-программах, таких как MapInfo и ArcGIS. По результатам дешифрирования проводится векторизация элементов рельефа береговой зоны – абразионный уступ, вторичный абразионный уступ и подножие абразионного уступа, строятся планы, отражающие их пространственное положение. Для получения данных динамики абразионного процесса проводится сравнение разновременных планов, показывающее динамику наблюдаемых элементов рельефа за исследуемый период.

Опыт использования БПЛА для мониторинга береговой зоны позволил оценить плюсы и минусы аэрофотосъёмки по сравнению с тахеометрической съёмкой. К плюсам следует отнести скорость проведения работ в полевых условиях. Очевидно, что проведение тахеометрической съёмки требует гораздо большего времени. Кроме того, отмечается большая информативность данных по сравнению с тахеометрической съёмкой за счет возможности визуального контроля развития процессов. По данным аэрофотосъёмки мы можем видеть за счет каких вторичных процессов (оползни, эрозия, осыпи) происходит смещение абразионного уступа. Использование аэрофотосъёмки позволяет вести наблюдения на участках недоступных для проведения тахеометрической съёмки – крутые и высокие уступы, на которых невозможно пройти с геодезической рейкой или вешкой. К минусам аэрофотосъёмки следует отнести невозможность использования на залесенных участках, где сложно провести дешифрирование элементов рельефа абразионного типа берега по причине плохой видимости дешифровочных признаков. Также, к минусам можно отнести более трудозатратную камеральную обработку полевых материалов – обработка аэрофотоснимков, дешифрирования занимают гораздо больше времени, чем обработка данных тахеометрической съёмки. Большой объём конечного материала – данные аэрофотосъёмки, трехмерные модели, ортофотоплан, карта высот с одного полигона занимают десятки гигабайт памяти, что приводит к проблеме сохранения этих данных. Тем не менее, несмотря на некоторые отрицательные моменты, использование БПЛА является эффективным инструментом для проведения мониторинга.

УВЕЛИЧЕНИЕ ОСНОВНОГО ПЕРИОДА ВОЛН В БЕРЕГОВОЙ ЗОНЕ МОРЯ

Сапрыкина Я.В., Кузнецов С.Ю.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия
saprykina@ocean.ru*

Ключевые слова: береговая зона, период волн, спектр волнения.

Ветровые волны, распространяющиеся в прибрежной зоне, подвержены различным изменениям, связанным, в первую очередь, с влиянием нелинейных и диссипативных процессов. Трансформация волн приводит к изменению формы волнового спектра и к изменению параметров волн, в частности их симметрии, что влияет на направление переноса осадков в береговой зоне. Нелинейная трансформация волн сопровождается генерацией высших и низших волновых гармоник, отражающихся в спектре волн в виде дополнительных частотных пиков, помимо частоты максимума спектра, определяющего основной период нерегулярного волнения. В результате нелинейных взаимодействий энергия может также передаваться от высших и низших гармоник обратно частоте максимума спектра. Иногда при эволюции спектра в береговой зоне наблюдается смещение частоты спектрального пика частота в низкочастотную область, так называемый “frequency downshifting”. Подробный механизм этого процесса и условия возникновения для волн на мелкой глубине воды до сих пор неизвестны. В большинстве исследований предполагается, что это результат диссипации энергии высокочастотной части спектра при обрушении волн. Основная цель работы – по данным натурных наблюдений и лабораторного эксперимента выявить случаи увеличения основного периода волнения (смещение спектрального максимума в низкочастотную область) и выяснить основные физические механизмы, приводящие к таким изменениям.

Лабораторный эксперимент проводился в лотке Тайнаньской гидравлической лаборатории (Тайнань, Тайвань). Длина - 200 м, ширина - 2 м и глубина - 2 м. Во время эксперимента был установлен 21 волнограф емкостного типа для синхронных измерений волн с частотой дискретизации 50 Гц. Изучена трансформация изначально бихроматических и монохроматических волн. Натурные эксперименты проводились в п. Шкорпиловцы вблизи г. Варна (Болгария, Черное море) в разные годы. Для измерения использовались от 15 до 20 волнографов, установленных вдоль специализированной эстакады, а также три буя Spoondrift Spotter.

Проведенные исследования показали, что в натурных и лабораторных экспериментах наблюдается каскадное увеличение периода (frequency downshifting), происходящее с дискретным шагом. Это хорошо видно по

изменениям волновых спектров в пространстве по направлению к берегу. Количество наблюдаемых каскадов зависит от параметров волн на входе в береговую зону.

Методом биспектрального анализа было выявлено, что увеличение периода (низкочастотный сдвиг частоты пика спектра) происходит за счет нелинейных процессов и разностных трех волновых взаимодействий между:

а) основными частотами волнового спектра и инфрагравитационными частотами, обусловленными естественной шириной спектра и групповой структурой волн; и

б) частотами вторых гармоник и новым формирующимся низкочастотным пиком в окрестности частоты основного пика спектра.

Впервые продемонстрирован вклад частот второй гармоники в процесс увеличения периода волн.

Показано, что “frequency downshifting” происходит независимо от диссипативных процессов трансформации волн, связанных, например, с их обрушением. Обсуждается зависимость скорости увеличения периода волн от начальных параметров волн и от геоморфологических условий их нелинейной трансформации в береговой зоне.

Установленную неоднородность поля волн вследствие быстрого дискретного увеличения основного периода волнения важно учитывать в инженерной практике при расчетах по различным эмпирическим формулам, включающим период волнения.

Работа выполнена при поддержке РФФ, проект № 24-27-00082.

МОРФОЛИТОДИНАМИКА БЕРЕГОВ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА (КАМЧАТКА, КУРИЛЬСКИЕ ОСТРОВА)

Хомчановский А.Л.

*ИВиС ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский, Россия
khomscience@mail.ru*

Ключевые слова: Камчатка, Курильские острова, профиль динамического равновесия, косейсмические деформации.

Берега Дальнего Востока чрезвычайно разнообразны. В данной работе речь пойдет преимущественно об аккумулятивных берегах тихоокеанской части Камчатки и Курильских островов, где в последние годы проводились геоморфологические и палеосейсмологические исследования, основная цель которых была изучение гидро-, морфо- и литодинамики океанического побережья в пределах Курило-Камчатской зоны субдукции, влияние

землетрясений на строение аккумулятивных террас, моделирование процессов в пределах береговой зоны и прогноз ее дальнейшего развития. Не секрет, что изменение уровня океана влияет на рельефообразование, особенности транспорта осадков и их накопление. В классическом представлении изменение уровня рассматривается в основном с точки зрения климатических факторов (непосредственный подъем уровня Мирового океана, например, за счет таяния ледников), либо медленных тектонических движений. Однако на континентальных окраинах и в пределах островодужных систем после сильных землетрясений могут происходить резкие косейсмические деформации, что вызывает опускание или поднятие берега иногда на несколько метров. Помимо моментальных катастрофических последствий от затопления, цунами, схода оползней, происходит перестройка профиля равновесия, что может вызвать дальнейший размыв берега на многие годы вперед после самого события. Комплексные береговые исследования (геоморфологические, литологические, палеосейсмологические, математическое моделирование) позволяют всесторонне изучить природные процессы и спрогнозировать развитие берега в данных условиях.

Береговые исследования проходили на аккумулятивных берегах Камчатки и о. Итуруп (Курильские острова). Район исследования на Камчатке включает в себя часть побережья Авачинского залива протяженностью примерно 75 км от мыса Маячного до Шипунского полуострова. Участок условно делится на 2 зоны: северную и южную с границей мыс Налычево. Большая часть берега представлена морским аккумулятивными террасами с серией береговых валов (от 5 до 25) и сложена базальтовыми песками. Ширина аккумулятивных террас колеблется от 500 до 2000 м. Возраст самых древних валов около 4000 лет. На аккумулятивных террасах Авачинского залива наблюдается тенденция уменьшения высоты береговых валов с удалением от берега. Это, как правило, свидетельствует об относительных изменениях уровня моря, в данном случае связанных с сейсмическим процессом в зоне субдукции. На берегу Авачинского залива выявлено три крупных палеосейсмических события, сопровождавшихся косейсмическими опусканиями, и запечатленными в строении морских аккумулятивных террас в виде погребенных уступов размыва. Амплитуда опускания некоторых событий доходила до 2 м. На о. Итуруп исследования проходили в районе заливов Доброе Начало и Курильский. Палеосейсмологические исследования в районе оз. Доброго позволили установить, что средняя повторяемость землетрясений, вызывающих косейсмические опускания острова составила около 330 лет. Общее опускание территории составило около 2 м в тысячу лет (0.6-0.7 м за одно косейсмическое опускание). Ширина аккумулятивной голоценовой террасы в районе Курильского залива составляет всего около 100 м. В четырех вскрытых шурфах были найдены следы косейсмического опускания, по-видимому, одного и того же события. Возраст молодых валов составил 280 лет. Все возраста при вышеописанных палеосейсмологических исследованиях

определялись методом тефрохронологии и тефростратиграфии. Данные результаты позволяют судить о скорости проградации и размыва аккумулятивных террас. Далее методом математического моделирования на тех же участках были рассчитаны величины отступления берега в моменты резкого подъема относительного уровня моря, связанного с косейсмическими опусканиями побережья. Для Камчатки отступление берега за одно событие составило от 50 до 250 м (в зависимости от амплитуды опускания). Отступление берега на о. Итуруп за одно событие составило от 30 до 70 м. На всех исследуемых участках рассчитывался профиль динамического равновесия по модели Дина. На данный момент все участки находятся в аккумулятивной стадии развития. При помощи программы SBEACH для некоторых участков промоделирован сценарий штормов разной силы и повторяемости. По результатам моделирования сделан вывод о том, что основные изменения берега происходят при сильных штормах редкой повторяемости (высота волны 5-10 м) и при повышении относительного уровня моря. Хорошо прослеживается тенденция движения штормовых валов вверх по склону в сторону суши при повышении уровня моря в соответствии с правилом Брууна-Зенковича и его модернизацией для аккумулятивных форм – моделью Дина-Маурмайера. Также заметно, что при некоторых штормах происходит, не размыв а, наоборот, выдвигание береговой линии. В целом сделан вывод, что палеосейсмологические исследования, в общем, подтверждают результаты математического моделирования. При совместном использовании этих двух методов можно довольно точно установить историю развития берега и спрогнозировать его поведение как в обычном состоянии, так и при условии резких изменений уровня моря, например, при косейсмическом опускании побережья.

О ПРИМЕНИМОСТИ НЕСПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ИНЕРЦИАЛЬНЫХ ДАТЧИКОВ В ВОЛНОГРАФИЧЕСКИХ БУЯХ

Юровский Ю.Ю., Кудинов О.Б.

*ФГБУН ФИЦ Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь,
Россия
yuyurovsky@gmail.com*

Ключевые слова: волнографический буй, поверхностные волны.

Развитие микроэлектромеханических систем (МЭМС) привело к созданию дешевых и эффективных инерциальных датчиков, нашедших самое широкое применение в беспилотной навигации, робототехнике, индустрии развлечений. Имея габариты в несколько кубических миллиметров, такие МЭМС-датчики позволяют измерять с частотой десятки Гц вектор собственного ускорения (силы тяжести), угловой скорости вращения, а также магнитного поля в области расположения датчика. Различные программные и аппаратные способы обработки этих измерений позволяют восстановить текущие характеристики движения платформы, на которой закреплен датчик: например, положение, скорость, ускорение, ориентацию в географических координатах. Именно такие измерения требуются для построения волнографических буйёв, которые за более чем полувековую историю своего существования строились, как правило, на основе механически стабилизированных платформ, имеющих внушительный вес и, соответственно, стоимость. Конечно же, использование на порядки менее массивных, более компактных и более дешёвых МЭМС-датчиков для создания буйковых измерителей поверхностного волнения представляется перспективным и заманчивым.

Соответствующая тенденция к внедрению МЭМС-датчиков в волнографические буи наблюдается в мировой индустрии уже несколько лет. Формально, задача определения ориентации и перемещений датчика в географических координатах легко и однозначно решается в случае измерения двух неколлинеарных векторов. В качестве таких опорных, постоянных векторов обычно служат вектор силы тяжести и вектор геомагнитного поля, измеряемые, соответственно, акселерометром и магнитометром (т.н. TRIAD-метод). В случае ускоренного движения датчика к измерениям акселерометра добавляется ускорение, вызываемое силами инерции, что делает решение задачи неоднозначным. Привлечение измерений угловой скорости датчика (т.н. гироскопические измерения) позволяет избежать неоднозначности, но требует постановки начальных условий. В случае реальных измерений, всегда подверженных шуму, нарастающие ошибки становятся неприемлемыми уже через несколько минут в зависимости от уровня шумов МЭМС-датчика.

Типичным предлагаемым решением является применение специализированного инерциального датчика, который по сути представляет собой обычный МЭМС-акселерометр-гироскоп-магнетометр, измерения которого аппаратно усваиваются рекурсивным фильтром (фильтром Калмана), что позволяет непрерывно калибровать текущие измерения с учётом ожидаемых ошибок. Такой подход является оправданным в задачах навигации, когда в целом равномерное прямолинейное движение датчика прерывается периодами ускоренного движения, во время которого требуется корректировка с использованием фильтра Калмана. Однако, в случае волнографических измерений инерциальный датчик непрерывно подвержен инерциальным силам, связанным с волновым (орбитальным) движением жидких частиц. Этот факт ставит под сомнение эффективность применения сложных рекурсивных систем фильтрации в задаче измерения поверхностных волн с помощью буёв.

В данной работе выполнено численное моделирование процесса измерения спектра поверхностного волнения датчиком, расположенном на бую в точности повторяющем волновые движения (т.е. в идеальном случае отсутствия качки). Показано, что результаты измерений, полученные с помощью обычного TRIAD-метода, не уступают по качеству результатам, полученным с использованием фильтра Калмана. В последнем случае в восстановленных параметрах движения присутствуют низкочастотные пульсации, связанные с непрерывной подстройкой фильтра. Основной причиной ошибок такого рода измерений следует признать низкочастотный шум, связанный нелинейным характером "отслеживания" морской поверхности плавучим корпусом измерителя. Этот шум на несколько порядков выше статического шума самых простых инерциальных датчиков, доступных на рынке. Специально проведенные в данной работе лабораторные эксперименты подтверждают эти выводы. Таким образом, для измерения волн представляется целесообразным использование самых обычных инерциальных датчиков, без рекурсивных фильтров. В этом случае можно добиться существенно более низкой стоимости прибора и, следовательно, возможности развертывания антенной решетки приборов для специализированных экспериментов по изучению волновой динамики морской поверхности, что особенно актуально в прибрежных условиях. Представленные результаты апробированы на данных, полученных в натурном эксперименте с помощью экспериментального образца миниатюрного волнографического буя, построенного по предложенной схеме.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда 24-27-00153.

СЕКЦИЯ 2
«ГЕОМОРФОЛОГИЯ И ПАЛЕОГЕОГРАФИЯ МОРСКИХ
ПОБЕРЕЖИЙ»

ИЗМЕНЕНИЕ БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ КАСПИЙСКОГО МОРЯ И
ЗАЛИВА КАРА-БОГАЗ-ГОЛ С УЧЕТОМ КЛИМАТИЧЕСКИХ
ИЗМЕНЕНИЙ

Алейников А.А., Богданович А.Ю., Липка О.Н.

*Институт глобального климата и экологии им. академика Ю. А. Израэля,
г. Москва, Россия
alexaaeynikov@gmail.com*

Ключевые слова: дистанционное зондирование, изменение климата, Каспийское море, изменение площади.

По данным дистанционного зондирования была исследована береговая линия Каспийского моря за последние 50 лет. Использовались снимки низкого пространственного разрешения – MODIS (Terra/Aqua) с 2000 г. (в полуавтоматическом режиме с использованием индекса NDWI), среднего пространственного разрешения – семейство спутников Landsat, начиная с 1972 г. Для дешифрирования береговой линии мелководных заливов – снимки Landsat, а начиная с 2016 г. данные более высокого пространственного разрешения – Sentinel-2A/B (методом спектральной классификации с использованием инфракрасных спектральных каналов). Для оценки изменений климата за тот же период использованы данные реанализа Climate Research Unit по температуре и осадкам.

В итоге была получены серия карт водной поверхности мелководной части Каспийского моря севернее 45°с.ш. и залива Кара-Богаз-Гол с интервалом 1-5 лет, начиная с 1972 гг. Исторически минимальный уровень Каспийского моря был зафиксирован в 1977 г.: -29 м ниже уровня Мирового океана (Лебедев, 2014). По результатам расчётов изменения площадей Каспийского моря и залива Кара-Богаз-Гол, падение уровня Каспийского моря подтверждалось до конца 70-годов. Начиная с 1980 г. уровень Каспия и площадь мелководной зоны резко повышалась. С 1995 г. увеличение площади водной поверхности замедлилось, а с начала 2000-х и по сегодняшний день уровень моря снижается, а соответственно, его площадь – уменьшается. При этом, последние 4 года темпы сокращения водной поверхности ускорились: в 2000-2010 гг. площадь северо-восточной части Каспия сокращалась со скоростью 277 км² в год, в 2011-2020 гг. – 442 км² в год, в последние три года (2021-2023) средняя скорость сокращения площади увеличилась до 1485 км² в

год. В 2023 г. рекордно низкий уровень вновь почти достигнут: -28,5 м (КАСПКОМ, 2023). По результатам дешифрирования в 2023 г. площадь Каспийского моря севернее 45° с.ш. неотличима по абсолютным значениям от 1977 г. и составляет 52 828 км².

В конце 1970-х гг. площадь залива Кара-Богаз-Гол составляла 9166 га. В 1980 г. залив был отделен от моря плотиной, вследствие чего сток морских вод в него прекратился. На снимке МЕТЕОР 1984 г. видно полностью обнаженное дно залива. После разрушения дамбы уровень воды в заливе быстро восстановился, а в 1995-2000 гг. его площадь в 2 раза превысила значения 1972-1977 гг. С 2005 г. по настоящее время прослеживается новое падение уровня и увеличение скорости сокращения площади залива: 2005-2010 гг. – 22 га/год, 2010-2019 гг. – 68 га/год, в 2019-2022 гг. – 258 га/год при общей площади – 16 904 га (2022 г.).

Современное понижение уровня моря хорошо согласуется с климатическими данными. Общая наблюдаемая тенденция – повышение температуры во все сезоны с 1970-х гг. Температура поверхности моря при этом повысилась на 3-4°C (IPCC, 2021). В среднем в открытом море выпадает около 200 мм осадков в год, 300-400 мм – на западном, до 1700 мм – в юго-западной части моря и всего 100 мм – на восточном побережье. Тенденции осадков различны во времени и пространстве: увеличение годового количества на севере и западе и уменьшение или отсутствие изменения на востоке и юге. Периоды засухи стали более частыми и продолжительными. Испарение с поверхности моря в среднем за год в 5 раз превышает поступающие осадки (Кислов, 2011).

Изменения уровня Каспийского моря зависят не только от местных климатических условий, но и от стока реки Волги, который, в свою очередь, регулируется системой водохранилищ. Многолетние изменения расходов в низовьях Волги за 1914-2017 гг. подтверждают значительные отличия современного режима стока от естественного (Кузьмина и др., 2018). По данным Росгидромета, в последние десятилетия сток реки Волги снижается, несмотря на рост осадков (КАСПКОМ, 2023). При реализации сценария глобального потепления на 1.5 и 2°C в XXI в. относительно доиндустриальных значений тенденция продолжится (Калугин, 2023). Дальнейшее снижение уровня Каспийского моря может привести к многочисленным негативным последствиям для местных сообществ, включая пыльные бури, как на высохшем дне Аральского моря (IPCC, 2021).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. КАСПКОМ. Генеральный каталог уровня Каспийского моря. <http://www.caspc.com/index.php?razd=sess&lang=1&sess=17&podsess=61>

2. Калугин А. С. Сток рек Европейской части России при глобальном потеплении на 1.5 и 2 градуса // *Vodnye resursy*. – 2023. – Т. 50. – №. 4. – С. 451-464.
3. Кислов А. В. О многомасштабности колебаний уровня Каспийского моря // *Вестник Московского университета. Серия 5. География*. – 2011. – №. 2. – С. 49-54.
4. Кузьмина Ж. В., Трешкин С. Е., Шинкаренко С. С. Влияние зарегулирования речного стока и изменений климата на динамику наземных экосистем Нижней Волги // *Аридные экосистемы*. – 2018. – Т. 24. – №. 4 (77). – С. 3-18.
5. Лебедев С. А. Спутниковая альтиметрия Каспийского моря: дис. докт. физ.-мат. наук. Ин-т физики атмосферы им. А. М. Обухова РАН, 2014. – 350 с.
6. IPCC, 2021. IPCC Working Group I (WGI): Sixth Assessment Report. Interactive Atlas. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>

ТРЕНДОВЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ЭВОЛЮЦИИ БЕРЕГОВЫХ ГЕОСИСТЕМ ХОЛОДНЫХ МОРЕЙ В СРЕДНЕМ - ПОЗДНЕМ ГОЛОЦЕНЕ, ПОТЕНЦИАЛ УСТОЙЧИВОСТИ И ВОЗМОЖНОСТИ АДАПТАЦИИ В УСЛОВИЯХ БЫСТРЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ И ТЕХНОГЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ

Афанасьев В.В.^{1,2}

*¹Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск,
Россия*

*²Сахалинский государственный университет, г. Южно-Сахалинск, Россия
vvasand@mail.ru*

Ключевые слова: адаптация, воздействие изменения климата на прибрежные районы, техногенная нагрузка на побережье, природное решение.

Рассмотрены морфолитодинамические особенности и тенденции развития береговой зоны, техногенная нагрузка, локация и геопространственные параметры опасных, уязвимых берегов о. Сахалин, которые должны стать основой повышения как социально-экономической, так и естественно-природной устойчивости побережий в условиях быстрых природно-техногенных изменений.

Показаны особенности реакции берегов, сложенных легко размываемыми породами и скалистых берегов на эти изменения, определены основные пространственно-временные параметры морфолитодинамических

изменений. Разработана теория морфолитодинамики «холодных» берегов. Определены особенности разрушения берегов при запасах пляжевого материала в береговой зоне, которых с избытком хватает на формирование полностью волногасящего пляжа при экстремально сильном волнении и высоких приливно-нагонных уровнях. Проведены первые природно подобные натурные эксперименты по защите берегов с использованием механизмов формирования мегафестонной структуры распределения параметров пляжа. Обращено внимание на эмиссию климатически активных газов при разрушении биоморфолитосистем побережья. Представлены количественные данные по наиболее представительному в этом отношении побережью Амурского лимана.

Тенденции современного берегового морфолитогенеза на региональном и глобальном уровне связываются, главным образом, с изменениями климата и уровня моря. Наиболее распространенной точкой зрения является то, что основным результатом подъема уровня моря является размыв аккумулятивных песчаных побережий и отступление суши. Однако всё далеко не так однозначно. При усилении размыва берегов продолжается накопление наносов и увеличение площади в областях унаследованной аккумуляции. Бары и косы, не теряющие связи с областями питания, не деградируют, а лишь перестраиваются и даже увеличивают свою площадь, как в условиях субарктики, так и в условиях арктического побережья. Скорости абразионно-денудационного разрушения скалистых берегов субарктических морей при потеплении климата должны возрасти и наоборот в холодных регионах умеренного климата уменьшиться. Т.к. в первом случае среднегодовое количество циклов промерзания и оттаивания при отрицательных температурах воздуха в период открытого моря увеличится, а во втором уменьшится.

Таким образом, являясь сложными адаптивными системами, береговые зоны в зависимости от эволюционных трендов и в соответствии с морфолитодинамическими законами по-разному реагируют на быстро меняющиеся природно-климатические условия и внешнее социально-экономическое давление, либо полностью перестраиваясь, либо сохраняя фактические или потенциальные функции. Во втором случае речь идет о способности побережья к самоорганизации и устойчивому реагированию на внешние факторы. Устойчивость, как показывает практика, не может обеспечиваться жестким сопротивлением природно-техногенным изменениям и высоко затратным сохранением существующих береговых систем. Основой устойчивого реагирования на вероятные будущие изменения являются решения в русле использования потенциала эволюционно-адаптивных свойств природно-экономических береговых систем. Научно обоснованный подход к зонированию побережий и планированию берегопользования в соответствующем пространственно-временном масштабе, с учетом

эволюционных и адаптационных свойств береговых зон - основа повышения как социально-экономической, так и естественно-природной их устойчивости.

ПОЧВООБРАЗОВАНИЕ И ПОЧВЕННЫЙ ПОКРОВ ПОБЕРЕЖЬЯ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИИ

**Губин С.В.¹, Лупачёв А.В.¹, Шамрикова Е.В.², Денева С.В.²,
Кубик О.С.²**

*¹Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения, ФИЦ
ПНЦБИ РАН, г. Пушкино, Московская обл., Россия*

*²Институт биологии, ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, Россия
gubin.stas@mail.ru*

Ключевые слова: Арктика, криолитозона, деятельный слой, талассосоли, маритимные почвы.

Протяженность берегов Российской Арктики более 24 тысяч километров. Формирующиеся здесь почвы, выполняющие важную хозяйственную и экологическую роль, практически не изучены. Резкая активизация промышленного использования береговой зоны, шельфа, возрастающая транспортная роль Северного морского пути, милитаризация региона, возможность экологических катастроф требуют неотложного изучения свойств формирующихся здесь почв, их распространения, разработки подходов к защите и ремедиации. Уникальные комбинации факторов почвообразования (седиментогенез, криогенез, засоление, глееобразование, сульфатредукция, гравитационный массообмен, орнитогенез, и др.) в сочетании с разнообразием геологического, криолитологического и геоморфологического строения берегов, активности приливных и сгонно-нагонных явлений, волновой, ледовой и термоабразии в условиях сурового климата на разных типах берегов определяют формирование широкого спектра почв.

На основании изучения почв берегов восточного сектора Арктики, обобщения имеющегося материала по почвам других ее секторов, были разработаны предложения по включению почв ее береговой зоны в Классификацию и диагностику почв России.

Наиболее широко распространенные в Арктике морские берега аккумулятивного типа, подверженные затоплению приливными или нагонно-сгонными морскими водами заняты маршами с группой формирующихся здесь маршевых почв - талассосолей. Почвы незатопляемых прибрежных территорий, испытывающие воздействие моря в виде импульверизации солей,

аэрального заноса с зон осушек органоминерального материала, подпитки профилей почвенно-грунтовыми засоленными водами объединены в группу маритимных почв. В пределах маршей выделяются ватты – прибрежные участки, часто затопляемые даже при невысоких приливах или нагонах морских вод, лишенных растительности или покрытых отдельными пятнами галофитов с формирующимися здесь слаборазвитыми маршевыми почвами. Среди почв ваттов выделяются почвы, частично или полностью состоящие из аллохтонного органического материала – детрита, перегнойной массы водорослей. На изредка затопляемых территориях, маршах, с удалением от моря под солончаковатые или травянистые луга участим галофитов формируются засоленные маршевые почвы, за ними следует зона осоковых незасоленных маршей с доминированием торфяных или дерновых почв. В отдельных районах марши могут распространяться в глубь суши на десятки километров. Маритимные почвы представлены зональными почвами с наложением свойств и признаков, определяемых близким нахождением моря.

В талассосолях интенсивность и характер синлитогенного почвообразования определяется течением современных седиментационных процессов, приводящих к постоянному омолаживанию накапливающегося субстрата, погребению ранее сформированных слоев и горизонтов, изменениями мощности деятельного слоя. Заметное влияние на состав талассосолей оказывают поступление свежего материала морских организмов - водорослей, бентоса, рыбы, фитопланктона, а также орнитогенный фактор. Разложение аллохтонного органического вещества как экзотермическая реакция способствует повышению температуры в верхних горизонтах почв, усилению активности деятельности здесь микроорганизмов и почвенной фауны.

Важную роль в распределении элементов и соединений в профилях талассосолей оказывают криогенные процессы, интенсивность которых определяется температурным фактором, влажностью, гранулометрическим составом, присутствием органического материала в составе почвенной массы и организацией профилей. Это влияет на скорость промерзания-протаивания профилей, длительность пребывания различных горизонтов в талом состоянии, объемах и формах выделяющегося в них льда, степени обводненности. Все это влияет на вызванное вымораживанием влаги при промерзании и образованием льда распределение в почвах солей, отжатие засоленных внутрпочвенных вод в нижнюю часть надмерзлотного горизонта и нахождение здесь материала в талом состоянии при отрицательных температурах (-1 - -2°C). При нахождении границы сезонного оттаивания в маршевых почвах в пределах $0.5-1$ м в верхних частях их профилей фиксируются признаки мерзлотных криотурбаций, ведущих к нарушению послонного строения. Близкое нахождение к поверхности границы многолетней мерзлоты, постепенное протаивание почв в условиях высокого увлажнения и переувлажнения профилей выступают в качестве

геохимического «барьера и стартера», влияя на состав и распределение в них органических соединений, подвижных форм элементов и т.д. Разнонаправленная миграция веществ вызывает как надмерзлотную аккумуляцию элементов (прежде всего Al, Fe и Mn), так и их криогенное подтягивание.

В связи с важностью почв арктических побережий с экологических и хозяйственных позиций должны быть организованы их системные исследования, как в генетических, так и почвенно-классификационных аспектах. К приоритетным направлениям следует отнести регулярный мониторинг накопления в почвах побережий токсикантов и микропластика.

ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ДНА ОБСКОЙ ГУБЫ КАРСКОГО МОРЯ

Ермолов А.А., Кажукало Г.А., Огородов С.А.

*МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия
ermolov@geogr.msu.ru*

Ключевые слова: Обская губа, рельеф дна, геоморфологическая карта.

Обская губа представляет собой мелководный залив Карского моря, вдающийся в сушу более чем на 800 км. Наибольшая ширина губы достигает 95 км, наименьшая – между мысами Каменный и Парусный – 35 км. В течение 9 месяцев в году акватория Обской губы покрыта льдом. Направление и интенсивность постоянных, приливных, ветровых и иных течений в значительной степени обусловлены влиянием стока рек Оби и Таза и, как и колебания уровня моря, характеризуются ярко выраженной сезонной изменчивостью. Влияние приливов наиболее заметно в северной части губы, с учетом сгонно-нагонных явлений амплитуда колебаний уровня на отдельных участках может достигать 3,0 м.

Целью работы являлось создание региональной характеристики геоморфологического строения дна Обской губы. В качестве исходных данных о рельефе дна использовались морские навигационные карты и промерные планшеты масштаба 1:50000 – 1:100000. На основе ручной авторской обработки и интерпретации картографического материала была создана детальная цифровая модель рельефа дна и батиметрическая карта масштаба 1:200000. Картографическое оформление, привязка, оцифровка и редакция авторских оригиналов карт выполнены в среде MapInfo Professional.

Благодаря достаточно крупному масштабу батиметрической карты удалось не только уточнить, но и существенно детализировать донный рельеф, выявить отдельные формы и их элементы. Соответственно увеличилась и степень информативности геоморфологической карты Обской губы, впервые составленной в масштабе 1:200000 и отражающей происхождение, возраст и историю развития рассматриваемой территории. Помимо батиметрических данных, для создания карты был привлечен большой объем литературных и архивных материалов по геоморфологии, геологии и палеогеографии Карского моря с целью выявления морфоструктурных особенностей и генезиса отдельных форм рельефа. Береговая зона изучалась в ходе полевых работ в разные годы, при этом широко использовались данные дистанционного зондирования Земли, фондовые и литературные данные.

Оригинальная морфогенетическая легенда к карте разрабатывалась с учетом сложившихся представлений об условиях формирования рельефа арктических окраин и результатов исследований морфологии дна Печорского моря и Байдарацкой губы Карского моря. Морфогенетический подход позволил охватить все важнейшие особенности рельефа с учетом масштаба объектов и степени их генерализации на карте, а пространственно-временной анализ дополнил общую картину развития этого эстуария, сформировавшегося в ходе послеледниковой трансгрессии.

На заключительном этапе геоморфологического картографирования выполнено описание донного рельефа с целью создания региональной характеристики геоморфологического строения дна Обской губы, определения механизмов и основных этапов рельефообразования, уточняющих существующие представления и направленные на решение фундаментальной проблемы реконструкции условий формирования рельефа дна мелководных заливов Карского моря в позднем плейстоцене и голоцене. Кроме того, с помощью батиметрической карты был построен ряд поперечных гипсометрических профилей и проведено трехмерное моделирование рельефа. Наглядная визуальная оценка морфологии и возможность точного морфометрического анализа делают подобные модели удобным инструментом при изучении рельефа, а сама цифровая модель рельефа является основой для проведения дальнейших прикладных исследований в области геологии, геокриологии, геоморфологии, геофизики и инженерных изысканий.

Работа выполнена в рамках госбюджетной темы № 121051100167-1.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАЛЕОКРИОЛОГИЧЕСКИХ ОБСТАНОВОК В БЕРЕГОВОЙ ЗОНЕ ЗАПАДНОГО СЕКТОРА АРКТИКИ

Кашдан А.И.¹, Шейнкман В.С.²

¹*Факультет естественных наук и математики, Колледж ТАВ, Монреаль,
г. Квебек, Канада*

²*Институт криосферы Земли ФИЦ Тюменский научный центр СО РАН,
г. Тюмень, Россия
adamykashdan@gmail.com*

Ключевые слова: Арктика, геологические опасности, дегляциация, реликтовая мерзлота, пластовые льды, палеокриология береговой зоны.

Применение некорректных концепций при реконструкции палеокриологических обстановок в береговой зоне Баренцева и Карского морей ведет к ошибочным оценкам рисков в плане геологически опасных явлений, связанных с деградацией многолетней мерзлоты. Дно Баренцева и Карского морей представляет собой сложно построенный ансамбль положительных и отрицательных макроформ рельефа. Мы построили по методике (Siegert, Dowdeswell, 1996) двумерный топографический массив, идентичный по сетке и размеру ячеек массиву современной подводной морфологии ИВСаО v4.2. Он характеризует восточную часть Баренцевоморского и Карского шельфа как субазральную платформу. Высота этой субазральной платформы на большей части сетки моделирования установлена на уровне моря, поскольку ее точная высота в дочетвертичное время неизвестна.

Современный рельеф Шпицбергена сохраняется в нашей схеме моделирования в пределах субазральной платформы, поскольку неясно, как ледниковая эрозия и тектоническое поднятие повлияли на архипелаг. В итоге, границы шельфа (100 м в наших симуляциях) определяется современным 500-м батиметрическим контуром. Предыдущие реконструкции (Denton and Hughes, 1981; Grosswald, 1988; Lindstrom and MacAyeal, 1989), предсказывающие полное оледенение Баренцева шельфа, предполагали, что наклон поверхности ледникового покрова на линии, определяемой как восточная граница сетки, был очень мал. Наши исследования также показывают, что наклон поверхностного ледяного покрова с севера на юг, прилегающий к линии, указанной в нашем исследовании южной границей сетки, также был очень мал. Исходя из этого, мы ввели граничные условия течения льда вдоль восточной и южной границ сетки, которые диктуют, что лед не может течь через эти линии или переходит в ледниковый шельф, выходящий в море. Такие граничные условия позволяют воссоздать ледяные щиты над западной частью Баренцева моря, схожие по геометрии с тем,

который был рассчитан Дентоном и Хьюзом (Denton and Hughes, 1981), а над восточной частью в пределах подводных границ новоземельского оледенения, описанных в работе (Рекант, Гусев и др., 2017).

Модель запускалась с постоянными параметрами окружающей среды, соответствующими условиям максимума ледникового периода в МИС2. Прогон модели начинался с нулевой толщины льда и, в первом шаге реконструкции, с современной морфологией дна – с учетом гляциоизостатического поднятия. Второй шаг реконструкции ледникового покрова начинался с теми же исходными данными модели, но с субаэральной топографией дочетвертичного времени. Наше моделирование подтверждает гипотезу о существовании ледников в виде отдельных массивов в максимальный период похолодания в МИС2, а не единого ледникового щита, покрывавшего весь шельф (Павлидис, 1997). Это также подтверждается геологическими данными: так, в колонках, отобранных на современных глубинах более 300 м, грунтовыми трубками вскрываются лишь отложения этапа дегляциации и голоценовые морские осадки, а диамиктоны, содержащие обломочный материал вскрываются в основном на поднятиях дна моря (Murdmaa et al., 2006; Руденко и др., 2022; Гусев и др. 2023).

Такая палеокриологическая обстановка, связанная с разрозненностью древних ледниковых щитом в западном секторе Арктики в МИС2, могла способствовать консервации пластовых льдов – крупных ледяные залежей, неоднородные по генезису, в случае для Ямальского и Гыданского полуострова – в большинстве своем изначально субмаринного происхождения. Эти льды имеют свойства и черты, свидетельствующие об их субаквальном формировании (Шполянская, 2021). Наличие морских берегов с пластовыми льдами, резко увеличивает термоабразию и разрушение берегов более 2 м в год (Белова, 2021). И это в свою очередь показывает важность правильной реконструкции палеокриологической обстановки для западного сектора Арктики.

ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ И ФАЦИАЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ПОЗДНЕГО НЕОПЛЕЙСТОЦЕНА НА СЕВЕРО-ЗАПАДЕ ПОЛУОСТРОВА ТАЙМЫР

Костин Д.Н.¹, Куприянова Н.В.², Григорьев В.А.³

¹ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского (Институт Карпинского)», г. Санкт-Петербург, Россия

²ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана им. Академика И. С. Грамберга (ВНИИОкеангеология)», г. Санкт-Петербург, Россия

³Санкт-Петербургский Государственный Университет (СПбГУ), г. Санкт-Петербург, Россия
dmitriy_kostin_spb@mail.ru

Ключевые слова: Таймыр, поздний неоплейстоцен, казанцевский горизонт, ОСЛ-датирование.

Вопросы истории развития природной среды на севере Сибири и центральной части Российской Арктики в позднем неоплейстоцене по-прежнему остаются дискуссионными среди геологов и палеогеографов, особенно это касается вопросов, связанных с морскими отложениями казанцевского и каргинского горизонтов, соответствующие пятой и третьей морской изотопной стадии по классификации стратиграфической схемы Средней Сибири.

В рамках полевых работ ГГК-200 и ГДП-200 проведенных Институтом Карпинского в период с 2017 по 2020 г. в северо-западной части полуострова Таймыр, были задокументированы останцы казанцевских прибрежно-морских террас в диапазоне абсолютных высот от 100 до 140 м и террасы каргинского горизонта на высотах от 5 до 40 (45) м. Всего было изучено около 40 детальных разрезов морских отложений по которым проведены геохронологические (14С, OSЛ, U/Th, ESR), стратиграфические (макро- и микрофауна, диатомовые) и палеоклиматические (споро-пыльцевой анализ) исследований.

В 2020 году изучение выходящих на дневную поверхность морских толщ на побережье Карского моря было сосредоточено в районе бухты Михайлова и на южном побережье п-ва Михайлова. В эстуарии рек Широкая и Диоритовая был описан 20-метровый обрыв, где выходит толща казанцевских морских отложений, представленная в верхней части монотонными плотными темно-серыми алевритами, подстилающиеся 3-метровой пачкой горизонтально слоистых песков с фауной *Portlandia arctica*

(Gray, 1824) in situ. Результаты ОСЛ датирования показали значения от 80 до 100 тыс. лет.

На восточном побережье бухты Михайлова была описана морская терраса уровня 10 м н.у.м., были отобраны пробы на OSL и 14C и где предыдущими исследователями была сделана одна из немногих абсолютных датировок – результат ЭПР показал результат в 54 тыс. лет. В ходе исследований на полуострове Михайлова были описаны морские отложения, залегающие на толще, предположительно абляционной морены Карского ледникового щита, которые соответственно отнесены к каргинскому горизонту. Результаты ОСЛ датирования из разреза песков с западной оконечности полуострова показали возраст в районе 55 тыс. лет.

Итогом данной работы может стать уточнение истории развития природной среды в арктическом регионе на протяжении позднего неоплейстоцена. Полевые работы института Карпинского были выполнены в рамках объекта «Проведение в 2017-2020 годах региональных геологосъемочных работ масштаба 1:200000 на группу листов в пределах Сибирского федерального округа».

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЭОЛОВОГО МОРФОЛИТОГЕНЕЗА НА БЕРЕГАХ СЕВЕРНОЙ ПАЦИФИКИ

Левицкий А.И.^{1,2}, Афанасьев В.В.^{1,2}

*¹Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск,
Россия*

*²Сахалинский государственный университет, г. Южно-Сахалинск, Россия
santo1989@mail.ru*

Ключевые слова: баланс наносов, береговая зона, эксплозивное извержение вулкана, уровень моря, тефрохронология.

Установлены особенности распространения эоловых форм на берегах морей Северной Пацифики. Рассмотрены основные причины формирования избытка наносов в береговой зоне, объясняющего эоловую аккумуляцию ближнего переноса, которую следует относить к категории собственно береговых процессов. Это позволяет избежать многих недоразумений, связанных с проблематикой эолового морфолитогенеза на побережье. Рассмотрены основные причины формирования избытка наносов в береговой зоне, объясняющего эоловую аккумуляцию ближнего переноса на берегах разного типа. Показано, что цикличность эолового рельефообразования на

побережье связана с изменениями баланса наносов в береговой зоне, определяемыми, главным образом, колебаниями уровня моря.

На участках побережья, характеризующихся большими объемами выноса обломочного материала с суши, развитие процессов эоловой аккумуляции связывается с понижением уровня моря. Например, в районе залива Виахту, на северном Сахалине, формирование эоловой толщи мощностью 2.0–2.5 м на поверхности 20-метровой аллювиально-морской верхнеплейстоценовой террасы началось одновременно с молодым эвтрофным торфяником на эстуарно-лагунной толще залива (440 ± 83 кал. л.н., ДВГУ-187; 440 ± 85 кал. л.н., ДВГУ-178). На побережье, где поступление наносов в береговую зону обеспечивается преимущественно морскими гидродинамическими процессами, эоловые отложения формируются в период усиления размыва при подъеме уровня моря. Мощные донные отложения сахалинского побережья Амурского лимана начали формироваться на аккумулятивных сегментах абразионно-аккумулятивных систем именно в начале второй фазы волновой аккумуляции (4615 ± 579 кал. л.н., ДВГУ-109).

Некоторые современные формы эолово-прибрежной аккумуляции обязаны своим происхождением изменениям гидродинамической активности в последние несколько десятилетий при условии унаследованности этих процессов на участках развития. Это относится, в частности, к дюнам на побережье Сахалинского залива, Татарского пролива, северо-восточного Сахалина, Курильских островов, южного Приморья, западной Камчатки. Современные эоловые отложения наблюдаются здесь на отметках до +25 м, активно формируются авандюны высотой до 8–10 м. Высокой мобильностью песчаного материала объясняется также, в частности, наличие на побережье Японии эоловых отложений береговых линий раннего–среднего голоцена.

На примере дюн океанского и морского побережий вулканических островодужных систем рассмотрен ранее практически не изученный тип эолового морфолитогенез, связанным с перекомпенсированным осадконакоплением на некоторых участках береговой зоны в результате волновой переработки больших объемов легко разрушаемой пирокластики при эксплозивных извержениях в неоплейстоцене и голоцене. Возраст таких дюн коррелирует с возрастом вулканических пемзово-тефровых отложений и никак не связан с установленными периодами высокого, либо низкого стояния уровня моря. К примеру, по данным анализа C^{14} формирование молодых дюн океанского побережья перешейка Ветровой (о. Итуруп), очевидно, связано именно с переработкой пирокластического материала, поступившего в береговую зону около 1000 лет назад. В то время как дюны с морской стороны формировались в результате разрушения высоких береговых уступов, сложенных пемзово-пирокластическим материалом в период усиления размыва при повышении уровня моря около 1.5 тыс. лет назад.

РИТМИЧЕСКИЕ ФОРМЫ ПРИБРЕЖНОГО РЕЛЬЕФА

Леонтьев И.О.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия
igor.leontiev@gmail.com*

Ключевые слова: песчаные волны и косы, пляжевые фестоны, мегафестоны, системы подводных валов, транспорт наносов.

Введение. Морфология песчаного аккумулятивного берега нередко обладает ритмическими чертами, которые прослеживаются как в рисунке контура берега, так и в очертаниях профиля дна. На береговой линии наблюдаются пляжевые фестоны, мегафестоны, песчаные волны и песчаные косы, а наиболее наглядным примером волнообразных форм профиля берега служат системы параллельных берегу подводных валов.

Для объяснения феномена ритмических структур предложен ряд гипотез и теорий. Одна из идей состоит в том, что гидродинамические воздействия на берег обладают определенным пространственным ритмом, который в конечном счете передается прибрежному рельефу. В качестве факторов влияния рассматриваются краевые и инфрагравитационные волны.

Однако в последнее время наибольшее признание получила концепция самоорганизации прибрежной морфологии как системы с положительной обратной связью между гидродинамикой и эволюционирующим рельефом. Пространственный ритм морфологии не совпадает с ритмом вынуждающих сил, а вырабатывается в процессе их взаимодействия с рельефом. При подходящих условиях небольшое возмущение рельефа может расти со временем, вызывая пространственные осцилляции прибрежной топографии.

Целью данной работы является краткий обзор и характеристика условий, при которых механизм самоорганизации способен вызвать развитие ритмических структур контура и профиля берега.

Ритмические формы контура берега традиционно связываются с «волнениями больших углов», которые распространяются почти параллельно берегу. Это обусловлено свойствами вдольберегового транспорта наносов, максимум которого достигается при углах подхода волн около 45° . Если волны подходят под меньшим углом, то поток наносов, проходящий вдоль возникшего возмущения в виде выступа береговой линии, нарастает, и возмущение вследствие этого размывается. При распространении волн под углом больше 45° ситуация обратная – поток наносов вдоль возмущения разгружается, способствуя его росту. А значит, устанавливается положительная обратная связь с рельефом.

На основе этих соображений Эштон и Мюррей [Ashton, Murrey, 2006] разработали модель эволюции контура берега, которая объясняет развитие многих наблюдаемых ритмических структур. Показано, в частности, что их шаг может расти со временем и для форм, развивавшихся на протяжении позднего голоцена, может достигать десятков км. Подобным шагом обладают, например, косы Азовского моря и мегафестоны на побережье Северной Каролины.

Модель «волнений больших углов» предполагает, что волны иных видов не участвуют в создании ритмических форм. Однако «волнения малых углов» также способны запускать механизм самоорганизации рельефа [Леонтьев и др., 2019]. Триггером служат циркуляционные течения в прибойной зоне, вызывающие транспорт наносов как по нормали, так и вдоль берега. При определенном соотношении продольных и поперечных скоростей течений в циркуляционных ячейках возможен рост возмущений рельефа, вызывающий формирование пляжевых фестонов и мегафестонов. Первые обуславливаются слабыми волнениями и могут исчезать при смене обстановки. Мегафестоны поддерживаются умеренными режимами и могут сохраняться на протяжении десятков лет. Шаг их периодичности соответствует примерно 4-х кратной ширине прибойной зоны и не обнаруживает тенденции к росту, как в случае волн «больших углов».

В процессе развития береговых фестонов потоки взвешенных наносов формируют аккумулятивное тело в виде выпуклого в сторону моря серповидного вала (*crescentic bar*), который представляет зеркальное отражение самого фестона. Иногда мысы фестонов сильно вытягиваются в сторону моря, образуя так называемые поперечные валы (*transverse bars*). Такие формы наблюдаются на берегах с низкой энергетикой, например, в Калининградском и Куршском заливах Балтики [Бадюкова и др., 2014], в дельте р. Эбро на Средиземном море [Falqués et al., 2008].

Ритмические структуры профиля берега, к которым относятся системы подводных валов, также связаны с механизмом самоорганизации рельефа. Его действие, как и в других случаях, выявляется с помощью модели морфодинамики, использующей принцип сохранения массы [Леонтьев, 2023]. При некоторых допущениях данный принцип можно выразить в терминах уравнения диффузии, причем знак коэффициента диффузии зависит от направления транспорта наносов. Кроме того, поперечный расход наносов оказывается пропорциональным уклону дна. В итоге перемещение наносов от берега в море приводит к сглаживанию возмущений на дне. Однако при транспортировке материала в сторону берега возникшее возмущение растёт со временем, т.е. возникает положительная обратная связь между транспортом наносов и ростом подводного вала, что подтверждается наблюдениями [Brinkemper et al., 2018].

Полученные результаты помогают интерпретировать наблюдаемое циклическое поведение мульти-валовых систем и связать его с механизмом

самоорганизации рельефа. Отмечено, что первичные валы генерируются на тех участках берегового профиля, где условия для запуска механизма наиболее благоприятны.

РЕЛЬЕФ ПОДВОДНОГО БЕРЕГОВОГО СКЛОНА В РАЙОНЕ КАНЬОНА АКУЛА И УСТЬЯ РЕКИ РЯПШ (ПИЦУНДСКИЙ ПОЛУОСТРОВ, АБХАЗИЯ)

**Лукашенко Д.Р.¹, Еременко Е.А.¹, Жиба Р.Ю.², Луговой Н.Н.¹,
Нешенко И.П.², Авидзба Р.Д.², Алдошин И.А.¹,
Зарайский Н.П.², Фатеева М.А.¹, Фоминых П.И.¹, Шереметьев И.А.¹,
Дбар Р.С.²**

*¹Кафедра геоморфологии, географический факультет МГУ имени М.В.
Ломоносова, г. Москва, Россия*

*²Институт экологии Академии наук Абхазии, г. Сухум, Абхазия
stetaha2353@gmail.com*

Ключевые слова: подводный каньон, подводный береговой склон, авандельта, динамика морских берегов.

Геолого-геоморфологические исследования на подводном береговом склоне северо-восточного побережья Черного моря в районе мыса Пицунда (Западная Абхазия) проводились в январе-феврале 2024 года в рамках экспедиции научного студенческого общества кафедры геоморфологии и палеогеографии географического факультета МГУ имени Ломоносова. Целями работ являлись: 1) характеристика морфологии верховьев подводного каньона Акула (к северо-западу от м. Пицунда, в районе м. Инкит) для последующей оценки его динамики путем сравнения со съемками 1970-х гг. и 2) характеристика геоморфологического строения авандельты р. Ряпш, впадающей в море в 6 км к востоку от м. Пицунда.

Исследование береговой зоны проводилось на маломерном судне методом эхолотирования при помощи однолучевого эхолота Garmin Echomap PLUS 72SV. Для батиметрической съемки участков была использована стандартная схема промеров: перемещение судна по галсам (межгалсовое расстояние – 18-22 м), образующим сетку, полностью покрывающую район работ. Помимо этого, при помощи дночерпателя были отобраны образцы донного грунта с подводного берегового склона с целью дальнейшего анализа и оценки степени гранулометрической дифференциации, сортированности и пр. Для изучения микро- и нанорельефа подводного склона проводилась фотосъемка дна при помощи подводного беспилотного аппарата. Для анализа

динамики верховьев каньона Акула были оцифрованы и проанализированы результаты батиметрической съемки, проводившейся здесь в 1970-х гг. По результатам выполненной батиметрической съемки составлены цифровые модели рельефа подводного склона методом интерполяции по обратно-взвешенным расстояниям. Для оценки динамики верховьев каньона Акула дополнительно были построены продольные профили его склонов.

Полученные данные свидетельствуют о том, что рельеф верховьев каньона Акула за последние 50 лет (с 1970-х гг. до 2024 г.) претерпел следующие изменения:

1) северо-западный отвершек значительно вырос в длину, и его вершинный перепад расположен на 40 м ближе к берегу в сравнении с 1970-ми гг.;

2) восточные отвершки в настоящее время характеризуются существенно более сглаженной морфологией, признаков вершинного роста не выявлено.

Выявленные изменения указывают на то, что поглощение каньоном пляжеформирующих наносов, поступающих со стороны устья р. Бзыби, по-прежнему может оказывать влияние на состояние береговой зоны в районе м. Инкит, способствуя, прежде всего, размыву берега. Обмеление подводного склона к западу от каньона Акула, по-видимому, связано с влиянием сильных штормов южных румбов, в результате которых пляжеобразующие наносы мигрировали вниз по профилю береговой зоны, были переотложены на подводном береговом склоне и в верховьях ныне не активных западных отвершков каньона. Днище каньона на глубине 25 м сложено среднесортированным песком, преимущественно среднезернистым (63%) с примесью мелкозернистого (21%) и грубозернистого (9%).

Батиметрическая съемка авандельты р. Ряпш выполнена впервые, полученные данные позволили оконтурировать область приустьевой аккумуляции и охарактеризовать строение подводного берегового склона. Установлено, что продольный профиль подводного берегового склона непосредственно в створе устья реки – слабовыпуклый, на глубине 2-3 и 5-6 м дно осложняют симметричные песчаные рифели. Состав песчаных наносов, слагающих подводный береговой склон, обнаруживает признаки волновой переработки (снижение средней крупности с глубиной). Так, на глубине 1,8 м преобладает песок мелкозернистый (62%), примесь среднезернистого песка достигает 33%. На глубине 3 м – 65% и 30%, соответственно, на глубине 5,5 м – 80% и 13%, соответственно. Ширина слабовыраженной распластанной авандельты составляет около 250-300 м, длина – порядка 150 м (для относительно молодой, верхней генерации) и до 350-400 м (вместе с периферийной частью). Отмечено, что в пределах мелководья (до глубин 4-4,5 м) авандельта смещена к востоку относительно устья реки. На глубинах от 4,5 до 7,5 м область приустьевой аккумуляции расположена в створе устья. Такое строение рельефа можно объяснить влиянием волнения: до глубин порядка 5 м в результате

наносодвижущих волнений (преимущественно юго-западных и западных румбов) происходит вдольбереговое перемещение наносов вдоль контура берега к востоку. На больших глубинах, вероятно, наносы во вдольбереговое перемещение вовлекаются в существенно меньшей степени, именно поэтому относительно глубоководная часть авандельты расположена непосредственно в створе устья реки (где она и формируется в результате прохождения крупных паводков по р. Ряпш).

Подводный береговой склон к западу от авандельты р. Ряпш имеет близкий к прямому продольному профилю. В непосредственной близости к берегу уклон его несколько больше (порядка 0,04), чем в районе авандельты (порядка 0,03). В верхней части хорошо выражен грядовый бенч, сложенный миоценовыми конгломератами, слагающими Мюссерскую возвышенность.

СЕКЦИЯ 3
«БЕРЕГОВАЯ ЗОНА В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ
(КЛИМАТ И ТЕХНОГЕНЕЗ)»

ЗАПАСЫ УГЛЕРОДА В ПРИБРЕЖНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ, ПОЧВАХ И
ОТЛОЖЕНИЯХ В КОНТЕКСТЕ ГЛОБАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ
ИЗМЕНЕНИЙ

Багдасаров И.Е., Бобрик А.А., Ильичев И.А., Красильников П.В.,
Огородов С.А., Терехова Е.Н., Цейц М.А., Шу Л.-Г.

МГУ имени М.В. Ломоносова, г Москва, Россия
krasilnikov@soil.msu.ru

В контексте глобальных изменений климата в последние десятилетия получены обширные данные по запасам и динамике углерода в наземных ландшафтах и в океане. Значительно меньше мы знаем о цикле углерода в зоне контакта моря и суши – в береговых ландшафтах. Это связано со сложностью береговых ландшафтов, где источником углерода является не только биогенная аккумуляция, но и привнос с терригенным стоком, а также привнос и вынос за счёт деятельности моря. «Голубой углерод» включает в себя запасы органического углерода, накопленные океаном и прибрежными экосистемами (мангровыми зарослями, маршами и морской травой), ответственными за долговременное захоронение органического углерода (McLeod et al., 2011). В растительности, почвах и морских отложениях береговой зоны запасено от 10 до 24 Пг С, что делает береговые экосистемы значительным пулом углерода (Duarte et al., 2013). Мангровые заросли содержат вдвое больше углерода, чем вечнозеленые леса, и почти в 10 раз больше углерода, чем сухие тропические леса. Известно, что прибрежные экосистемы поглощают примерно 13,5 Гт углерода в год и накапливают большое количество углерода в биомассе, главным образом в почвах (~ 85% общего запаса углерода) (Lovelock and Reef, 2020). В то же время потери углерода в прибрежных ландшафтах также высоки как в результате береговой эрозии (Vonk et al., 2012; Couture et al., 2018), так и в результате выбросов парниковых газов из-за изменений в землепользовании (Pendleton et al., 2012). Различия в накоплении органического углерода в почве и скоростях захоронения органических остатков приводят к различию в потенциале депонирования углерода прибрежных экосистем мира (Bertram et al., 2021). В связи с изменением климата и деятельностью человека, на береговую зону оказывается огромное давление, которое растет с каждым годом (Gilby et al., 2021). Из-за этого площадь береговых экосистем за последние 50 лет сократилась на 25-50% (Duarte et al. 2013). Хотя важность мангровых зарослей и маршей для глобального круговорота углерода широко

признается (Quevedo et al., 2021), мы все еще далеки от четкого понимания всего баланса основных прибрежных экосистем мира (Thomas, 2014). В России работы по оценке запасов и динамики углерода в прибрежных экосистемах единичны (Матвеева, Лавриненко, 2011; Шамрикова и др., 2019). Также неясно, как прибрежные экосистемы отреагируют на изменение климата, в том числе на возможное повышение уровня воды из-за таяния ледовых щитов (Lovelock and Reef, 2020).

Основная научная задача нашего проекта – оценка запасов органического углерода в биомассе и почвенном органическом веществе водно-болотных угодий берегов морей западной части Северного Ледовитого океана и моделирование их динамики в условиях меняющегося климата. В рамках решения данной задачи разработано методическое обеспечение оценки запасов и динамики углерода в береговых ландшафтах на основании полевых, дистанционных и расчётных данных. Используются полевые данные по нескольким репрезентативным прибрежным экосистемам вместе с имеющимися унаследованными данными для оценки текущих запасов и потенциального связывания углерода в биомассе и органическом веществе почвы маршевых (лайдовых) лугов.

Работа выполнена при поддержке проекта РНФ № 23-67-10006.

ПРОБЛЕМЫ БЕРЕГОЗАЩИТЫ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ (НА ПРИМЕРЕ Г. ТАГАНРОГА)

**Беспалова Л.А.^{1,2}, Беспалова Е.В.¹, Цыганкова А.Е.¹, Ивлиева О.В.^{1,2},
Кривогуз Д.О.¹, Иошпа А.Р.¹, Мисиров С.А.³**

¹*Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, Россия*

²*Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов (ФГБУ РосНИИВХ),
г. Ростов-на-Дону, Россия*

³*Южный научный центр РАН, г. Ростов-на-Дону, Россия
bepalowaliudmila@yandex.ru*

Ключевые слова: берегозащитные сооружения, береговая зона, состояние конструкций, г. Таганрог, Азовское море.

Таганрог – крупный индустриальный центр, порт, рекреационно-исторический объект на побережье Азовского моря. За более чем 300-летний период своего существования город подвергался воздействию морских волн и разрушению берегов. Скорость отступления береговой линии Таганрога в среднем составляет 0,5-1,0 м, максимальная - 3,0 м. Этому способствовали

геологические условия – берега сложены глинами и суглинками, дефицит пляжеобразующего материала, участвовавшие штормовые нагоны до 3-4 м высотой, воздействие льдов на берега и ряд других факторов в том числе и антропогенных. В настоящее время береговая зона города плотно застроена и находится в критическом, аварийном состоянии.

Обследованию подверглась береговая линия г. Таганрога на протяжении более 16 км. Все работы по оценке состояния берегоукреплений проводились согласно ГОСТ Р 54523 – 2011 (Портовые гидротехнические сооружения правила обследования и мониторинга технического состояния, 2012). По результатам обследования составлялось заключения о состоянии берегозащитного сооружения по следующим показателям: нормативное – не имеет или имеет малозначительные дефекты; работоспособное малозначительные дефекты; ограниченно-работоспособное - наличие критического дефекта; неработоспособное - требуется ремонт; предельно аварийное – требуется ремонт или снос сооружения.

Всего было обследовано 27 конструкций различного типа. К настоящему времени протяженность укрепленной береговой полосы составляет 10,8 км. Берегозащита представлена различными типами берегоукреплений из железобетонных волноотбойных стенок, бетонных откосов, волноломов, бун, фасонных конструкций. На отдельных участках применяется комбинированная берегозащита, включающая как продольные, так и поперечные сооружения. Активная берегозащита представлена искусственным пляжем «Солнечный».

На долю неработоспособных предельно аварийных сооружений приходится 11,6% от всей протяженности берегоукреплений г. Таганрога. Физический износ достигает более 90%. Неработоспособные –аварийные берегоукреплений составляют - 44,2%, их физический износ превышает 70%.

Берегоукрепления нормативные и работоспособные находятся в хорошем состоянии т.к. недавно созданы, их физический износ не превышает 10%. Но максимум через десять лет эти конструкции могут быть разрушены, т.к. это срок существования стенок, откосов и других жестких конструкций на азовских суглинистых берегах не превышает 10 лет (Пешков В.М., 2015).

Единственный тип берегозащиты в Таганроге относящийся к активному типу - искусственный пляж «Солнечный», созданный путем намыва песка из донных отложений. Состояние пляжа - работоспособное, но для предотвращения его размыва необходимо проводить регламентированные подсыпки песка.

Проведенные исследования показали, что применяемые берегозащитные конструкции морально устарели и находятся в аварийном состоянии. В этой связи назрела острая необходимость разработки Генеральной схемы берегозащиты и природопользования побережья г. Таганрога. В зонах рекреации необходимо предусмотреть создание искусственных пляжей с удерживающими конструкциями. Должны быть

предусмотрены регламентированные подсыпки пляжевого материалы. Для защиты промышленных объектов и жилого фонда - создание каменно-набросных берм. Необходимо предусмотреть демонтаж не эффективных берегозащитных сооружений или их перекрытие каменной наброской.

Все берегоукрепления, где нет возможности планирования склона, а это практически вся береговая линия Таганрога, необходимо выдвигать в море путем создания пляжей и каменно-набросных берм. Это акватория, для возможного продвижения береговой линии в сторону моря может составить до 200 м, с учетом скорости размыва берегов в Таганроге за период его существования лет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беспалова Л.А., Бердников С.В. 2020. Комплексный анализ факторов интенсификации береговых процессов Азовского моря в многолетнем аспекте и в современный период. В кн.: Материалы II Международной научной конференции памяти чл.-корр. РАН Д.Г. Матишова (Ростов-на-Дону, 6–10 июля 2020 г.). Ростов н/Д. Изд-во ЮНЦ РАН: 150–153.
2. Портовые гидротехнические сооружения правила обследования и мониторинга технического состояния. 2012. Москва Стандартинформ, 203 с.
3. Пешков В.М. 2015. Современное состояние и перспективы защиты берегов Чёрного и Азовского морей Краснодарского края. В кн.: Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. Севастополь: ФИЦ «Морской гидрофизический институт»: 12–19.

ЭВОЛЮЦИЯ МЕРЗЛОТЫ В БЕРЕГОВОЙ ЗОНЕ ЮВ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВА И КАРСКОГО МОРЕЙ ПРИ ПОТЕПЛЕНИИ КЛИМАТА

Васильев А.А., Малкова Г.В., Облогов Г.Е., Широков Р.С.

*Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН, г. Тюмень, Россия
al.a.vasiliev@gmail.com*

Ключевые слова: Карское море, климат, мерзлота, температура мерзлоты, деградация мерзлоты.

Анализ изменений климата Западной Арктики показал, что начиная с 1970-х годов, наблюдается устойчивое повышение среднегодовой температуры воздуха со средней скоростью около 5,2°C/100 лет, что близко к верхнему пределу умеренного сценария потепления климата (IPCC, 2020). Береговая зона арктических морей характеризуется быстрыми изменениями

температурного режима и физического состояния мерзлоты на фоне потепления климата. Наблюдения за температурным режимом мерзлых пород проведены в трех регионах – мыс Болванский (устье р. Печора), район Марре-Сале (Западный Ямал) и мыс Сопочная Карга (Западный Таймыр). На мысе Болванском изучение температурного режима проводятся с 1984 г. по настоящее время только на поверхности третьей морской террасы в четырех скважинах глубиной до 12 м, расположенных в доминантных ландшафтах. В районе Марре-Сале температурный режим мерзлоты изучается с 1978 г. в пяти скважинах глубиной 10 м, расположенных на третьей морской террасе также в доминантных ландшафтах, кроме того, температура мерзлоты наблюдается в скважине, расположенной на морском пляже близ уреза воды и в скважине, расположенной на аккумулятивной поверхности морской лавы в 12 км к югу от полярной станции Марре-Сале. На мысе Сопочная Карга наблюдения проводились в 2009-2014 гг. в мелких скважинах глубиной до 2 м, расположенных на основной поверхности с абсолютной отметкой местности около 25 м, аккумулятивных поверхностях низкой и высокой лавы. Изучение температурного режима на пляжах и лавы представляет собой сложную техническую задачу, поскольку береговая зона характеризуется воздействием приливов, нагонов и штормов. Оборудовать здесь сухие скважины практически невозможно, поэтому были использованы автономные логгеры HOBO Water Temp Pro v2, предназначенные для работы в водной среде. В районе мыса Болванского и в Марре-Сале методами высокоразрешающей сейсмоакустики определено положение кровли мерзлых пород на профилях от берегового уступа в море до глубины около 2,5 м.

По данным метеостанции Марре-Сале среднегодовая температура морской воды на мелководье повысилась с $-0,8^{\circ}\text{C}$ (1980) до $1,9^{\circ}\text{C}$ (2020), что превышает темпы потепления климата, такие тенденции характерны и для мыса Болванский и для мыса Сопочная Карга.

Повсеместно наблюдается повышение температуры мерзлоты. На основных поверхностях среднегодовая температура на мысе Болванском повысилась с -2°C (1984) до -1°C (2020), в районе Марре-Сале с -7°C (1978) до $-3,5^{\circ}\text{C}$ (2020), на мысе Сопочная Карга с $-9,4^{\circ}\text{C}$ (2010) до $-7,6^{\circ}\text{C}$ (2015).

На пляже в районе Марре-Сале среднегодовая температура пород на глубине 2,0 м повысилась с $-1,9^{\circ}\text{C}$ (2010) до $-0,7^{\circ}\text{C}$ (2023). Если учесть, что температура фазовых переходов для засоленных суглинков в этом районе составляет $-1,35^{\circ}\text{C}$, то можно сделать вывод о том, что после 2010 г. верхняя часть разреза отложений от поверхности до глубины 2,0 м перешла из многолетнемерзлого в сезонно-мерзлое состояние. При этом резко сократилась мощность слоя годовых теплооборотов - с 3,5 – 4,0 м до 2,2 – 2,7 м.

На аккумулятивной поверхности морской лавы также наблюдается отчетливая тенденция повышения среднегодовой температуры мерзлоты с $-3,9^{\circ}\text{C}$ (2008) до $-2,4^{\circ}\text{C}$ (2016). Среднегодовая температура отложения в верхней части разреза приблизилась в температуре фазовых переходов, поэтому можно

констатировать, что в современных условиях новообразование мерзлых пород на морских лайдах ЮВ части Баренцева моря и южной части Карского моря, по крайней мере до широты Харасовея, нет условий для формирования мерзлоты на аккумулятивных морских лайдах, косах и отмелях.

В районе Сопочной Карги также наблюдается повышение температуры мерзлоты на высокой и низкой лайдах с $-7,6^{\circ}\text{C}$ (2010) до $-5,8^{\circ}\text{C}$, что позволяет говорить об устойчивой мерзлоте в этом регионе, без тенденций к деградации.

Таким образом, проведенные наблюдения позволяют заключить, что в береговой зоне ЮВ части Баренцева и южной части Карского моря наблюдается отчетливо выраженная тенденция деградации прибрежно-морской мерзлоты, сопровождающаяся повышением среднегодовой температуры, сокращением мощности слоя годовых теплооборотов, опусканием кровли мерзлоты, затруднением новообразования мерзлоты на аккумулятивных морских лайдах. В тоже время на берегах в центральной и северной части Карского моря мерзлота остается в сравнительно стабильном состоянии.

Работа выполнена Институтом криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № FWRZ-2021-0005).

ТЕХНОГЕННОЕ ВЛИЯНИЕ НА ЛЕДОВЫЕ УСЛОВИЯ БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ МОРЕЙ НА ФОНЕ ГЛОБАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ

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

*ФГБУ "АНИИ", г. Санкт-Петербург, Россия
vinra@aari.ru*

Ключевые слова: припай, ледяная каша, судоходство, ледовый канал, литодинамика, Арктика, СМП.

В последние десятилетия идет активное хозяйственное освоение Арктической зоны РФ. Многие проекты направлены на добычу полезных ископаемых, их переработку и вывоз получаемых продуктов. При этом разрабатываемые и перспективные лицензионные участки часто расположены в прибрежных районах арктических морей и их заливов. Это обычно подразумевает морскую логистику, причем не только для вывоза конечного продукта, но и на этапах первоначального освоения (завоз техники и материалов для строительства хозяйственных объектов). Соответственно,

необходимо обеспечение доступности прибрежных районов Арктики для морского транспорта вдоль трассы СМП.

До создания постоянных причальных сооружений, прибрежная логистика в зимний сезон осуществляется через припайный лед. И для начального периода освоения, и для действующего портового комплекса для судоходства необходима прокладка ледового канала, что ослабляет неподвижный ледяной покров. Степень этого ослабления и вероятные последствия зависят от интенсивности транспортной деятельности и фоновых гидрометеорологических условий. Оба указанных фактора последние десятилетия претерпевают значительные изменения, что кардинальным образом сказывается на ледовых условиях в береговой зоне арктических морей. В частности, подобные процессы уже наблюдаются в Обской губе и Енисейском заливе.

Под воздействием динамических факторов в прикромочной зоне ледового канала происходит взлом припая, что наиболее существенным образом сказывается на изменении ледовой обстановки. На значительной площади акватории у района освоения неподвижный ледяной покров сменяется дрейфующим. Далее на протяжении зимнего сезона происходят преобразования форм дрейфующего льда (переход от полей и обломков к мелкобитому и тертому льду) и колебания его сплоченности. В весенний период данные процессы приводят к ускоренному таянию льдин и более раннему очищению акватории.

На локальных участках (в зонах хозяйственного освоения) это приводит к следующему:

- приливные волны испытывают меньшую трансформацию в прибрежной зоне, что влияет уже на ее гидродинамику;
- увеличивается период воздействия ветрового волнения в прибрежной зоне, которое может существенно усиливаться за счет техногенного дноуглубления (подходной канал и внутривортовых бассейны);
- возможно изменение длительности и уровня воздействия дрейфующего льда и ледяных образований на дно и берега;

Перечисленное также вызывает интенсификацию литодинамических процессов в зоне хозяйственного освоения прибрежной территории.

Однако техногенное влияние в береговой зоне на ледовые условия (и опосредованно через них на другие природные процессы) не ограничивается вышеуказанным. Например, из-за существенного увеличения судового трафика в зимних условиях (в том числе с прокладкой ледовых каналов) на акватории порта и подходных путях к нему будет наблюдаться усиленное образование и накопление «ледяной каши», т.е. тертого льда. Принимая во внимание специфику рассматриваемых бассейнов (по батиметрии, термохалинному режиму и проч.), наиболее перспективным способом борьбы со скоплениями масс «ледяной каши» является барботаж, дополненный выпуском подогретой воды. Однако этот метод приводит к отоплению

придонного слоя вод, что чревато растеплением донных грунтов с передачей тепла далее вглубь. Учитывая наличие техногенных дноуглублений в портовых зонах и соответствующего сокращения расстояния до уровня многолетнемерзлых пород, возможны негативные последствия для них (деградация, смещение верхней границы на более глубокие горизонты и др.). Естественно, что эти процессы также могут усугублять литодинамические условия в зоне хозяйственного освоения береговой зоны арктических морей.

ЛЕДЯНОЙ ПОКРОВ ЗАЛИВА ШАРАПОВ ШАР (КАРСКОЕ МОРЕ) И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ФОРМИРОВАНИЕ МЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ НА ДНЕ

**Годецкий С.В., Богатова Д.М., Ликутова О.А., Вергун А.П.,
Огородов С.А.**

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
географический ф-т, г. Москва, Россия;
mail@godetskiystas.ru*

Ключевые слова: Многолетнемерзлые породы, криолитозона, морской лед, припай, моделирование мерзлых грунтов, QFrost.

Настоящая работа имеет своей целью определение роли морского припайного льда в процессе формирования мерзлых грунтов в шельфовой зоне моря на примере залива Шарапов Шар. До настоящего момента исследований, направленных непосредственно на изучение взаимосвязи толщины морского льда и сроков его образования в XXI веке по натурным данным с процессом формирования сезонных и многолетних мерзлых грунтов в прибрежной зоне, практически не было. Рассмотрены условия формирования ледяного покрова в заливе Шарапов Шар Карского моря, определена его роль в формировании мерзлых грунтов в контактной зоне лед-дно на подошве припая. На основании данных натурных измерений, дистанционного зондирования и расчетов проанализированы ледовые условия за последние 46 лет: сроки формирования и разрушения, характерные толщины. Установлено, что припай в заливе может наблюдаться в среднем на протяжении 252 дней, его максимальная толщина к концу зимы составляет 139 см, в отдельные зимы может превышать 160 см. На значительной части залива подошва морского льда соприкасается с дном: в мягкие зимы эта область занимает 49% от всей площади залива, в суровые – 60%. Численное моделирование, проведенное в программе QFrost, показало, что на глубинах более 90 см подо льдом образуется сезонно-мерзлый слой толщиной до 80 см для суглинистых почв и 120 см для песчаных. Глубина сезонного оттаивания составляет 1.2 м для песчаных грунтов и 0.8 м для

суглинков и не зависит от толщины льда. Образование многолетнемерзлых пород (ММП) возможно на глубинах до 90 см. Расчеты также показали, что в XX веке имели место условия благоприятные для формирования многолетнемерзлых пород (ММП) в зоне смерзания морского льда с донными грунтами (расчетная толщина за 30 лет до 3.5-6.6 м). В XXI веке рост температуры воздуха и увеличение безледного периода приводят к деградации ММП. В современных условиях потепления климата песчаные грунты могут сохраняться в многолетнемерзлом состоянии до глубин моря 0.7 м, глинистые – до 0.3 м.

Исследование выполнено при финансовой поддержке проекта РФФ № 22-17-00097.

БЕРЕГОВАЯ ЗОНА КРЫМА В XXI ВЕКЕ

Горячкин Ю.Н.

*Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь, Россия
ungor@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: Крым, береговая зона, антропогенное воздействие, берегозащитные сооружения.

Побережье Крыма является наиболее крупным курортным регионом России, имеющим общегосударственное значение. Длина береговой линии черноморского побережья полуострова составляет ~750 км, протяженность пляжей 340 км, с учетом ограничений 240 км. Соответственно цифры для азовского побережья (включая Керченский пролив) составляют ~250 км; 115 км и 100 км. Для сравнения – протяженность черноморского побережья РФ от Таманского п-ва до границы с Абхазией 400 км.

Естественной причиной изменчивости берегов является современная трансгрессия Черного моря. Уровень его во вторую половину XX века и в первое десятилетие XXI века неуклонно повышался, после чего тенденция сменилась на противоположную, несмотря на общее повышение уровня Мирового океана. Это подтверждает ранее сделанный нами вывод о преобладающей роли пресноводного баланса моря в изменчивости уровня. Существенное воздействие на берега оказывает и волновое воздействие. В период 50-60-х гг. XX века на побережье Крыма наблюдалась высокая интенсивность волнения, которая сменилась в 70-80 гг. значительным ее уменьшением. В 90-е гг. она опять стала возрастать. Увеличилась повторяемость штормового волнения от наиболее волноопасных юго-западного и западного направлений. Тем не менее, на настоящий момент штормовая активность не достигла наблюдавшихся ранее значений. В XXI

веке можно отметить два наиболее разрушительных шторма, оказавших наиболее заметное воздействие на береговую зону – в ноябре 2007 г. и ноябре 2023 г.

Основной причиной изменений в береговой зоне, начиная со второй половины XX века является антропогенная деятельность. В этот период большинство рек Крыма было зарегулировано и твердый сток, пополнявший пляжи резко сократился. Параллельно почти повсеместно производилась добыча песка с пляжей и подводного берегового склона. Гидротехническое строительство особенно активно велось на ЮБК, это позволило расширить зоны рекреации, свести к минимуму оползневую опасность, однако привело и к некоторым отрицательным явлениям. Неоправданное стремление «облагородить» берег бетонными сооружениями и механическое перенесение опыта ЮБК на Западный Крым привело в основном к негативным последствиям, которые проявляются и на сегодняшний день. Здесь же закрепление берега бетонными сооружениями уменьшило поступление твердых наносов в береговую зону на 25%. Следствием перечисленных и других факторов стало уменьшение площади пляжей, вплоть до полного их исчезновения, разрушение прибрежных построек и коммуникаций, серьезные финансовые потери.

После некоторого спада экономической активности, в 90-х гг., с началом XXI века на берегах Крыма развернулось строительство в невиданных до этого масштабах. Этот период характеризуется хаотичной застройкой берегов, часто незаконной. Попытки защитить только «свой» участок берега каменными набросками и несанкционированное строительство в зоне пляжей привело к тому, что в берег во многих местах представляет собой «каменный хаос» и фактически лишился рекреационной привлекательности.

В 2014 г. после воссоединения Крыма с Россией руководство РФ, понимая важность и необходимость восстановления и развития рекреационной сферы Крыма, включило в федеральную целевую программу «Социально-экономическое развитие Республики Крым и г. Севастополя до 2020 г.» мероприятия по берегоукреплению. Предполагалось до конца 2020 г. восстановить и реконструировать десять объектов, а на эти цели выделялось около 1,5 млрд руб. бюджетных средств. Фактически на 2024 г. сданы в эксплуатацию четыре объекта. По пяти объектам проекты потребовали корректировки, строительство отдельных объектов из-за недостатков проектирования остановлено. Причиной такого положения дел стало игнорирование предыдущего опыта проектирования, строительства и эксплуатации гидротехнических сооружений в Крыму. В частности, неоправданное применение набросных конструкций, волноломов и искусственных мысов. Для некоторых проектов предварительные изыскания были крайне поверхностными, а сложившаяся практика такова, что тендеры на выполнение проектов часто выигрывают организации, не имеющие практического опыта работы на побережье Крыма. К 2024 г. 30%

берегозащитных сооружений Крыма находится в эксплуатации более 50 лет, а 70% — от 35 до 45 лет. Нормативный срок эксплуатации (50 лет) большинства из них близок к предельному, сооружения имеют значительный износ и повреждения. Насущный вопрос береговой зоны, которые долгие годы не решается разработка и внедрение генеральной схемы берегоукрепительных сооружений Крымского побережья.

ПОСЛЕДСТВИЯ ВЛИЯНИЯ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА ПОБЕРЕЖЬЕ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ В НАЧАЛЕ XXI В

Есюкова Е.Е.¹, Стонт Ж.И.^{1,2}, Ульянова М.О.^{1,2}

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия

*²Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград,
Россия*

marioches@mail.ru

Ключевые слова: кластеры циклонов, штормовая активность, штормовые размывы берега, антропогенный мега-/макро-/мезо-/микромусор, Калининградская область, Юго-Восточная Балтика.

В начале XXI в. штормовая активность моря возросла, наблюдалось более 25 экстремальных циклонов, что вызвало значительные разрушения на морском побережье Калининградской области и привело к деформациям берегозащитных конструкций. Чаще всего экстремальные штормы характеризовались не только возрастанием высоты волн (до 6 м), но и сокращением «окон хорошей погоды» и увеличением периода действия однонаправленного шторма до 3–4 суток. Такой длительный штормовой период вызывает сильные нагонные явления, повышение уровня моря на 1,5–2 м, что сравнимо с высотой пляжей и приводит к размыву морских склонов авантюн с образованием сквозных котловин выдувания.

На примере Калининградского побережья исследован отклик берегов на штормы северного направления («ныряющие» циклоны) методом сопряженного анализа штормовых условий и динамики морского берега по материалам фотомониторинга за период 2011–2024 гг. Прослеживается два основных сценария развития сезонной штормовой активности.

Первый сценарий характеризуется прохождением активных циклонов с сильными западными ветрами более 20 м/с, которые поднимают уровень моря до +40–60 см. Завершающий подход «ныряющего» циклона со штормовыми северными ветрами вызывает мгновенный «всплеск» уровня до

+100–120 см над ординаром (отмеченный максимум +160 см), что по порядку величины соответствует высотам пляжа.

Второй сценарий связан с развитием серии (кластера) циклонов. Кластеры циклонов – это атмосферные вихри, которые воздействуют на берег с промежутком от нескольких часов до 2–3 суток. Особенно четко он проявился в январе 2022 г., когда четыре «ныряющих» циклона прошли с короткими «окнами хорошей погоды». Завершающим был западный циклон. Последние десятилетия частота циклонов с ветрами северных румбов возрастает, что делает второй сценарий все более актуальным.

С обоими сценариями прохождения штормовых циклонов связано максимальное воздействие на прибрежную территорию Калининградской области. Проведенный мониторинг зафиксировал многочисленные разрушения берегов, прорывы авандюны, подтопление лесных массивов и обрушение древесной растительности, критическое повреждение берегозащитных и инженерных сооружений, объектов инфраструктуры. Утрачены десятки гектаров приморских территорий.

Возникает ряд экологических проблем, связанных с многочисленными выбросами в морскую среду после экстремальных штормов значительного количества антропогенного мусора (от мега- до микрофрагментов) с преобладанием пластика. Так, при активном и массовом строительстве в прибрежной зоне моря инженерных и берегозащитных сооружений с использованием различных геосинтетических материалов возрастает и поступление фрагментов этих материалов в морскую среду после повреждения / деформации / разрушения таких сооружений.

Наибольший видимый вклад в загрязнение пляжей вносят остатки от тканых мягких контейнеров биг-бэгов (FIBC), распадающиеся на волокна (PP, PA), которые мигрируют вдоль берега, оседая на пляже и подводном склоне. В морской среде полимерное покрытие металлических проволочных сеток габионов (PVC, LDPE, HDPE) стареет, покрывается трещинами, становится хрупким и ломким, легко осыпается. Фрагменты полимеров можно встретить на расстоянии десятков километров от ближайших конструкций габионов. Фрагменты оторванных и деформированных металлических сеток от габионных конструкций с острыми и ржавыми штырями являются угрозой здоровью отдыхающих на пляжах. Иглопробивной геотекстиль типа «дорнит» обычно используется как подложка под габионы, в основании защитных берм и т.д. Он подвергается истиранию арматурными конструкциями, морскими наносами при ветро-волновом воздействии. В результате значительное количество микроволокон (PP, PET, PA) попадает в море. Не менее важная проблема - берегозащитные сооружения, содержащие автомобильные покрышки, которые отравляют окружающую среду. Из разрушающихся свайно-ячеистых бермах с волногасящим ковром из автопокрышек происходит постоянный отток шин, которые надолго остаются в морской среде.

При вероятном сценарии продолжения прихода кластеров штормов в осенне-зимний период можно прогнозировать и дальнейшее разрушение объектов береговой инфраструктуры: штормовые волны будут размывать основания клифов и авандюн, приводя к обрушению склонов. Поэтому необходимы меры по планомерной и регулярной реконструкции берегозащитных сооружений и берегоукреплению. Также необходимо обеспечение нормативных ограничений в застройке прибрежных территорий, сопровождающихся уничтожением и срыванием авандюн, ненадлежащим укреплением склонов клифов при строительстве технических сооружений. Необходимо предусмотреть строительство спусков на пляж во избежание образования «диких троп» и проходов/проездов (причина образования новых оврагов и котловин выдувания).

Исследование берегов выполнено в рамках государственного задания № FMWE-2024-0025 (ИО РАН), анализ метеорологических параметров – в рамках темы № FZWM-2023-0004 (БФУ им. И. Канта).

МОДЕЛИРОВАНИЕ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ЦИКЛОВ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА

Исаев А.В., Рябченко В.А.

*Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия
isaev.aleksei.vladimirovich@yandex.ru*

Ключевые слова: озерная экосистема, циркуляция, климат, сезонные и межгодовые колебания, моделирование, Ладожское озеро.

Глобальные изменения климата и возрастающая антропогенная нагрузка на экосистему крупных озер мира способствуют ухудшению их экологического состояния, что проявляется в функционировании экосистем великих озёр России, в том числе, Ладожского озера.

Ладожское озеро практически полностью определяет сток реки Нева, который оказывает существенное воздействие на формирование и состояние вод Финского залива Балтийского моря. На озере работают крупные рыболовецкие и рыбоводческие предприятия, так же прибрежные районы озера активно используются для организации туризма и отдыха. Несмотря на проведение в последнее время природоохранных мероприятий, продолжают эвтрофикация и общее ухудшение качества вод, в особенности заметные в прибрежных районах, а также в районах сброса бытовых и промышленных сточных вод.

Несмотря на значительный объем проведения натуральных исследований, данных натуральных наблюдений недостаточно для количественного описания сложных многофакторных взаимодействий в озерной экосистеме. Отсутствие количественного описания таких взаимодействий не позволяет не только достоверно различать природные и антропогенные изменения в экосистеме Ладожского озера, но и прогнозировать возможные изменения состояния экосистемы даже с указанием степени неопределенности прогнозов. В ситуации недостатка необходимых данных натуральных наблюдений, наиболее надежным инструментом для решения задачи количественного описания функционирования водной экосистемы, пригодным для прикладного использования, является математическое моделирование водных экосистем на соответствующих пространственно-временных масштабах.

В настоящей работе предлагается трехмерная эко-гидродинамическая модель Ладожского озера, основанная на Санкт-Петербургской модели эвтрофикации Балтийского моря (SPBEM). В отличие от существующих моделей экосистемы Ладожского озера, предлагаемая модель реализована на сферической сетке высокого разрешения (шаг сетки по горизонтали ≈ 1 км), содержит модуль бентосного слоя и описывает циклы азота и фосфора в водной толще и донных отложениях. С использованием предложенной модели, выполнен расчет сезонной и межгодовой изменчивости состояния Ладожского озера в период 1979 – 2018 гг. при задании в качестве граничных условий атмосферного воздействия и стока рек, впадающих в Ладожское озеро, для гидротермодинамического модуля и поступления биогенных элементов из атмосферы и с суши для биогеохимического модуля. Сравнение результатов расчета современного климатического состояния Ладожского озера с имеющимися данными спутниковых и экспедиционных наблюдений показало, что модель достаточно адекватно воспроизводит климатический сезонный ход поля поверхностной температуры и её вертикальное распределение. Поскольку Ладожское озеро является фосфор-лимитированным водоемом, то из биогенных элементов наибольшее значение при верификации модели имеют соединения фосфора. Сопоставление результатов моделирования с 664 измеренными значениями фосфатов показывает, медианное значение модельных фосфатов составляет $2,3 \text{ мкг/м}^3$, а медиана данных натуральных наблюдений равна $2,8 \text{ мкг/м}^3$. При этом расхождение значения квартиля 75% между воспроизведенными и измеренными значениями составляет $0,1 \text{ мкг/м}^3$. Сопоставление модельных и наблюдаемых значений содержания общего фосфора показывает, что модель недооценивает медианное значение на $1,8 \text{ мкг/м}^3$ и имеет больший размах между квартилями 25 и 75%. Отметим, что отмеченные расхождения результатов моделирования биогенных элементов с данными наблюдений, скорее всего, связаны с неточностями в задании поступления из внешних источников.

Сравнение 584 измерений биомассы фитопланктона с результатами моделирования показало, что модель в целом недооценивает биомассу

фитопланктона. Недооценка медианного значения составляет 0,34 гww/м³ (30%), недооценки значения квартиля 25 % – 45-50% и квартиля 75% – 10%. Заниженные значения воспроизведенной биомассы фитопланктона связаны с недооценкой содержания фосфора.

В результате проведенной верификации сделан вывод, что предложенная модель может быть использована для исследования влияния внешних естественных и антропогенных факторов на биогеохимические процессы и функционирование экосистемы Ладожского озера.

Финансирование: Исследование выполнено при поддержке грантов Российского научного фонда (проект № 23-17-20010) и Санкт-Петербургского научного фонда (проект № 23-17-20010).

ПРОБЛЕМА ОЦЕНКИ КЛИМАТИЧЕСКОГО ФАКТОРА РАЗРУШЕНИЯ АРКТИЧЕСКИХ БЕРЕГОВ (ХАРАСАВЭЙ И ЧЕРНЫЙ БЕРЕГ, ЗАПАДНЫЙ ЯМАЛ)

**Кажукало Г.А., Новикова А.В., Белова Н.Г., Шабанова Н.Н.,
Огородов С.А.**

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
г. Москва, Россия.*

kazhukalo@geogr.msu.ru

Ключевые слова: термоабразия, техногенез, динамика береговой линии, мыс Бурунный, Карское море.

Специфика механизма разрушения арктических берегов обуславливает их крайне низкую устойчивость к стремительно растущему техногенному воздействию в условиях глобального потепления климата. По некоторым сценариям климатического прогноза к концу XXI века темпы размыва арктических берегов могут увеличиться в 2-3 раза (Nielsen et al., 2022). Подтвердить или опровергнуть подобные оценки климатической (региональной) интенсификации размыва берегов в Арктике в крупном масштабе зачастую затруднительно ввиду наличия иных, локальных (интенсивность техногенного воздействия, фациальные различия в строении уступа размыва и пр.) факторов.

С целью выявления роли климатического фактора пространственно-временной изменчивости динамики берегов была проведена количественная оценка скоростей смещения береговой линии протяженностью 33 км, охватывающий термоабразионные берега к югу от посёлка Харасавэй (10 км), небольшой (5 км) термоабразионный сегмент Черного Берега, а также аккумулятивные берега в створе мыса Бурунный (18 км). Полученные данные

о динамике берегов сопоставлены с изменением гидрометеорологического потенциала, рассчитанного по полуэмпирическому методу Попова-Совершаева (Огородов и др., 2022). Среднемноголетние (1964-2022 гг.) скорости отступления береговой линии термоабразионных берегов к югу от посёлка Харасавэй участка составили 1.03 м/год, а пиковые значения достигают 2.75 м/год вблизи мыса Харасавэй. Уступы размыва Черного Берега за тот же временной промежуток размывались существенно медленнее – среднемноголетние значения составляют 0.63 м/год, пиковые – не более 1.8 м/год. Для аккумулятивных берегов от посёлка Харасавэй до Черного Берега выявлен практически повсеместный и устойчивый размыв (0.44 м/год). Размыв термоабразионных уступов, бедных наносами волнового поля, не обеспечивает достаточный объём пляжеобразующего материала. Только на 16% береговой линии, к северо-востоку от мыса Бурунного до устья р. Тумбэтаяха, наблюдается приращение, связанное с изменением волнового климата при сокращении площади морского льда в акватории.

Анализ скоростей термоабразии за отдельные временные рубежи выявил пиковые скорости размыва на пионерном этапе освоения Харасавэйского месторождения – за 1982-1988 гг. берега к югу от посёлка отступали со средней скоростью 1.49 м/год, а на отдельных участках – до 7.9 м/год. Для Черного Берега за этот же промежуток (1982-1988 гг.) наблюдались пиковые скорости не более 5 м/год (бровки крупных термоцирков), а среднестатистические значения сопоставимы со среднемноголетними. Исходя из вышеописанного, ведущим фактором резкой активизации термоабразии в прошлом столетии и сравнительно высокой средней скорости размыва берегов к югу от посёлка Харасавэй представляется прямое техногенное воздействие. Техногенно-обусловленные скорости размыва значительно превышают среднестатистические значения (многолетние и по отдельным временным срезам). При этом как для Черного Берега, так и для 71% термоабразионных берегов к югу от посёлка характерен медленный, слабовыраженный тренд на увеличение скорости отступления, сопоставимый с ростом ветроэнергетического потенциала и индекса таяния (0.5–0.7 %\год). Региональный тренд увеличения скорости термоабразии, таким образом, в многолетнем масштабе может быть оценен в первые сотые метра за 10 лет.

В свою очередь, сопоставление динамики берегов и изменения гидрометеорологических параметров за отдельные периоды показала невысокую зависимость даже на малоосвоенных термоабразионных уступах Черного Берега. По-видимому, прямую корреляцию не позволяет выявить метахронность гидрометеорологических характеристик – несовпадение периодов повышенного штормового воздействия и аномалий температурного режима. Осреднение скоростей размыва за доступные по данным ДЗЗ временные рубежи, исчисляемые годами или даже десятилетиями, не учитывает катастрофическую природу термоабразионного процесса, а также

всевозможные обратные связи (например, бронирование уступа продуктами термоденудации) в береговой зоне.

Исследование выполнено при финансовой поддержке проекта РФФ № 22-17-00097.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Nielsen, D.M., Pieper, P., Barkhordarian, A. et al. Increase in Arctic coastal erosion and its sensitivity to warming in the twenty-first century. *Nat. Clim. Chang.*, 2022, 12, 263–270. <https://doi.org/10.1038/s41558-022-01281-0>.

2. Огородов С.А., Шабанова Н.Н, Кессель А.С. и др. Изменение гидрометеорологического потенциала термоабразии берегов морей Российской Арктики // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2022. № 1. С. 26–42.

ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОБЕРЕЖЬЯ ОСТРОВНОГО БАРА ЯРКИ ОЗЕРА БАЙКАЛ

Ковалевская А.И.¹, Пеллинен В.А.², Шубин А.П.²

¹*Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
г. Москва, Россия*

²*Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия
alex.kovalevskaya@mail.ru*

Ключевые слова: аккумулятивные процессы, химический состав отложений, тяжелые металлы, оценка загрязнения, озеро Байкал, бар Ярки.

Введение

Особое внимание ученых всего мира привлекают исследования аккумулятивных побережий морей с развитой инфраструктурой. Несмотря на это, исследование берегов внутриконтинентальных водоемов стоит на втором месте относительно интереса к их изучению. На территории России довольно большое количество уникальных водных объектов, исследования которых продолжаются более 100 лет. К таким объектам, безусловно, относится озеро Байкал. В данной работе в качестве объекта исследования выбран бар Ярки, являющийся одним из ключевых участков и представительным примером аккумулятивного берега озера Байкал с довольно продолжительной историей изучения. Бар Ярки представляет собой береговую геосистему, наиболее чувствительную к техногенезу. Береговая зона островного бара имеет довольно развитую инфраструктуру, поэтому оценка загрязнения отложений химическими элементами является актуальной. Распределение химических

элементов в отложениях зависит от ряда факторов: морфодинамические процессы, размеры частиц отложений и расположение рекреационных зон.

Основная цель работы – оценка особенностей распределения химических элементов в отложениях береговой зоны островного бара Ярки. Для достижения поставленной цели выполнялись определение химического состава отложений островного бара Ярки с использованием метода РФА и оценка их загрязнения. Чтобы получить зависимость способности сорбировать частицами химические элементы от размера этих частиц, были использованы данные, полученные при определении гранулометрического состава с использованием современного лазерного дифракционного анализатора «ANALYSETTE 22» (модель NanoТес, компания Fritsch).

Объект и методы исследования

Объектом исследования является Бар Ярки, представляющий собой песчаный островной бар протяженностью порядка 17 км, расположенный между устьями рек Кичера и Верхняя Ангара. Устья этих рек имеют различную форму: р. Кичера образует одорукавную дельту с заблокированным устьем, в отличие от Верхней Ангары, которая впадает в озеро Байкал двумя рукавами, а именно Верхняя Ангара и протока Власиха. Между ними расположен остров Миллионный. К устьям рек Кичера и Верхняя Ангара примыкают косы: на западе, в районе пос. Нижнеангарск – Нижнеангарская коса, на востоке – местность Дагары. Общая протяженность острова Ярки на 2020 г. составляла около 26,3 км. Ширина его в районе устья р. Кичера достигала 168 м.

В данной работе проводилось определение содержаний V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Sr, Pb, As с помощью метода рентгенофлуоресцентного анализа (РФА). Это экспрессный высокочувствительный неdestructивный метод, широко применяемый в геохимии и геологии для определения элементного состава вещества в широком диапазоне концентраций. Измерение образцов отложений выполнено при помощи современного рентгенофлуоресцентного волнодисперсионного спектрометра S8 TIGER (Bruker AXS, Германия) на базе Центра коллективного пользования (ЦКП) «Геодинамика и геохронология» ИЗК СО РАН, г. Иркутск. Расчет концентраций, изученных элементов, проводили с применением программного обеспечения SPECTRAplus.

Для получения зависимости способности сорбировать частицами химические элементы от размера этих частиц были использованы данные, полученные при определении гранулометрического состава песчаных отложений с размером частиц от 0,00008 до 2,0 мм использован современный лазерный дифракционный анализатор «ANALYSETTE 22» (модель NanoТес, компания Fritsch), обладающий высокой точностью и минимальным временем измерения одной пробы.

Выводы

Таким образом, в рассматриваемой береговой зоне бара Ярки было выявлено загрязнение такими металлами, имеющими антропогенное происхождение, как Sr, Pb, а в некоторых местах – As. При рассмотрении

фракции меньше 0,1 мм также наблюдалось повышенное содержание Co, V и Cr, что свидетельствует о возможности более мелких частиц сорбировать некоторые элементы. Распределение химических элементов вдоль бара Ярки неравномерное. Зависимости между значениями показателей и расположением точек по отношению к протокам не наблюдается, что свидетельствует о минимальном влиянии протоков на состояние отложений бара Ярки. Вероятно, что повышенные содержания химических элементов в некоторых точках связаны с расположением в данных районах рекреационных зон. Так, источниками Sr и Pb могли служить электронные приборы, гальванические элементы, а As – пиротехника. Также повышенное содержание данных химических элементов может быть связано с близким от района исследования расположением аэропорта и ветки Байкало-Амурской магистрали.

ОПАСНЫЕ КРИОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ НА БЕРЕГАХ ОБСКОЙ ГУБЫ КАРСКОГО МОРЯ В РАЙОНЕ ПОСЕЛКА НОВЫЙ ПОРТ

Кузякин Л.П., Огородов С.А., Кажукало Г.А., Богатова Д.М.

*МГУ имени М.В. Ломоносова, географический факультет, НИЛ геоэкологии
Севера, г. Москва, Россия
kuziakin@geogr.msu.ru*

Ключевые слова: Обская губа, Новопортовский мерзлотник, берега, термоденудация

Береговые системы Арктики располагаются на границе взаимодействия литосферы, гидросферы, атмосферы и криолитосферы, и поэтому они достаточно чувствительны к любым изменениям внешней среды, в особенности к техногенезу. Современные климатические изменения в северных широтах выражаются в повышении температуры воздуха, увеличении глубины сезонного оттаивания в грунтах, и, главным образом, в изменении гидрологического режима в пределах береговой зоны: увеличение динамически активного периода и усилении волнения.

Берега бухты Новый Порт, в районе одноимённого посёлка на восточном берегу Ямала, большинством исследователей представляются как стабильные, либо аккумулятивные (Lantuit et al., 2012; Ogorodov et al., 2020). В сентябре 2023 года сотрудниками НИЛ геоэкологии Севера был проведён ряд полевых наблюдений в районе Нового Порта. Исходя из результатов геоморфологического обследования, устных сообщений местных жителей, а также архивных фото, свидетельствующих о размыве фрагментов лайд на термоабразионных и термоденудационных берегах можно заключить, что в

последние 5-7 лет абразионная нагрузка на берега Нового Порта существенно увеличилась. Непосредственно в створе поселка разрушение берегового уступа реализуется преимущественно за счет активизации склоновых процессов на термоденудационных сегментах с последующим выносом пляжеобразующего материала сгонно-нагонными явлениями. Это может быть связано как с естественным увеличением сезонно-талого слоя в пределах уступа и возрастающей штормовой активностью, так и с возросшей техногенной нагрузкой на берег и подводный береговой склон. В 2017 году был реализован проект строительства нового причала для нужд нефтегазовой отрасли, что сопровождалось дноуглубительными работами на осушке, подрезкой склонов и, возможно, изъятием пляжеобразующих наносов. О росте волновой нагрузки на берега Нового Порта свидетельствует и повсеместный размыв поверхности лайды даже вне зоны активного техногенного воздействия. Представленные результаты подтверждают и подчеркивают повсеместную абразионную тенденцию, выявленную, в том числе, и для низких аккумулятивных берегов (Романенко и др., 2015). При современных климатических тенденциях вполне вероятно увеличение скорости размыва до сопоставимой (2–3 м/год) с техногенно-освоенными участками на открытых побережьях Карского моря (Ogorodov et al., 2020)

Увеличение скоростей размыва берега в районе Нового Порта несёт опасность для всех инженерных сооружений, но в особенности для уникального объекта культурного наследия ЯНАО – Новопортовского мерзлотника, вход в который расположен в береговом уступе. В связи с возрастающей штормовой нагрузкой и размывом пляжа вблизи мерзлотника, высота залеска волн в период штормовых нагонов увеличивается, что может привести к затоплению штолен, глубина заложения которых ниже среднегодового уровня воды в Обской губе. Предпринимавшиеся без научного обоснования попытки проведения берегозащитных мероприятий не дали должного эффекта. Вкупе с повышением среднегодовой температуры грунтов, увеличением сезонно-талого слоя и снижением ледовитости арктических акваторий (Nielsen et al., 2022, Огородов и др., 2022), безаварийная эксплуатация Новопортовского мерзлотника без надлежащего мониторинга криогенных и береговых процессов представляется невозможной.

Исследование выполнено при финансовой поддержке проекта РФФ № 22-17-00097.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lantuit H., Overduin P.P., Couture N., Wetterich S. et al. The Arctic Coastal Dynamics database. A new classification scheme and statistics on arctic permafrost coastlines // *Estuaries and Coasts*. 2012. V. 35. P. 383–400. 22.

2. Ogorodov S., Aleksyutina D., Baranskaya A., Shabanova N., Shilova O. Coastal erosion of the russian arctic: An overview // Journal of Coastal Research. 2020. No. 95. P. 599–604.

3. Романенко Ф.А., Баранская А.В., Ермолов А.А., Кокин О.В. Низкие берега западно-арктических морей: происхождение, возраст и современная динамика // Вопросы географии. 2015. Т. 140. С. 275-306.

4. Nielsen, D.M., Pieper, P., Barkhordarian, A. et al. Increase in Arctic coastal erosion and its sensitivity to warming in the twenty-first century. Nat. Clim. Chang., 2022, 12, 263–270. <https://doi.org/10.1038/s41558-022-01281-0>.

5. Огородов С.А., Шабанова Н.Н, Кессель А.С. и др. Изменение гидрометеорологического потенциала термоабразии берегов морей Российской Арктики // Вестник Московского университета. Серия 5: География. — 2022. — № 1. — С. 26–42.

АККУМУЛЯЦИЯ И МИГРАЦИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ АРКТИКИ И СУБАРКТИКИ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРО-ВОСТОКА

Лаптева Е.М., Денева С.В.

*Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения
Российской академии наук, г. Сыктывкар, Россия
denewa@rambler.ru*

Ключевые слова: береговая зона, арктический регион, Большеземельская тундра, почвы, тяжелые металлы.

В настоящее время особое внимание многих исследователей обращено на арктические и субарктические регионы европейского Северо-Востока. Это обусловлено необходимостью реализации задач социально-экономического развития Арктической зоны России, предусматривающих интенсификацию добычи топливно-энергетических ресурсов и создание сопутствующей инфраструктуры. В пределах европейского Севера значимый интерес представляет прибрежная территория Большеземельской тундры (БЗТ), где сосредоточены месторождения углеводородного сырья, пик добычи которого прогнозируется в ближайшее десятилетие. Разведка и освоение месторождений углеводородного сырья вызывают резкое возрастание техногенной нагрузки на природную среду не только прилегающих к указанным объектам территорий, но и акватории Баренцева моря. Последнее определяется преимущественной разгрузкой подземных вод материковой части Арктической зоны в направлении Северного Ледовитого океана и

выносом загрязняющих веществ с поверхностным стоком в бассейны арктических морей.

В связи с труднодоступностью многих районов БЗТ ее почвенный покров исследован фрагментарно. В последние годы в рамках работ по оценке экологического состояния почв на территориях разрабатываемых месторождений углеводородного сырья в Арктическом и Субарктическом секторах определены особенности содержания наиболее приоритетных тяжелых металлов (ТМ) в почвах северо-западной и юго-восточной частей БЗТ. Природные углеводороды месторождений БЗТ отличаются высоким содержанием ванадия, никеля, железа, которые при аварийных разливах нефти, наряду с другими элементами, могут оказать значимое влияние на живую составляющую почв, растительный покров, а также миграционные потоки тяжелых металлов и металлоидов в ландшафтах БЗТ.

На основании проведенных исследований установлено, что в северной части БЗТ, включая береговую зону Баренцева моря, на водоразделах и долинных ландшафтах доминируют почвы полугидроморфного и криогидроморфного ряда. В соответствии с классификацией почв России, на рассматриваемой территории выделено 15 типов и 25 подтипов почв, входящих в шесть отделов. Для основных, наиболее широко распространенных почв (подбуров, глееземов, торфяно-глееземов, торфяных почв болотных комплексов, маршевых и аллювиальных почв долинных ландшафтов) установлены пределы варьирования тяжелых металлов (Cu, Pb, Cd, Zn, Ni, Co, V, Mn, Cr, Fe, Sr, Ba, Mo, Hg) и металлоидов (As) в органогенных и минеральных горизонтах. Выявлены основные закономерности накопления в них ТМ и мышьяка. Показано, что в органогенных горизонтах всех исследованных почв преимущественно аккумулируются такие ТМ, как Hg, Cd, Mn, Pb, Zn, Ba, Sr. В автоморфных и полугидроморфных почвах водораздельных плато, в отличие от депрессий, занятых полигональными и плоскобугристыми болотами, и синлитогенных почв долинных ландшафтов, происходит обогащение минеральной части почвенных профилей Ni, Co, Va, Cr, Fe и As. Показано, что валовое содержание большинства проанализированных элементов в почвах северных тундр не превышает регламентированных значений ОДК(ПДК) и соответствует низкому и среднему региональному уровню их содержания. Для Cd и As установлен повышенный и высокий региональный фон их содержания в почвах. Отмеченное в ряде случаев превышение ОДК(ПДК) по содержанию As, Co, Mn и Cd обусловлено особенностями состава почвообразующих пород и спецификой условий аккумуляции и миграции элементов в ландшафтах криолитозоны. К специфической особенности северных тундр БЗТ необходимо отнести крайне низкое содержание в почвах молибдена – в большинстве исследованных почв его содержание находилось на уровне меньше нижней границы диапазона определяемого содержания.

Выявлены различия в содержании некоторых ТМ (Zn, Pb, Ni, Cu, Cd, Hg) и мышьяка в органогенных горизонтах почв южных кустарниковых и северных гипоарктических тундр береговой зоны. Показано, что в направлении к северным тундрам в почвах, занимающих на водоразделах автоморфные (подбуры, глееземы) и полугидроморфные (торфяно-глееземы) позиции рельефа, возрастает содержание As, Zn, Ni, Pb, Cu. В торфяных почвах болотных экосистем, представленных в депрессиях водоразделов, аллювиальных почвах долин рек отмечена тенденция к снижению их концентрации, за исключением цинка, содержание которого в пойменных почвах северной тундры выше, чем в аналогичных почвах южной тундры. Для кадмия выявлено практически 2–3-кратное возрастание его содержания во всех типах почв северных тундр, по сравнению с южными.

Полученные данные, характеризующие профильное распределение тяжелых металлов и мышьяка в почвах Большеземельской тундры, могут быть использованы при проведении экологического мониторинга в районах разработки и добычи углеводородного сырья и оценке антропогенного воздействия на компоненты природной среды арктических и субарктических регионов европейского Северо-Востока.

БИОГЕННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ОЗЕРАХ, ПОЛНОСТЬЮ ОТДЕЛИВШИХСЯ ОТ БЕЛОГО МОРЯ (НА ПРИМЕРЕ ОЗ. ВЕРХНЕЕ ЕРШОВСКОЕ И ОЗ. НИЖНЕЕ ЕРШОВСКОЕ)

Лосюк Г.Н., Попов С.С., Кокрятская Н.М.

*Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им.
академика Н.П. Лаврова УрО РАН, г. Архангельск, Россия
glosyuk@yandex.ru*

Ключевые слова: Белое море, отделяющиеся озера, стратификация, биогенные элементы.

Карельский берег Белого испытывает постгляциальное поднятие после отступления последнего ледника со скоростью 3-4 мм/год. В результате этого поднятия небольшие прибрежные лагуны и заливы отделяются от моря и превращаются в озера, в которых протекают процессы изменения гидрохимической и гидрологических структуры. В результате опреснения верхних горизонтов за счет поступления с водосбора и атмосферных осадков происходит плотностное расслоение водной толщи и образование стратифицированной структуры. В результате истощения кислорода в придонных горизонтах на диагенетическое преобразования оседающего

органического вещества появляются анаэробные условия, появляется и накапливается токсичный для аэробной формы жизни реагент сероводород. В районе Беломорской Биологической станции им. Н.А. Перцова Биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова ведутся с 2012 г. наблюдения за озерами на разных стадиях отделения от Белого моря: от начальной стадии лагуны с постоянным приливным водообменом (Лагуна на зеленом мысе и оз. Кисло-Сладкое) через меромиктическую стадию с максимальными концентрациями сероводорода (оз. Трёхцветное) до полностью отделившихся пресных водоемов, поступление соленой воды в которых возможно только при катастрофических нагонах морской воды (оз. Верхнее Ершовское и Нижнее Ершовское).

В сентябре 2023 г. были получены данные по содержанию биогенных элементов для двух пресных озер, образовавшихся на месте древнего пролива и соединенных между собой протокой. Для оз. Верхнего Ершовского были получены первые данные по содержанию биогенных элементов, таких как фосфаты, кремний, нитриты и аммоний. Содержание фосфатов в пересчёте на минеральный фосфор увеличивается с глубиной от 1,18 мкг/л до 2,66 мкг/л. Такое же распределение характерно и для остальных элементов: максимальные концентрации накапливаются в придонных горизонтах на глубине 4,0 м. Концентрации кремния лежат в диапазоне 682-1716 мкг/л, нитритов от 2,63 до 5,21 мкг/л, аммония от 5,27 до 13,65 мкг/л (нитриты и аммоний приведены в пересчете на минеральный азот).

Оз. Нижнее Ершовское ранее считалось полностью пресным водоемом, но в 2012 г. в нем была обнаружена соленая анаэробная линза у дна с достаточно высоким содержанием сероводорода. На протяжении нескольких лет исследований это линза сохранялась, а концентрации сероводорода достигали больших значений (до 188 мг/л), но с 2021 г. и по настоящее время озеро является пресным и может рассматриваться как полностью отделившийся пресный водоем с сезонной стагнацией. Концентрации биогенных элементов в водоёме имеют довольно равномерное распределение по глубине: фосфор был определен в диапазоне от 0,89 до 2,37 мкг/л, содержание нитритного азота было одинаковое по всей водной толще – около 1,79 мкг/л, также как и кремния ~358 мкг/л, однако, концентрации аммонийного азота изменялись по глубине максимальные значения были зафиксированы на глубине 1,5 м и составили 11,5 мкг/л.

Таким образом, полученные данные по содержанию биогенных элементов в воде двух пресноводных озер – бывших морских заливов, в настоящее время полностью отделившихся от Кандалакшского залива Белого моря, можно расценивать как невысокие; в целом, полученные данные для кислородных вод изучаемых озер близки средневековым концентрациям этих элементов в поверхностных водах озер Карелии.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЛИТОРАЛЬНОГО МАКРОФИТОБЕНТОСА МУРМАНСКОГО БЕРЕГА БАРЕНЦЕВА МОРЯ

Малавенда С.В.

ММБИ РАН, г. Мурманск, Россия

Ключевые слова: фукусовые водоросли, фитоценозы, обрастание, загрязнение.

Биота литорали Мурманского берега существует в суровых условиях субарктики, значительных колебаний уровня моря, различных формах хозяйственной деятельности человека. Все ускоряющиеся изменения климата побуждают отслеживать текущее состояние фукусовых и ламинариевых сообществ на северо-восточной границе их развития. Известно, что можно ожидать вселение новых видов на портовых сооружениях или вблизи портов, резкого увеличения биомассы фукусовых и ламинариевых в связи с потеплением, но возможно и негативное влияние штормов. Антропогенный пресс вызывает и сокращение видового о состоянии макрофитобентоса литорали Мурмана. В период 2021-2023 года были проведены комплексные береговые экспедиции в 6 районах Мурманского берега Баренцева моря: Кольском и Нокуевском заливах, губах Печенга, Териберская, Дворовая и губах в районе биостанции в Дальних Зеленцах. Все участки берега различались степенью и характером антропогенного воздействия и температурным режимом. Оценивали видовой состав фитоценозов, биомассу видов, состояние популяций промысловых видов, обрастание антропогенных объектов (деревянных и бетонных конструкций, мусора). Использовали метод учетных площадей для количественных измерений и ботанические маршруты вдоль литорали для качественного описания сообществ. Видовой состав и облик литоральных фитоценозов в настоящее время соответствуют литературным данным. Но в ряде районов отмечены явные отклонения в структуре, которые вероятно обусловлены загрязнением: массовое развитие зеленых ульвовых и улотриксковых водорослей, существенное уменьшение видового разнообразия. В целом выявлено, что биомасса фукусовых водорослей *Fucus vesiculosus* и *Ascophyllum nodosum* в последние три года возрастала, максимальные значения были отмечены в 2023. Об увеличении запасов промысловых видов выводы, однако, делать преждевременно, поскольку не оценена общая площадь зарослей. В Кольском заливе на некоторых участках литорали выявлено снижение биомассы фукусов и аномально низкая доля ювенильных особей. Есть основания связывать данные события с нефтяным загрязнением. Анализ структуры популяции доминанта литоральных сообществ *F. vesiculosus* вдоль Мурмана с запада на восток был проведен благодаря

практически одновременному сбору материала в разных районах. Выявлено, что такие параметры как сроки появления проростков, линейные размеры талломов и их масса в привязке к числу дихотомических ветвлений одинаковы на всем Мурмане. Варьирует между районами скорость образования дихотомических ветвлений, вероятно и возраст размножения у талломов. В целом популяцию данного вида можно характеризовать как устойчивую. На искусственных субстратах биомасса и видовое разнообразие водорослей ниже, чем в окружающих сообществах, прежде всего которые являются доминирующими и обычными на литорали. Основную массу слагают бурые и зеленые водоросли, что отличает обрастание высоких широт, хотя и соответствует закономерности, выявленной для других морей, что обрастание в целом повторяет облик естественных сообществ. Сезонная динамика явно не проявляется, поскольку влияет много случайных повреждающих факторов. В общем литоральные фитоценозы изменены под влиянием антропогенного пресса, особенно в Кольском заливе. Влияние климатических изменений пока не видны столь явно.

Исследование выполнено по государственному заданию ММБИ РАН (гос. рег. 122020900044-2).

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ АККУМУЛЯТИВНОГО БЕРЕГА БАРГУЗИНСКОГО ЗАЛИВА ОЗЕРА БАЙКАЛ

Пеллинен В.А., Светлаков А.А., Добрынина А.А., Шубин А.П.

Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия

Местность Мягкая Карга представляет собой одну из самых крупных аккумулятивных форм озера Байкала протяжённостью 21 км: от устья реки Баргузин до полуострова Святой Нос. За песчаной косой, на северо-восток, начинается болотистый перешеек Мягкая Карга, который отделяет Баргузинский залив от Чивыркуйского. Привнос песчаного материала на косу происходит за счет вод реки Баргузин в паводковое время. В геологическом прошлом вследствие сейсмотектонических явлений полуостров Святой Нос еще являлся островом, отделенным от восточного берега Чивыркуйско-Баргузинским проливом. В четвертичное время происходило заполнение пролива донными осадками, поскольку Святой Нос служил барьером для рыхлых отложений (Леви К.Г., Аржанникова А.В., Буддо В.Ю. и др., 1997; Лут Б.Ф., 1978).

Целью настоящей работы является анализ локальных особенностей гранулометрического состава наносов береговой зоны участка «Мягкая Карга»

в пределах Баргузинского залива, основанный на данных наблюдений, полученных в ходе экспедиционных работ, а также обобщение ранних знаний, полученных из литературных источников.

Для удобства изучения аккумулятивная часть береговой зоны Баргузинского залива, была разделена на два участка: Северный, протяженностью 21 км (от устья р. Баргузин до п-ова Святой нос) и Южный, равный 5.5 км (от устья р. Баргузин до Восточного берега Байкала)

Участок Северный начинается от п-ова Святой Нос, в этой точке галечный пляж полуострова меняется на песчаный. Песок, слагающий пляж, имеет крупный размер частиц 0.6–0.8 мм и хорошо сортирован. На расстоянии 2–4 м от уреза сформированы небольшие дюны высотой 1–2 м, заросшие сосновым лесом, которые, протягиваясь в цепочку на юг, образуют первый береговой вал. Протяженность такого берега составляет 2.46 км. Далее количество растительности снижается, а высота дюн увеличивается до 3–4 м, однако на этом участке протяженностью около 5.8 км береговой вал имеет разрывы и представлен отдельными дюнами. Размер фракций песка, слагающего пляж на данном участке, становится мельче (0.3–0.5 мм). На расстоянии примерно 8 км от полуострова начинается участок активного эолового поля. Ширина пляжа увеличивается с 2–3 до 5–60 м. Высота отдельных дюн достигает 5–7 м. Все это в комплексе – активное эоловое поле протяженностью 4.12 км и шириной до 350 м. Далее, до устья р. Баргузин аккумулятивный берег приходит в зону, состоящую из пляжа шириною 20–40 м. Южный участок, в основном по площади, представлен активным эоловым полем с шириной пляжа, изменяющейся от 3 до 50 м. В результате сильных ветров на отдельных частях данного участка сформировались перпендикулярно урезу котловины выдувания, протяженностью 0.5–1 км. Гипсометрическая отметка днища этих котловин близка уровню Байкала, поэтому заболочено.

Минералогический анализ отложений показал, что основным источником наносов для северной части является р. Баргузин, а для южной – пролювиальные и водно-ледниковые отложения берегового уступа, примыкающего к горному массиву на севере.

В результате эхолотирования были зафиксированы три подводных вала: первый – на расстоянии 30 м, второй – 40 м, а третий – 120 м от берега. Ширина первого и второго валов равна 15 м, а третьего – 30 м.

Анализ, основанный на сборе количественных данных и наблюдении за берегоформирующими процессами косы Мягкая Карга, позволяет сделать вывод о состоянии всех аккумулятивных берегов, поскольку интерпретация полученных данных показывает чувствительность береговых процессов к морфологическим изменениям рельефа береговой зоны.

Наличие речного стока, как доминирующего источника наносов обосновано отсутствием разнообразия минерального и гранулометрического состава отложений. Установлено два источника наносов: первый – это

продукты абразии, поступающие с вдольбереговым потоком с прилегающих абрадируемых участков коренного берега, и второй, основной, – наносы реки Баргузин, поступающие в паводковый период.

Формирование таких типов берегов, как аккумулятивный берег Баргузинского залива, происходит в результате влияния комплекса природных компонентов, усиливающих или ослабляющих действие друг друга. Характер распределения гранулометрического состава отложений в пределах аккумулятивных берегов является своеобразным индикатором современной активности различных морфодинамических и литологических процессов.

В работе задействовалось оборудование ЦКП «Геодинамика и геохронология» Института земной коры СО РАН в рамках гранта № 075-15-2021-682.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Леви К.Г., Аржанникова А.В., Буддо В.Ю. и др. Современная геодинамика Байкальского рифта / К.Г. Леви, А.В. Аржанникова, В.Ю. Буддо, П.Г. Кирилов, А.В. Лухнев, А.И. Мирошнеченко, В.В. Ружич, В.А. Саньков // Разведка и охрана недр. 1997. С 10–20.
2. Лут Б.Ф. Геоморфология Прибайкалья и впадины озера Байкал. Новосибирск: Наука. СО АН СССР, 1978. 240 с.

ЭВОЛЮЦИЯ БЕРЕГОВЫХ МОРФОЛИТОСИСТЕМ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА В ГОЛОЦЕНЕ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ РЕГИОНАЛЬНОЙ ТЕКТониКИ, КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ И ТЕХНОГЕНЕЗА

**Рябчук Д.В., Сергеев А.Ю., Жамойда В.А., Ковалева О.А., Неевин И.А.,
Буданов Л.М.**

*Всероссийский научно-исследовательский геологический институт
им. А.П. Карпинского, г. Санкт-Петербург, Россия
Daria_Ryabchuk@mail.ru*

Ключевые слова: береговые морфолитосистемы, голоцен, техногенез, Финский залив.

Восточная часть Финского залива Балтийского моря характеризуется высокой чувствительностью береговых морфолитосистем к изменению внешних природных факторов. Важнейшими задачами, которые необходимо решить для выработки эффективных мер по устойчивому развитию

приморских территорий, выбору стратегии и тактики берегозащитных мероприятий, обеспечению экологической безопасности береговых зон является понимание эволюции береговых зон в ближайшем геологическом прошлом, установления основных причин происходящих в настоящее время процессов и прогноз их развития в будущем.

Амплитуда многократных колебаний относительного уровня моря в голоцене с учетом геоморфологического фона, характеризующегося достаточно выровненным рельефом, была весьма существенной. В условиях наличия значительных объемов осадочного материала, сформированного на этапе дегляциации региона и локализованного в ледниковых и водноледниковых отложениях, на этапах стабилизации уровня моря при трансгрессиях это приводило к широкому развитию в пределах современной суши форм прибрежной аккумуляции (косы, бары, береговые валы и т.д.). При регрессиях доминирующими процессами на суше была консервация береговых аккумулятивных форм, заболачивание и широкое развитие эоловых процессов. В свою очередь, в пределах современного дна акватории формировались береговые формы рельефа (затопленные ныне вдольбереговые террасы). Важнейшей особенностью литодинамических процессов в конце голоцена стало формирование дефицита осадочного материала (наносов) в береговой зоне.

Основной проблемой современной береговой зоны является интенсивная абразия (размыв) берегов. Средние скорости отступления берегового уступа невелики и составляют 0,25 см/год, однако на отдельных участках (западный Котлин, Курортный район, южный берег залива в районе пос. Лебяжье) они могут достигать 1,5-2 м/год. При экстремальных штормах уступ может отступить на расстояние до 5 метров за один шторм. Геологические и геоморфологические факторы (преобладание рыхлых, неустойчивых к размыву отложений, нулевые скорости гляциоизостатического выравнивания, рельеф подводного берегового склона) создают фоновые предпосылки для развития абразионных процессов. Основными гидрометеорологическими факторами, способствующими интенсивной абразии, являются шторма западных направлений в совокупности с нагонными явлениями, проходящие при отсутствии устойчивого ледяного покрова. В связи с климатическими изменениями частота экстремальных размывов берегов в последние десятилетия возросла. Ситуация осложняется техногенным воздействием, к которому относится влияние Комплекса защитных сооружений Санкт-Петербурга от наводнений (КЗС), добыча песка и песчано-гравийных смесей в акватории, а также устаревшая система берегозащиты и неграмотные меры по благоустройству пляжей. В 2015-2016 гг. по инициативе Комитета по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности Санкт-Петербурга была разработана Генеральная схема берегозащиты, однако реализация ее до настоящего времени не началась. Осуществление необоснованных с научной

точки зрения локальных проектов «благоустройства пляжей» приводит к усугублению ситуации.

АНАЛИЗ РИСКОВ, ОБУСЛОВЛЕННЫХ КЛИМАТОЗАВИСИМЫМИ ЭКЗОГЕННЫМИ ГЕОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ В БЕРЕГОВОЙ ЗОНЕ ФИНСКОГО ЗАЛИВА

Сергеев А.Ю., Рябчук Д.В., Жамойда В.А., Неевин И.А.

*Всероссийский научно-исследовательский геологический институт
им. А.П. Карпинского, г. Санкт-Петербург, Россия
sergeevau@yandex.ru*

Ключевые слова: береговая зона, экзогенные геологические процессы, абразия, берегозащита.

Как показал мониторинг состояния береговой зоны Финского залива, выполняемый сотрудниками Всероссийского научно-исследовательского института им. Карпинского с 2004 г. по 2019 г., частота экстремальных размывов берегов в исследуемом районе возросла. Наблюдения последних лет также подтверждают сохранение этого тренда, и актуальность проблем деградации берегов сохраняется. В ходе реализации проекта по разработке Эскизного проекта Генеральной схемы берегозащиты Санкт-Петербурга по заказу Комитета по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности, были установлены аварийные участки берега и даны рекомендации по берегозащите. В пределах города на побережье Финского залива и Невской губы было выявлено 12 аварийных участков. Предпосылками для реализации проекта стало разрушение берегов и прибрежных участков морского дна, прибрежной инфраструктуры, утрата территории Санкт-Петербурга, определенные климатические и геологические прогнозы. Целью проекта было сохранение и защита приморской территории и инфраструктуры от разрушения и деградации рекреационных ресурсов города.

Исследования в рамках Эскизного проекта Генеральной схемы берегозащиты выполнялись по нескольким основным направлениям. Прежде всего, был выполнен сбор и анализ имеющейся информации о геологическом строении, характере гидрометеорологических процессов, контролирующей интенсивности абразии берегов, экологическими характеристиками береговой зоны. В ходе экспедиционных работ, включавших геолого-геофизические исследования субаквальной и субаэральной части береговой зоны, а также береговые маршруты были детализированы особенности геологического строения береговой зоны, лито- и морфодинамических процессов, а также актуализированы данные о состоянии берегов и берегозащитных сооружений.

Исходя из особенностей литодинамических условий для каждой отдельной части береговой зоны были предложены принципиально различные способы берегозащиты.

К сожалению, к настоящему времени реализация проекта по берегозащите города не осуществляется. Тем не менее перед администрацией города стоят задачи по разработке и реализации проектов благоустройства городских пляжей. Проектные организации осуществляют реализацию этих проектов, соблюдая необходимые нормативные правила для сооружения некапитальных элементов благоустройства, но они не учитывают особенности строительства в береговой зоне, как в наиболее динамичной части береговой морфолитосистемы. Также в расчет не берутся негативные последствия изменения климата, которые напрямую могут повлиять на активность развития процессов морфо- и литодинамики в береговой зоне.

Основными рисками, обусловленными климатическими факторами в береговой зоне Финского залива, являются абразия, наводнение (подъем уровня), затопление и подтопление, ледовая экзарация, русловые деформации.

Сотрудниками института Карпинского проведен анализ этих рисков для одного из пляжей Курортного района и представлен пилотный вариант экспертной оценки по снижению рисков, обусловленных климатическими факторами и даны рекомендации для внесения корректировок в проект благоустройства пляжа. По результатам полевого обследования и проведенного анализа негативных факторов развития экзогенных геологических и гидрометеорологических процессов, имеющих представления о морфо- и литодинамики береговой зоны была проведена адаптация проекта благоустройства прибрежной рекреационной зоны в районе г. Сестрорецка с учетом климатических изменений.

Для предлагаемых в проекте объектов благоустройства, наиболее уязвимыми для разрушения являются объекты и сооружения, расположенные ниже абсолютной отметки +2 м – они попадают в зону наибольшего волнового воздействия, а также в поле ледовой экзарации. Также учитывая имеющееся для этого района математическое моделирование трансформации профиля пляжа в ближайшие десятилетия и прогнозируемое понижение уровня поверхности пляжа на 1 м в результате абразии и выноса песка, при расположении стационарных элементов благоустройства рекреационной зоны следует учесть глубину заложения их оснований.

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ВЫСОТ ВОЛН В БАЛТИЙСКОМ МОРЕ С СЕРЕДИНЫ XX ВЕКА ПО НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ

Соколов А.Н., Чубаренко Б.В.

*Институт океанологии П.П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия
tengritag@gmail.com*

Ключевые слова: Балтийское море, высота волны, спектральная волновая модель, численное моделирование, временной тренд, сезонные вариации.

Со времени визуальных наблюдений, основной характеристикой при описании волнения является существенная или значительная высота волны (significant wave height, далее SWH). В литературе чаще всего приходится сталкиваться с изучением средних и максимальных SWH в отдельных областях или их пространственного распределения по Балтике в целом, оценки же межгодовой и декадной изменчивости SWH обычно носят лишь качественный характер.

Цель работы – определить временные интервалы за период с середины прошлого века по настоящее время, когда средние SWH на Балтике имели тенденцию к росту или снижению и произвести количественную оценку этих тенденций. Речь идет именно о средних значениях SWH за годовые периоды. Повторяемость экстремальных штормов в работе не рассматривается. Анализ временных зависимостей до 1990-го года выполнен, в основном, на основе литературных данных. Результаты после 1990-го года получены авторами путем математического моделирования и сравниваются с предыдущими исследованиями.

В период с середины до 90-х годов XX-го века, в зависимости от метода исследования и расположения изучаемой области, отмечаются разнонаправленные тенденции в динамике среднегодовых SWH. Так в работе (Soomere, 2011) рассматриваются данные визуальных наблюдений для станций на Эстонском побережье, включая Финский залив. Судя по приведенным графикам, практически на всех станциях среднегодовые SWH имеют тенденцию к снижению со скоростью порядка 4–5 мм/год. В работе (Soomere, 2013) рассматриваются данные визуальных наблюдений для станций на Латвийском и Литовском побережьях, более открытых для доминирующих ветров западного направления, чем в предыдущем случае. Изменение среднегодовых SWH имеет явно нелинейный характер: примерно до 70-х годов практически на всех станциях наблюдается резкое снижение со скоростью до 20 мм/год, после 1970-го года явных тенденций ни к росту, ни к снижению нет.

В работе (Broman, 2006) рассматриваются инструментальные измерения с 1979 по 1995 год волновыми самописцами на морской станции Almagrundet. Судя по приведенным графикам, в этот период наблюдался рост

среднегодовых SWH со скоростью до 20 мм/год. В работе (Cieślakiewicz et al., 2005) рассматриваются данные моделирования и отмечается, что для различных частей Балтийского моря за период с 1958 по 2001 год рассчитанные среднегодовые SWH росли со скоростью от 2,5 до 5 мм/год. Судя по приведенным графикам, реальный рост наблюдался примерно до 1993–1995 годов. Затем среднегодовые SWH пошли на убыль. Можно предположить, что с середины до 90-х годов XX века среднегодовые SWH для прибрежных станций имели тенденцию к снижению, а в открытом море – к росту.

Данных именно о временных трендах SWH в XXI веке в литературе крайне мало. В связи с этим авторами были проведены расчеты волновых полей в Балтийском море за 40 лет: с 1978 по 2018 годы. Расчеты выполнялись с помощью спектральной модели MIKE SW, на сетке, охватывающей всё Балтийское море. Данные об атмосферном воздействии и ледовом покрытии извлекались из реанализа ERA-Interim. Изучались временные серии среднегодовых и среднемесячных SWH в восьми различных открытых частях Балтийского моря, исключая полузамкнутые территории типа заливов.

Наши расчеты подтвердили, что примерно до начала 90-х годов прошлого века практически во всех открытых частях Балтики имел место рост среднегодовых SWH, который по нашим расчетам составил от 2 до 7 мм/год. Начиная с 90-х годов рост среднегодовых SWH сменился их снижением, темп которого составил от 2 до 5 мм/год в зависимости от региона. Статистический анализ, выполненный на основе как параметрического, так и непараметрического подходов показал, что выявленные после 90-х годов тренды являются статистически значимыми на уровне как минимум, 90%, а в большинстве точек и на уровне 95%.

Анализ среднемесячных SWH показал, что среднегодовое снижение SWH в последние десятилетия связано с уменьшением средних SWH в феврале и марте. Рассчитанная скорость снижения средних SWH в эти месяцы составила 10–20 мм/год, и эти тренды статистически значимы на уровне 95–99%. В остальные месяцы последних десятилетий статистически значимых трендов выявлено не было.

Численные эксперименты с помощью модели MIKE SW были выполнены в рамках гранта РФФИ 18-05-80035 (руководитель Косьян Рубен Дереникович), а обработка и анализ результатов проведены в рамках госзадания ИО РАН (тема FMWE-2024-0025).

ИЗУЧЕНИЕ ДИНАМИКИ БЕРЕГОВЫХ КРИОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ВОСТОЧНОЙ ЧУКОТКИ

Стекольников И.О., Маслаков А.А., Другов М.Н.,
Баранская А.В.

*Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия
iostek@mail.ru*

Ключевые слова: динамика берега, береговая линия, БПЛА, Восточная Чукотка.

Территория России ежегодно сокращается на десятки квадратных километров из-за эрозии морских берегов (Лукиянова и др., 2002). Самые высокие темпы отступления характерны для побережья Восточного сектора Российской Арктики, где общее содержание льда может превышать 60% (Романовский и др., 2004; Григорьев, 2006).

В связи с активным освоением Северного Морского Пути появляется острая необходимость в проведении прогнозных оценок изменения параметров природной среды в береговой зоне Российской Арктики, в особенности для труднодоступных районов, где требуется комплексное применение как наземных, так и дистанционных методов.

Данная работа представляет собой детальное изучение береговых процессов в мёрзлых породах на участке берега в пределах села Лорино (171.72° з.д. и 65.465° с.ш.), расположенного в восточной части Чукотского полуострова (акватория Берингова моря, Мечигменский залив). На сегодняшний день село является одним из наиболее крупных и старых национальных поселений на полуострове. Исследуемый участок является репрезентативным с точки зрения береговой динамики, поскольку около 80 % побережья Берингова Моря относится к абразионному типу берега (Национальный Атлас, 2018). Береговой уступ села Лорино является останцом морской средне-верхнелепистоценовой террасы высотой 10-25 м с прямолинейной береговой линией северо-восточного простирания длиной 750 метров.

В исследовании использовался комплекс как полевых, так и дистанционных методов: 1) наземная тахеометрия с высотной и координатной привязкой к опорным точкам; 2) съёмка местности при помощи БПЛА с высоты 50 м с перекрытием снимков продольным перекрытием снимков не менее 70% и боковым не менее 50%, благодаря чему удалось получить разрешение снимков 3 см/пикс.; 3) использование архивных топографических планов застройки прошлых лет с положением бровки берегового уступа и подножия склона; 4) спутниковые снимки. В качестве вспомогательных данных в работе использовались результаты инженерно-геологических

изысканий, которые проводились в с. Лорино, а также архивные фотографии за разные годы, позволяющие лучше оценить динамику и особенности развития береговых процессов. Основным материалом исследования послужили ортофотопланы и цифровые модели местности (ЦММ) за 2018-2021 и 2023 гг., полученные при анализе данных съёмки с БПЛА, а также спутниковые снимки Corona KH-4 за 1964 г. (с разрешением 2,7 м) и GeoEye за 2010 г. (с разрешением 0,6 м).

Представленные материалы были использованы для оцифровки положения бровок и подножья берегового уступа за 12 временных отрезков с дальнейшей оценкой средней скорости отступления для трёх морфологически различных участков берега методом сопоставления площадей размываемой породы за разные годы. В результате выполнения исследований удалось определить подробную динамику положения берегового уступа и скорость развития береговых криогенных процессов на ключевом участке в период с 1964 по 2023 гг. (59 лет).

Результаты исследования показывают, что в период 1964-2010 гг. береговой уступ разрушался медленно, его склон был задернован, ширина пляжа достигала 15-20 м, а скорость отступления бровки не превышала 0,5 м/год. Начиная с 2010 г. отмечается резкий рост скоростей размыва берегового уступа до 4,2 м/год, при этом отмечается сокращение ширины пляжа до 5-7 м. В 2017-2023 гг. отмечается стабилизация скоростей отступления береговой бровки в районе 1 м/год. Однако более высокие скорости отступления по сравнению с периодом 1960-2000-х гг. приводят к сокращению участков хозяйственного освоения в пределах с. Лорино и повышают риски разрушения некоторых инженерных сооружений в ближайшие годы.

Изучение динамики морских берегов Восточной Чукотки важно как для поиска фундаментальных взаимосвязей между криолитозоной, атмосферой и океаном в меняющихся климатических условиях, так и для прогнозных оценок эволюции береговой зоны с целью составления территориальных планов развития региона.

Работа была выполнена в рамках проекта РНФ №22-77-10031 «Берега морей Российской Арктики: прошлое, настоящее, будущее».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Григорьев М. Н. и др. Динамика берегов восточных арктических морей России: основные факторы, закономерности и тенденции // Криосфера Земли. – 2006. – Т. 10. – №. 4. – С. 74-94
2. Национальный Атлас России. Т. 2. Берингово море. – URL: <http://национальныйатлас.рф/cd2/285-288/285-288.html>
3. Luk'yanova S. A., Sa'yanov G. A., Solov'eva G. D. Some estimates of coastal erosion in Russia // Water Resources. – 2002. – Т. 29. – С. 355-359.

4. Romanovskii N. N. et al. Permafrost of the east Siberian Arctic shelf and coastal lowlands //Quaternary Science Reviews. – 2004. – Т. 23. – №. 11-13. – С. 1359-1369

ДЕПОНИРОВАНИЕ УГЛЕРОДА В РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВАХ КАРЕЛЬСКОГО БЕРЕГА БЕЛОГО МОРЯ

Теребова Е.Н.¹, Павлова М.А.¹, Багдасаров И.Е.², Красильников П.В.²

¹*Петрозаводский государственный университет, г. Петрозаводск, Россия*

²*Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова,*

г. Москва, Россия

eterebova@gmail.com

Ключевые слова: Белое море, марши, галофиты, углерод.

В береговой зоне побережий морей Российской Арктики формируются местообитания (соленые марши на илистых береговых осушках и в устьевых зонах рек), заселенные специфическими сообществами растений, обладающие уникальной структурно-функциональной целостностью и значительным потенциалом депонирования органического углерода. В работе исследовано флористическое разнообразие и депонирование углерода наземными органами растений галофитов на приморской территории Карельского берега Белого моря. В районе пос. Колежда (Республика Карелия) было заложено 8 модельных трансект, длиной от 50 до 170 м и шириной до 20 м. Сырая биомасса надземных вегетативных и генеративных органов травянистых растений определялась путем трехкратного укоса на трех пробных площадках размером в 0,25 м², выбранных в пределах естественного контура фитоценозов на трех уровнях приморских маршей – низкие, средние и высокие, расположенных по трансекте от линии уреза малой воды в отлив до верхней границы высокого марша (супралитораль) в пределах одной ландшафтной фации. Содержание углерода, определяли, используя коэффициент для перерасчета показателей массы в содержание углерода – 0,41 для живой массы, и 0,11 для ветоши. Общее видовое богатство литоральной зоны карельского берега Белого моря составило 33 вида сосудистых растений. Можно отметить феномен приморских экосистем – доминирование одних и тех же видов в широком диапазоне сообществ. На приморской полосе Белого моря из 63 видов сосудистых растений повсеместно распространены лишь 15. Но именно они определяют облик покрова и возникает ощущение эффекта «перетасовки»: различные по внешнему облику сообщества формируются из одного и того же набора видов в разных соотношениях (Сергиенко, 2008).

Таким образом, в приморской зоне проявляются разные формы уравнивающих механизмов, способствующих формированию достаточно широкого спектра растительных сообществ при очевидном снижении видового разнообразия. Основными доминантными видами приморской территории являлись астра морская (*Tripolium vulgare* Bess. ex Nees), триостренник морской (*Triglochin maritima* L.), клубнекамыш морской (*Bolboschoenus maritimus* (L.) Palla), подорожник морской (*Plantago maritima* L.), солерос европейский (*Salicornia europaea* L.), полевица побегообразующая (*Agrostis stolonifera* L.), осока солелюбивая (*Carex salina* Wahlenb.). Эти виды внесли максимальный вклад в депонирование углерода. Так, можно выделить группы растений: у которых содержание углерода в наземной массе изменялось в диапазоне от 62 г С/м² (*Honckenya diffusa* (Hornem.) Á. Löve, *Tripolium vulgare*), до 40 г С/м² (*Plantago maritima* L., *Carex salina* Wahlenb.), от 29 г С/м² (*Juncus gerardii* Loisel. subsp. *atrofusculus* (Rupr.) Printz, *Agrostis stolonifera* L., *Triglochin maritima* L., *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., *Puccinellia maritima* (Huds.) Parl.), до 13 г С/м² (*Bolboschoenus maritimus* (L.) Palla, *Leymus arenarius* (L.) Hochst., *Salicornia europaea* L., *Sonchus arvensis* L.), на уровне 5 г С/м² (*Achillea millefolium* L., *Glaux maritima* L., *Carex subspathacea* Wormsk. ex Hornem., *Zostera marina* L., *Parnassia palustris* L., *Spergularia marina* (L.) Griseb.) и меньше 2 г С/м² (*Agrostis straminea* C. Hartm., *Vicia cracca* L., *Trifolium pretense* L., *Puccinellia distans* (Jacq.) Parl., *Puccinellia asiatica* (Hadač & Á. Löve) Czer., *Conioselinum tataricum* Hoffm., *Potentilla egedei* Wormsk., *Trifolium repens* L., *Stellaria humifusa* Rottb.). С учетом общего проективного покрытия видов было рассчитано содержание углерода в растительных маршевых сообществах. Максимальное количество углерода депонировалось *Salicornia europaea*–*Tripolium vulgare*–*Bolboschoenus maritimus* (275 г С/м²), *Plantago maritima*–*Triglochin maritima*–*Puccinellia maritima*–*Agrostis stolonifera*–*Carex salina* (190 г С/м²) и *Tripolium vulgare*–*Salicornia europaea*–*Bolboschoenus maritimus* с *Phragmites australis* на границе супралиторали и экотонной зоны (80 г С/м²) сообществами. Наибольшее количество углерода аккумулировали растения, обитающие на среднем марше литорали Белого моря.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда Российской Федерации (тема № 23-67-10006).

ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ЧАСТИЦАМИ МИКРОПЛАСТИКА УСТЬЕВОГО УЧАСТКА РЕКИ ПРЕГОЛИ (ЮГО-ВОСТОЧНАЯ БАЛТИКА)

Чубаренко Б.В., Есюкова Е.Е., Лобчук О.И., Двоглазова Н.В.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия
chuboris@mail.ru*

Ключевые слова: эстуарии, микропластик, натурные данные, Юго-Восточная Балтика, река Преголя.

В настоящее время вопросам загрязнения частицами микропластика устьевых участков рек и областей контакта река-море (Schmidt et al., 2017) уделяется серьезное внимание. Для российских территорий на побережье Балтийского моря проводились работы в Невской губе Финского залива (Поздняков и др., 2020; Миронова и др., 2021), которые показали, что концентрация частиц микропластика уменьшается по мере удаления от источника, распределена в пространстве в соответствии с условиями гидродинамического переноса и, тем самым, демонстрирует поведение, схожее с поведением загрязняющей пассивной примеси. Более уточнённый результат (Jalón-Rojas et al., 2024) заключается в том, что пространственное распределение и переноса частиц микропластика зависят не только от конкретных особенностей рассматриваемой акватории, но в большой степени от физических свойств частиц и их преобразований в связи с биообрастанием и флокуляцией. Тем не менее, эстуарийный максимум микропластика (Estuarine MicroPlastic Maxima, EMPM), по-видимому, является обычным явлением в эстуариях [Jalón-Rojas et al., 2024].

В пределах устьевого участка реки Преголи (Юго-Восточная Балтика) эстуарные условия реализуются практически в течение всего года (Чубаренко, Шкуренок, 2001; Боскачёв, Чубаренко, 2022). Водосбор реки Преголи достаточно обширен, он охватывает почти всю Калининградскую область и аналогичную площадь на прилегающих территориях Польши. В пределах водосбора находится большое количество муниципальных объектов в несколько тысяч и десятков тысяч жителей, включая Калининград с его полумиллионным населением (Домнин, Чубаренко, 2012). Если в работах по анализу содержания микропластика в предустьевых частях малых рек Калининградской области (Кривоусова, Шибаев, 2022) микропластик был обнаружен, но не в очень больших количествах, а распределение частиц микропластика было в соответствии с его потенциальными источниками мусорных отходов на берегах, то устьевой участок реки Преголи является хорошим примером для изучения особенностей распространения и транспорта

частиц микропластика именно в эстуарных условиях, когда солоноватые воды Балтийского моря смешиваются с пресными водами реки.

В исследовании, проведенном на устьевом участке реки Преголи весной 2024 г. ставилась задача оценить загрязненность водотока частицами микропластика и возможно обнаружить какие-то особенности пространственного распределения.

Полевое обследование было проведено в два дня, 25 и 26 марта 2024 г. По результатам первого дня была получена гидрологическая информация и установлено местонахождение зоны смешения солоноватых и пресных вод, а во второй день был прицельно проведен отбор поверхностных проб (1-1.15 м от поверхности) на содержание частиц микропластика в соответствии с эстуарным зонированием.

По предварительным данным загрязненность вод реки можно охарактеризовать величинами не менее 5-15 частиц на литр, из которых подавляющее большинство являются волокнами диаметром менее 20-30 мкм, в основном длиной около 0.5-1.5 мм, но иногда встречаются волокна длиной до нескольких сантиметров. Также прослеживается некоторая тенденция по наличию промежуточного максимума в количестве частиц микропластика, но связан ли этот максимум с эстуарийными условиями или является следствием выпуска сточных вод очистных сооружений г. Калининграда пока по полученным данным установить не удалось.

Сбор, анализ и интерпретация натуральных данных выполнялись за счет гранта РФФ № 24-44-20027, <https://rscf.ru/project/24-44-20027/>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Jalón-Rojas, I., Defontaine S., Bermúdez M., Díez-Minguito M. (2024) Transport of microplastic debris in estuaries. [In] D. Baird, M. Elliott (eds.). *Treatise on Estuarine and Coastal Science (Second Edition)*. Academic Press, 2024, Pp. 368-409. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90798-9.00022-6>
2. Schmidt C., Krauth T., Wagner S. Export of plastic debris by rivers into the sea. // *Environ. Sci. Technol.* – 2017. - № 51 (21). - P. 12246–12253.
3. Боскачѳв Р.В., Чубаренко Б.В. Анализ изменчивости гидрологических характеристик на устьевом участке реки Преголи (юго-восточная Балтика) // *Гидрометеорология и экология*.- 2022.- № 69.- С. 644—674. doi: 10.33933/2713-3001-2022-69-644-674
4. Домнин Д.А., Чубаренко Б.В. Трансграничные водосборы юго-восточной Балтики // *География и природные ресурсы*.- 2012.- № 3.- С. 69-76.
5. Кривоускова Е.В., Шибает С.В. Первые результаты оценки концентраций микропластика в приустьевых участках некоторых малых рек Калининградской области // *X Международный Балтийский морской форум (26 сентября-01 октября 2022 г.)*: труды. – Калининград, 2022.- С. 208-214.

6. Миронова Д.В., Ершова А.А., Дворников А.Ю. Анализ пространственного распределения микропластика в водной среде Невской губы. // Гидрометеорология и физика атмосферы: современные достижения и тенденции развития. Материалы Всероссийской научно-практической конференции.- Санкт-Петербург, 2023.- С. 442-446.

7. Поздняков Ш.Р., Иванова Е.В., Гузева А.В., Шалунова Е.П., Мартинсон К.Д., Тихонова Д.А. Исследования содержания частиц микропластика в воде, донных отложениях и грунтах прибрежной территории Невской губы Финского залива. // Водные ресурсы.- 2020.- Т. 47. № 4.- С. 411-420.

8. Чубаренко Б.В., Шкуренко В.И. Физические механизмы проникновения солёных вод вверх по реке Преголе с учётом влияния рельефа дна. // Физические проблемы экологии (экологическая физика), Вып. 7. - М.: Изд-во МГУ, 2001. - С. 80-88.

РАСШИРЕНИЕ БЕЗЛЁДНОГО ПЕРИОДА КАК СЛЕДСТВИЕ СОКРАЩЕНИЯ МОРСКОГО ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА В КАРСКОМ МОРЕ И МОРЕ ЛАПТЕВЫХ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ ЗА 1979- 2022 ГГ

Шабанов П.А.^{1,2}, Осадчиев А.А.¹, Шабанова Н.Н.²,
Огородов С.А.²

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия

²МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия
pa.shabanov@ocean.ru

Ключевые слова: Северный Ледовитый океан, Карское море, море Лаптевых, морской ледяной покров, сплоченность морского льда, безлёдный период, микроволновое дистанционное зондирование.

Продолжительность безлёдного периода в морях Северного Ледовитого океана играет большую роль в процессах внутри климатической системы и определяет наиболее комфортные морские ледовые условия для экономической деятельности. Основываясь на спутниковых данных о сплоченности морского льда, полученных с помощью микроволнового пассивного зондирования, были определены особенности пространственного распределения дат начала, дат окончания безлёдного периода и продолжительности безлёдного периода (IFP) в Карском море и море Лаптевых за период глобальных спутниковых наблюдений с 1979 по 2022 гг. Сокращение площади морского льда было обнаружено в обоих морях с июня

по октябрь, т.е. в течение всего безлёдного периода. Среднегодовая площадь морского льда в течение 2011-2021 гг. снизилась на 19.0% и 12.8% по сравнению со среднемноголетними значениями за 1981-2010 гг. в Карском море и море Лаптевых, соответственно. Статистически значимые положительные тренды IFP были выявлены для большинства районов Карского моря и моря Лаптевых. Средние тренды IFP составили +20.2 сут/10 лет и +16.2 сут/10 лет соответственно. Наблюдаемая тенденция дат начала безлёдного периода, которая соответствует более раннему таянию морского льда, играет большую роль в общем расширении IFP по сравнению с более поздним намерзанием морского льда, которому соответствует тенденцией к более позднему окончанию безлёдного периода. Мы выявили, что в районах притока тёплых атлантических вод в Карское море наблюдаются наибольшие долгосрочные тенденции дат начала, дат окончания и общей продолжительности безлёдного периода, что связано с уменьшением морского ледяного покрова и подчеркивает процесс «атлантификации». Кроме того, Великая Сибирская полынья в море Лаптевых является районом с наибольшей тенденцией к более раннему началу безлёдного периода.

Исследование изменчивости морского льда финансировалось Российским научным фондом, проект № 22-17-00097. Исследование океанографических процессов на основе опыта полевых измерений и экспедиций, было проведено А. Осадчиевым при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 23-17-00087. Сбор, оцифровка и хранение данных о припае проводился в рамках государственного задания Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, № FMWE-2024-0017.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Думанская И.О. Ледовые условия морей европейской части России. М., Обнинск: ИГ-СОЦИН, 2014. 608 с.
2. Думанская И.О. Ледовые условия морей азиатской части России. М., Обнинск: ИГ-СОЦИН, 2017. 640 с.
3. Иванов В.В., Алексеев В.А., Алексеева Т.А. и др. Арктический ледяной покров становится сезонным? // Исследование Земли из космоса. 2013. № 4. С. 50–65.
4. Шабанов П.А. Изменения продолжительности безледного периода в прибрежной зоне Карского моря по спутниковым данным // Океанология. 2022. Т. 62. № 4. С. 518–531.
5. Bliss, A.C.; Steele, M.; Peng, G.; Meier, W.N.; Dickinson, S. Regional Variability of Arctic Sea Ice Seasonal Change Climate Indicators from a Passive Microwave Climate Data Record. *Environ. Res. Lett.* **2019**, *14*, 045003, doi:10.1088/1748-9326/aafb84.

6. Ogorodov, S.; Aleksyutina, D.; Baranskaya, A.; Shabanova, N.; Shilova, O. Coastal Erosion of the Russian Arctic: An Overview. *Journal of Coastal Research* **2020**, *95*, 599, doi:10.2112/SI95-117.1.

7. Osadchiev, A.A.; Frey, D.I.; Shchuka, S.A.; Tilina, N.D.; Morozov, E.G.; Zavialov, P.O. Structure of the Freshened Surface Layer in the Kara Sea During Ice-Free Periods. *JGR Oceans* **2021**, *126*, e2020JC016486, doi:10.1029/2020JC016486.

СЕКЦИЯ 4
«ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВО
ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ В БЕРЕГОВОЙ ЗОНЕ»

КРИОГЕННЫЕ БЕРЕГОВЫЕ ПРОЦЕССЫ И ПРОБЛЕМЫ
ПРИБРЕЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ
ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ В УСЛОВИЯХ ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА

Григорьев М.Н.

Институт мерзлотоведения СО РАН, г. Якутск, Россия
grigoriev@mpi.ysn.ru

В восточном секторе Российской Арктики льдистые берега имеют весьма широкое распространение. Они занимают более трети протяженности всего побережья. Здесь отмечаются самые высокие скорости отступления берегов, связанные, в частности, с активным развитием береговых криогенных процессов, которые представляют существенную опасность для прибрежных населенных пунктов, линейных сооружений и других объектов. Современные средства навигационного обеспечения морского транспорта все больше ориентируются на спутниковую связь, тем не менее, многочисленные береговые объекты гидрографической службы действуют по сегодняшний день. К ним относятся навигационные светящие и несветящие знаки, радиомаяки, активные и пассивные радиолокационные маяки ответчики и т.д. Основанием, в инженерно-геологическом отношении весьма неустойчивым, для значительной части таких объектов служат высокольдистые позднплейстоценовые толщи, объемная льдистость которых составляет 50-90%.

Льдистые берега морей Восточной Сибири, занимающие 38% побережья, отступают на ряде участков от 1 до 10 м/год. Высокие скорости разрушения, полученные для всех типов берегов исследуемых побережий, включая стабильные (в среднем 0,83 м/год), представляют существенную проблему для местной прибрежной инфраструктуры. На берегах, сложенных дисперсными породами с высоким содержанием грунтового льда, расположены населенные пункты, коммуникации, средства навигационного обеспечения морского транспорта и другие объекты, подверженные опасности разрушения.

В последние десятилетия, в основном из-за сложностей организационно-экономического характера, труднодоступности и высокой стоимости обслуживания подобного оборудования, появляется все больше проблем, связанных с поддержанием навигационных объектов в рабочем состоянии и даже просто с их сохранностью. Быстрое отступление береговых

уступов, активизация поверхностных криогенных явлений вблизи бровок уступов и нерегулярность профилактических работ часто приводили к разрушению объектов прибрежной инфраструктуры. В настоящий период по большинству береговых сегментов уже имеются данные, касающиеся многолетних трендов термоабразийных и термоденудационных береговых процессов, что позволяет предсказать, когда береговое навигационное или иное сооружение должно быть перемещено вглубь суши. Несколько сложнее оценить темпы разрушения термоденудационных уступов, сопряженных с береговыми термотеррасами и больше подверженных влиянию изменений летних температур воздуха.

Наступление моря на льдистые берега провоцирует активизацию негативных криогенных процессов и на значительном удалении от берега: катастрофическое развитие термоэрозионных оврагов, термокарстовых и термосуффозионных провалов, криосолифлюкционного разрушения склонов. В силу большого площадного охвата и высокой скорости развития эти процессы могут представлять для техногенных объектов еще большую опасность, чем непосредственное отступление льдистых береговых клифов.

Береговая и прибрежно-шельфовая части криолитозоны морей Восточной Сибири изучаются довольно давно, но влияние мерзлоты на эволюцию береговой и мелководно-шельфовой природных систем оценено пока недостаточно, ни в количественном, ни в качественном отношении. Льдистые арктические береговые и прибрежно-шельфовые природные системы чутко реагируют на происходящие в настоящее время климатические изменения во всем арктическом регионе. В этой связи, мониторинг и прогноз динамики береговых линий являются первоочередными задачами, особенно для побережий морей Лаптевых и Восточно-Сибирского, теряющих более 10 км² прибрежной суши в год.

Наблюдения на многолетних мониторинговых участках за темпами термоабразии и термоденудации на высокольдистых, да и малольдистых берегах, показывают, что в условиях потепления климата темпы эрозии берегов за два последних десятилетия существенно увеличились. Ведущая роль в этом процессе отводится именно активизации комплекса криогенных береговых процессов (термоабразия и термоденудация берегов, боковая, донная и регрессивная термоэрозия, солифлюкция, термокарст и термосуффозия).

Эрозия морских берегов Восточной Сибири ответственна за вынос на прибрежный шельф более 150 млн. тонн в год, в том числе около 4 млн. тонн органического углерода. Это больше половины всего потока берегового материала, поступающего в Северный Ледовитый океан. При этом, арктический береговой вынос в этом регионе существенно превышает твердый сток рек. Столь существенные объемы дополнительного органического материала, высвобождаемого из прибрежной вечной мерзлоты и являющегося значительным источником парниковых газов, который необходимо учитывать.

Исследование выполнено при финансовой поддержке научного проекта НИОКТР 122011400151-0 «Деградация мерзлоты и трансформация рельефа в береговой зоне и на шельфе арктических морей восточного сектора РФ: Динамика, прогноз и риски».

ИЗМЕНЕНИЕ ЛИТОДИНАМИЧЕСКОГО РЕЖИМА И ОЦЕНКА ЗАНОСИМОСТИ АКВАТОРИИ ОБСКАЯ ГУБЫ В РАЙОНЕ ТЕРМИНАЛА «УТРЕННИЙ»

**Гудошников Ю.П.¹, Гладыш В.А.², Воскресенский К.С.¹, Логвина Е.А.²,
Драбенко Д.В.¹, Головин Н.В.¹, Орлова Е.Ю.¹**

¹ФГБУ "ААНИИ", г. Санкт-Петербург, Россия

²ООО «Ленарк» г. Санкт-Петербург, Россия

ksvoskresenskiy@aari.ru

Ключевые слова: литодинамика, заносимость, Обская губа, терминал "Утренний".

В ходе строительства завода по производству, хранению, отгрузке СПГ (Терминал «Утренний») были возведены гидротехнические сооружения (ледозащитные и др.) и проведено дноуглубление прилегающей акватории. Строительные работы привели к изменению литодинамического режима не только на акватории, ограниченной ледозащитными сооружениями, но и за ее пределами.

Зимой 2022-23 гг. в субаквальной части района строительства завода были проведены комплексные литодинамические исследования. По результатам фоновых гидрологических наблюдений было выявлено равномерное вертикальное распределение мутности в октябре-ноябре 2022 г. Такое распределение свидетельствует о перемешивании вод в результате штормовых воздействий на открытом участке акватории. Минимальное и максимальное значения мутности в данный период составляли 15,85 NTU и 43,78 NTU соответственно.

На полузакрытом, покрытом льдом в зимний период, участке акватории мутность воды равномерно увеличивалась от поверхности к дну, что свидетельствует об осаждении взвешенных частиц в потоке ввиду малых скоростей течений в полузакрытой акватории порта, поэтому на расстоянии первых метров от дна (т.е. в придонном горизонте) мутность вод увеличивается и достигает максимальных значений. Минимальное и максимальное значения мутности в данный период составляли 5,13 NTU и 26,47 NTU соответственно.

Выявлено, что ледозащитные сооружения, необходимые для снижения ветроволнового воздействия на акваторию порта, существенно сократили поступление влекомых наносов в акваторию. В ледовый период ледозащитные сооружения превращают полузакрытую акваторию в своего рода «отстойник», где осаждение взвешенных наносов происходит в периоды «кроткой» воды при минимальных и нулевых скоростях течений. При этом заносимость акватории влекомыми наносами остается выше, чем взвешенными.

Ранее нами были проведены расчеты заносимости акватории для нескольких этапов строительства гидротехнических сооружений в естественных условиях и с учетом ледозащитных сооружений. Оценивалась заносимость в летний безледный период для влекомых наносов и зимний ледовый для взвешенных наносов. В связи с широким распространением ледовой экзарации на дне исследованного полигона была оценена заносимость за счет воздействия на дно ледовых образований.

Суммы значений гранулометрического состава взвешенного материала, собранного седиментационными ловушками в зимний и весенний периоды, близки. Эмпирические полигоны распределения гранулометрического состава проб материала из седиментационных ловушек и проб грунта, отобранного весной, схожи, но отличаются от проб, отобранных осенью. Анализ проб, отобранных седиментационными ловушками, позволил оценить среднюю заносимость за 9 месяцев - 2,7 см, при максимальном и минимальном значении 0,87 см и 6,1 см соответственно. Величины заносимости рассчитывались на основании архивных материалов и данных, полученных в течение полевого сезона 2022/23 гг. В целом, полученные значения показали хорошую сходимость.

Таким образом, проведенные на терминале полевые и лабораторные исследования позволили охарактеризовать изменения литодинамического режима и оценить заносимость акватории в зимний период.

УЧЁТ ВЛИЯНИЯ ПРОГНОЗНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ УРОВНЯ МОРЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПОРТОВЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Долгушев Т.В.^{1,2}

¹*Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия,*

²*Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), г. Москва, Россия.
dolgushew@yandex.ru*

Ключевые слова: изменения климата, северный морской путь, портовые гидротехнические сооружения, изменение глобального уровня моря.

1. ВВЕДЕНИЕ.

Климатические изменения наблюдаются на протяжении многих десятилетий и более полувека являются предметом всестороннего изучения мирового научного сообщества. Российская Федерация в силу географической протяжённости, как в меридиональном, так и в широтном отношении – сталкивается с существенной неоднородностью локальных климатических изменений. Наиболее уязвимыми для климатических изменений являются полярные районы, например, Арктическая зона РФ (Указ Президента РФ от 26 октября 2020 г. № 645), в которой рост приповерхностной температуры воздуха происходит в 3.9 раза быстрее среднепланетарного уровня (Распоряжение правительства РФ от 11 марта 2023 г. № 559-р), в то время, как при рассмотрении всей территории РФ – рост будет происходить быстрее только в 2.8 раза (Распоряжение правительства РФ от 11 марта 2023 г. № 559-р).

Вызванное климатическими изменениями увеличение теплосодержания атмосферы и гидросферы планеты привело к наблюдаемому устойчивому повышению глобального среднего уровня моря. Региональные особенности оказывают существенное влияние на изменения уровня моря и в некоторых регионах могут наблюдаться понижение уровня моря, обусловленное совокупным влиянием региональных и глобальных факторов. Уровень моря в районе акватории отдельно взятого порта может изменяться с существенным отклонением от среднепланетарного тренда.

2. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ.

При рассмотрении влияния климатических изменений на уровенный режим акватории порта требуется оценить прогнозное повышение уровня за расчётный жизненный цикл сооружения. Для портовых гидротехнических сооружений 1 и 2 класса капитальности нормативный срок эксплуатации составляет 100 лет. Проведённые автором оценки изменений уровня моря при

различных сценариях климатических изменений SSP, используемых МГЭИК, позволили оценить изменения уровня моря для 20 крупнейших портов РФ на трассе Мурманск – Владивосток.

Для большей части рассматриваемых портов прогнозные изменения уровня моря превосходили среднепланетарные значения. За рассматриваемый период с 2030 по 2130 годы при сценарии SSP5-8.5 рост уровня моря для ряда портов превысил 120 см, а при сценарии SSP3-7.0 превысил 100 см. По результатам выполненных оценок, эксплуатироваться в условиях наибольшего роста уровня моря будут порты Певек, Тикси и Индига, располагающиеся на трассе Северного морского пути.

Выполненные численные расчёты и модельные эксперименты позволили установить, что при повышении уровня моря существенно изменятся условия эксплуатации портовых гидротехнических сооружений (Долгушев Т.В., 2024): произойдёт повышение расчётной высоты волнения обеспеченностью 1%, изменение границ волновых зон в акватории порта, повышение удельных расходов заплесков и переливов при воздействии расчётного волнения, снижение устойчивости сооружения на опрокидывание и сдвиг и изменение напряжённо-деформированного состояния конструкций, выражающееся в том числе в росте контактных напряжений в основании сооружения.

Автором предложены усовершенствованные методики по оценке параметров расчётного волнения в условиях климатического роста уровня моря, а также для назначения верхних отметок портовых гидротехнических сооружений. Таким образом, автором была научно обоснована необходимость оценки региональных особенностей изменения уровня моря для конкретной акватории и учёта величины прогнозного изменения уровня моря при проектировании, для оценки прогнозных условий эксплуатации портовых гидротехнических сооружений и обеспечения их надёжности и безопасности на протяжении всего жизненного цикла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Указ Президента РФ от 26 октября 2020 г. № 645 "О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года" // Собрание актов Президента и Правительства Российской Федерации. 2020 г.
2. Распоряжение правительства РФ от 11 марта 2023 г. № 559-р "Национальный план мероприятий второго этапа адаптации к изменениям климата на период до 2025 года" // Собрание законодательства Российской Федерации, N 12, ст.2055. 2023 г.
3. Долгушев Т.В. Влияние климатических изменений уровня моря на условия эксплуатации портовых гидротехнических сооружений: дис. канд. техн. наук: 2.1.6. М., 2024. С. 317.

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ КОСЫ АРАБАТСКАЯ СТРЕЛКА

Ермолов А.А.¹, Землянов И.В.², Огородов С.А.^{1,2}

¹МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

²Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова,
г. Москва, Россия
ermolov@geogr.msu.ru

Ключевые слова: Азовское море, Арабатская Стрелка, береговая зона, опасные экзогенные процессы.

Полуостров Арабатская Стрелка расположен на северо-востоке Крымского полуострова и отделяет мелководный и сильно засоленный залив Сиваш от акватории Азовского моря. Протяженность этой крупнейшей аккумулятивной формы региона – берегового бара превышает 117 км. Ширина ее в южной части составляет от нескольких сотен метров до 1 км, высота до 4-5 м, в северной части коса значительно расширяется, достигая местами 4-5 км. Перспективы развития территории на участке от г. Геническа до пос. Стрелковое определили необходимость проведения специализированных рекогносцировочных работ с целью предварительного изучения инженерно-геоморфологических условий береговой зоны и оценки рисков возникновения катастрофических последствий развития опасных геологических и гидрометеорологических процессов и явлений, к числу которых относятся штормовые нагоны и катастрофическое повышение уровня воды Азовского моря, затопление территории Арабатской Стрелки, а также ветро-волновое воздействие и разрушение берегов.

Крупномасштабная геолого-геоморфологическая съемка береговой зоны Азовского моря на участке между г. Геническом и пос. Стрелковое проводилась в мае 2023 года и сопровождалась сбором и анализом архивных материалов и документальных свидетельств развития опасных процессов, оценкой общей трансформации рельефа за период хозяйственного использования территории. С целью получения морфометрических характеристик рельефа и оценки относительных высот берегового барьера было выполнено инженерно-геодезическое профилирование береговой зоны по заранее намеченным профилям с использованием высокоточного оборудования.

Рекогносцировочное обследование подтвердило возможность затопления территории Арабатской Стрелки в периоды штормовых нагонов редкой повторяемости. Особенно сильные штормы в Азовском море, сопровождавшиеся катастрофическими разрушениями, имели место 28-29 октября 1969 года и 24 сентября 2014 года. По имеющимся данным высота

уровня моря может достигать 323 см и более. В существующих условиях периодическому затоплению подвергаются низкие поверхности в северной части Арабатской Стрелки (остров Крячин и прилегающие участки). Это приводит к затоплению автомобильной дороги Геническ – Счастливецво, что подтверждается документально.

Береговой барьер является естественной защитой от затопления, лежащей за ним более низкой поверхности Арабатской Стрелки. Основным критерием, определяющим возможность затопления территории в периоды штормовых нагонов, является высота этой аккумулятивной формы. Кроме того, устойчивость барьера зависит от его ширины – чем он шире, тем ниже вероятность разрушения его вершины штормовыми волнами. Поверхность берегового барьера нередко нарушена в результате проезда автомобильной и грузовой техники, рекреационной деятельности и пр. Нарушения рельефа и растительного покрова в пределах берегового барьера ведут к снижению высоты этой аккумулятивной формы, способствуют развитию эоловых процессов (дефляции), могут вызывать локальный размыв берега, и, как следствие, затопление нижележащей территории.

В естественных условиях аккумулятивный берег Арабатской Стрелки стабилен. Береговой барьер может рассматриваться как основа системы инженерной защиты территории от затопления. Проектирование инженерной защиты должно осуществляться после проведения детальных инженерно-гидрометеорологических изысканий, в том числе литодинамических исследований и гидрометеорологического моделирования, с учетом комплексного развития прибрежной территории.

Работа выполнена в рамках госбюджетных тем № 121051100167-1 и № 224013100245-0.

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ БАЙПАСИНГА ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ КОМПЛЕКСНОГО ПЛАНА БЕРЕГОЗАЩИТЫ АБРАЗИОННОГО УЧАСТКА МОРСКОГО БЕРЕГА БАЛТИЙСКОЙ КОСЫ (БАЛТИЙСКОЕ МОРЕ)

Закиров Р.Б.¹, Чубаренко Б.В.¹, Бурнашов Е.М.²

¹*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия*

²*ГБУ КО «Балтберегозащита», г. Светлогорск, Россия*

zakirov.ruslan.kaliningrad@yandex.ru

Ключевые слова: береговая абразия, берегоукрепление, by-pass, эоловые наносы, морские наносы.

Дистальная 3-километровая часть Балтийской косы (примыкающая с юга к южному молу входных ворот Калининградского морского канала) подвергается активному размыву на протяжении более чем 100 лет [Басс, 2007; Закиров и др., 2022]. Основной причиной размыва служит нарушение естественного хода гидро-литодинамических процессов в результате строительства выдвинутых в море оградительных молов, механизм размыва связан с господствующим направлением штормового ветра и волн [Чечко и др., 2008; Бабаков, Чубаренко, 2019]. В последние десятилетия береговая абразия усиливается [Бабаков, Чубаренко, 2017], что обостряет угрозу окончательного разрушения старинного форта «Западный» и подтопления прибрежного поселка Коса [Соколов и др., 2012; Vobykina, et al., 2015; Stont et al., 2023].

На основе схемы планируемой комплексной берегозащиты абразионного участка берега Балтийской косы выполнен подсчет необходимых для проекта берегозащиты объемов песчаного материала. Рассмотрены возможные природные источники песка, оптимальные способы его доставки к месту берегоукрепления. Выполнен анализ положительных и отрицательных аспектов разных подходов к применению метода by-pass (байпасинг): предлагаемый ГБУ КО «Балтберегозащита» механический байпасинг эоловых песчаных наносов надводной части пляжей и предлагаемый в научной литературе гидромеханизированный байпасинг подводных песчаных наносов [Чечко и др., 2008; Закиров и др., 2022]. По результатам сравнения дана оценка экономической привлекательности разных подходов к применению байпасинга, эффективности подходов в условиях Балтийской косы и связанных с ними экологических рисков.

Работа выполнена при поддержке темы № FMWE-2024-0025 гос. задания ИОРАН. Авторы выражают благодарность коллегам из ГБУ КО "Балтберегозащита" за предоставленные данные.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабаков А. Н. Чубаренко Б. В. Структура результирующего вдольберегового транспорта наносов в восточной части Гданьского залива // Водные ресурсы. 2019. Т. 46, №4. С. 370–384.
2. Бабаков А. Н., Чубаренко Б. В. Береговая абразия // Система Балтийского моря. / Под. ред. Лисицын А. П. (научн. ред.), Лукашин В. Н., Немировкая И. А., Стародымова Д. П. (ред. колл.) — М.: Научный мир, 2017. (608 с.). ISBN 978-5-91522-445-1. — С. 122-178.
3. Басс О. В. Эволюция взаимодействия природных и техногенных процессов в ходе строительства порта Балтийск // Вестник Российского государственного университета им. И. Канта. 2007. №7. С. 35-43.
4. Закиров Р. Б., Краснов Е. В., Чубаренко Б. В. Этапы формирования и развития природно-технической системы входного участка Калининградского морского канала (Калининградский залив) // Российский журнал прикладной экологии. – 2022. – № 4. – С. 4–12. <https://doi.org/10.24852/2411-7374.2022.4.4.12>
5. Соколов А. Н., Чубаренко Б. В., Карманов К. В. Гидродинамические условия в береговой зоне Балтийской/Вислинской косы и Самбийского полуострова: шторм января 2012 года // Известия КГТУ. 2016. №43.
6. Чечко В. А., Чубаренко Б. В., Болдырев В. Л., Бобыкина В. П., Курченко В. Ю., Домнин Д. А. О динамике береговой зоны моря в районе оградительных молов Калининградского морского канала. // Водные ресурсы. 2008. Т. 35, № 6. С. 1 - 11.
7. Bobykina V., Chubarenko B., Karmanov K. Morphodynamics of the shore of the Vistula Spit (the Baltic Sea) in a period of 2002-2015 by results of in-situ measurements. [In] “Managing risks to coastal regions and communities in a changing world”. Proc. Int. Conf. EMECS'11-SeaCoasts XXVI, Saint-Petersburg, 22-27 August, 2016. Saint-Petersburg, RSHU, 2016. ISBN 978-5-369-00829-4. P. 130-140. DOI: 10.21610/conferencearticle_58b4315ec153d
8. Stont Zh. I., Bobykina V. P., Ulyanova M. O. “Diving” cyclones and consequences of their impact on the coasts of the South-Eastern Baltic Sea. Russian Journal of Earth Sciences, 2023. Vol. 23, ES2001 <https://doi.org/10.2205/2023ES000827>

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЗЗ И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА (ИИ) ДЛЯ АНАЛИЗА МНОГОЛЕТНЕЙ ДИНАМИКИ БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ МОРЯ

Кривогуз Д.О., Беспалова Л.А.

*Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, Россия
krivoguz@sfedu.ru*

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, искусственный интеллект, мониторинг береговой линии, CoastSat, Азовское море, глубокие нейронные сети.

Береговые линии, подверженные постоянным изменениям под воздействием природных процессов и антропогенной деятельности, требуют непрерывного мониторинга для оценки эрозионных процессов, изменения экосистем, а также для планирования защитных и восстановительных мероприятий.

С развитием спутниковых технологий и методов машинного обучения появилась возможность проведения масштабного и систематического анализа изменений береговых линий с высокой точностью и в короткие сроки. Данные ДЗЗ обладают уникальной способностью охватывать большие территории и предоставлять актуальную информацию о состоянии природных объектов, в то время как ИИ и глубокие нейронные сети (DNN) позволяют автоматизировать процесс обработки и анализа этих данных, выделяя из огромного массива информации значимые изменения и тенденции.

Использование этих технологий в комплексе открывает новые перспективы для науки о Земле и экологии, позволяя не только точно определить текущее положение береговых линий, но и проследить их изменения во времени, оценить влияние различных факторов на эти процессы и разработать научно обоснованные предложения по управлению и защите прибрежных зон.

В рамках исследования был выбран тестовый участок прибрежной территории от села Весело-Вознесенка до города Таганрога. Этот район исследований был особенно интересен из-за его динамично изменяющегося природного ландшафта и значительного влияния антропогенных факторов. В качестве референсной береговой линии (РБЛ) были использованы участки, определенные по границе песчаных и склоновых территорий на основе спутниковых снимков от 09.06.2013 года.

С помощью инструмента CoastSat было классифицировано 332 снимка спутника Landsat-8, охватывающих период с 2013 по 2022 год. Этот процесс позволил выделить и анализировать изменения береговой линии на протяжении длительного времени. Примеры полученной сегментации

береговой линии демонстрируют высокую эффективность использования CoastSat для извлечения точных геометрических данных о контуре берега.

Для детального анализа изменений береговой линии были проведены 10 трансектов от референсной береговой линии. Это позволило количественно оценить сдвиги и тенденции изменения положения береговой линии на различных участках. Статистическая обработка данных трансектов была представлена в виде графиков, которые наглядно показывают динамику изменений береговой линии за исследуемый период.

Эти результаты подчеркивают важность и эффективность использования CoastSat в комбинации с данными ДЗЗ для мониторинга и анализа динамики береговых линий. Они также демонстрируют потенциал для применения подобных методов в других регионах для оценки воздействия природных и антропогенных процессов на прибрежные зоны.

Опыт применения инструмента CoastSat для мониторинга изменений береговой линии Азовского моря показал, что современные технологии способны обеспечить детальное и точное изучение прибрежных зон. Этот подход демонстрирует важность интеграции данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и алгоритмов искусственного интеллекта (ИИ) для выявления как мелкомасштабных, так и крупномасштабных изменений в динамике береговых линий.

Основным преимуществом использования ИИ является его способность к обработке и анализу больших объемов данных с высокой степенью точности и минимальным вмешательством человека, что позволяет идентифицировать тенденции и изменения, которые могут оставаться незамеченными при традиционных методах анализа. Кроме того, алгоритмы ИИ способны обучаться на основе новых данных, постоянно улучшая свою эффективность и адаптируясь к изменяющимся условиям мониторинга.

Однако, несмотря на значительные преимущества, применение ИИ в мониторинге береговых линий также сопряжено с рядом ограничений и вызовов. К ним относятся необходимость в большом объеме обучающих данных для эффективного обучения моделей, сложности интерпретации получаемых данных из-за вариабельности природных условий, а также потенциальные ошибки в результате аномалий в исходных снимках.

Таким образом, опыт использования CoastSat и ИИ в анализе динамики береговой линии Азовского моря открывает новые перспективы для экологического мониторинга и управления прибрежными зонами, одновременно подчеркивая важность дальнейших исследований и разработок в этой области.

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ И ТРАНСФЕРА ИНФОРМАЦИИ В БАНК ДАННЫХ НА КОМПЬЮТЕРЕ ПРИ ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Кривогуз Д.О., Беспалова Е.В., Беспалова Л.А.

*Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, Россия
krivoguz@sfedu.ru*

Ключевые слова: геоинформационные системы (ГИС), мониторинг береговой линии, QField и QGIS, база данных PostGIS, состояние береговых сооружений.

В современной научной практике важную роль играет применение геоинформационных систем (ГИС) и современных технологий сбора данных, особенно в области мониторинга и охраны окружающей среды. Эффективное управление и анализ геопространственных данных становится ключевым фактором в исследованиях, направленных на оценку и прогнозирование изменений в природных и антропогенных системах. Одним из актуальных направлений является мониторинг береговых линий, который призван выявлять изменения в состоянии береговых сооружений и прибрежных зон, вызванные естественными процессами и человеческой деятельностью.

Настоящее исследование посвящено разработке и апробации методологии сбора, обработки и анализа данных при полевых работах, используя комплекс программного обеспечения QField, QGIS и систему управления базами данных PostGIS. Выбор данных инструментов обусловлен их высокой адаптивностью, открытым исходным кодом и широкими возможностями для сбора и анализа геопространственной информации в реальном времени. Особое внимание уделяется вопросам интеграции собранных данных в централизованные базы для последующего комплексного анализа, что является важным аспектом в управлении природопользованием и охране природных территорий.

В рамках нашего исследования по мониторингу состояния и целостности береговых сооружений на Азовском море была разработана и реализована методология, основанная на комплексном подходе к сбору и анализу данных. Применение программного обеспечения QField в сочетании с ГИС-платформой QGIS и базой данных PostGIS позволило нам создать эффективную и гибкую систему для работы с геопространственной информацией в полевых условиях. На начальном этапе была выполнена подготовка инструментария: в QField были настроены формы для записи наблюдений, а в QGIS подготовлен проект с картографическими слоями исследуемой территории. Также была настроена интеграция с PostGIS для обеспечения централизованного хранения и обработки собранных данных.

Во время полевых исследований команды осуществляли обследование береговых сооружений, акцентируя внимание на оценке их физического состояния и устойчивости. Для каждой точки мониторинга фиксировались параметры, отражающие дефекты конструкций, состояние материалов, а также наличие и степень проявления различных деформаций и повреждений. Особое внимание уделялось фотодокументации, которая позволяла зафиксировать текущее состояние объектов для последующего анализа и сравнения. Собранные данные в реальном времени передавались в базу данных PostGIS, где они агрегировались для дальнейшей обработки и анализа в QGIS.

Анализ полученных данных осуществлялся с целью выявления общих тенденций и специфических проблем, связанных с состоянием береговых сооружений. Это позволило не только оценить текущую ситуацию, но и сформулировать рекомендации по предотвращению дальнейшего разрушения и повышению устойчивости береговых сооружений. Таким образом, наша методология обеспечила комплексный подход к мониторингу состояния и целостности береговых сооружений, способствуя более эффективному управлению и охране прибрежных территорий.

Использование комплекса QField, QGIS и PostGIS в полевых исследованиях позволило значительно ускорить процесс сбора, обработки и анализа данных. Была достигнута высокая точность геопространственных данных, что критически важно для мониторинга изменений береговой линии и оценки эффективности мер по ее защите. Также была обеспечена оперативность обновления информации в базе данных, что способствовало своевременному реагированию на изменения экологического состояния исследуемой территории.

О ВОЗМОЖНОСТИ ЗАМЕДЛЕНИЯ ТЕРМОАБРАЗИИ БЕРЕГОВЫХ ОБРЫВОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Локтионов Е.Ю.¹, Шарборова Е.С.², Николаев Е.Ю.³

¹*МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия*

²*САФУ им. М.В. Ломоносова, г. Архангельск, Россия*

³*Ecole Polytechnique Federale de Lausanne, г. Лозанна, Швейцария*
eloktionov@mail.ru

Ключевые слова: многолетнемерзлые грунты, береговая инфраструктура, промышленная безопасность, волновая эрозия, возобновляемые источники энергии, холодильные машины.

Значительная часть инфраструктуры в Арктической зоне РФ построена в прибрежной зоне морей и рек. Потепление климата ведет к разрушению береговых обрывов вследствие термоабразии. Если скорости отступления берегов вследствие первого явления измеряются первыми метрами в год, то вследствие второго - до десятков метров за один шторм. Все это создает значительные риски для объектов инфраструктуры либо вынуждает располагать их дальше от берега, увеличивая стоимость строительства (в т.ч. при реализации берегозащитных мероприятий) и эксплуатации.

Глобальное потепление проявляется в Арктике сильнее, чем в среднем на планете (эффект арктического усиления). Повышение температуры воздуха ведет к повышению температуры грунтов и, как следствие, плавлению заключенного в них льда. Уменьшение площади льда в Арктике, подавляющего образование и распространение волн, привело к увеличению размывания берегов. Таяние мерзлого ядра в сочетании в усилившемся волновым воздействием делает береговые обрывы очень неустойчивыми. Результатом этого являются катастрофические размывы берегов, которые не только угрожают сооружениям на берегу, но и осложняют подход судов к берегу вследствие наносов.

Существующие в настоящее время способы укрепления берегов предполагают крайне дорогую механическую защиту, например, стенами из железобетона и металлического профиля, которые не устраняют проблемы таяния грунтового льда.

Для сохранения береговых обрывов мы рассмотрели возможность сохранения мерзлого ядра. Сезонные охлаждающие устройства для этого не подходят, поскольку к сезону штормов осенью они еще не начинают работать, а холод, запасенный предыдущей зимой, уже полностью израсходован. Теплоизоляция не понижает температуру грунта, что особенно важно для засоленных берегов побережья. Исходя из этого, мы рассмотрели применение

тепловых насосов. При этом, учитывая сезонность волновой нагрузки, для их питания рассмотрено применение не только солнечных батарей, но и ветрогенераторов.

Рассмотрено применение грунтовых зондов различных конфигураций: приповерхностных горизонтальных, вертикальных, комбинации вертикальных и горизонтальных, наклонных при кластерном бурении. Исследована выработка энергии при различных сочетаниях солнечной и ветровой компонентов энергосистемы.

Численное моделирование в программном комплексе Frost 3D выполнено для наиболее тяжелых условий – обрыв южной экспозиции в Мезени. Полученные результаты показали, что наилучший эффект достигается при использовании комбинации горизонтальных и вертикальных зондов либо при наклонно-кластерном бурении. Применение инверторных холодильных машин со специальными солнечными насосными инверторами, регулируемыми частоту питания привода пропорционально текущей мощности, поступающей от возобновляемых источников энергии (ВИЭ), позволяет обойтись без дорогостоящих аккумуляторных батарей в качестве буфера. Бесплатным накопителем энергии выступает грунт, тепловая инерция которого позволяет сгладить неравномерность выработки энергии. Последняя заметно уменьшается при сочетании комплементарных источников - солнца и ветра.

Применение активных систем термостабилизации грунтов, питаемых от возобновляемых источников энергии способно сохранять мерзлое ядро береговых обрывов, значительно замедляя их разрушения. Предполагается, что реализация такого способа будет значительно дешевле, чем применение бетонных и металлических защитных стен. Кроме того, тепло, отводимое из грунта, можно использовать, например для производства овощей. Как показано нами для Архангельска, урожайность в теплицах вырастает в таком случае в 2,5 раза.

Работа выполнена при поддержке РФФИ и Архангельской области (грант 22-19-20026). Авторы благодарят ООО НТЦ Симмэйкерс за предоставление бесплатной академической лицензии на программный комплекс для геотехнических расчетов Frost 3D.

УТОЧНЕНИЕ НЕКОТОРЫХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА МОРСКИХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Макаров К.Н., Макаров Н.К.

*Сочинский государственный университет, г. Сочи, Россия
ktk99@mail.ru*

Ключевые слова: гидротехнические сооружения, трансформация волн, волновые нагрузки, динамика пляжей, заносимость акваторий.

Рассматриваются результаты научных исследований, выполненных для уточнения методов расчетов морских гидротехнических сооружений, которые либо отсутствуют в нормативных документах, либо недостаточно полно отражают все расчетные случаи проектирования.

В частности, уточнению подлежали:

1. Дифракция волн на акваториях островных портов. В нормативных документах рассматривается дифракция волн на акваториях, огражденных волноломом, одиночным молотом, сходящимися молами. При этом предполагается, что фронт волны входит в ворота порта. В портах, расположенных на островных комплексах, волна огибает оградительное сооружение и попадает на акваторию со стороны берега. Такой расчетный случай рассматривается в докладе.

2. При наличии на акватории перед оградительными или берегозащитными сооружениями подводных каньонов, имеет место не полное косое отражение волн от них. В результате возникает интерферирующая волна, которая может существенно превысить расчетную волну, полученную без учета отражения. Под воздействием такой увеличенной волны возможны деформации сооружений даже в штормах существенно слабее расчетных.

3. В нормативном методе расчета наката волны на берег или сооружение, предполагается, что уклоны надводной и подводной частей берегового склона одинаковы. В зонах подводных каньонов это не так. Уклон подводной части существенно больше, чем надводной. Это обуславливает значительное увеличение высоты и длины наката волны, что обычно не учитывается при проектировании берегозащитных сооружений.

4. Галечные пляжи обычно ограждаются бунами и (или) волноломами. Кроме того, могут быть рассмотрены пляжи на островных комплексах. Динамика галечных пляжей в таких огражденных акваториях имеет свои особенности, которые рассматриваются в докладе.

5. При проектировании волногасящих набросок в корневых частях портовых молотом, согласно нормативным документам, рассматривается фронтальный подход волны. Однако в реальных условиях волна подходит под некоторым углом. В результате, также как и с подводными каньонами,

возникает интерферирующая волна, которая может быть существенно больше расчетной. Под воздействием такой волны возможны деформации сооружений, что неоднократно наблюдалось на гидравлических моделях и в натуре.

6. В действующих нормативных документах отсутствуют рекомендации по расчету вертикальных волновых нагрузок на плиты перекрытий эстакад, причалов, элементы сквозных откосно-ступенчатых берегозащитных волногасителей. В докладе предлагается методика расчета таких нагрузок.

7. Оценка заносимости портовых акваторий и подходных каналов является одной из ключевых задач при проектировании портов на песчаных берегах. Однако четких рекомендаций по расчету заносимости в нормативных документах нет. В докладе предлагается соответствующая методика.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ БЕРЕГОЗАЩИТНЫХ СООРУЖЕНИЙ И НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТОВ РЕКОНСТРУКЦИИ ЮЖНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КРЫМА НА ПРИМЕРЕ ПГТ. МАССАНДРА (Г. ЯЛТА)

Марков А.А., Фомин В.В., Горячкин Ю.Н., Харитонов Л.В.

*Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь, Россия
alexei.markovf@mail.ru*

Ключевые слова: береговая зона, ветровое волнение, берегоукрепительные сооружения, Крым, математическое моделирование, SWAN, SWASH, GenCade.

Южное побережье является наиболее рекреационно развитым районом Крыма, вследствие чего и наиболее интенсивное освоение берега в этом районе началось раньше остальных. Активные работы по защите береговой полосы стали производиться с 60-х гг. XX в. При этом применялись новые, нестандартные для того времени решения, позволяющие наиболее эффективно использовать береговую зону в условиях ограниченности площади и наличия активных оползневых процессов. Впервые комплекс берегозащитных и противооползневых сооружений, включающий набережную с оградительной гидротехнической стеной, искусственный пляж и буны был применен для района пгт. Массандра (г. Ялта). Подобная схема берегозащиты была распространена на большую часть Южного берега Крыма. В настоящее время срок эксплуатации большинства гидротехнических сооружений Крыма либо превысил нормативный (50 лет) либо близок к предельному. При этом сооружения до настоящего времени выполняют совою защитную функцию в

условиях экстремальных штормов, таких как наблюдавшийся 26 – 27 ноября 2023 года «шторм века».

Целью данной работы явилась оценка современного состояния и эффективности использования различных типов берегозащитных сооружений для района Южного берега Крыма в условиях экстремальных штормов. На примере комплекса берегозащитных сооружений пгт. Массандра выполнена разработка научного обоснования одного из возможных вариантов реализации схемы устройства берегозащиты для побережья.

В ходе работы был выполнен ретроспективный анализ и визуальное обследование современного состояния гидротехнических сооружений. Проведен статистический анализ ретроспективных расчетов ветрового волнения на прилегающей акватории за 1979–2021 гг. На основе математической спектральной модели SWAN рассчитаны поля ветровых волн для разных ветровых условий, получена детальная информация о режимных характеристиках волнения. Для участка берега, расположенного на восточной границе комплекса берегозащитных сооружений пгт. Массандра, который включает в себя часть свободного пляжа, 4 буны, оградительную стену набережной и искусственный пляж выполнены следующие работы. С применением гидродинамической численной модели SWASH получены характеристики прибрежных волновых течений и максимального наката волн на берег для штормов. На основе данных ретроспективных расчетов волнения и формулы CERC получены значения суммарного за год вдольберегового потока наносов. Расчеты по интегральной литодинамической модели GenCade позволили оценить изменений береговой линии для 6 возможных вариантов реконструкции берегозащитных сооружений.

На основе выполненных изысканий сделаны следующие выводы. Реализованная схема берегозащитных сооружений в виде набережной с оградительной гидротехнической стеной гравитационного типа под защитой искусственного пляжа из карьерного материала с бунами в целом показала свою эффективность и надежность. Конструкции практически отработали весь период эксплуатации даже при условии того, что компенсация пляжных потерь на истирание и уход на глубину не производилась должным образом, а буны были повреждены штормами. При этом выявились слабые стороны проекта, которые необходимо исправить в ходе выполнения проектных работ по реконструкции сооружений. Во-первых, необходимо выполнить усиление бун для обеспечения их устойчивости при косом подходе волнения. Во-вторых, для эффективного удержания пляжевого материала в пределах отсека предлагается удлинить 3 восточные буны и в эксплуатационных расходах учесть дополнительные потери пляжного материала на вдольбереговой перенос в западном направлении. При реконструкции рекомендуется восстановить до проектных размеров цоколь пляжа. На основе выполненных изысканий рекомендуется вариант схемы устройства берегозащиты, учитывающую устройство подводного банкета с береговой гранью на расстоянии 12–15 м от

концов бун. Такое техническое решение применяется с начала 80-х гг. XX в. на Южном берегу Крыма на приглубых участках, где уклоны дна не обеспечивают устойчивость пляжа на подводном склоне, и показало хорошие результаты. Также с учетом опыта эксплуатации сооружений на аналогичных участках рекомендуется создать препятствие высотой 1,0 м для заплеска и заброса пляжевого материала на набережную при экстремальных штормах.

ИЗ ОПЫТА СЕЙСМИЧЕСКОГО МИКРОРАЙОНИРОВАНИЯ УЧАСТКОВ БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ РЯДА МОРЕЙ: НЕКОТОРЫЕ ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ РАСЧЕТНОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ

Миронюк С.Г.¹, Либина Н.В.²

*¹МГУ имени М.В. Ломоносова, геологический факультет,
г. Москва, Россия*

*²Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия
mironyuksg@gmail.com*

Ключевые слова: землетрясения, береговая зона, Черное море, Баренцево море, Японское море, сейсмическое микрорайонирование, резонансный эффект, расчетная сейсмичность, морские сооружения.

Береговая зона морей относится к числу наиболее высокоэнергетических морфосистем и характеризуется, как правило, сложными инженерно-геологическими условиями, в т. ч. является участком повышенной сейсмической опасности. Расчетная сейсмичность (I_{des}), как показали работы по сейсмическому микрорайонированию (СМР), может резко увеличиться на отдельных участках береговой зоны за счет резонансного эффекта и повышенной мощности слабokonсолидированных грунтов на береговом склоне. Ниже приведены примеры таких ситуаций.

Черное море. В 2011 году были проведены наблюдения с помощью донных сейсмографов для оценки сейсмической опасности в коридоре трассы подводного газопровода в российском секторе Черного моря, включая его береговое примыкание. Один из донных сейсмографов, установленных в береговой зоне анапского шельфа на глубине 20 м, был установлен на толще текучих глин. Сейсмические записи сравнивались с записями базового донного сейсмографа, установленного на обнажениях полускальных пород флиша. В процессе обработки сравнивались спектральные амплитуды записей микроземлетрясений, полученные горизонтальными сейсмическими каналами донными сейсмографами, установленными на «мягких связанных» осадках с

записями, полученными базовым донным сейсмографом, установленным на коренных породах. Результаты обработки записей микроземлетрясений по данным донной сейсмографии показали, что наблюдаемые приращения интенсивности (ΔI) в местах, где находится чехол «мягких связанных» грунтов, превышают 1 балл ($\Delta I = 1,15 \div 1,28$).

Для целей СМР использовались также записи сильного землетрясения с эпицентром в Турции (магнитудой 5,8), полученные с помощью донных сейсмографов в районе Анапы. Значения ΔI , полученные из отношений спектральных амплитуд сильного землетрясения, в пределах погрешности совпадают со значениями, полученными из отношений амплитуд микроземлетрясений. Спектры этих землетрясений имеют ярко выраженные максимумы для приборов, установленных на слабokonсолидированных грунтах, в отличие от спектров сейсмических сигналов, зарегистрированных базовым сейсмографом. Наличие выраженных спектральных максимумов можно объяснить резонансным эффектом в верхнем слое текучих глин мощностью не менее 6 м, перекрывающих коренные породы. Этот эффект очень опасен для морских сооружений, спроектированных вблизи береговой линии.

Баренцево море. СМР на участке берегового примыкания трубопровода выполнены с помощью метода сейсмических жесткостей (МСЖ), при этом были использованы значения скоростей поперечных волн (V_s) для 10-м верхней толщи грунтов. Согласно выполненным работам по уточнению исходной сейсмичности (I_{beg}) ожидаемая интенсивность землетрясений в береговой зоне составила 5,7 баллов по шкале MSK-64 с периодом повторяемости (T) 1000 лет. СМР выявило существенные изменения значений I_{des} по трассе сооружения, что обусловлено неоднородностью грунтовых условий в прибрежной зоне. Повышенные значения $I_{des} = 6,6$ баллам характерны для участка берегового склона, сложенного супесью текучей и илом глинистым с V_s , соответственно 120 м/с и 90 м/с. На побережье I_{des} понижается до значений 5,3 балла (здесь грунтовая толща сложена песками средней крупности, средней плотности с $V_s = 395$ м/с и валунными (глыбовыми) грунтами с песчаным заполнителем, $V_s = 500$ м/с).

Японское море. Исходные сейсмические воздействия ($I_{beg} = 7,0$ балла) для перехода трассы газопровода Сахалин – Хабаровск – Владивосток через Амурский залив вычислены с использованием вероятностного анализа сейсмической опасности, а СМР было выполнено МСЖ, расчетным методом и методом, учитывающим мощность четвертичных отложений. По результатам СМР вся территория трассы перехода уверенно подразделяется на три участка с различным средним уровнем приращений балльности по отношению к исходному показателю I_{beg} для $T = 1000$ лет:

1. Участок о. Русский. Береговой склон сложен морскими отложениями: суглинком тяжелым полутвердый и тугопластичным, суглинком мягкопластичным, легким, а берег кварцевыми порфирами и

туфобрекчий перекрытых суглинками, супесями и суглинками дресвяными, твердой и полутвердой консистенции. Характеризуется $\Delta I = -(0,2 - 0,4)$, поэтому $I_{des} = 6,6-6,8$ балла.

2. Участок Амурский залив. Дисперсные грунты мощностью около 40 м представлены галечниковым и гравийным грунтами, разнотернистыми песками, супесями, суглинками, глинами и илами глинистыми и суглинистыми. Площадь характеризуется наибольшими значениями приращения $\Delta I = + (0,1 - 0,7)$ балла, $I_{des} = 7,1-7,7$ балла. При этом максимальные значения I_{des} относятся к пунктам, расположенным в самой глубокой части залива. Наименьшие значения ($7,1-7,3$ балла) получены для самой западной прибрежной части залива.

3. Участок мыса Приморский. Сложен морскими отложениями: супестью текучей, пылеватой, песком гравелистым, плотным, гравийным и галечниковым грунтами с супесчаным, реже песчаным заполнителем. Характеризуется незначительными положительными $\Delta I = + (0,0 - 0,2)$ балла, $I_{des} = 7,0-7,2$ балла.

НАТУРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ПРОНИЦАЕМОГО ВОЛНОЛОМА ДЛЯ ЦЕЛЕЙ БЕРЕГОЗАЩИТЫ (БАЛТИЙСКОЕ МОРЕ, КАЛИНИНГРАДСКАЯ ОБЛАСТЬ)

**Чубаренко Б.В.¹, Дикий Д.И.¹, Домнин Д.А.¹, Закиров Р.Б.¹,
Бабаков А.Н.¹, Пака В.Т.¹, Кондрашов А.А.¹, Корж А.И.¹,
Бурнашов Е.М.², Карманов К.В.², Ефремов В.И.³, Басс О.В.⁴**

¹*Институт океанологии им. П. П. Ширшова Российской академии наук,
г. Москва, Россия*

²*ГКУ КО «Балтберегозащита», г. Светлогорск, Россия*

³*ООО «Торговый дом «Базальтовые трубы», г. Москва, Россия*

⁴*Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта,
г. Калининград, Россия
chuboris@mail.ru*

Ключевые слова: проницаемый волнолом, берегоукрепление, композитный материал, Балтийское море, натурный эксперимент.

В работе анализируется эффективность применения свайного сооружения вида волнолом «Гребенка» для целей берегозащиты. В период с 03.10.2021 - 30.04.2023 был проведен натурный эксперимент по установке данной конструкции на северном побережье Калининградской области вблизи города Зеленоградска, где пляж подвержен абразивным воздействиям. Четыре

мористых модуля волнолома были установлены в бунном кармане, но не перекрывали его полностью. Один прибрежный модуль был установлен в непосредственной близости от линии уреза. Эксперимент охватил несколько сезонов сильной штормовой активности, что позволило сравнить динамику изменения береговой линии в месте установки волнолома и на соседних участках. Проводились регулярные измерения ширины пляжа, аэрофотосъемка, повторное измерение глубин в месте установки, оценка динамики подводного вала, определение слоя песчаного чехла в месте установки конструкции, размещение инклинометрических датчиков скорости течения на волноломе. Выявлена связь динамики пляжа с ветровым воздействием. Чередования размываемых и аккумуляционных участков пляжа вызваны включением смытого на подводный береговой склон песка во вдольбереговое перемещение, который при благоприятном волновом режиме опять выносится на пляж. Ширина пляжа в месте установки волнолома и на смежных участках синхронно изменяется, что говорит об отсутствии значимого влияния волнолома на пляж. Из-за нарушения единой линейки в конструкции волнолома его работа оказалась ослабленной. Отсутствие очевидного аккумулятивного эффекта связано со смещением мористых модулей волнолома и их частичным погружением в песок. Вторым фактором, не позволившим достичь положительного эффекта, является ограниченная длина линейки мористых модулей. Положительный эффект от уединённого модуля, установленного вблизи уреза, проявился в том, что линия уреза примкнула к основанию восточной буны. Проведение натурного эксперимента по установке конструкции в натуральную величину в естественные условия оказалось очень полезным для дальнейшего её совершенствования с учётом как негативных, так и положительных достигнутых результатов.

СЕКЦИЯ 5
«БЕРЕГОВАЯ ЗОНА НА ПУТИ К УСТОЙЧИВОМУ РАЗВИТИЮ
(КОМПЛЕКСНОЕ УПРАВЛЕНИЕ И СОЦИАЛЬНО-
ЭКОНОМИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ)»

СОЗДАНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ: СРАВНЕНИЕ ОПЫТА
ОСАКИ И САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

Амосов М.И.¹, Сафина С.С.², Толмачёва Е.М.²

*¹Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург,
Россия*

*²Санкт-Петербургский государственный экономический университет,
г. Санкт-Петербург, Россия
mamosov@mail.ru
safina.sazhida@mail.ru
em.tolmacheva@live.unecon.ru*

Ключевые слова: намывные территории, искусственные острова, морская акватория, функциональное зонирование, Осака, Санкт-Петербург.

В последние десятилетия в мире широкое распространение получила практика создания новых земель на месте морских акваторий. В России активные преобразования береговой линии осуществляются в Санкт-Петербурге.

В статье проводится сравнение опыта создания искусственных территорий в Санкт-Петербурге и японском городе Осака.

Оба города имеют важное промышленное, торговое и культурное значение, занимая в своих странах второе место по числу жителей и по размерам валового регионального продукта, отставая по этим показателям только от столичных городов. Это приморские города, их центральные части расположены на аллювиальных равнинах. Они выполняют важные внешнеторговые функции и имеют развитое портовое хозяйство.

Анализ материалов по развитию Осаки показывает, что создание искусственных территорий на месте моря началось ещё в XVII – первой пол. XIX вв., когда такие работы проводились на месте прибрежных болот и мелководных участков моря с целью создания новых рисовых полей. В дальнейшем эти земли были застроены. В первой пол. XX в. порт Осаки развивался за счёт преобразования морских акваторий. Во второй пол. XX в. наступление на залив продолжилось – были построены новые контейнерные терминалы и жилые кварталы. При создании искусственных территорий стали активно использовать переработанные жилищно-бытовые отходы. Существенно, что преобразования проводились на месте акваторий с

глубинами большими, чем ранее. В результате всей этой деятельности появилось несколько новых островов.

В 1987–1999 гг. рядом с Осакой был построен международный аэропорт Кансай, разместившийся на искусственном острове.

В настоящее время власти Осаки осваивают искусственный остров Юмэсима, созданный в 1970-х гг. здесь уже размещены стадион, казино и др. объекты. Существующие градостроительные документы предусматривают четкое зонирование территории. Часть острова занимает крупная солнечная электростанция, открытая в 2019 г., зона в центре острова отведена для сооружений Всемирной выставки, запланированной на 2025 г., в других частях острова будут построены отели, торговые центры и др.

В Санкт-Петербурге работы по урегулированию береговой линии проводились со времени основания города в 1703 г. Первоначально они затрагивали береговую линию рек в Невской дельте, а сам город, как и Осака на ранних стадиях, развивался на некотором отдалении от моря. Порт располагался вдоль причалов на реках и каналах.

В связи с сооружением глубоководного Морского канала (открыт в 1885 г.) было решено создать главный Петербургский порт. Для этого в районе Гутуевского, Канонерского и Вольного островов (южная часть дельты) предполагалось создать несколько новых островов и изменить береговую линию. Необходимые работы были выполнены в 1874–1885 гг.

В соответствии с генеральным планом 1966 г. предусматривался выход городской застройки Петербурга к морскому побережью Финского залива. Для этого на низменных побережьях и прилегающих мелководных акваториях залива проводился «намыв» грунта – создание суши или повышение её отметок с помощью гидравлических механизмов. В ходе реализации генплана 1966 г. на месте морских акваторий создали 350 га новых земель. Основные работы проводились западнее Васильевского острова и примыкающего к нему острова Декабристов (Голодай), к которому был присоединён остров Вольный. Было изменено положение устьевого участка реки Смоленки. На вновь образованных территориях соорудили Морскую набережную с широким бульваром, были построены новые жилые кварталы, крупнейшая гостиница и др.

Новый этап начался после принятия Генерального плана 2005 г., в соответствии с которым западнее Морской набережной предусмотрено создание новых намывных территории площадью 476 га и сооружение пассажирского морского порта. В настоящее время освоена южная часть этих земель, где размещена обычная жилая застройка, создан порт. Работы в северной части продолжаются.

Сравнение Осаки и Санкт-Петербурга позволяет сделать выводы о ряде существенных отличий в современном планировании, практике создания и дальнейшего освоения вновь созданных территорий:

(1). Наблюдаются существенные отличия применяемых технологий, что обусловлено спецификой природных условий (в Осаке осваиваются акватории с большими глубинами).

(2). В Осаке предпочтение отдаётся созданию новых островов, тогда как в Петербурге вновь создаваемые земли непосредственно примыкают к старой береговой линии.

(3). В Осаке осуществляется чёткое зонирование вновь создаваемых территорий, предпочтение отдаётся созданию уникальных сооружений (выставочный комплекс, солнечная электростанция и др.). В Петербурге ни генплан 2005 г, ни его новая редакция 2023 г. не содержат зонирования новых территорий (кроме зоны порта). Предпочтение отдаётся жилищному строительству, не предусмотрено создание необходимых жителям зелёных зон.

СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ ПЕЧОРСКО-КАРСКОГО РЕГИОНА В КОНТЕКСТЕ РИСКОВ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ

Бадина С.В.

*МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия
bad412@yandex.ru*

Проблеме климатических изменений, в том числе – деградации многолетней мерзлоты, в прибрежных зонах арктических морей посвящено множество современных физико-географических исследований. При этом работ, затрагивающих экономическую составляющую риска (потенциальные ущербы) значительно меньше. Целью данного исследования является формирование базы данных хозяйственных объектов для прогнозирования ущербов от береговой термоабразии и деградации многолетней мерзлоты в прибрежных районах Карского и Печорского морей. Печорско-Карский регион, под которым в исследовании понимается сухопутная территория, прилегающая к акваториям Печорского и Карского морей, которую можно рассматривать как единую природно-хозяйственную береговую систему, с учетом схожести природно-климатических условий, хозяйственной специализации, а также общей социально-экономической и пространственно-географической специфики, занимает особое положение в Арктической зоне Российской Федерации, являясь основным центром добычи углеводородного сырья – главного элемента российского экспорта. Высокая зависимость от морского транспорта, а в большинстве случаев – его безальтернативность, опора на морскую логистику большинства новых проектов освоения ресурсов, развитие шельфовых проектов предопределили развитие на данной территории

многоуровневых береговых территориальных природно-хозяйственных систем.

В данном контексте для береговых природно-хозяйственных систем закономерно активное взаимовлияние их элементов: хозяйственная деятельность усиливает негативные процессы термоденудации и термоабразии берегов, но, с другой стороны, хозяйственные объекты сами подвергаются разрушению и деформациям вследствие трансформации береговой линии. Таким образом, активная динамика береговой линии, повышение темпов отступления берегов, прогнозируемое вследствие климатических изменений ко второй половине XXI века, могут привести к существенному экономическому ущербу, нанести урон как уже существующим хозяйственным объектам, так и перспективным.

Ключевая задача исследования заключается в разработке подходов к оценке стоимости недвижимой части основных фондов (зданий и сооружений), которые появятся в рамках реализации крупных инвестиционных проектов на рассматриваемой территории. Понимание этих стоимостей чрезвычайно важно для дальнейшей оценки прямого экономического ущерба. С использованием открытых информационных источников была сформирована база данных таких проектов в сфере добывающей и обрабатывающей промышленности, транспорта. На основании анализа динамических рядов показателей инвестиций в основной капитал и ввода в действие основных фондов, а также видовой структуры основных фондов в указанных отраслях в пределах рассматриваемых регионов были выявлены закономерности, позволившие оценить стоимость будущих зданий и сооружений, которые появятся в прибрежных районах после завершения крупных инвестиционных проектов. В качестве примера приведено сопоставление полученных результатов с прогнозом абразионной опасности на берегах Печорского и Карского морей. Дана оценка стоимости инфраструктуры, которая будет располагаться в ареалах максимального риска.

Для каждого рассматриваемого инвестиционного проекта с учетом его отраслевой и региональной принадлежности была рассчитана стоимость зданий и сооружений, которые должны быть построены по факту его завершения, по следующей формуле:

$$k_{ir} \cdot b_{ir} \cdot I_s = C_s \quad (1)$$

где k_{ir} – коэффициент капиталоемкости основных фондов отрасли i региона r (показывает, какую долю от начального объема инвестиций после завершения строительства в среднегодовом выражении составляют основные фонды); b_{ir} – коэффициент, характеризующий долю стоимости зданий и сооружений в общей стоимости основных фондов для отрасли i в регионе r ; I_s – объем инвестиций в проект S ; C_s – стоимость зданий и сооружений в момент завершения реализации инвестиционного проекта S .

Далее, в качестве примера, с использованием картографического метода полученные данные о стоимости будущей прибрежной

инфраструктуры предлагается соотнести с данными об абразионной и ледовой опасности, взятыми из Атласа абразионной и ледово-экскавационной опасности прибрежно-шельфовой зоны Российской Арктики. Это позволит выявить территории с максимальным уровнем риска к XXI на пересечении ареалов максимальной стоимости основных фондов и наивысшего уровня природной опасности.

Всего в пределах исследуемой территории было проанализировано 36 крупных инвестиционных проектов в сфере добычи полезных ископаемых, обрабатывающей промышленности и транспорта, с плановыми сроками ввода в эксплуатацию с 2017 г. по 2050 г. Из них большая часть сосредоточена в Ямальском районе ЯНАО и Таймырском Долгано-Ненецком районе Красноярского края. В отраслевой структуре около двух третей приходится на добычу полезных ископаемых, остальные – преимущественно на развитие вспомогательной транспортной инфраструктуры. Суммарный накопленный объем инвестиций оценен в размере порядка 9,2 трлн рублей в ценах 2023 г. Проведенные по формуле (1) расчеты показали, что после завершения стадии строительства каждого из этих проектов на территории появится новых основных фондов добывающей промышленности на 7,1 трлн рублей, транспорта – на 0,9 трлн рублей, обрабатывающей промышленности – 0,2 трлн рублей. Из них – зданий и сооружений добывающей промышленности общей стоимостью порядка 6,2 трлн рублей, транспорта – 0,8 трлн рублей, обрабатывающей промышленности – 0,1 трлн рублей.

Полученные результаты могут быть интегрированы в прогнозы различного рода природных и техногенных рисков на рассматриваемой территории, использованы для целей разработки планов социально-экономического развития приморских районов, отраслевых и территориальных стратегий адаптации к климатическим изменениям.

Благодарность: Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 22-17-00097 «Опасные экзогенные процессы и техногенез на берегах и шельфе Печорского и Карского морей».

КОНЦЕПЦИЯ КАДАСТРА МОРСКИХ БЕРЕГОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Гогоберидзе Г.Г., Румянцева Е.А.

*Мурманский арктический университет, г. Мурманск, Россия
gogoberidze.gg@yandex.ru*

Ключевые слова: береговая зона, кадастр, управление, природопользование, ресурсный потенциал, информационно-аналитическая система.

В работе рассмотрен концептуальный подход к созданию Государственного кадастра береговой зоны Российской Федерации в виде информационно-аналитической системы (ИАС ГКБЗ РФ). Актуальность его разработки связана с важностью упорядочения информации о ресурсах и возможностях береговой зоны. В России изучение морских берегов проводится уже не одно столетие, о чем свидетельствует, например, первая «Инструкция для исследования морских берегов», составленная группой геологов-геоморфологов и изданная в Санкт-Петербурге в 1888 г. Интенсивное освоение морских берегов в 50-е годы XX века вызвало необходимость создания общесоюзного центра береговых исследований, который мог взять на себя координацию береговых работ. Таким центром стала Береговая секция, созданная по инициативе В.П. Зенковича в 1952 г. при существовавшей с 1939 г. Межведомственной Океанографической комиссии АН СССР, и продолжающая свою работу и в настоящее время как Рабочая группа «Морские берега» (РГ «Морские берега»), действующая в составе Секции океанологии, физики атмосферы и географии Отделения наук о Земле Российской академии наук. В целом, ГКБЗ РФ представляет собой методически систематизированный свод данных, включающий качественную и количественную опись объектов или явлений с их экономической оценкой, а также свод сведений, количественно и качественно характеризующий ресурсы, расположенные на данной территории. В работе показана неразрывная связь между ГКБЗ РФ и морским пространственным планированием, отмечены основные проблемы, существующие в настоящее время в законодательной базе Российской Федерации. Предложен подход к структуре и назначению ИАС ГКБЗ РФ исходя из пространственной иерархии приморских территорий и береговых зон, а также цели и структура ИАС ГКБЗ РФ, состоящего из трех блоков: административно-хозяйственный, ландшафтно-географический и эко-социо-экономический, с содержанием каждого блока. Указано, что для целей ИАС ГКБЗ РФ и, в частности, его эко-социо-экономического блока к настоящему времени разработан макет ГИС-оболочки «Береговые эко-социо-экономические системы АЗРФ». Предлагается, что пилотный проект по созданию ИАС ГКБЗ РФ перспективен

к реализации на примере Калининградской области, и может быть рассмотрен для включения в перечень проектных мероприятий Десятилетия наук об океане в интересах устойчивого развития Организации Объединенных Наций от Российской Федерации. РГ «Морские берега», как рабочий орган, в состав которой входят ведущие исследователи-береговики, представляющие академические и научно-образовательные организации различных регионов России может выступить в качестве научного оператора разработки ИАС ГКБЗ РФ. Создание ГКБЗ РФ позволит создать правовую основу для урегулирования взаимоотношений между хозяйствующими субъектами в береговой зоне, как между собой, так и с государственными контролирующими органами, снизить экологические и геотехнические риски для береговых природных и природно-технических систем.

УСТОЙЧИВОСТЬ РАЗВИТИЯ БЕРЕГОВЫХ ТЕРРИТОРИЙ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА: СИЛЬНЫЕ И СЛАБЫЕ СТОРОНЫ

Гогоберидзе Г.Г., Румянцева Е.А.

*Мурманский арктический университет, г. Мурманск, Россия
gogoberidze.gg@yandex.ru*

Ключевые слова: Мурманская область, индекс устойчивости, береговые территории, эко-социо-экономической развитии.

В работе проведен комплексный анализ текущего состояния и перспектив социально-экономического развития Мурманской области и ее береговых территорий как ключевого арктического региона Российской Федерации. По основным общим признакам, Мурманская область (МО) относится к группе старопромышленных регионов Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ), для социально-экономического развития которых особенно эффективен кластерный подход на основе реиндустриализации и становления элементов инновационной экономики. Модель экономики Мурманской области в значительной степени ориентирована на развитие морехозяйственной деятельности и эксплуатации системообразующей роли Северного морского пути (СМП). Эти особенности обуславливают специализацию формируемых акваторриориальных морехозяйственных комплексов (кластеров) и значительно отличают ее от внутриконтинентальных районов Севера и циркумполярных территорий. Кроме того, переход к кластерному (узловому) развитию Мурманской области связан с очаговым освоением территории, высокой дисперсностью расселения, низкой плотностью населения и удаленностью от крупнейших промышленных

центров страны. Исходя из расположения Мурманской области, как приморского региона, выделены основные экономические активности побережья и прилегающей акватории. Комплексный анализ текущего состояния и перспектив социально-экономического развития Кольского полуострова проведен на основе индикаторного подхода с помощью аналитического, индикаторного и геоинформационного методов, при использовании анализа статистической информации, получаемой из открытых источников. В результате применения совокупности указанных методов и разработанной методики была получена унифицированная и количественно обоснованная многофакторная оценка устойчивости, что дало возможность не только провести анализ полученных численных оценок факторов устойчивости, но оценить и проанализировать тренды развития береговых эко-социо-экономических систем Кольского полуострова. Проанализировав текущую ситуацию социально-экономического развития региона, показано, что для стабилизации и дальнейших перспектив социально-экономического развития Мурманской области как ключевого арктического региона Российской Федерации необходимо скоординировать экономическую деятельность по районам области, в том числе с учетом видов и характера функционирующих и планируемых к строительству и эксплуатации в регионах крупных инфраструктурных техносферных объектов. Необходимо улучшить социальные условия жизни населения для приостановления, а в дальнейшем и для прекращения, миграционного оттока людей. Также положительным фактором, ведущим к повышению устойчивости социально-экономического развития области, будет повышение природно-экологического индекса устойчивости, что позволит в дальнейшем интенсивно развивать экологический туризм, не нанося вреда природной среде.

УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

Грант Е.М., Губарева Е.К.

*ГАОУ ВО "Московский Городской Педагогический Университет",
г. Москва, Россия
GrantEM@mgpu.ru*

Ключевые слова: Балтийское море, береговая линия, устойчивое развитие.

В настоящее время принципы устойчивого развития важны для многих областей, включая сохранение природных ресурсов. Особое внимание уделяется проблеме устойчивого развития береговой линии, особенно в регионах с интенсивной человеческой деятельностью, таких как Балтийское море. Береговая линия этого моря становится объектом экологических угроз из-за изменений климата, техногенного воздействия и других факторов.

Цель: оценить экологическое состояние береговой линии Балтийского моря и определить пути ее устойчивого развития.

Гипотеза: береговая линия Балтийского моря испытала ущерб ввиду изменений климата, загрязнений и производственной деятельности, однако благополучие региона и его экономическое процветание напрямую зависит от сохранности береговой линии.

Методы исследования: сравнительно-географический, картографический, географический анализ.

Результаты исследования: в ходе работы было изучено морское побережье Калининградской области при помощи дистанционных методов. Известно, что береговая зона Балтийского моря в данной области подвержена следующим природным и антропогенным опасностям: интенсивная абразия, последствия сгонно-нагонных изменений уровня моря (затопления берега, частичные осушение морского дна и др.), усиление штормовой активности, возникновение эрозионных депрессий, загрязнение вод, интенсификация туристической деятельности, вмешательство человека в природные процессы и др. Степень воздействия негативных факторов на прибрежную зону с каждым годом растёт. Для обеспечения устойчивости береговой линии необходимо применять комплексный подход, основанный на методах управления побережьем.

Во-первых, необходимо создать программу по сохранению прибрежных территорий и рациональному использованию ресурсов данных территорий. Данная программа должна включать в себя меры по контролю рыболовства, защите прибрежных территорий и акватории Балтийского моря от загрязнений, внедрение технологий для сокращения опасных выбросов со стороны промышленных предприятий.

Помимо этого, необходимо использовать инновационные технологии методы защиты береговой линии, такие как создание искусственных рифов, подводных барьеров, пляжных насыпей и других способов, способных нивелировать негативные последствия абразии и эрозионных депрессий. Проекты по восстановлению природных пляжей и устойчивому развитию прибрежных зон помогают обеспечить сохранность береговой линии.

Во-вторых, Балтийское море обладает богатым потенциалом для развития туристической индустрии, что актуально для развития устойчивого туризма. Это позволит не только сохранить уникальную экосистему, но и наладить социальную устойчивость и экономический рост региона. Создание таких туристических маршрутов позволят ознакомиться с уникальным биоразнообразием моря и его береговой линии.

В-третьих, необходимо развивать экологически чистое производство в регионе Балтийского моря, что подразумевает инвестиции в новые энергетические технологии, повышение энергоэффективности, максимальное использование возобновляемых источников энергии, а также содействие экологическим инициативам бизнеса.

Выводы: оценка экологического состояния береговой линии Балтийского моря позволила выявить факторы, приносящие наибольший вред ее устойчивости. Наилучшим путем развития прибрежной зоны Балтийского моря является комплексный подход, включающий в себя согласованные действия государства, научных исследователей, предприятий и общественности при хозяйственном освоении и использовании ресурсов данной территории. Осуществление всех предложенных мероприятий и стратегий позволит обеспечить устойчивое развитие береговой линии Балтийского моря.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Викторов С. В., Усанов Б. П. Береговое и морское пространственное планирование на Балтике // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. 2012. №2 (39).
2. Закиров Р. Б., Чубаренко Б. В., Сологуб С. П., Шушарин А. В., Динамика эрозионной депрессии на входе в Калининградский залив // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. 2018. Т. 26, С. 46–59.
3. Макаров О. Н., Оценка сбалансированности природопользования и региональной устойчивости на примере российской части региона Балтийского моря // Записки Горного института. 2005. Т. 161. С. 57-60.
4. Рябкова О. И. О влиянии природных и антропогенных факторов на устойчивость берегов Балтийского моря // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Естественные и медицинские науки. 2007. №1.

О ПРИМЕНЕНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ПРОГРАММЫ "ПЛАВНИ НЕВСКОЙ ГУБЫ" ДЛЯ РАЦИОНАЛЬНОГО МНОГОЦЕЛЕВОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИБРЕЖНЫХ МАКРОФИТНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Жигульский В.А., Шуйский В.Ф., Чебыкина Е.Ю.

*ООО "Эко-Экспресс-Сервис", г. Санкт-Петербург, Россия
shuisky.v@mail.ru*

Ключевые слова: макрофитные прибрежные экосистемы, Финский залив, плавни, экосистемные услуги, охрана и рациональное использование экосистем.

Прибрежные макрофитные экосистемы («плавни») Невской губы и сопредельной акватории Финского залива отличаются особой ценностью, важной многоплановой ролью (биомного и даже экосферного масштаба) и недостаточной изученностью. Но их биотопы весьма привлекательны также для строительства и иного хозяйственного освоения. Притом ценность плавней сильно варьирует даже на небольших участках пространства. Таким образом, требуются методы её точной и полной локальной оценки для оптимальных управленческих решений по рациональному использованию и охране зарослевых экосистем береговой зоны. В конечном итоге, это позволит сохранять и поддерживать основные экологические функции всего пула зарослевых экосистем восточной части Финского залива.

Одной из основных целей научно-исследовательской программы «Плавни Невской губы» (представленной нами на предыдущей, XXIX конференции) являлась разработка такого метода комплексной оценки экологической ценности плавней Невской губы и сопредельной части Финского залива, с дальнейшим выявлением на этой основе наиболее ценных экосистем с высшим биоразнообразием и определением мер по их сохранению и рациональному использованию.

В рамках программы в Невской губе и сопредельной акватории изучались состояние и пространственное распределение плавней различного возраста и генезиса при разной степени влияния на них гидротехнических работ. Для этого ежегодно выполнялся комплексный экологический мониторинг специальной системы эталонных участков плавней Невской губы, представляющей все реализованные сочетания возраста плавней и уровня техногенного воздействия на них. При этом были отобраны и протестированы наиболее информативные индикационные признаки, позволяющие судить о локальной экологической ценности различных участков плавней. Наиболее содержательными оказались около 30 показателей (характеристики самой

водной растительности и её использования фиитофильными видами рыб и водоплавающими и околоводными птицами).

Для дальнейшей сравнительной результирующей оценки разработаны и протестированы 4 сводных показателя, объединяющих значения всех перечисленных характеристик, предварительно единообразно нормализованных по классической пятибалльной шкале. Наиболее чувствительные из сводных показателей снабжены уточняющими поправками на степень индикаторной значимости каждой из характеристик и/или на доступную точность её определения (что совокупно позволило уточнить оценку до 26%).

В целом, наибольшую ценность демонстрируют плавни "старо-" и "средневозрастные", причём вторые более устойчивы к техногенному воздействию. На стадии формирования "новых" плавней их "экосистемные услуги" ещё неполны – оказалось, что потенциал этих биотопов раскрывается лишь постепенно, после латентного первичного периода формирования сроком более 10-15 лет.

В ходе выполнения программы:

1) Составлена и прошла госрегистрацию в Роспатенте база данных, включающая результаты выполнения программы.

2) Разработан метод комплексной оценки экосистемной ценности плавней.

3) Установлено, что плавни техногенного происхождения (возникающие вследствие изменения условий морской среды гидростроительством) обеспечивают полноценную замену плавневых экосистем, утрачиваемых при гидростроительстве, после латентного начального периода их сукцессии.

4) Выполнен количественный учёт ресурсов основных массивов плавней Невской губы, определена ценность экосистем, результаты картированы, даны рекомендации по оптимальному использованию и охране плавней.

Результаты реализации программы используются как природоохранными органами (НЛБВУ, СЗТУ Росрыболовства), так и экологически ответственными природопользователями. Так, при подготовке очередного этапа проектной документации для развития Многофункционального морского перегрузочного комплекса (ММПК) «Бронка» указана нецелесообразность техногенного воздействия на участок плавней восточнее ММПК площадью 8,6 кв. км, отличающийся высшим значением ценности – 5 баллов по разработанной шкале (в первую очередь, за счёт высокого видового разнообразия и обилия птиц на весенних миграционных стоянках). Эта рекомендация принята, данный участок плавней исключён из планов развития портового комплекса.

В природоохранные органы (НЛБВУ, СЗТУ Росрыболовства) были также переданы рекомендации о целесообразности особой охраны двух других

выявленных участков плавней с повышенным биоразнообразием и особой экосистемной ценностью – растительного массива у северо-восточного берега о. Котлин (площадью 5,5 кв. км) и бухты восточнее бывшей базы портофлота КЗС в Горской (2,8 кв. км).

Таким образом, задачи программы выполнены, цели достигнуты, результаты уже активно работают для сохранения ценных экосистем макрофитных зарослей с высоким биоразнообразием в Невской губе и на сопредельной акватории Финского залива.

ДИНАМИКА БЕРЕГОВ ОЗЕРА СЕВАН НА РАЗНЫХ ЭТАПАХ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ АРМЕНИИ

Кузнеченко П.А.¹, Алексеенко Н.А.¹, Медведев А.А.²

*¹Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
г. Москва, Россия*

²Институт географии РАН, г. Москва, Россия

p.kuz-98@mail.ru

valtuz@mail.ru

a.a.medvedeff@gmail.com

Ключевые слова: динамика прибрежных зон, береговые процессы, абразия, искусственно регулируемые водоёмы, социально-экономическое развитие, рекреационные зоны, устойчивое развитие.

Озеро Севан — крупнейший водоём Армении. В нём сосредоточено более 80 % запасов пресной воды в стране. Кроме того, Севан является памятником природного наследия Армении, местом обитания десятков видов редких животных и растений, а также важным туристическим объектом для всего Закавказья (Матишов Г.Г., 2016).

При этом озеро Севан уже около 80 лет подвергается сильной антропогенной нагрузке. В середине XX века для нужд сельского хозяйства правительством Армянской ССР было запланировано снижение уровня воды в озере на 15 метров, однако в начале 1960-х годов были зафиксированы незапланированные изменения береговых и водных экосистем (Jenderedjian K. Lake Sevan, 2006). Снижение уровня воды было остановлено, после чего стали разрабатываться проекты по постепенному его восстановлению. Однако из-за недостатка финансирования долгое время они не были воплощены в жизнь — лишь в конце 1980-х был введён в эксплуатацию тоннель Арпа-Севан, а в 2006 году — тоннель Воротан-Арпа (Medvedev A., Alekseenko N., Telnova N., 2020).

Уровень воды в озере после запуска в эксплуатацию тоннеля Воротан-Арпа стал постепенно подниматься, однако и это повлекло за собой ряд незапланированных последствий: новый этап изменений в структуре береговых процессов стал оказывать активное влияние на антропогенные объекты, появившиеся в прибрежной зоне, освобожденной от воды. Так, например, активной абразии стали подвергаться важные объекты дорожной инфраструктуры.

Также, в силу большой притягательности Севана в качестве туристического объекта, в прибрежной зоне озера продолжают стихийно возникать рекреационные зоны — в условиях сохранения темпов поднятия уровня воды и скорости развивающихся абразионных процессов эти зоны подвержены большому риску разрушения и затопления.

Важным инструментом в изучении динамики активно осваиваемых геосистем, в том числе прибрежных территорий крупных водоёмов, являются разновременные карты — они могут помочь проиллюстрировать темпы изменений, зафиксировать тенденции и сделать ряд прогнозов. Поэтому целью данного исследования было поставлено создание серии разновременных карт для разных этапов антропогенного освоения прибрежных территорий озера Севан и социально-экономического развития Армении.

Для достижения поставленной цели был обозначен ряд задач:

— Изучение теоретических источников по динамике состояния озера Севан и архивных картографических материалов для восстановления состояния берегов до начала эксплуатации;

— Сбор архивных источников пространственных данных, позволяющих выделить зоны освоения прибрежных территорий озера для разных временных отрезков;

— Сбор полевых материалов во время нескольких экспедиций на озеро Севан в период 2018-2023 гг. — рекогносцировка, выделение ключевых участков исследования, зонирование территорий, проведение аэрофотосъемки местности;

— Составление разновременных карт освоения прибрежных территорий;

— Выявление тенденций динамики и статистический анализ изменений.

Все задачи исследования можно считать успешно выполненными: по итогам работы было собрано множество архивных пространственных данных на период с 1915 по 2023 гг., на их основе создано несколько карт освоения прибрежных территорий озера Севан — как на всё озеро, так и на выбранные ключевые участки. Полученные карты проанализированы инструментами геоинформационного и статистического анализа.

Работа выполнена по Госзаданию FMWS-2024-0009 №1023032700199-9.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матишов Г.Г. Современное состояние и проблемы изучения озера Севан. // Наука Юга России (Вестник Южного Научного центра). №2. — 2016. — с. 43-52.
2. Jenderedjian K. Lake Sevan // Experience and Lessons Learned Brief. — 2006. — p. 347-362
3. Medvedev A., Alekseenko N., Telnova N. Uav-derived data application for environmental monitoring of the coastal area of lake Sevan, Armenia with a changing water level // Remote Sensing. — 2020. — Vol. 12, no. 22.

МОНИТОРИНГ ПРИБРЕЖНО-ШЕЛЬФОВЫХ ЗОН КАК СОСТАВЛЯЮЩАЯ КАДАСТРА БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ

**Неевин И.А.¹, Жамойда В.А.¹, Рябчук Д.В.¹, Ткаченко М.А.¹,
Спиридонов М.А.¹, Гогоберидзе Г.Г.²**

*¹Всероссийский научно-исследовательский геологический институт
имени А. П. Карпинского, г. Санкт-Петербург, Россия*

*²Мурманский арктический государственный университет, г. Мурманск,
Россия*

Ключевые слова: морское пространственное планирование, кадастр, береговая зона, геология.

Государственный мониторинг прибрежно-шельфовых зон Белого, Баренцева и Балтийского морей Институт Карпинского выполняет более 10 лет. Необходимость и актуальность проведения государственного мониторинга состояния недр в прибрежно-шельфовых зонах морей северо-запада Российской Федерации с целью оценки современного состояния экзогенных геологических процессов (ЭГП) и прогноза его изменения, определяется очень высоким уровнем освоения этих зон. В первую очередь это дноуглубление существующих и строящихся портов, а также фарватеров - подходов к этим портам, прокладка коммуникаций на дне акватории. Строительство в береговой зоне различного рода гидротехнических сооружений (портовые терминалы и причалы, берегозащитные сооружения, намывные искусственные острова, всевозможные дамбы, путепроводы, ряжевые преграды и т.д.) принципиально меняют (нарушают) естественные лито- и морфодинамические процессы, коренным образом трансформируя рельеф дна, изменяя направление и емкость потоков наносов и характер распределения донных осадков, т.е. хотя и локально, но существенно воздействуя на состояние

недр (геологической среды). Площадной характер нарушений поверхности донных грунтов и приповерхностного геологического разреза происходит в пределах якорных стоянок, что хорошо видно на записях гидролокации бокового обзора, и на участках донного траления рыбы. Наиболее подвержены негативному воздействию ЭГП различные виды подводных коммуникационных линий, особенно кабели связи и силовые кабели. При разрушении подводных трубопроводов (нефтепроводы, газопроводы, водопроводы, сточные трубы очистных сооружений) к материальным потерям добавляется еще и экологический ущерб. В настоящее время, можно с уверенностью сказать, что комплексный техногенез, хотя и локально, но как фактор, являющийся триггером активизации ЭГП, по интенсивности и частоте воздействия стал сопоставим с природными. Угрозу подводным коммуникациям и гидротехническим сооружениям наряду с гравитационными экзогенными геологическими процессами несут также донный размыв и береговая абразия.

Значимой активностью, характеризуются процессы подводной газово-флюидной разгрузки. Особенно распространены зоны развития газонасыщенных отложений, например в Финском заливе связаны и линейные просадки в виде пологих подводных ложбин. На основании изотопного анализа установлено, что газ (преимущественно метан) имеет биогенный генезис, т.е. образуется преимущественно в современных донных отложениях за счет переработки органического вещества. В связи с этим можно ожидать, что в результате глобального потепления объемы метана и его гомологов в донных отложениях будут только увеличиваться соответственно увеличиваться, будет и площадь развития газонасыщенных грунтов.

Тем не менее, многолетний опыт работ показывает, что традиционные методы морской геологии, используемые при геологической съемке шельфа: гидролокация бокового обзора и непрерывное сейсмоакустическое профилирование, результаты которых подтверждаются и интерпретируются с помощью донного пробоотбора и подводного фототелепрофилирования, позволяют осуществлять качественную, а для некоторых участков и количественную, площадную оценку направленности и интенсивности гравитационных процессов, а также тенденций в развитии газофлюидных разгрузок.

Именно история геологического развития, наряду с естественным сочетанием ряда геолого-геоморфологических факторов и, в первую очередь, факторов геодинамики, привела к формированию особого «геоблока», который в настоящий момент воспринимается в виде береговой зоны. Поэтому геологическая площадная характеристика береговых зон должна лечь в основу морского пространственного планирования. Вопрос правового статуса береговых зон России поднимался неоднократно и является препятствием на пути развития инфраструктуры прибрежных территорий и морского транспорта.

С 2025 года Институт Карпинского примет участие в реализации системы государственного экологического мониторинга в акватории Северного морского пути. Для эффективной реализации основных принципов комплексного подхода к обеспечению экологического мониторинга в условиях сохранения высокого уровня рисков техногенного и природного характера, увеличивающейся нагрузкой на арктические экосистемы, связанной с развитием инфраструктуры Арктической транспортной системы Российской Федерации и ростом инвестиционной привлекательности Северного морского пути возрастает потребность создания кадастра Арктической береговой зоны. Опыт успешной реализации подобного проекта на акватории Балтийского моря обладает Институт Карпинского.

УПРАВЛЕНИЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕМ В БЕРЕГОВОЙ ЗОНЕ ФЕДЕРАЛЬНОЙ ТЕРРИТОРИИ СИРИУС

Огородов С.А., Бадина С.В.

*МГУ имени М. В. Ломоносова, г. Москва, Россия
ogorodov@geogr.msu.ru*

Ежегодно регион Большого Сочи посещает почти 10 миллионов отдыхающих. Девять из десяти туристов приезжают на курорт ради пляжного отдыха. Пляжный отдых подразумевает наличие трех неотъемлемых физико-географических составляющих: солнце, море, и собственно, сам пляж. Пляж, по определению, это надводная часть береговой зоны, находящаяся под воздействием прибойного потока и характеризующаяся наличием подвижного скопления наносов. Обычно это песок или галька. В естественных условиях песчаный или галечный пляж имеет форму идеальную с точки зрения диссипации волновой энергии, тем самым, защищая берега от разрушения волнами. До последнего времени основным источником наносов пляжей в береговой зоне Большого Сочи был твердый сток горных рек, в меньшей степени – абразия берегов.

После Великой Отечественна войны начинается новый этап развития сочинского морского побережья, характеризующийся его активным хозяйственным освоением. На реках строятся гидротехнические сооружения, в руслах рек и на пляжах начинается добыча строительных материалов, береговые уступы защищают от абразии различными бетонными и каменными заграждениями. В результате питание пляжей наносами заметно сокращается. Приходится прибегать к строительству сплошных берегозащитных сооружений с бетонными бунами и необходимостью постоянной подсыпки наносов в межбунные карманы. Единственным участком, сохранившим

естественный литодинамический режим оставалась береговая зона Имеретинской низменности между устьями рек Мзымта и Псоу. Мзымта – самая крупная река района Большого Сочи, имеющая водный сток 1,5 км³/год и твердый сток пляжеобразующих фракций составляет по разным данным от 150 до 300 тыс. м³ (Петров, Ярославцев, 2021). Мелкозернистый песчано-глинистый материал уходит за пределы береговой зоны, в том числе, в подводные каньоны, большая часть галечного и песчаногалечного материала ранее вовлекалась во вдольбереговой поток наносов, имеющий здесь четко выражено направление с северо-запада на юго-восток. До строительства Краснополянской ГЭС в 1946-1949 гг. береговая линия здесь выдвигалась. На немецких аэрофотоснимках времен Великой Отечественной войны хорошо виден песчано-галечный пляж шириной до 100-120 метров, потянувшийся на несколько километров в юго-восточном направлении, далее на восток ширина пляжа снижалась до 60-80 метров, а состав наносов становился галечным. После строительства ГЭС и начавшегося в послевоенные годы забора наносов из реки Мзымта пляж начал сокращаться, а состав наносов стал преимущественно галечным. Тем не менее, берег на восьмикилометровом участке между реками Мзымта и Псоу оставался относительно стабильным. Этому способствовали запрет изъятия наносов из реки Мзымта, действовавший в период с 1973 по 1990 гг., а также грамотные берегоукрепительные мероприятия советского периода. Заметим, что твердый стока реки Мзымта по-прежнему являлся основным источником подпитки и залогом стабильности пляжей Имеретинской низменности. В 90-е прошлого столетия годы и начале 2000-х на фоне возобновления изъятия наносов из реки Мзымта и внесистемных попыток берегозащиты вновь стали проявляться негативные тенденции. Поворотным моментом в судьбе пляжей Имеретинской низменности стало строительство морского порта и набережных в рамках программы подготовки олимпийских объектов к Играм 2014 года. Порт полностью перекрыл поступление наносов со стороны реки Мзымта, которые теперь безвозвратно уходят за пределы береговой зоны и в подводные каньоны. На строительство только лишь порта по данным из открытых источников было потрачено 13 млрд рублей, в соответствии с Программой строительства олимпийских объектов и развития города Сочи как горноклиматического курорта, утвержденной Постановлением Правительства РФ от 29 декабря 2007 г. N 991. Таким образом, оценочная стоимость инфраструктуры порта, исходя из капиталоемкости основных фондов транспорта за соответствующий период (см., например, [Бадина, Панкратов, 2022]) можно оценивать в размере порядка 9 млрд рублей (в ценах 2010 года). На первом этапе порт должен был обеспечивать подвоз грузов на строительство олимпийских объектов, затем после олимпиады должен был переориентироваться на яхтенную марину на 400 мест. Вместе с тем, порт как практически не использовался, как грузовой, так и идея превращения его в популярную марину оказалась утопией. Однако в 2022 г. вновь вернулись к идее переоборудования порта в яхтенную марину,

что было отражено в основополагающих документах, связанных с долгосрочным социально-экономическим развитием Сочи: Проекте Стратегии социально-экономического развития города-курорта до 2035 года, Генеральном плане Сочи, а также «Концепции развития инфраструктуры яхтенного туризма Азово-Черноморского бассейна», разработанной по заказу Минстроя России. При этом экономическая обоснованность увеличения количества марин в Сочи представляется недостаточно проработанной в первую очередь ввиду недоказанности гарантии спроса на данный вид высокоценовых услуг, связанный с яхтингом, на фоне текущих макроэкономических тенденций в России, наличием в городе Сочи целого пула социально-экономических и градостроительных проблем, требующих первоочередного решения для развития подобных проектов.

Таким образом, в настоящее время дорогостоящее портовое оборудование фактически простаивает. Прямые убытки от поддержания портовой инфраструктуры в исправном состоянии оценить не представляется возможным ввиду отсутствия открытой отчетности, однако некоторые выводы можно сделать, исходя из данных системы «СПАРК-Интерфакс». Так, исходя из имеющейся документации, ООО «Порт Сочи Имеретинский» до прекращения своей деятельности в 2015 г. владел основными средствами в размере 5 млрд рублей, валовый убыток, демонстрирующий превышение себестоимости продаж оказываемых портом услуг над выручкой, составлял 177 млн рублей в 2014 г. Чистый убыток был еще более внушительным и составлял 1,2 млрд рублей в 2014 г., что говорит о крайне низкой эффективности работы организации, недопустимо высоких расходах. Для сравнения валовая прибыль морского порта Сочи, где уже существует марина на 300 мест, составила около 200 млн рублей в 2019 г.

Из-за строительства самого порта и с учетом потери участка за потом, где на участке низового размыва на фоне дефицита наносов скорость отступления берега после строительства порта составила от 4 до 7 м/год, из рекреационного использования к настоящему моменту выведено 3 км береговой линии с самым лучшим и широким пляжем. По оценке И.О. Леонтьева (2013) для ликвидации дефицита наносов здесь необходимо ежегодно подсыпать 77,5 тыс. м³/год галечного материала. Наносов в таких количествах взять неоткуда, поэтому было принято решение о строительстве сплошного берегозащитного сооружения протяженностью 6 км в виде набережной с променадом и волноотбойной стенкой. На 1,5 километровой участке низового размыва непосредственно за портом, где ситуация с разрушением берега была наиболее острой, дополнительно берег был защищен каменной наброской из крупнообломочного материала, а сам участок был выведен из рекреационного использования в качестве пляжа. Процесс разрушения берегов здесь приобрел уже необратимый характер: под тонким слоем прибрежно-морских галечных наносов пляжа здесь залегают неустойчивые к размыву и просадкам суглинки. В результате, практически

после каждого экстремального шторма это берегозащитное сооружение разрушается. Важно отметить, что сложности и, соответственно, повышенные издержки, возникали еще до завершения строительства порта (например, в декабре 2009 года порт смыло штормом из-за некачественной установки свай (они были заглублены в дно примерно на треть меньше, чем требовалось по проекту) [Песков, 2012]). Несколько лучше обстоит ситуация далее на юго-восток за мысом Константиновский. Галечный пляж здесь еще сохранился. Ширина его колеблется от 20 до 70 метров. Несмотря на то, что галечные пляжи считаются устойчивыми, без отсутствия подпитки извне галечный материал постепенно истирается, и пляж постепенно деградирует, его ширина сокращается. При этом рекреационная нагрузка на оставшиеся пляжи Сириуса постоянно растет. По некоторым оценкам в пик сезона в пределах федеральной территории Сириус одномоментно может находиться до 100 тыс. отдыхающих и туристов. Ухудшение рекреационного потенциала в будущем несомненно скажется на стоимости недвижимости, при этом издержки на поддержание инфраструктуры, в том числе, берегозащитных сооружений будут постоянно расти. Сложившаяся ситуация диктует необходимость организации научно-обоснованных экономически продуманных мероприятий, комплексного подхода в управлении береговой зоной, признания собственных ошибок, и, в конечном счете, принятие программы реконструкции береговой зоны с демонтажом морского порта Сочи Имеретинский.

Работа выполнена при поддержке госзадания, тема 121051100167-1.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бадина С.В., Панкратов А.А. Реализация крупных инфраструктурных проектов на территории, прилегающей к акватории Северного морского пути, в контексте климатических изменений // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2022. Т. 28, № 1. С. 91–104
2. Леонтьев И.О. Моделирование динамики берега Имеретинской низменности // Геоморфология. 2013, №3 С.36-40. DOI: 10.15356/0435-4281-2013-3-36-40.
3. Петров В.А., Ярославцев Н.А. Сток влекомых наносов рек черноморского побережья краснодарского края // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология, 2021, № 3, С. 19-28. DOI: 10.31857/S0869780921030073
4. Песков А.Н. Проблемы оценки стоимости зимних Олимпийских игр в Сочи (результаты одного криминологического анализа) // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2013. №27. С.46-52.
5. Песков А.Н. Проблемы оценки стоимости зимних Олимпийских игр в Сочи (результаты одного

ЗНАЧИМОСТЬ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ В УСТЬЕВЫХ ОБЛАСТЯХ РЕК АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ КАК В ОСОБЫХ БЕРЕГОВЫХ АКВАТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСАХ

Румянцева Е.В., Муждаба О.В., Пискун А.А., Третьяков М.В.

*Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,
г. Санкт-Петербург, Россия
rev@aari.ru*

Ключевые слова: устьевые области рек, устья, наблюдения, мониторинг, Арктика.

Устьевые области рек Арктической зоны продолжают успешно осваиваться и активно вовлекаются в хозяйственную деятельность, зачастую даже более интенсивно, чем участки открытого моря. Устьевые области рек являются пересечением речных и морских водных путей. Планы по развитию Северного морского пути предполагают обновление портовой инфраструктуры, расположенной на устьевых участках рек и устьевых взморьях. Для устьевых областей рек Арктической зоны характерно скопление месторождений полезных ископаемых, что приводит к строительству объектов их добычи, переработки и транспортировки. Одновременно с этим следует помнить об уникальности и уязвимости арктических экосистем и интересах коренных народов по традиционному природопользованию.

Устьевые области рек – это особые географические объекты, формирующиеся в переходной зоне между рекой и морем, акваториальные комплексы, имеющие своеобразную морфологию, гидролого-гидрохимический режим и уникальный азональный ландшафт. Гидролого-морфологическое районирование устьевых областей, опирающееся на данные наблюдений, важно для установления их границ со стороны реки и моря и определения статуса водных объектов, для водохозяйственного районирования.

В Водном кодексе РФ устьевые области рек, впадающие в моря, не выделены в отдельный тип, а их водные объекты рассматриваются в категориях водотоков, водоемов и частей моря. Значительные трудности возникают при определении водоохранных зон водных объектов в устьевых областях рек, поскольку их границы не определены, а ширина водоохранных зон реки и моря может отличаться более чем вдвое.

В устьевых областях больших рек, впадающих в арктические моря, благодаря существенному влиянию пресного речного стока, переходные зоны «река-море» и их морские границы смещены в сторону моря на сотни километров, захватывая акватории внутренних морских вод, а в некоторых случаях и территориального моря. Отсутствие районирования в

законодательстве приводит к тому, что различные ведомства определяют границу между рекой и морем по собственному усмотрению. Впоследствии это приводит к нарушению природоохранного законодательства в части уникальных водных объектов устьевых областей рек, при применении к ним подходов и принципов лицензирования добычи углеводородов, принятых для шельфа, как это происходит при разработке месторождений в Обской и Тазовской губах или Хатангском заливе.

Гидрологические наблюдения государственной сети мониторинга состояния окружающей среды необходимы для районирования устьевых областей с учетом природных процессов и антропогенной нагрузки. Практическая значимость наблюдений в устьевых областях рек заключается в оценке и прогнозе состояния окружающей среды для обеспечения транспортной, экологической и экономической безопасности. Фоновые регулярные наблюдения на государственной сети станций и постов в устьевых областях дают основу для существующих и будущих инженерных проектов.

Современное состояние гидрологической сети в устьевых областях рек Арктической зоны оценивается авторами как критическое. Продолжается сокращение станций и постов на устьевых участках рек и устьевых взморьях. Например, с 2022 г. наблюдения за уровнем воды на стационарных постах в Обской губе не проводятся — прекращены измерения уровней на единственном, работавшем по морской программе посту Новый Порт. Обская губа по степени вовлечения в хозяйственную деятельность представляет собой не только природный, но и природно-техногенный объект. Схожая ситуация формируется в Енисейском заливе, где развернуто строительство нефтеналивного терминала, порта и нефтепровода. Из 20 устьевых областей больших рек, впадающих в арктические моря, измерения расходов воды на их замыкающих створах проводятся в европейской части Арктики. На реках Сибири наблюдения за водным стоком ведутся лишь на Оби и Оленьке, на других реках отсутствуют с конца 1990-х годов, что приводит к сложностям в оценке климатических изменений стока и оценке водных ресурсов. Полностью разрушена система специальных наблюдений на устьевых взморьях больших рек, включая рейдовые наблюдения.

Особенности организации и ведения наблюдений каждой устьевой области зависят от ее типа и наличия тех или иных участков и зон с характерными чертами режима. В ААНИИ разработаны комплексные программы гидрологических наблюдений в устьевых областях рек Оби, Енисея, Лены и Анадыря на основе их районирования. Местоположение постов, надежность высотной основы, состав наблюдений, оснащенность приборами, оборудованием, плавсредствами, средствами спутниковой связи, обеспечение квалифицированными кадрами — вот неполный перечень позиций, состояние которых определяет решение задач гидрологического мониторинга.

В условиях дефицита кадров, дороговизны содержания плавсредств и ряда других проблем развитие наблюдений в устьевых областях Арктической зоны может быть осуществлено через организацию комплексной арктической устьевой гидрологической экспедиции, выполняющей функции Росгидромета в части ведения мониторинга этих объектов.

ОЦЕНКА РИСКОВ АРКТИЧЕСКОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Румянцева Е.А., Гогоберидзе Г.Г.

*Мурманский арктический университет, г. Мурманск, Россия
rumkate@rambler.ru*

Ключевые слова: Арктика, риски природопользования, матричная оценка.

В работе проведены расчеты матриц рисков по 17 территориальным образованиям Мурманской области, на основе многоуровневой модели рисков арктического природопользования в береговой зоне АЗРФ. Для каждого территориального объекта было выделено по три основных фактора-риска с их вкладом в оценку воздействия риска на рассматриваемую территорию. Отдельно оценены вклады природных и антропогенных (техногенных) факторов (без учета пожаров и инфекционных заболеваний), а также факторы пожаров и инфекционных заболеваний. Анализ результатов расчетов по отношению источник-фактор, который отражает степень продуцирования риск-фактора от воздействия каждого из риск-источников, показал, что наибольшая степень продуцирования риск-фактора приходится на Печенгский муниципальный округ, а наименьшая степень продуцирования риск-фактора отмечена в сельском поселении Междуречье. Такое распределение связано с большей площадью, ландшафтным разнообразием и заселенностью Печенгского муниципального округа по сравнению с сельским поселением Междуречье, что и способствует наличию увеличенного числа риск-источников, и, как следствие, приводит к более высокой степени продуцирования риск-фактора при сопоставлении с остальными территориями Мурманской области. Анализ территорий Мурманской области по отношению фактор-объект, отражающему степень возможного воздействия каждого риск-фактора на нормальное эффективное функционирование риск-объектов, показывает, что большому воздействию подвергаются объекты в городском поселении Кандалакша, что связано с наличием довольно многочисленных объектов на относительно небольшой, достаточно заселенной территории с разнообразным ландшафтом, что в совокупности дает большую степень

воздействия каждого риск-фактора на нормальное эффективное функционирование риск-объектов. В тоже время сельское поселение Варзуга имеет наименьшую опасность от имеющихся риск-факторов для объектов поселения, что стало возможна благодаря небольшому числу объектов, расположенных на достаточно большой малонаселенной площади с довольно однородным ландшафтом, что в совокупности дает малую степень воздействия каждого риск-фактора на нормальное эффективное функционирование риск-объектов. Общая интегральная оценка риска показала наиболее благоприятные/неблагоприятные территории для размещения и функционирования объектов в зависимости от воздействий всех рисков. Наибольшему воздействию подвергаются объекты в городском поселении Кандалакша с почти 10% вероятности наступления различных неблагоприятных рисков по сравнению с рассматриваемыми территориями Мурманской области. Наименьшее воздействие на объекты происходит в сельском поселении Варзуга с примерно 3% вероятности наступления различных неблагоприятных рисков. Полученная картина распределения интегральной оценки риска подтверждает правомерность более высокого процента вероятности наступления различных рисков на небольших заселенных территориях с большим количеством функционирующих объектов и разнообразным ландшафтом.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-17-20021, <https://rscf.ru/project/24-17-20021/>, и Соглашения между Минобрнауки Мурманской области и ФГАОУ ВО "МАУ" №199 от 03.05.2024.

СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОСВОЕНИЕ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ ХАСАНСКОГО РАЙОНА (ПРИМОРСКИЙ КРАЙ)

Савчук Е.А.

*Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, Россия
szav97@mail.ru*

Ключевые слова: Приморский край, Хасанский район, прибрежная зона, залив Петра Великого.

Огромная роль морей, исторически сложившаяся в сознании человека, привела к развитию интереса к исследованию морских берегов. Организовывались экспедиции с целью изучения берегов для навигации, составления морских карт и лоций. В дальнейшем, с развитием хозяйственной деятельности человека, возросла и потребность в освоении морских берегов в экономических и политических целях.

Хозяйственное освоение берегов залива Петра Великого началось более полутора века назад и активно продолжается в настоящее время. К одним из наиболее осваиваемых прибрежных территорий Приморского края относится Хасанский муниципальный район, протянувшийся по побережью залива Петра Великого почти на 455 км, что составляет по расчетам приблизительно 32% от всей протяженности залива (1410 км).

Хасанский район – южный район Приморского края, обладающий уникальными природными условиями, создающими предпосылки для социально-экономического развития прибрежной зоны. На территории района расположено множество песчаных и галечных пляжей, которые привлекают туристов со всех регионов России и других стран. Помимо пляжных территорий, в Хасанском районе расположены три крупные особо охраняемые природные территории: национальный парк «Земля леопарда», Дальневосточный морской биосферный заповедник и заповедник «Кедровая падь», а также природный парк и памятники природы.

Дальневосточный морской биосферный заповедник ДВО РАН – единственный в России заповедник, 98% площади которого – это акватория. В нём обитает более 5000 видов растений животных. Признанием заслуг заповедника и значимости находящихся под его охраной животных и растений, сообществ, ландшафтов стало присвоение ему в сентябре 2003 года программой ЮНЕСКО «Человек и биосфера» международного статуса – биосферный. В заповеднике выращивают молодь приморского гребешка для пополнения и восстановления естественных популяций в заповеднике и для марикультурных хозяйств Приморского края.

Еще одним не менее важным аспектом социально-экономического освоения прибрежной зоны района, выступают торговые отношения и

транспортная инфраструктура региона. На территории Хасанского района расположено три морских порта: Зарубино, Славянка, Посыет. В 2022 году грузооборот портов составил: 591,5 тыс. тонн, 100 тыс. тонн, 5 млн. тонн соответственно. За счет выгодного экономико-географического положения, порты являются важным звеном в торгово-экономическом сотрудничестве между Приморским краем и странами АТР.

С помощью картографических материалов и электронных ресурсов (Google Earth) было определено, что на берегу Хасанского района на период 2022-2023 года расположено около 90 антропогенных объектов, отличающихся по типу и степени антропогенного воздействия на морские берега района. Таким образом, на побережье района расположились: базы отдыха, дороги вдоль побережья и мосты, морские порты, пирсы и причалы, также на побережье расположены населенные пункты. Наибольшее распространение получили базы отдыха, их насчитывается около 50. По итогам работы составлена таблица. В настоящее время правительством Приморского края разрабатываются предложения по дальнейшему социально-экономическому развитию, как региона в целом, так и его прибрежных территорий.

НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕМ НА ПРИМОРСКИХ ТУРИСТИЧЕСКИХ ТЕРРИТОРИЯХ И ПОДХОДЫ К ИХ РЕШЕНИЮ

Санин А.Ю.^{1,2}

¹*ГОИИИ им. Н.Н. Зубова, г. Москва, Россия*

²*Росгидромет, г. Москва, Россия*
eather86@mail.ru

Ключевые слова: Приморские территории, туризм, управление природопользованием, неблагоприятные и опасные явления природы, рекреационная емкость, рекреационный потенциал, экологический каркас, экосистемные услуги, туристические потоки.

Некоторые из проблем управления природопользованием требуют особого внимания. Они перечислены ниже.

Неблагоприятные и опасные явления природы (НОЯ).

Некоторые НОЯ специфичны для береговой зоны (сгонно-нагонные явления, абразионные процессы), другие - типичны для горных территорий и (или) склонов любого происхождения (оползни и др.) или имеют место повсеместно или на значительных по площади территориях (сильная жара и морозы, обильные осадки и др.). НОЯ могут существенно снизить качества

отдыха туристов и жизни местных жителей, причинить существенный ущерб объектам рекреационной и иной инфраструктуры (при строительстве которых они не учитываются или учитываются недостаточно). В некоторых случаях опасные явления природы несут риски для здоровья и даже жизни как рекреантов, так и местных жителей. Активизация НОЯ имеет место и вследствие деятельности человека: сведению лесов на склонах (сели, оползни, наводнения и др.), изъятию грунта в береговой зоне (абразия) и других видов хозяйственной активности.

Противодействие НОЯ может представлять собой как борьбу с ними (берегоукрепительные и противооползневые работы и т.д.), так и минимизацию использования тех участков берега и смежных территорий, для которых характерно их активное проявление.

Необходимость существования организованной и неорганизованной рекреации.

На наиболее популярных для туризма приморских территориях имеет место как организованная рекреация, так и самостоятельный туризм. Неорганизованные рекреанты, выбирая такой способ отдыха, сохраняют больше свободы его планирования; часто обеспечивают экономию своих денежных средств, следовательно, получают возможность отдыхать чаще и дольше. Взаимодействие с таким рекреантами обеспечивает доход для местных жителей, малого и среднего бизнеса. Но при этом необходим контроль за потоками самостоятельных туристов для снижения их негативного воздействия на природные ландшафты, а также обеспечение их минимально необходимым объемом инфраструктуры.

Деградация экосистемных услуг, оказываемых природными системами. Воздействие на экологические каркасы территорий.

Деградация экосистемных услуг, стоимость которых, как показали выполненные автором и другими исследователями расчеты, сопоставима с выгодами, получаемыми при хозяйственном использовании приморских территорий, приводит к существенному снижению природного капитала таких территорий, в частности, их рекреационного потенциала, во многом им определяемым. Возможность сохранять все ландшафты нетронутыми или слабоизмененными отсутствует, однако имеет смысл охранять хотя бы так называемые ядра экологического каркаса- наилучшим образом сохранившиеся природные ландшафты, стоимость экосистемных услуг которых наибольшая.

Конфликты природопользования.

Приморским территориям свойственна повышенная привлекательность не только для рекреации, а и для ряда других видов хозяйственной деятельности человека, что неизбежно приводит к конфликтам природопользования, обусловленных их конкуренцией за одни и те же территориальные ресурсы. Возможные способы смягчения таких конфликтов-выявление общих интересов основных групп природопользователей и их максимальное удовлетворение, а также взаимные уступки групп друг другу.

Превышение рекреационной емкости территорий, снижение их рекреационного потенциала. Неравномерное распределение рекреантов в пространстве и во времени.

Рекреационная емкость наиболее популярных среди туристов приморских территорий, Крыма и Черноморского побережья Кавказа, оценивается автором примерно в 10 миллионов туристов за сезон для каждой, для остальных (Калининградская область, Дагестан, Приморский край) несколько меньше, примерно 4-7 миллионов). В целом она превышает лишь на Черноморском побережье Кавказа, однако из-за неравномерного распределения рекреантов в пространстве и во времени в ряде случаев на многих участках берега, особенно в т.н. высокий сезон, она может быть существенно превышена. Для избежания этого представляется полезной оценка рекреационного потенциала, которая позволит выявить наиболее привлекательные туристические центры для перераспределения рекреантов. По разработанной автором методике такая оценка была проведена для более, чем десяти привлекательных для туристов населенных пунктов, расположенных на различных приморских территориях. Полученные результаты «попали» в диапазоне от 40 до 70 баллов.

Среди прочих проблем управления природопользованием на приморских туристических территориях, выделяется несовершенство Водного кодекса и иных нормативно-правовых актов, регулирующих туристическое использование территории. Они предполагают ограничения их хозяйственного использования, однако достаточно слабо учитывают индивидуальные особенности конкретной приморской территории. Заметно сдерживает рекреационное освоение приморских территорий загрязнение окружающей среды, в том числе и визуальное и шумовое. Оно снижает эстетическую привлекательность ландшафтов и качество вод водоемов.

ЗАГРЯЗНЕНИЕ МОРСКИМ МУСОРОМ СЕВЕРО-ВОСТОЧНЫХ БЕРЕГОВ ЧЕРНОГО МОРЯ

Спирина В.А.^{1,2}, Погожева М.П.^{1,3}

¹*Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова,
г. Москва, Россия*

²*Российский государственный геологоразведочный университет
имени Серго Орджоникидзе, г. Москва, Россия*

³*Институт океанологии имени П.П. Ширшова, г. Москва, Россия
wika-una@mail.ru*

Ключевые слова: морской мусор, Черное море, пластик, загрязнение морей, мониторинг.

На побережьях Черного моря наблюдаются значительные уровни загрязнения морским мусором, основным компонентом которых являются изделия из пластика (Aytañ et al., 2019). Его накоплению способствует сток рек, активное судоходство, рыболовство, туризм и несовершенство систем обращения с отходами в прибрежных городах Черного моря (Simeonova et al., 2017). Полузамкнутое строение водоема, кольцевое течение, наличие обширного бескислородного слоя способствует активному накоплению мусора на побережьях, на поверхности водоема, в толще воды и на дне моря (Aytañ et al., 2020).

В данной работе использовалась унифицированная международная методика MSFD (Galgani et al., 2013) для оценки загрязненности северо-восточных черноморских берегов морским мусором с целью обеспечения сравнимости и качества данных.

Мониторинговые наблюдения проводились на пляжах Малый Ахун, Приморский, Лоо, Сочи, Восток с 2016 по 2021 гг. в Лазаревском районе г. Сочи. Пляжи выбирались согласно методике, учитывая также транспортную доступность. Пляжи условно подразделялись на две разные категории по степени урбанизированности: городской или пригородный (дикий). Приморский, Сочи и Лоо относятся к городским пляжам, расположенным в местах с развитой инфраструктурой. Малый Ахун и Восток – в пригороде. Всего было проведено 13 мониторинговых сессий.

Данные собирались специально обученными наблюдателями с помощью специализированного мобильного приложения, предназначенного для мониторинга морского мусора на пляжах европейских морей. Собирался мусор размером больше 2,5 см на площадке 100 м в длину и 5 в ширину.

Исследования на пляжах Малый Ахун и Приморский проходили летом и осенью 2020 г.; зимой, весной и летом 2021 г.

На пляже Малый Ахун, как и ожидалось от пригородного пляжа, показатели загрязненности были выше, чем на Приморском пляже. Преобладающими категориями стали пластик и металл, в среднем составляющие 66,9% и 11,9% соответственно.

На Приморском пляже после пластика – 74,9%, была бумага и картон, которая в среднем составила 15,9% от всех мониторинговых сессий.

На пляже Восток летом 2017 г. было обнаружено 78,0% пластика и 7,5% металла. Исследования на пляже Сочи проводились осенью 2017 г. Преобладающей категорией, как и на других пляжах, был пластик – 72,8%. Второй по встречаемости стало стекло, которое составило 14,6% от всего мусора. Самым загрязненным оказался пляж Лоо. Осенью 2016 г. на нем было обнаружено 70,3% пластика и 14,5% металла.

Для более подробного анализа, оценки загрязненности пляжей и вывода о скорости накопления мусора на пляжах требуется больший временной ряд исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Aytan U., Sahin F. B. E., Karacan F. Beach litter on Sarayköy Beach (SE Black Sea): density, composition, possible sources and associated organisms //Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. – 2019. – Т. 20. – №. 2. – С. 137-145.

2. Simeonova, A., Chuturkova, R., & Yaneva, V. (2017). Seasonal dynamics of marine litter along the Bulgarian Black Sea coast. *Marine Pollution Bulletin*, 119, 110-118.

3. Aytan, Ü., Pogojeva, M., Simeonova, A. (Eds.,) 2020. *Marine Litter in the Black Sea*. Turkish Marine Research Foundation (TUDAV) Publication No: 56, Istanbul, Turkey. 361 p.

4. Galgani, F., Hanke, G., Werner, S., Oosterbaan, L., Nilsson, P., Fleet, D., Kinsey, S., RC, T., Van Franeker, J., Vlachogianni, T., Scoullou, M., Mira Veiga, J., Palatinus, A., Matiddi, M., Maes, T., Korpinen, S., Budziak, A., Leslie, H., Gago, J., Liebezeit, G., 2013. Guidance on monitoring of marine litter in European seas, JRC Scientific and Policy Reports, Report EUR 26113 EN, Guidance on monitoring of marine litter in European seas. <https://doi.org/10.2788/99475>

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРРИТОРИАЛЬНОЙ ДИНАМИКИ МОРСКИХ ПОРТОВ (НА ПРИМЕРЕ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ)

Турлучев А.П., Филобок А.А.

*ФГБОУ ВО "Кубанский государственный университет", г. Краснодар, Россия
turluchev.a.p@gmail.com*

Ключевые слова: морские порты, азово-черноморское побережье, геоинформационное моделирование, территориальная динамика, ГИС.

Прибрежные территории морей представляют собой полиструктурные образования, объединяющие множество различных систем, обладающих внутренними и внешними связями. На современном этапе развития науки, в большинстве исследований, морские порты рассматривают в качестве логистических либо экономических образований, не уделяя достаточного внимания изучению пространственной составляющей. Исследование территориального развития морских портов в условиях пространственной ограниченности прибрежных зон является не менее актуальным направлением исследований, поскольку бесконтрольная территориальная экспансия портов несет в себе риски, сопряженные с ростом социального напряжения среди землепользователей прибрежной зоны.

В настоящем исследовании проведен анализ пространственно-временной динамики трансформации территорий морских портов Краснодарского края с 2008 по 2023 гг., направленный на изучение процессов изменения их границ, а также выявления общих черт и закономерностей.

Проведенное исследование расширяет авторскую методику (Филобок, А. А., 2020) геоинформационного моделирования территорий морских портов по данным Распоряжений правительства Российской Федерации «Об установлении границ территории морского порта...» (далее – Распоряжение). Применение методики на разновременных сериях (редакциях) Распоряжений всех морских портов Краснодарского края обеспечило возможность оценки территориальных изменений, а использование инструментов пространственного анализа, в частности построение центроидов моделей с учетом «веса» каждого участка территории порта, обеспечило возможность извлечения количественных показателей динамики территориальных изменений.

Расчет показателей динамики территорий морских портов проводились картометрическим методом в двух направлениях. Смещение центроида модели относительно центроида модели предыдущей редакции Распоряжения для извлечения количественных показателей. Вторым направлением исследования явилось изучение смещений центроида

относительно статичной опорной точки, в качестве которой выступал центроид ближайшего населенного пункта.

Проведенное исследование позволяет утверждать, что территории пяти из девяти портов подверглись изменению конфигурации земельных участков.

Центроид порта Анапа сместился на 178 м в Северо-Западном направлении вдоль береговой линии, что сократило расстояние между центральными точками порта и города на 107 м.

Конфигурация территорий портов Геленджик и Ейск не изменилась в связи с отсутствием новых редакций Распоряжений.

Территории портов Кавказ и Туапсе также не подверглась трансформации, поскольку изменения, вносимые в Распоряжения, затрагивали эксплуатируемые морскими портами акватории.

Расстояние между центроидами города и порта Новороссийск увеличилось на 38 м, с 2292 м в 2009 г. до 2330 м в 2022 г. Смещение составило 153 м в Восточном направлении перпендикулярно береговой линии, что обусловлено увеличением количества занимаемых земельных участков, расположенных на удалении от береговой линии.

Наиболее внушительным показателем динамики смещения центроида обладает порт Сочи. Смещение составило 4501 м в Северо-Западном направлении вдоль береговой линии, а расстояние до центральной точки города сократилось на 4347 м такая динамика обуславливается исключением из состава территории крупного земельного участка, расположенного в трех километрах от Российско – Абхазской границы и используемого в настоящее время для эксплуатации гостиничного комплекса.

Центроид порта Тамань сместился на 233 м в Северо-Западном направлении вдоль береговой линии, увеличив расстояние от центральной точки населенного пункта (пос. Волна) на 230 м.

Смещение центроида порта Темрюк составило 466 м в Северо-Восточном направлении вдоль береговой линии, а его расстояние от центра населенного пункта увеличилось на 32 м.

В целом, территориальная динамика морских портов Краснодарского края носит разнонаправленный характер. В наименьшей степени пространственные изменения коснулись портов Азовского моря, границы которых, не претерпели никаких изменений за исключением порта Темрюк. Вместе с тем, динамика трансформации территорий портов Черноморского побережья Краснодарского края позволяет утверждать, что не смотря на сокращение площади порта Сочи и отсутствие площадных изменений в морских портах Геленджик и Туапсе, в остальных портах (Тамань, Анапа, Новороссийск) наблюдается увеличение занимаемой портами территорий. Изучение направления и динамики территориальных изменений путем оценки смещения центроидов указывает на пространственную экспансию портов, за

счет включения в производственный цикл контактной зоны суша – море, а также тыловых территорий (порт Новороссийск).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Филобок, А. А. Геоинформационное моделирование территории морского порта Тамань / А. А. Филобок, А. П. Турлучев // Цифровая География: Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Пермь, 16–18 сентября 2020 года / Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2020. – С. 114-116.

ЦКП «Аэромониторинг» при географическом факультете МГУ



АЭРОФОТОСЪЕМОЧНЫЕ РАБОТЫ



Какие продукты можно получить в результате аэрофотосъемки?

Возможности беспилотных аппаратов и оборудования позволяют получить широкий ряд разнообразных продуктов аэрофотосъемки, в число которых входит:

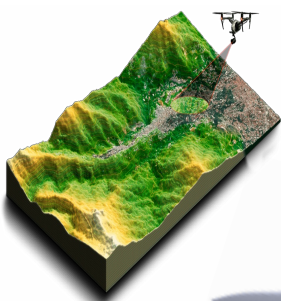
Ортофотоплан местности Это воссоздающий реальное отображение земной поверхности план местности на точной геодезической основе.

NDVI съемка, отображающая степень здоровья растений и посевов.

Цифровая модель местности представляет собой трехмерную модель рельефа с учетом всех находящихся на нем объектов.

Цифровая модель рельефа представляет собой карту высот поверхности земли без учета находящихся на ней объектов.

3D-модель местности Реалистичная трехмерная модель местности или объектов с привязкой на точной геодезической основе.



Комплекс SX350 VTOL



Характеристики

- Размах крыла - 3,2 м
- Время полета - до 120 мин
- Скорость - 70 - 120 км/ч
- Радиус действия радиолинии - 50 км
- Дальность действия видеоканала - до 50 км
- Макс. дальность полета – до 160 км
- Макс. взлетный вес - 13,5 кг
- Рабочая высота полета - 150 - 3000 м

Контакты:

Огородов Станислав
Анатольевич

+7-495-939-17-63

+7-495-939-25-26

ogorodov@geogr.msu.ru



Институт
экологического
проектирования
и изысканий

119234, Москва,
Ленинские горы, д. 1, стр. 75Г
тел.: +7(495)930-87-51
iepi.ru
info@iepi.ru
@iepi_ru
@ao_iepi

СЕГОДНЯ

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ
ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ**

ВСЕГДА

Институт экологического проектирования и изысканий

- ▶ осуществляет все виды инженерных изысканий для строительства на суше и в акваториях, проектирование зданий и сооружений I и II уровней ответственности, научно-исследовательскую и опытно-конструкторскую деятельность.
- ▶ работает в соответствии с действующим природоохранным, строительным, санитарным законодательством Российской Федерации.
- ▶ внедрил систему менеджмента согласно международным стандартам: ISO 9001, ISO, 14001.

Направления деятельности

- Инженерно-экологические изыскания;
- Инженерно-геологические изыскания;
- Инженерно-гидрометеорологические изыскания;
- Инженерно-геодезические изыскания;
- Геофизические исследования;
- Морские экологические исследования;
- Геокриологические исследования;
- Геотехнический мониторинг объектов строительства;
- Производственный экологический мониторинг и контроль;
- Оперативный спутниковый мониторинг;
- Радиационно-экологические исследования;
- Экологическое проектирование;
- Экологический консалтинг и аудит;
- Ландшафтный дизайн и архитектура;
- Картографическое и ГИС-обеспечение работ;
- Научные исследования и разработки.

**Комплексные знания, многолетний опыт,
широкая география деятельности — наши конкурентные преимущества
и гарантия качества работ**



Мы работаем в интересах промышленных, строительных, проектных предприятий, научных и учебных организаций, органов государственной власти.



Институт
экологического
проектирования
и изысканий

ДОПОЛНЕННАЯ РЕАЛЬНОСТЬ ОТ АО «ИЭПИ»!

Станьте участником морских рейсов, работ по наблюдению за состоянием акваторий и прибрежных зон, сбору и обработке данных в ходе экологического мониторинга, инженерных изысканий, геокриологических исследований.

Все фотографии и видео получены специалистами АО «Институт экологического проектирования и изысканий» во время экспедиционных и лабораторных работ.



Чтобы посмотреть живые фото и стать виртуальным участником событий:

1. Скачайте приложение «ARphoto» (AppStore, Google market);
2. Откройте приложение и наведите прицел камеры на QR-код;
3. Дождитесь окончания загрузки;
4. Наводите прицел камеры в приложении на любую фотографию, отмеченную флажком «AR»;
5. Наслаждайтесь! Становитесь участниками работ, которые проводит АО «ИЭПИ».



приложение
«ARphoto»

