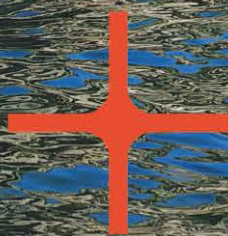


**XXXI Международная конференция
«БЕРЕГОВЫЕ СИСТЕМЫ ЕСТЕСТВЕННЫХ И
ИСКУССТВЕННЫХ ВОДОЕМОВ»**

**XXXI International Conference
«COASTAL SYSTEMS OF NATURAL AND
ARTIFICIAL RESERVOIRS»**



ЭН



Иркутск, 1–7 июня 2026

**СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ РАН
ИНСТИТУТ ЗЕМНОЙ КОРЫ**

**БЕРЕГОВЫЕ СИСТЕМЫ
ЕСТЕСТВЕННЫХ И
ИСКУССТВЕННЫХ ВОДОЕМОВ**

XXXI международная конференция

(1–7 июня 2026 г., ИЗК СО РАН, г. Иркутск)

**ИРКУТСК
2026**

УДК 551.435.36
ББК Д823.128я431
Б48

Береговые системы естественных и искусственных водоемов: Труды XXXI международной конференции. Иркутск, 1–7 июня 2026 г. / Ответственные редакторы С.А. Огородов, А.А. Рыбченко. – Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2026. 149 с.

ISBN 978-5-6046471-8-9

В книге представлены материалы XXXI Международной конференции «Береговые системы естественных и искусственных водоемов», проведенной в Институте земной коры СО РАН совместно с Рабочей группой «Морские берега» при поддержке ЭН+.

Основная тематика конференции охватывает широкий спектр проблем, связанных с исследованием береговых систем:

- 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).

Книга рассчитана на широкий круг специалистов, работающих в области изучения береговой зоны, защиты берегов и создания искусственных водоемов, а также охраны прибрежных вод, морей, озер и водохранилищ.

Утверждено к печати Ученым советом Института земной коры СО РАН
(протокол № 6 от 07.05.2026 г.)

Coastal systems of natural and artificial reservoirs: Proceedings of the XXXI International Conference. Irkutsk, June 1–7, 2026 / Eds. S.A. Ogorodov, A.A. Rybchenko. – Irkutsk: Institute of the Earth's Crust SB RAS, 2026. 149 p.

The book presents the materials of the XXXI International Conference "Coastal Systems of Natural and Artificial Reservoirs", held at the Institute of the Earth's Crust SB RAS jointly with the Working Group "Marine Shores" with the support of En+.

ISBN 978-5-6046471-8-9

© Коллектив авторов, 2026
© Институт земной коры СО РАН, 2026

СОДЕРЖАНИЕ

<i>ЛЕДОВЫЕ ИЗЫСКАНИЯ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ: ПАРАДОКС ПОЛУЧАЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ</i> О.М. Андреев, А.А. Скутин, А.К. Наумов	
<i>ICE SURVEYS IN THE COASTAL ZONE OF THE ARCTIC SEAS: THE PARADOX OF THE RESULTS OBTAINED</i> O.M. Andreev, A.A. Skutin, A.K. Naumov	11
<i>ИНТЕГРАЦИЯ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ МОРФОДИНАМИЧЕСКИХ ТИПОВ БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО САХАЛИНА</i> В.В. Афанасьев, А.И. Казаков	
<i>INTEGRATION OF PHYSICAL MODELING AND MACHINE LEARNING TECHNIQUES FOR MORPHODYNAMIC TYPE CLASSIFICATION OF THE NORTHEASTERN SAKHALIN COASTAL ZONE</i> V.V. Afanas'ev, A.I. Kazakov	13
<i>ОТ МОРФОДИНАМИКИ К КЛИМАТИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКЕ: ЭВОЛЮЦИОННО- АДАПТИВНАЯ МОДЕЛЬ ПРИБРЕЖНЫХ ГЕОСИСТЕМ АРКТИКИ И СУБАРКТИКИ</i> В.В. Афанасьев, А.Б. Фаустова	
<i>EVOLUTIONARY-ADAPTIVE CONCEPT OF COASTAL-MARINE MORPHODIAGENESIS IN THE ARCTIC AND SUBARCTIC: FROM FORECASTING COASTAL DYNAMICS TO MANAGED CARBON SEQUESTRATION</i> V.V. Afanas'ev, A.B. Faustova	15
<i>КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ГЕОЭКОСИСТЕМЫ ОЗ. БАЙКАЛ В АСПЕКТЕ СОВРЕМЕННОГО РАЗВИТИЯ БАЙКАЛЬСКОЙ ПРИРОДНОЙ ТЕРРИТОРИИ</i> Т.Е. Афонина	
<i>CRITERIA FOR ASSESSING THE STATE OF THE GEO-ECOSYSTEM OF VA. BAIKAL IN THE ASPECT OF MODERN DEVELOPMENT OF THE BAIKAL NATURAL TERRITORY</i> T.E. Afonina	17
<i>МОНИТОРИНГ ДИНАМИКИ ИСКУССТВЕННОГО ПЛЯЖА В Г. ЕВПАТОРИИ</i> А.В. Багаев, В.Ф. Удовик	
<i>MONITORING OF THE ARTIFICIAL BEACH DYNAMICS IN YEVPATORIA</i> A.V. Bagaev, V.F. Udovik	20
<i>ГОЛОЦЕНОВЫЙ МОРФОЛИТОГЕНЕЗ ОЗЕРНЫХ СИСТЕМ В СТЕПЯХ ДАУРИИ</i> О.И. Баженова, А.А. Черкашина	
<i>HOLOCENE MORPHOLITHOGENESIS OF LAKE SYSTEMS IN THE DAURIAN STEPPE</i> O.I. Bazhenova, A.A. Cherkashina	22
<i>БЕРЕГОВАЯ ЗОНА АЗОВСКОГО МОРЯ В XXI ВЕКЕ: ОПАСНЫЕ БЕРЕГОВЫЕ ПРОЦЕССЫ, СОСТОЯНИЕ БЕРЕГОЗАЩИТНЫХ СООРУЖЕНИЙ И СОЦИАЛЬНО- ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ИХ ПРОЯВЛЕНИЯ</i> Л.А. Беспалова, О.В. Ивлиева, А.Е. Цыганкова, Е.В. Беспалова	
<i>THE COASTAL ZONE OF THE SEA OF AZOV IN THE 21ST CENTURY: DANGEROUS COASTAL PROCESSES, THE STATE OF COASTAL PROTECTION STRUCTURES, AND THE SOCIOECONOMIC CONSEQUENCES OF THEIR MANIFESTATION</i> L.A. Bepalova, O.V. Ivlieva, A.E. Tsygankova, E.V. Bepalova	25

<i>МОРФОДИНАМИКА БЕРЕГОВ ПОЛУОСТРОВА ШМИДТА</i> П.Ф. Бровко, А.В. Малюгин, М.Р. Симашов	
<i>MORPHODYNAMICS OF THE SCHMIDT PENINSULA COASTS</i> P.F. Brovko, A.V. Malyugin, M.R. Simashov	27
<i>ВЛИЯНИЕ РАЗЛИВА МАЗУТА В КЕРЧЕНСКОМ ПРОЛИВЕ НА ТУРИСТСКО-РЕКРЕАЦИОННУЮ СФЕРУ ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА-КУРОРТА АНАПЫ)</i> Т.А. Волкова, В.В. Анисимова	
<i>THE IMPACT OF THE FUEL OIL SPILL IN THE KERCH STRAIT ON THE TOURISM AND RECREATION SECTOR OF THE BLACK SEA COAST OF THE KRASNODAR REGION (BASED ON THE EXAMPLE OF THE RESORT CITY OF ANAPA)</i> T.A. Volkova, V.V. Anisimova	29
<i>ПОСЛЕДСТВИЯ РАЗЛИВА МАЗУТА В КЕРЧЕНСКОМ ПРОЛИВЕ (НА ПРИМЕРЕ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ)</i> Т.А. Волкова, В.В. Анисимова, А.А. Мелконянц, Е.В. Голубятникова	
<i>CONSEQUENCES OF THE FUEL OIL SPILL IN THE KERCH STRAIT (USING THE EXAMPLE OF THE KRASNODAR REGION)</i> T.A. Volkova, V.V. Anisimova, A.A. Melkonyanc, E.V. Golubyatnikova	32
<i>О СОЗДАНИИ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО УПРАВЛЕНИЯ БЕРЕГОВЫМИ ЗОНАМИ</i> Е.Д. Вязилов	
<i>ON THE CREATION OF A DECISION SUPPORT SYSTEM FOR INTEGRATED COASTAL ZONE MANAGEMENT</i> E.D. Viazilov	35
<i>ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ СТОКА МЕЖДУ ДВУМЯ БЕРЕГОВЫМИ ПРИЕМНЫМИ ВОДОЕМАМИ ПРИ БИФУРКАЦИИ РУСЛА (РЕКА ПРЕГОЛЯ, ЮГО-ВОСТОЧНАЯ БАЛТИКА)</i> Е.И. Гмыря, Б.В. Чубаренко	
<i>FLOW REDISTRIBUTION BETWEEN TWO COASTAL RECEIVING WATER BODIES AT A CHANNEL BIFURCATION (THE PREGOLYA RIVER, SOUTHEASTERN BALTIC)</i> E.I. Gmyrya, B.V. Chubarenko	37
<i>ПЕРЕСЫПИ СОЛЕННЫХ ОЗЕР ЗАПАДНОГО КРЫМА В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ</i> Ю.Н. Горячкин	
<i>BAY-BARS OF WESTERN CRIMEA'S SALT LAKES IN THE MODERN PERIOD</i> Yu.N. Goryachkin	40
<i>АНТРОПОГЕННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ПЕРЕСЫПЬ ОЗЕРА САСЫК-СИВАШ (КРЫМ)</i> Ю.Н. Горячкин, Т.В. Ефремова	
<i>ANTHROPOGENIC IMPACT ON THE BAY-BAR OF SASYK-SIVASH LAKE (CRIMEA)</i> Yu.N. Goryachkin, T.V. Efremova	42
<i>ЭРОЗИЯ МОРСКИХ И ВНУТРЕННИХ БЕРЕГОВ ДЕЛЬТЫ РЕКИ ЛЕНЫ, ПОТОКИ НАНОСОВ И ОРГАНИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА</i> М.Н. Григорьев	
<i>EROSION OF THE SEA AND INTERNAL SHORES OF THE LENA RIVER DELTA, SEDIMENT AND ORGANIC MATERIAL FLUX</i> M.N. Grigoriev	44
<i>МОНИТОРИНГ ПЛЯЖА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ</i> А.Р. Данченков, Е.Д. Питерниекс	
<i>BEACH MONITORING USING COMPUTER VISION SYSTEM</i> A.R. Danchenkov, E.D. Piterniex	46

<i>ОЦЕНКА СКОРОСТИ ТЕЧЕНИЯ НА УСТЬЕВОМ УЧАСТКЕ РЕКИ ПРЕГОЛИ С ПОМОЩЬЮ ИНКЛИНОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ</i> Н.В. Двоглазова, Е.И. Гмыря, А.А. Кондрашов, Б.В. Чубаренко	
<i>ESTIMATION OF RIVER FLOW VELOCITY AT THE MOUTH SECTION OF PREGOLYA RIVER USING TILTING CURRENT METERS</i> N.V. Dvoeglazova E.I. Gmyrya, A.A. Kondrashov, B.V. Chubarenko	49
<i>КЛИМАТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЦИРКУЛЯЦИИ ВОД И ПОТОКОВ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ АЗОВСКОГО МОРЯ</i> Б.В. Дивинский	
<i>CLIMATIC FEATURES OF WATER CIRCULATION AND SEDIMENT TRANSPORT IN THE SEA OF AZOV</i> B.V. Divinsky	52
<i>НЕОДНОРОДНОСТЬ СОДЕРЖАНИЯ МИКРОПЛАСТИКА В ЭСТУАРИИ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ОПТИМАЛЬНОГО ОБЪЕМА ОТБОРА ПРОБ ВОДЫ</i> Д.А. Домнин, О.И. Лобчук	
<i>PATCHINESS OF MICROPLASTICS CONTENT IN ESTUARY AND EXPERIMENTAL ASSESSMENT OF OPTIMAL WATER SAMPLING VOLUME</i> D.A. Domnin, O.I. Lobchuk	55
<i>МОРСКИЕ БЕРЕГА ОСТРОВА-ВУЛКАНА ДЕСЕПШЕН (АНТАРКТИКА)</i> Н.Н. Дунаев, М.А. Кузнецов	
<i>THE SEASHORES OF DECEPTION ISLAND (ANTARCTICA)</i> N.N. Dunaev, M.A. Kuznetsov	58
<i>ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ХВОСТОХРАНИЛИЩА НА СОСТОЯНИЕ ПРИБРЕЖНЫХ ЛАНДШАФТОВ</i> Е.П. Душкин, В.В. Акулова, А.А. Юрьев	
<i>ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF TAIL STORAGE ON THE STATE OF COASTAL LANDSCAPES</i> E.P. Dushkin, V.V. Akulova, A.A. Yuryev	61
<i>МЕЖГОДОВАЯ И СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ПЛОЩАДЕЙ ВОДНОГО ЗЕРКАЛА СОЛЕННЫХ ОЗЕР КЕРЧЕНСКОГО ПОЛУОСТРОВА В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ</i> Е.С. Ерёмина, А.А. Алескерова, В.П. Евстигнеев, С.В. Станичный	
<i>INTERANNUAL AND SEASONAL DYNAMICS OF THE KERCH PENINSULA SALT LAKES WATER SURFACE AREA UNDER GLOBAL CLIMATE CHANGE</i> E.S. Eremina, A.A. Aleskerova, V.P. Evstigneev, S.V. Stanichny	63
<i>ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ И ТИПИЗАЦИЯ БЕРЕГОВ ЕНИСЕЙСКОГО ЗАЛИВА КАРСКОГО МОРЯ И НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ ЕНИСЕЯ</i> А.А. Ермолов, А.И. Кизяков	
<i>GEOMORPHOLOGICAL ZONING AND TYPIFICATION OF THE COASTS OF THE YENISEI BAY OF THE KARA SEA AND THE LOWER REACHES OF THE YENISEI RIVER</i> A.A. Ermolov, A.I. Kizyakov	65
<i>ГЕОМОРФОЛОГИЯ И ДИНАМИКА БЕРЕГОВ И ДНА ОБСКОЙ ГУБЫ КАРСКОГО МОРЯ</i> А.А. Ермолов, С.А. Огородов, Г.А. Кажукало, А.В. Прядилина, Н.Н. Шабанова	
<i>GEOMORPHOLOGY AND DYNAMICS OF THE COASTS AND BOTTOM OF THE OB BAY OF THE KARA SEA</i> A.A. Ermolov, S.A. Ogorodov, G.A. Kazhukalo, A.V. Pryadilina, N.N. Shabanova	68

*КАЧЕСТВЕННО-КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ ПОДХОД К ОХРАНЕ И РАЦИОНАЛЬНОМУ
ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ПРИБРЕЖНЫХ МАКРОФИТНЫХ ЭКОСИСТЕМ*

В.А. Жигульский, В.Ф. Шуйский, Е.Ю. Чебыкина

*A QUALITATIVE AND QUANTITATIVE APPROACH TO THE PROTECTION
AND RATIONAL USE OF COASTAL MACROPHYTE THICKET ECOSYSTEMS*

V.A. Zhigulsky, V.F. Shuisky, E.Yu. Chebykina 71

*ДИНАМИКА НИЗКИХ БЕРЕГОВ КРИОЛИТОЗОНЫ ПО ДАННЫМ ДЗЗ:
СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИНДИКАТОРОВ БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ*

Г.А. Кажукало, А.В. Прядилина, С.А. Огородов

*DYNAMICS OF THE PERMAFROST LOW-LYING COASTS USING REMOTE
SENSING DATA: A COMPARISON OF SHORELINE PROXIES*

G.A. Kazhukalo, A.V. Priadilina, S.A. Ogorodov 73

*БЕРЕГОВЫЕ ЗОНЫ СИБИРСКИХ ВОДОХРАНИЛИЩ КАК ИСТОЧНИК
ПАЛЕОНТОЛОГИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА*

А.М. Клементьев

*COASTAL ZONES OF SIBERIAN RESERVOIRS AS A SUPPLIER
OF PALEONTOLOGICAL MATERIAL*

A.M. Klementiev 75

*ФОРМИРОВАНИЕ ПЕСЧАНЫХ ВАЛОВ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ
НЕЛИНЕЙНЫХ СВОЙСТВ ВОЛН*

Д.В. Корзинин, М.Н. Штремель

*FORMATION OF SAND BARS UNDER THE INFLUENCE OF NONLINEAR
PROPERTIES OF WAVES*

D.V. Korzinin, M.N. Shtremel 78

*ИМПУЛЬСНО-ДОПЛЕРОВСКИЙ РАДАР КАК ПЕРЕДОВАЯ СИСТЕМА
ОБНАРУЖЕНИЯ И ОПОВЕЩЕНИЯ О БЫСТРОМ ДВИЖЕНИИ МАСС:
16 ЛЕТ ОПЫТА*

Р. Кошуч

*PULSE DOPPLER RADAR AS THE STATE OF THE ART DETECTION SYSTEM
FOR FAST MASS MOVEMENT MONITORING AND ALARMING;
16 YEARS OF EXPERIENCE*

R. Koschuch 81

ХАРАКТЕРИСТИКА РЕЛЬЕФА БАКАЛЬСКОЙ БАНКИ

В.В. Крыленко, М.В. Крыленко

CHARACTERISTIC OF THE RELIEF OF THE BAKALSKAYA BANK

V.V. Krylenko, M.V. Krylenko 84

ДИНАМИКА БЕРЕГОВ КОСЫ КАМЫШЕВАТСКОЙ

М.В. Крыленко, В.В. Крыленко

COASTAL DYNAMICS OF THE KAMYSHEVATSKAYA SPIT

M.V. Krylenko, V.V. Krylenko 86

ЗАТУХАНИЕ ВОЛНОВЫХ ДВИЖЕНИЙ С ГЛУБИНОЙ В БЕРЕГОВОЙ ЗОНЕ МОРЯ

С.Ю. Кузнецов, Я.В. Сапрыкина, М.Н. Штремель

ATTENUATION OF WAVE MOTION WITH DEPTH IN THE COASTAL ZONE

S.Yu. Kuznetsov, Ya.V. Saprykina, M.N. Stremel 88

*МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ УВЛАЖНЕНИЯ БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ
РЕКИ ИРТЫШ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ ИНДЕКСОВ*

А.А. Кусаинова

*MONITORING THE MOISTURE CONDITION OF THE IRTYSH RIVER
COASTAL ZONE BASED ON SATELLITE INDICES*

A.A. Kusainova 90

<i>СМЕЩЕНИЯ БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ, СВЯЗАННЫЕ С КОЛЕБАНИЯМИ ВОЛНОВОЙ АКТИВНОСТИ</i>	
И.О. Леонтьев, Д.В. Корзинин	
<i>SHORELINE DISPLACEMENTS DUE TO FLUCTUATIONS OF WAVE ACTIVITY</i>	
I.O. Leont'yev, D.V. Korzinin	93
<i>НЕГАТИВНОЕ ВЛИЯНИЕ ХВОСТОХРАНИЛИЩ В БЕРЕГОВОЙ ЗОНЕ НА ЭКОСИСТЕМУ ПРИРОДНОЙ ВОДНОЙ АРТЕРИИ</i>	
<i>(на примере р. Ардон, Республика Северная Осетия – Алания)</i>	
А.Б. Лолаев, С.О. Дзедоев, А.Х. Оганесян, Г.Г. Мирзоев	
<i>NEGATIVE IMPACT OF TAILINGS DUMPS IN THE COASTAL ZONE ON THE ECOSYSTEM OF THE NATURAL WATER ARTERY</i>	
<i>(on the example of the Ardon River, Republic of North Ossetia – Alania)</i>	
A.B. Lolaev, S.O. Dzeboev, A.H. Oganesyanyan, G.G. Mirzoev	95
<i>ДИНАМИКА БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ ЗАПАДНОЙ КАМЧАТКИ</i>	
Д.Р. Лукашенко, Д.В. Корзинин	
<i>COASTAL DYNAMICS OF WESTERN KAMCHATKA</i>	
D.R. Lukashenko, D.V. Korzinin	98
<i>ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА НА БЕРЕГОВУЮ ЗОНУ АЗОВСКОГО МОРЯ</i>	
А.А. Магаева, Н.А. Яицкая, С.А. Мисиров	
<i>ASSESSMENT OF THE IMPACT OF ICE COVER ON THE COASTAL ZONE OF THE SEA OF AZOV</i>	
A.A. Magaeva, N.A. Yaitskaya, S.A. Misirov	101
<i>АКТИВИЗАЦИЯ ЭКЗОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ БРАТСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА</i>	
О.А. Мазаева, В.А. Бабичева	
<i>THE REACTIVATION OF EXOGENOUS GEOLOGICAL PROCESSES IN THE BACKWATER ZONE OF THE BRATSK RESERVOIR</i>	
O.A. Mazaeva, V.A. Babicheva	103
<i>АНАЛИЗ ПРИРОДНЫХ ОПАСНОСТЕЙ БЕРЕГОВЫХ МОРФОСИСТЕМ ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КАВКАЗА ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА СУХОПУТНО-МОРСКИХ ГАЗОПРОВОДОВ</i>	
С.Г. Миронюк	
<i>ANALYSIS OF NATURAL HAZARDS OF COASTAL MORPHOSYSTEMS OF THE BLACK SEA COAST OF THE CAUCASUS FOR VALIDATION OF A CONSTRUCTION PROJECT OF LAND-SEA GAS PIPELINES</i>	
S.G. Mironyuk	105
<i>ОСОБЕННОСТИ МОРФОЛИТОГЕНЕЗА МИКРОПРИЛИВНЫХ УСТЬЕВ РЕК В ЮЖНОМ ПРИМОРЬЕ</i>	
Н.Н. Назаров, И.В. Назарова	
<i>CHARACTERISTICS OF MORPHOLITHOGENESIS IN MICRO-TIDAL RIVER MOUTHS OF THE SOUTHERN PRIMORYE REGION</i>	
N.N. Nazarov, I.V. Nazarova	109
<i>ПРОТОТИП УЧЕБНО-ТРЕНАЖЕРНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ БЕЗЭКИПАЖНЫХ КАТЕРОВ В ПРИБРЕЖНЫХ МОРСКИХ ЭКСПЕДИЦИЯХ</i>	
В.В. Никишин, А.В. Багаев, Л.В. Вержевская	
<i>PROTOTYPE OF A TRAINING SIMULATOR FOR USERS OF UNMANNED SURFACE VESSELS IN COASTAL MARINE EXPEDITIONS</i>	
V.V. Nikishin, A.V. Bagaev, L.V. Verzhevskaya	111

<i>ТЕХНОГЕННЫЙ ФАКТОР ДИНАМИКИ МОРСКИХ БЕРЕГОВ РОССИИ</i> С.А. Огородов	
<i>TECHNOGENIC FACTORS IN THE DYNAMICS OF RUSSIA'S SEA COASTS</i> S.A. Ogorodov	113
<i>ОЦЕНКА ПРОСТРАНСТВЕННОГО И ВРЕМЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТУРИСТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПО ДАННЫМ СОЦИАЛЬНОЙ СЕТИ И ВИДЕОМОНИТОРИНГА (ПОБЕРЕЖЬЕ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ)</i> Е.Д. Питерникс, А.Р. Данченков	
<i>AN ASSESSMENT OF THE SPATIAL AND TEMPORAL DISTRIBUTION OF TOURIST ACTIVITIES BASED ON SOCIAL NETWORK AND VIDEO MONITORING DATA (COAST OF THE KALININGRAD REGION)</i> E.D. Piterniex, A.R. Danchenkov	115
<i>МАТРИЧНО-ИНДИКАТОРНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ: ЭКОСИСТЕМЫ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ</i> Е.А. Румянцева, Е.А. Ефименко	
<i>MATRIX-INDICATOR APPROACH TO ASSESSING TECHNOGENIC IMPACT IN THE ARCTIC ZONE: ECOSYSTEMS OF THE MURMANSK REGION</i> E.A. Rumiantceva, E.A. Efimenko	118
<i>ДИНАМИКА И ТРАНСФОРМАЦИЯ БЕРЕГА КУРШСКОГО ЗАЛИВА В ПОС. МОРСКОМ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА</i> О.И. Рябкова, Г.С. Михневич, Е.В. Моданова	
<i>DYNAMICS AND TRANSFORMATION OF THE CURONIAN LAGOON COAST IN THE VILLAGE OF MORSKOYE UNDER CONTEX OF MODERN CLIMATE CHANGE</i> O.I. Ryabkova, G.S. Mikhnevich, E.V. Modanova	120
<i>ДИНАМИКА БЕРЕГОВ АЗОВСКОГО МОРЯ КАК СДЕРЖИВАЮЩИЙ ФАКТОР РЕКРЕАЦИОННОГО ОСВОЕНИЯ ПОБЕРЕЖЬЯ ЗАПОРОЖСКОЙ ОБЛАСТИ</i> А.Ю. Санин	
<i>DYNAMICS OF THE SHORES OF THE SEA OF AZOV AS A DETERRENT TO RECREATIONAL DEVELOPMENT OF THE COAST OF THE ZAPORIZHIA REGION</i> A.Yu. Sanin	123
<i>ВЗАИМОПОДСТРОЙКА ВОЛН И РЕЛЬЕФА ДНА</i> Я.В. Сапрыкина, С.Ю. Кузнецов	
<i>SELF-ORGANIZING WAVES AND BOTTOM TOPOGRAPHY</i> Ya.V. Saprykina, S.Yu. Kuznetsov	125
<i>ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ЭКОСИСТЕМЫ ПРИБРЕЖНЫХ АКВАТОРИЙ</i> Ю.Е. Токач, Р.Р. Гафаров, Ю.К. Рубанов	
<i>WAYS TO SOLVE THE PROBLEM OF ANTHROPOGENIC LOAD ON THE ECOSYSTEM OF COASTAL WATERS</i> Yu.E. Tokach, R.R. Gafarov, Yu.K. Rubanov	127
<i>КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА АКТИВИЗАЦИЮ ОПОЛЗНЕЙ В БЕРЕГОВОЙ ЗОНЕ ЮГО-ЗАПАДНОГО КРЫМА</i> Л.В. Харитонова, Ю.Н. Горячкин, В.В. Фомин	
<i>COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF HYDROMETEOROLOGICAL FACTORS ON LANDSLIDE ACTIVATION IN THE COASTAL ZONE OF SOUTHWESTERN CRIMEA</i> L.V. Kharitonova, Yu.N. Goryachkin, V.V. Fomin	129

<i>КРИОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ НА БЕРЕГАХ ОЗЕР НА СЕВЕРЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ</i> А.В. Хомутов, М.О. Лейбман, Ю.А. Дворников, Н.Ю. Факашук, М.М. Данько, Е.А. Бабкина	
<i>CRYOGENIC PROCESSES ON THE LAKE SHORES IN THE NORTH OF WEST SIBERIA</i> A.V. Khomutov, M.O. Leibman, Yu.A. Dvornikov, N.Yu. Fakashuk, M.M. Danko, E.A. Babkina	131
<i>ЦУНАМИ 2025 ГОДА НА КАМЧАТКЕ: ПОСЛЕДСТВИЯ ДЛЯ ПОБЕРЕЖЬЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ</i> А.Л. Хомчановский, Е.В. Кронрод	
<i>THE 2025 KAMCHATKA TSUNAMI: COASTAL IMPACTS AND FUTURE RESEARCH DIRECTIONS</i> A.L. Khomchanovsky, E.V. Kronrod	133
<i>ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОТУБ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПОДВОДНЫХ ВОЛНОЛОМОВ В КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ</i> С.С. Черкасов, Е.М. Бурнашов	
<i>EXPERIENCE OF USING GEOTUBES IN THE CONSTRUCTION OF UNDERWATER BREAKWALLS IN THE KALININGRAD REGION</i> S.S. Cherkasov, E.M. Burnashov	135
<i>ПРОЯВЛЕНИЕ МАКСИМУМА КОНЦЕНТРАЦИИ МИКРОПЛАСТИКА В НЕПРИЛИВНОМ ЭСТУАРИИ (ПРИМЕР РЕКИ ПРЕГОЛИ, ЮГО-ВОСТОЧНАЯ БАЛТИКА)</i> Б.В. Чубаренко, Е.Е. Есюкова, О.И. Лобчук, Н.В. Двоглазова	
<i>MANIFESTATION OF MAXIMUM CONCENTRATION OF MICROPLASTICS IN A NON-TIDAL ESTUARY (EXAMPLE OF THE PREGOLYA RIVER, SOUTH-EASTERN BALTIC)</i> B.V. Chubarenko, E.E. Esiukova, O.I. Lobchuk, N.V. Dvoeglazova	137
<i>РЕЗУЛЬТАТЫ ДИАТОМОВОГО АНАЛИЗА ПО ДОННЫМ ОСАДКАМ ОЗЕРА ВОДНОСНОГО (БЕЛОЕ МОРЕ)</i> А.Е. Шаталова, Д.Н. Левкова, Т.В. Сапелко, Т.Ю. Репкина	
<i>RESULTS OF DIATOM ANALYSIS ON LAKE VODONOSNOE (WHITE SEA) SEDIMENTS</i> A.E. Shatalova, D.N. Levkova, T.V. Sapelko, T.Ju. Repkina	140
<i>КАРТИРОВАНИЕ ГРАНИЦ АБРАЗИОННОГО УСТУПА ПО ДАННЫМ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВОЙ СЕГМЕНТАЦИИ</i> А.А. Юрьев, А.А. Рыбченко, И.В. Буддо, Е.П. Душкин	
<i>MAPPING OF ABRASION SCARP BOUNDARIES FROM UNMANNED AERIAL VEHICLE DATA USING NEURAL NETWORK SEGMENTATION</i> A.A. Yuryev, A.A. Rybchenko, I.V. Buddo, E.P. Dushkin	143
<i>ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ ЭКЗОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЗОНЕ ПОДВОДНОГО СКЛОНА ВБЛИЗИ ПОС. БОЛЬШОЕ ГОЛОУСТНОЕ</i> Е.И. Ягодкина, В.А. Шахвердов, Д.В. Рябчук, Е.Н. Нестерова, А.В. Брылина	
<i>FEATURES OF EXOGENOUS GEOLOGICAL PROCESSES MANIFESTATION IN THE SUBMARINE SLOPE ZONE NEAR THE SETTLEMENT OF BOLSHOYE GOLUSTNOYE</i> E.I. Yagodkina, V.A. Shakhverdov, D.V. Ryabchuk, E.N. Nesterova, A.V. Brylina	146

*ИЗМЕНЕНИЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В РЕГИОНЕ
АЗОВСКОГО МОРЯ В 2000–2025 гг. И ИХ ВОЗМОЖНОЕ
ВЛИЯНИЕ НА ОТДЕЛЬНЫЕ РАЙОНЫ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ*

Н.А. Яицкая, А.А. Магаева, С.А. Мисиров

*CHANGES IN HYDROMETEOROLOGICAL CONDITIONS IN THE SEA
OF AZOV REGION IN 2000–2025 AND POSSIBLE IMPACT ON CERTAIN
AREAS OF THE COASTAL ZONE*

N.A. Yaitskaya, A.A. Magaeva, S.A. Misirov

148

ЛЕДОВЫЕ ИЗЫСКАНИЯ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ: ПАРАДОКС ПОЛУЧАЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

О.М. Андреев, А.А. Скутин, А.К. Наумов

Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия, andoleg@aari.ru

ICE SURVEYS IN THE COASTAL ZONE OF THE ARCTIC SEAS: THE PARADOX OF THE RESULTS OBTAINED

O.M. Andreev, A.A. Skutin, A.K. Naumov

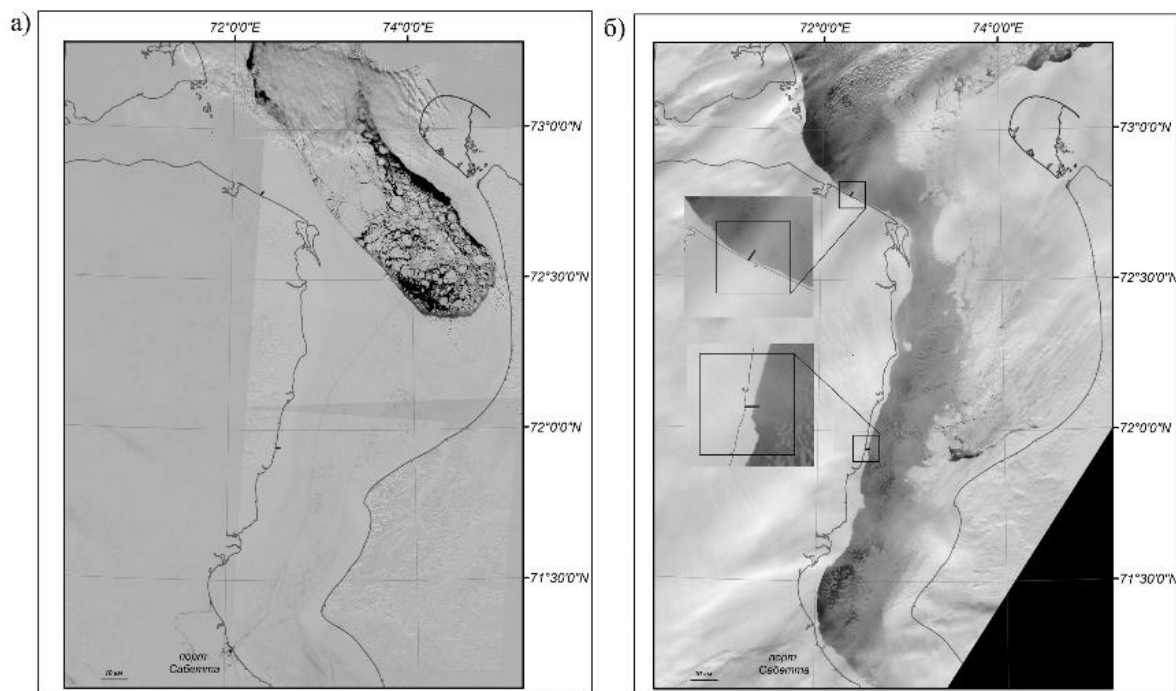
Arctic and Antarctic Research Institute, Saint Petersburg, Russia, andoleg@aari.ru

Проектирование и строительство инженерных гидротехнических сооружений в прибрежной зоне замерзающих морей требуют особого внимания в аспекте корректного учета ледовых нагрузок. В методах расчета ледовых нагрузок, приведенных в современных нормативных документах [3, 4 и др.], в качестве исходных данных требуются оценки толщины и площади ледовых полей, прочностных характеристик льда (ровный и деформированный) разной обеспеченности (например, в зависимости от класса сооружения [3, 4]). Однако в современных условиях, при обозначенном подходе, могут проявиться весьма значимые противоречия с реальностью. Так, в некоторых случаях максимальные ледовые нагрузки на гидротехнические сооружения, расположенные в прибрежной зоне, по-видимому, возникают совсем не при тех ожидаемых критических природных условиях, которые прописаны в нормативных документах. Кроме того, такие нагрузки могут значительно превосходить ожидаемые по нормативам величины. Материалы инженерных ледовых изысканий, проводимых в прибрежных районах арктических морей в последние годы, как правило, подтверждают сказанное. Особенно в этом отношении выделяется акватория Обской губы, где в последние десятилетия развернулась активная хозяйственная деятельность, в основном связанная с добычей и вывозом углеводородного сырья морским путем. Широко известно, что в данном регионе ведется активное освоение береговых месторождений углеводородов, а также строительство и эксплуатация портов (и отгрузочных терминалов) в прибрежной зоне.

На примере небольшого абстрактного гидротехнического сооружения (мол или дамба), расположенного перпендикулярно берегу, имеющего протяженность 1.0–1.5 км), находящегося в прибрежной зоне северной части акватории Обской губы, можно продемонстрировать все сказанное выше. Итак, на настоящий момент ледовые изыскания проводятся согласно требованиям обязательного свода правил (СП) 47.13330.2016 [2]. При этом получаемые в ходе изысканий оценки разных параметров ледяного покрова напрямую практически никак не востребованы проектными организациями. Для получения проектных оценок ледовых параметров необходимо обратиться к требованиям СП 38.13330.2018 и провести соответствующий статистический анализ собранных в ходе изысканий данных. Согласно требованиям СП 38 (п.7.1 в редакции Изменения №1) для расчета нагрузок все параметры льда должны соответствовать значениям, полученным для максимально суровых условий (например, 1.0 или 0.1 % ежегодной вероятности превышения). Для северной части Обской губы это означает, что толстый и прочный ледяной покров покрывает акваторию от берега до берега (рисунок, а), а взламывается и начинает дрейфовать он лишь в июне – июле [1].

Соответственно, именно в эти месяцы, согласно нормативу, и следует ожидать наибольшие нагрузки как от ровного, так и от деформированного льда. Однако согласно доступным материалам инженерных гидрометеорологических изысканий в последние годы припайные льды в северной части Обской губы располагаются в относительно узких вдольбереговых полосах (рисунок, б). Остальное пространство поверхности губы

занято либо открытой водой (заприпайной полыней), либо полями дрейфующего льда [1]. Таким образом, на участки гидротехнического сооружения, находящиеся мористее полосы припая, ледовые нагрузки от полей дрейфующего льда (ровного или деформированного) возможны в течение всего ледового периода. Сравнивая оценки ледовых нагрузок на рассматриваемое сооружение, можно прийти к выводу, что следование методике из СП 38.13330.2018 приводит к значительному недоучету величины нагрузки. Следовательно, получается парадоксальная ситуация, когда максимальные ледовые нагрузки на гидротехническое сооружение возникают при неких средних, а вовсе не при максимально суровых климатических условиях.



Пример ледовой обстановки в северной части Обской губы при суровых (а) и мягких (б) зимних условиях.

Итак, в рамках представленной работы был проведен небольшой обзор существующих отечественных и зарубежных методов расчета ледовых нагрузок на инженерные сооружения, на основе которого показано, почему в последние годы начали возникать противоречия между теорией и практикой. В связи с изложенным обозначена высокая важность более корректного проведения инженерных (в данном случае – ледовых) изысканий в прибрежной зоне замерзающих морей.

Литература

- [1] Думанская И.О. Ледовые условия морей европейской части России. М.–Обнинск: ИГ-СОЦИН, 2014. 608 с.
- [2] СП 47.13330.2016. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96. М.: Стандартинформ, 2017. 90 с.
- [3] СП 38.13330.2018. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). Актуализированная редакция СНиП 2.06.04-82. М.: Стандартинформ, 2019. 122 с.
- [4] ISO/FDIS 19906:2019(E). Petroleum and natural gas industries – Arctic offshore structures. 2019. 563 p.

**ИНТЕГРАЦИЯ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И МЕТОДОВ
МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ
МОРФОДИНАМИЧЕСКИХ ТИПОВ БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ СЕВЕРО-
ВОСТОЧНОГО САХАЛИНА**

В.В. Афанасьев, А.И. Казаков

Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия, vvasand@mail.ru

**INTEGRATION OF PHYSICAL MODELING AND MACHINE LEARNING
TECHNIQUES FOR MORPHODYNAMIC TYPE CLASSIFICATION OF THE
NORTHEASTERN SAKHALIN COASTAL ZONE**

V.V. Afanas'ev, A.I. Kazakov

Institute of Marine Geology and Geophysics, FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia, vvasand@mail.ru

Динамика береговой зоны Северо-Восточного Сахалина определяется взаимодействием волновых процессов, вдольберегового переноса наносов, морфологии дна, миграции лагунных проливов, а также антропогенных и климатических факторов. Для данного региона прогноз морфолитодинамических изменений имеет прикладное значение в связи с необходимостью оценки рисков для прибрежной и шельфовой инфраструктуры. Ранее на основе дистанционного зондирования, топографических материалов, георадарной съемки, бурения и трехмерного моделирования были реконструированы абразионно-аккумулятивные процессы и история развития побережья Северо-Восточного Сахалина с середины XIX в. Установлено, что существенную роль в балансе наносов играют не только вдольбереговые потоки, но и безвозвратное выпадение материала при миграции проливов и консервации внутренних дельт.

В настоящей работе предложена методика классификации морфодинамических типов береговой зоны на основе интеграции упрощенного физического моделирования и методов машинного обучения. Исследование выполнено для участка «Чайво». В качестве физической основы использована модифицированная диффузионная модель поперечного профиля, в которой равновесная форма задается степенной функцией $h_{eq}(x)=bx^{2/3}$, что обеспечивает лучшее соответствие измеренным профилям и позволяет получить физически интерпретируемые параметры.

Оценка параметров модели выполнялась в два этапа. На первом этапе методом нелинейных наименьших квадратов определялась амплитуда a , волновое число k и фазовый сдвиг φ . На втором этапе по изменению амплитуды между двумя временными срезами рассчитывался коэффициент диффузии D , характеризующий интенсивность сглаживания рельефа. На основе профилей был сформирован набор признаков, включающий параметры физической модели (D , a , k), статистические характеристики (средняя глубина, уклон, дисперсия), геометрические параметры (градиенты, кривизна), а также показатели долговременной динамики, в том числе тренды глубины и объема наносов.

Целевой переменной являлся морфодинамический класс профиля, определяемый по тренду изменения объема наносов за 2003–2019 гг. Выделен аккумуляционный, эрозионный и транзитный тип, при этом основное внимание уделено распознаванию аккумуляционных и эрозионных профилей. Для решения задачи протестированы алгоритмы Random Forest, Gradient Boosting и Support Vector Machine. Предварительно выполнялась стандартизация признаков и подбор гиперпараметров с использованием кросс-валидации с учетом дисбаланса классов. Наилучшие результаты получены для алгоритма Random Forest, обеспечившего точность классификации около 90 %. Наиболее значимыми признаками оказался коэффициент диффузии D , амплитуда a и волновое

число k , что подтверждает физическую содержательность предложенного подхода. Качество аппроксимации профилей характеризуется значением RMSE 1.32 м, что является приемлемым при диапазоне глубин 0–8 м. Пространственный анализ показал, что участки с повышенными значениями D (>0.7 м²/год) соответствуют профилям, классифицированным как эрозионные. В целом, на исследуемом участке преобладают аккумуляционные процессы, что свидетельствует о положительном балансе наносов за рассматриваемый период.

Предложенная методика позволяет выявлять пространственное распределение морфодинамических типов на основе физически интерпретируемых признаков и может использоваться для задач берегового мониторинга, оценки эрозионной опасности и обоснования инженерных решений. Дальнейшее развитие подхода связано с расширением пространственно-временной валидации, уточнением критериев классификации, учетом сезонной и штормовой изменчивости, а также включением дополнительных факторов.

**ОТ МОРФОДИНАМИКИ К КЛИМАТИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКЕ:
ЭВОЛЮЦИОННО-АДАПТИВНАЯ МОДЕЛЬ ПРИБРЕЖНЫХ
ГЕОСИСТЕМ АРКТИКИ И СУБАРКТИКИ**

В.В. Афанасьев, А.Б. Фаустова

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

**EVOLUTIONARY-ADAPTIVE CONCEPT OF COASTAL-MARINE
MORPHODIAGENESIS IN THE ARCTIC AND SUBARCTIC: FROM
FORECASTING COASTAL DYNAMICS TO MANAGED CARBON
SEQUESTRATION**

V.V. Afanas'ev, A.B. Faustova

Sakhalin State University, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia, vvasand@mail.ru

Эволюционно-адаптивный подход к прибрежным геосистемам исходит из того, что береговая зона представляет собой самоорганизующуюся систему, развитие которой подчинено одновременно функциональным, причинно-следственным, структурно-историческим и эволюционным закономерностям. Каждый новый уровень организации такой системы не только создает дополнительные ограничения, но и открывает новые возможности для дальнейшего развития. В этой логике прибрежно-морской морфодиагенез понимается как последовательное наращивание адаптивных механизмов до предела устойчивости, после чего система либо переходит в иной режим функционирования, либо входит в фазу деградации. Следовательно, кризис является не исключением, а закономерной стадией эволюции, когда прежняя линия развития становится антиадаптивной, поэтому задача прогноза состоит не в поиске одного «правильного» будущего состояния, а в выявлении спектра потенциальных траекторий, уже заложенных в текущей динамике, и в оценке условий, при которых реализуется каждая из них. Таким образом, социально-индустриальные планы адаптации должны строиться не как попытка отменить естественные эволюционные варианты, а как система воздействия на вероятность их реализации.

Практический смысл такого подхода состоит в выборе предпочтительных траекторий проверки устойчивости управленческих решений в разных сценариях и в снижении риска перехода геосистемы в неблагоприятный режим. Высокоточные региональные и локальные сценарные проекции глобального тренда усиления переформирования берегов на горизонтах от 3 до 100 лет и более позволяют перейти от реактивного управления к предиктивному. Это создает методологическую основу для оптимизации устойчивости антропогенно-природных геосистем и для смены парадигмы от «жестких» инженерных защитных мер к биопозитивным и природоподобным технологиям. В этой системе координат концепция прибрежно-морского морфодиагенеза Арктики и Субарктики обеспечивает переход от простой фиксации экзогеодинамических процессов к их высокоточному прогнозному моделированию в условиях климатических и антропогенных изменений. Такой переход уменьшает вероятность методологических ошибок в стратегическом планировании, поскольку позволяет учитывать не только текущие изменения, но и их вероятные эволюционные последствия. Это соответствует современным принципам научно-технического развития, ориентированным на прогнозирование, сценарное управление и использование природоподобных решений.

Особое место в этой логике занимают прибрежно-морские водно-болотные угодья как один из наиболее эффективных природных механизмов долговременной секвестрации углерода. Их высокая климатическая значимость связана с сочетанием двух факто-

ров: высокой первичной продукции и захоронения органического вещества в анаэробных осадках. В условиях формирования системы углеродного регулирования в Российской Федерации и выполнения компаниями Арктической зоны обязательств в рамках ФЗ-34 такие экосистемы могут рассматриваться как базовый инструмент климатической политики в прибрежных регионах. Их значение двойное: с одной стороны, они снижают углеродный след, с другой – повышают устойчивость береговых геосистем.

Полученные нами количественные оценки секвестрации углерода в маршевых почвах Субарктики на уровне 3.7–7.4 т CO₂-экв./га/год показывают, насколько высока их климатическая эффективность, особенно с учетом того, что эмиссия метана здесь на два порядка ниже, чем в пресноводных болотах. Климатические изменения и эволюционно-адаптивные тренды в Арктике и Субарктике проявляются не только в разрушении берегов, но и реализуются через новый цикл прибрежно-морской аккумуляции. Этот цикл выражается в росте бюджета наносов, включая поступление аллохтонной органики, образовании новых низких морских террас, расширении площади и повышении роли барьерных и иных аккумулятивных форм, а также в усложнении лагунных систем. Другими словами, климатическая и морфодинамическая перестройка создает не только риски, но и новые возможности. Возникают дополнительные пространства для накопления органического углерода, и формируются новые наборы местообитаний, т.е. новые «климатические ниши», структура которых определяется сочетанием лимитирующих факторов среды. Отсюда следует, что перестройка прибрежных геосистем должна рассматриваться как процесс перераспределения адаптивных возможностей между формами рельефа, гидрологическими режимами, осадочными обстановками и биотой.

В этой связи палинологические и геоботанические данные, указывающие на возможность трактовки части «инвазивных» видов как репатриантов, имеют принципиальное значение. Они показывают, что часть современных биотических изменений может быть понята не как чисто внешнее нарушение, а как возврат ранее характерных элементов экосистем в новые, вновь возникшие или восстановленные экологические ниши. Это соответствует общей эволюционно-адаптивной логике, по которой климатически и морфодинамически перестраивающаяся система не только утрачивает прежние состояния, но и открывает возможности для восстановления или повторного появления ранее существовавших структурных компонентов. В результате все перечисленные положения объединяются в единую прикладную схему. Прибрежные геосистемы Арктики и Субарктики рассматриваются как самоорганизующиеся эволюционные системы, проходящие через закономерные фазы адаптации, кризиса и перестройки. Климатические и антропогенные изменения определяют вероятности различных траекторий ее развития. Высокоточное сценарное моделирование позволяет выявлять эти траектории заранее. Управление должно быть направлено не на подавление природных трендов, а на выбор и поддержку наиболее устойчивых и социально приемлемых сценариев. Наиболее эффективным инструментом такого управления становятся природоподобные решения, в том числе сохранение, восстановление и направленное формирование прибрежно-морских биоморфолитосистем. Они одновременно выступают как средство стабилизации береговых геосистем, как механизм секвестрации углерода и как база для развития природно-климатической деятельности, именно поэтому обоснованной выглядит перспектива управляемого формирования прибрежно-морских рефугиумов и создания «голубых карбоновых ферм». В логике эволюционно-адаптивного управления это не искусственная надстройка над природной системой, а способ использовать уже формирующиеся тенденции нового аккумулятивного цикла, усиливая их в нужном направлении. Такие меры позволяют связать морфодинамику берегов, углеродное регулирование, сохранение биоразнообразия и адаптацию хозяйственных проектов в единую стратегию. Для Арктики и Субарктики это означает переход от модели компенсации ущерба к модели управляемой коэволюции природных и антропогенных систем, где устойчивость достигается через точное понимание закономерностей морфодиагенеза, сценарное планирование и использование климатически эффективных природных механизмов.

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ГЕОЭКОСИСТЕМЫ ОЗ. БАЙКАЛ В АСПЕКТЕ СОВРЕМЕННОГО РАЗВИТИЯ БАЙКАЛЬСКОЙ ПРИРОДНОЙ ТЕРРИТОРИИ

Т.Е. Афолина

Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, Иркутск, Россия,
bf-vniprirodi@narod.ru

CRITERIA FOR ASSESSING THE STATE OF THE GEO-ECOSYSTEM OF VA. BAIKAL IN THE ASPECT OF MODERN DEVELOPMENT OF THE BAIKAL NATURAL TERRITORY

T.E. Afonina

Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevsky, Irkutsk, Russia, bf-vniprirodi@narod.ru

Анализ последних событий в природопользовании оз. Байкал обозначил ряд проблем, связанных с неразделенной системой взаимоотношений: человек – биосфера – потребление природных ресурсов, фундаментом которых являются экологические составляющие проблемы. Особенно такая ситуация накладывает отпечаток на взаимодействие природопользования в условиях охраны уникальной экологической системы оз. Байкал и на Байкальской природной территории (БПТ). Противоречивость требований особого режима хозяйственной деятельности и задач социально-экономического развития региона требует оценки сложившихся проблем в природопользовании БПТ. Пренебрежительное отношение к экологическим проблемам – причина хорошо известных и широко распространенных экологических конфронтаций. Сложность, взаимосвязь и противоречивость множества экологических, социальных и экономических проблем, сложившихся к настоящему времени на БПТ, обуславливают необходимость применения программно-целевого метода для их разрешения. Оценить происходящую ситуацию возможно только при наличии достоверной информации. Постараемся обозначить некоторые проблемы, которые требуют разработки и принятия научно обоснованных кардинальных мер.

Факторы, влияющие на качество вод оз. Байкал

Результаты собственных исследований показали, что ухудшение качества вод происходит в прибрежной части Южного и Среднего Байкала и определяется высокими концентрациями биогенных веществ (азот общий, азот аммонийный, азот нитратный, азот нитритный, фосфор минеральный, фосфор органический, фосфор общий), а также содержанием нефтепродуктов и синтетических поверхностных активных веществ.

Загрязнение у уреза воды настолько значительно, что приводит к изменению группы гидрокарбонатно-кальциевой, к которой относится байкальская вода, на гидрокарбонатно-натриевую группу по классификации О.А. Алекина [1], особенно в местах выпуска сточных хозяйственно-бытовых и дренажных вод. Все очистные сооружения, имеющиеся на Южном Байкале, не соответствуют современным требованиям и характеризуются крайней изношенностью и, следовательно, низкой эффективностью очистки сточных вод, сбрасываемых в прибрежные воды или притоки озера [2]. Кроме урбанизированных сбросов сточных вод, оказывают негативное воздействие на прибрежные воды застроенные территории, находящиеся непосредственно на побережье, – это новые коттеджные поселки, дачные кооперативы, туристические базы, которые не привязаны к очистным сооружениям, а имеют выгребные ямы, где не исключено поступление дренажных вод в грунтовые воды, транспортирующие загрязняющие вещества в озеро. Поступление хозяйственно-бытовых сточных вод непосредственно в прибрежную часть озера трансформируется и аккумулируется именно в прибрежной части,

меняя качество воды, по сравнению с пелагиалью. В прибрежной части повышена скорость седиментации твердого стока и замедлен водообмен под влиянием стоковых течений.

Трансграничный водный перенос загрязняющих веществ

На БПТ основной трансграничный водный перенос осуществляется по р. Селенге, которая является крупнейшим притоком оз. Байкал. Анализ фактического и обзор литературного материала показал, что р. Селенга является главным источником загрязнения оз. Байкал. По оценкам авторов работ [3, 4], проводимых в 80–90-е годы на участке русла, примыкающем к государственной границе России и Монголии, и нашим фактическим материалам, выяснилось, что стабильно загрязняющими веществами, которые превышали ПДК от 2.5 до 8–10 раз, являются нефтепродукты, трудноокисляемые органические вещества, хлорорганические соединения, все формы фосфора, а также тяжелые металлы 1 и 2-го класса опасности: кадмий, мышьяк, свинец, ртуть, цинк, хром, медь. Как показали наши исследования, превышение ПДК по ртути и меди регистрируется практически на всех створах отбора проб и достигают в ряде случаев десятков раз. Уровни кадмия, мышьяка и хлорорганических соединений превышают концентрации по отношению к байкальской воде в несколько раз, поэтому одним из аспектов проблемы является оценка роли трансграничного переноса загрязняющих веществ в озеро с водами р. Селенги из Монголии. Следует отметить, что нормирование (по ПДК) поступления загрязняющих веществ в России и Монголии не одинаковы и отличаются почти на порядок, например, ПДК в Монголии по фосфатам в воде – 0.10 мг/дм³, в России для оз. Байкал – 0.04 мг/дм³.

Экологическое благополучие главного притока оз. Байкал – р. Селенги – должно определяться координацией усилий России и Монголии в области охраны и использования водных ресурсов. Для этого следует урегулировать нормативы водопользования и сброса сточных вод на обоюдном государственном уровне.

Колебание уровня озера

Колебание уровня оз. Байкал в настоящее время вызвано большей частью антропогенными (сброс и подъем воды через Иркутскую ГЭС), чем природными (количество осадков) факторами. После введения в эксплуатацию Иркутской ГЭС уровень оз. Байкал поднялся на 1 м (455.54 м в тихоокеанской системе высот (ТО)) и с тех пор регулируется постановлениями правительства РФ, которые с того времени менялись несколько раз. В 2020–2023 гг. уровень составил 457.85 м и этот уровень установили как разрешенный (максимальное значение 457.85 м, минимальное значение 455.54 м по ТО) для оз. Байкал в 2025–2027 гг. [5]. Перепад уровня оз. Байкал колеблется от +2.31 до – 2.31 м, колебание уровня на практике означает, что от берега вода отступает на 30–40 м в весенний период и на 30–40 м прибывает в осенний период. Такие колебания уровня оз. Байкал в последние годы носят катастрофический характер, в первую очередь, для прибрежной экосистемы юго-восточной части озера, которая является главным нерестилищем бычковых рыб – 37 видов и все они эндемики, что чревато их исчезновением, так как у большинства период нереста приходится на конец мая – начало июня, исчезновением видов планктонных организмов. Следует учитывать и то, что прибрежные воды являются «детским садом» для молоди ихтиофауны, именно здесь нагуливается молодь омуля, хариуса и других рыб. При таких колебаниях уровня экосистема не успевает приспособиться к условиям, которые меняются за такой краткий промежуток времени. Кроме этого, повышение уровня оз. Байкал в осенний период приводит к размыву берегов, смыву почв, оползневым и абразионным процессам, что приводит к поступлению огромного количества аллохтонного грубодетритного материала в оз. Байкал.

Рекреационная нагрузка

В последние годы рекреационная деятельность развивается очень активно как в плане стационарного пребывания туристов в гостиницах или базах отдыха, так и «дикого» туризма. Оба эти направления оказывают негативное воздействие на наземные и аквальные экосистемы [6]. Ввиду стационарного пребывания туристов, которые размещаются в гостиницах или турбазах на всем побережье оз. Байкал, остро стоит вопрос с утилизацией жидких и твердых бытовых отходов. Так же остро вопрос стоит и с утилизацией фекальных и подсланевых вод с экскурсионных и прогулочных судов, численность которых за последние десятилетия возросла, и практически все отходы сбрас-

сываются в озеро напрямую. Популярный «дикий туризм» приводит к загрязнению, захламлению, вытаптыванию, и, следовательно, уничтожению лесной и кустарниковой растительности на побережье оз. Байкал.

Следует отметить, что обозначенные проблемы этим не ограничиваются, существуют проблемы с границами водоохранной зоны, изменениями в законе «Об охране озера Байкал», в частности, статьи о лесных рубках в центральной экологической зоне БПТ и другие мелкие, но не менее актуальные проблемы.

В целом, охрана оз. Байкал в настоящее время не имеет единой системы финансового обеспечения и скоординированного выполнения хотя бы отдельных основных природоохранных мероприятий.

С позиций обеспечения устойчивого развития БПТ и сохранения естественных геоэкологических систем критерии оценки должны содержать:

- обоснованную оценку современного использования и состояния водных объектов, входящих в бассейн оз. Байкал;
- степень фактической антропогенной нагрузки и изменений, происходящих в геоэкосистемах в результате этой нагрузки;
- расчет ассимиляционной способности оз. Байкал в целом и отдельных водоохозяйственных участков, испытывающих антропогенную нагрузку. Иначе уровень антропогенного воздействия создает опасность непредвиденных последствий для геоэкологической системы Байкала и БПТ в связи с уже наблюдаемыми изменениями.

Литература

- [1] *Алекин О.А.* Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 443 с.
- [2] *Государственный доклад «О состоянии озера Байкал и мерах по его охране в 2024 году.* URL: https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye_doklady/ (дата обращения: 02.09.2025).
- [3] *Ровинский Ф.Я., Воронова Д.Д., Афанасьев М.И.* Фоновый мониторинг загрязнения экосистем суши хлорорганическими соединениями. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 154 с.
- [4] *Аниканова М.Н., Батима П., Лувсандэндэв Б., Нямжав П.* О возможном поступлении фосфора и фтора в воды притоков р. Селенги при открытых разработках фосфоритов Бурэнханского месторождения на территории МНР // Мониторинг состояния оз. Байкал. Л.: Гидрометеиздат, 1991. С. 67–70.
- [5] *Тулохонов К.А.* Уровень Байкала и техногенные землетрясения // Природа. 2024. № 8. С. 22–28.
- [6] *Слаута А.А., Афонина Т.Е.* Туристико-рекреационное воздействие на прибрежную территорию южного побережья оз. Байкал // Актуальные проблемы биологии и экологии: Материалы международной заочной научно-практической конференции. Грозный, 2017. С. 342–347.

МОНИТОРИНГ ДИНАМИКИ ИСКУССТВЕННОГО ПЛЯЖА В Г. ЕВПАТОРИИ

А.В. Багаев, В.Ф. Удовик

Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия

MONITORING OF THE ARTIFICIAL BEACH DYNAMICS IN YEVPATORIA

A.V. Bagaev, V.F. Udovik

Marine Hydrophysical Institute RAS, Sevastopol, Russia

Интенсивное освоение побережья Западного Крыма сопровождается реализацией крупных проектов по преобразованию береговой зоны, которые включают создание искусственных пляжей. Мониторинговые исследования морфологических изменений таких объектов под воздействием природных и антропогенных факторов имеют высокую научную и практическую значимость, поскольку позволяют оценить устойчивость инженерных решений и скорректировать подходы к берегозащите.

В начале 2024 г. на завершающем этапе реконструкции набережной им. Терешковой в г. Евпатории выполнена отсыпка щебня различных фракций и сформирован исходный строительный профиль искусственного пляжа. Согласно проекту, пляж протяженностью около 1230 м должен выполнять функцию волногасящего элемента в системе берегозащиты, которая также включает три надводных волнолома и практически непрерывную волноотбойную стенку, отделяющую променад от пляжной зоны. Тыльная граница пляжа представляет собой ломаную линию из четырех секций, повторяющую контур набережной, а боковые границы образованы двумя искусственными мысами из каменной наброски с плотной укладкой материала.

20 марта 2024 г. сотрудниками ФИЦ МГИ РАН выполнена закладка полигона для мониторинга переформирования рельефа пляжа. Для этого на местности была закреплена система из 30 контрольных створов, обеспечивающая репрезентативный охват всей протяженности пляжа. Исходный рельеф искусственного пляжа зафиксирован с помощью ГНСС-приемника геодезического класса в режиме РТК, что позволило получить высокоточную цифровую модель поверхности на начальный период наблюдений.

В серии экспедиций 2024–2025 гг. из-за ограничений доступности сигнала ГНСС были проведены выборочные инструментальные измерения ширины и профиля пляжа. Профили пляжа в приурезовой полосе рассчитывались на основе геометрических соотношений с использованием измерений длины и угла наклона отрезков аппроксимации поверхности пляжа. Длина отрезков получена измерением с помощью металлической рулетки, а при длине менее 3 м – с помощью лазерного дальномера UNI-T LM80. Расстояние от начала створа до начала приурезовой полосы измерялось металлической рулеткой, и при расчетах уклон на этом участке принимался равным нулю. Такая комбинированная методика позволила сохранить непрерывность наблюдений даже в условиях, когда высокоточное спутниковое позиционирование было затруднено.

В настоящей работе обобщены результаты натурных наблюдений, полученных в ходе пяти экспедиций в 2024 и 2025 гг., а также наблюдений 2026 г. Сравнительный анализ разновременных данных позволил получить количественные характеристики изменений планово-высотных отметок поверхности пляжа, положения линии уреза воды и ширины полосы волновой переработки. Выявлена общая тенденция к сокращению площади пляжа, что обусловлено первичным перераспределением отсыпанного материала в результате волнового воздействия и последующей адаптацией профиля к гидродинамическим условиям региона. Зафиксировано формирование устойчивого

штормового вала, а также ступенчатой структуры поверхности в приурезовой полосе, сопровождающейся изменением состава наносов (вымывание мелких фракций на отдельных участках).

Первоначально плавная линия уреза после волновой переработки приобрела более сложную конфигурацию: на отдельных участках зафиксировано ее значительное смещение в сторону берега. Эти изменения, наиболее вероятно, связаны с функционированием трех волноломов, эффективность которых еще на этапе проектирования вызвала сомнения у специалистов в области береговедения. В секторе, примыкающем к восточной границе пляжа, в результате комбинации эффекта низового размыва и разнонаправленных вдольбереговых миграций наносов сформировалась мезомасштабная форма рельефа в виде узкой лагуны с понижением профиля пляжа ниже уровня моря, что свидетельствует о локальной аккумулятивной перестройке.

Обобщение данных за трехлетний период (2024–2026 гг.) позволило получить количественные характеристики переформирования искусственного пляжа при различных параметрах волнового воздействия и сделать предварительные оценки эффективности системы берегозащиты набережной им. Терешковой. Установлено, что наиболее интенсивные изменения рельефа происходили в первый год после отсыпки, тогда как в последующий период темпы переформирования замедлились, что указывает на постепенную адаптацию профиля к существующему гидродинамическому режиму. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании аналогичных объектов на побережье Западного Крыма, а также для корректировки проектных решений в части размещения волноломных сооружений и выбора гранулометрического состава отсыпки.

Работа выполнена в рамках темы госзадания ФГБУН ФИЦ МГИ FNNN-2024-0016 «Прибрежные исследования».

ГОЛОЦЕНОВЫЙ МОРФОЛИТОГЕНЕЗ ОЗЕРНЫХ СИСТЕМ В СТЕПЯХ ДАУРИИ

О.И. Баженова, А.А. Черкашина

Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, Иркутск, Россия, bazhenova_o49@mail.ru, anna_cher.87@mail.ru

HOLOCENE MORPHOLITHOGENESIS OF LAKE SYSTEMS IN THE DAURIAN STEPPE

O.I. Bazhenova, A.A. Cherkashina

Sochava Institute of Geography, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia, bazhenova_o49@mail.ru, anna_cher.87@mail.ru

Характерной особенностью Юго-Восточного Забайкалья является наличие многочисленных (порядка 5000) бессточных озер, имеющих различную форму и размеры и относящихся к области внутреннего стока Центральной Азии, включающей сопредельные территории России, Китая и Монголии [7]. Озерные бассейны района функционируют в своеобразных криоаридных условиях у южной границы криолитозоны и вдоль северных пределов обширной аридной области. В связи с частыми и значительными колебаниями климата им свойственны постоянные пульсации уровней и площади водного зеркала. Смена трансгрессивных и регрессивных фаз сопровождается кардинальными изменениями интенсивности геоморфологических процессов, механизмов и направлений перемещения вещества в бассейнах. В этой связи озерные бассейны, в особенности малые, включающие пади временных водотоков и долины малых рек, представляют большую ценность в рамках палеогеографических исследований, так как в них лучше сохраняется интегральная информация о ходе рельефообразования за продолжительные отрезки времени, а также быстрее совершается полный цикл функционирования. К настоящему времени наиболее хорошо изучен внутривековой 27–35-летний цикл функционирования озерных бассейнов [1].

В рамках данной работы представлены результаты реконструкции геоморфологических событий по данным изучения разрезов голоценовых отложений озерных котловин Приононской (оз. Зун-Соктуй, Ножий) и Онон-Торейской («озерный пояс», Торейские озера), а также Восточно-Монгольской равнин (оз. Буйр) [2, 3, 6, 8]. Авторы исходят из установленного факта общности геоморфологического развития этой равнинной территории [8], синхронности колебания климата в четвертичный период [4, 5], сходства изменения водности озер Даурии и Восточно-Степной области Монголии [6].

В этом обширном равнинном районе перечисленные озерные бассейны образуют субмеридиональный профиль, вытянутый с северо-запада на юго-восток. Замыкающие профиль на северо-западе оз. Зун-Соктуй и на юго-востоке оз. Буйр большую часть голоцена были пресноводными, их отложения содержат богатые комплексы диатомовых. В котловине оз. Зун-Соктуй исследован разрез на литорали озера, в котловине оз. Буйр изучены донные осадки [2, 3, 8]. В средней части профиля расположено соленое оз. Хара-Нур, на поверхности озерной террасы (высота над урезом воды 2–5 м) которого в юго-восточной части озерной котловины, авторами было заложено три разреза. По разрезам получены радиоуглеродные датировки, исследован гранулометрический состав, содержание общего углерода и групповой состав гумуса, содержание карбонатов, спорово-пыльцевой и диатомовый анализ отложений.

Анализ отложений озерных котловин Даурии и Северо-Восточной Монголии подтвердил синхронный ход рельефообразования у северной окраины Центральной Азии в

голоцене. В функционировании озерных бассейнов выделяется три макроцикла, охватывающих ранний, средний и поздний голоцен, каждый из которых включает трансгрессивную и регрессивную фазы. Фазы контролируются климатическими колебаниями. Следы первого цикла представлены остаточным мощным гумусовым горизонтом погребенной почвы в разрезе 1 котловины оз. Хара-Нур. Ее формирование относится к середине бореального периода и датируется 9210 ± 190 кал. л.н. Соотношение $C_{гк}/C_{фк}$ составляет 0.91 и свидетельствует о достаточно благоприятных условиях почвообразования. Радиоуглеродная датировка позволяет нам уверенно говорить о времени образования криогенных клиньев как результате непродолжительного, но сильного похолодания на рубеже атлантического-бореального периодов в условиях кратковременной регрессии озера.

По своей продолжительности особенно выделяются трансгрессивная атлантическая и суббореальная регрессивная фазы второго цикла рельефообразования. В атлантический период голоцена сформированы две мощных региональных почвы черноземного типа около 8.0 и 6.4 тыс. кал. л.н. с соотношением $C_{гк}/C_{фк}$ более 2, которые хорошо сохранились в отложениях пади Крементуй. В озерных бассейнах фиксируются быстрые события интенсивного флювиального сноса, которые иногда приобретали характер селевых потоков.

Процесс сокращения оз. Хара-Нур в суббореальную регрессивную фазу шел достаточно сложно, и условия осадконакопления менялись практически каждые 500 лет. В отложениях эти смены представлены серией чередующихся озерных, эоловых и озерно-эоловых прослоев, формировавшихся с середины суббореального периода (3780 ± 180 кал. л.н.). В эту фазу активизировались криогенные процессы, о чем свидетельствуют криогенные клинья, которые отмечаются во всех исследуемых разрезах оз. Хара-Нур. Высокой интенсивностью отличались и эоловые процессы. Временные отрезки кратковременной стабилизации геоморфологических процессов фиксируются двумя слабо развитыми почвами, у которых состав гумуса фульватный (соотношение $C_{гк}/C_{фк}$ от 0.25 до 0.60).

В последний субатлантический цикл рельефообразования резко активизировались эоловые процессы, которые в отдельные отрезки времени приобретали катастрофический характер. При переходе от трансгрессивной фазы к регрессивной фазе этого цикла на террасе оз. Хара-Нур формируется субатлантическая почва, возраст которой 1400 ± 100 кал. л.н. Развитие данной почвы, вероятно, происходило по типу каштановой, о чем свидетельствует ее морфологическое строение, содержание $C_{орг}$ в светлогумусовом горизонте в количестве 2.5 % и соотношение $C_{гк}/C_{фк}$, равное 0.51. Почвообразование резко прервалось активизацией эоловой деятельности, в результате чего на поверхности (0–5 см) сформировались перевеянные озерные отложения, представленные солончаком.

В целом, постоянные пульсации уровней и площади озер Даурии в голоцене сопровождались сменой механизмов, объемов и направлений перемещения вещества, способствовавших интенсивному выравниванию рельефа.

Литература

- [1] *Баженова О.И., Кобылкин Д.В.* Динамические фазы внутривековых циклов рельефообразования бессточных озерных бассейнов Даурии // География и природные ресурсы. 2014. № 3. С. 113–123.
- [2] *Базарова В.Б., Гребенникова Т.А., Мохова Л.М., Орлова Л.А.* Особенности озерного осадконакопления в степной зоне Юго-Восточного Забайкалья в голоцене (на примере отложений оз. Зун-Соктуй) // Геология и геофизика. 2011. Т. 52, № 3. С. 426–438.
- [3] *Базарова В.Б., Гребенникова Т.А., Орлова Л.А.* Динамика природной среды бассейна Амура в малый ледниковый период // География и природные ресурсы. 2014. № 3. С. 124–132.
- [4] *Малаева Е.М., Мурзаева В.Э.* Голоцен Монголии // Известия АН СССР. Серия географическая. 1987. № 2. С. 69–72.
- [5] *Обязов В.А.* Связь колебаний водности озер степной зоны Забайкалья с многолетними гидрометеорологическими изменениями на примере Торейских озер // Известия РГО. 1994. Вып. 5. С. 48–54.
- [6] *Севастьянов Д.В., Дорофеев Н.И., Лийва А.А.* Палеоэкология озер в голоцене // Лимнология и палеолимнология Монголии. СПб.: Наука, 1994. С. 248–263.

- [7] *Скляр Е.В., Склярова О.А., Меньшагин Ю.В., Данилова М.А.* Минерализованные озера Забайкалья и Северо-Восточной Монголии: особенности распространения и рудогенерирующий потенциал // География и природные ресурсы. 2011. № 4. С. 29–39.
- [8] *Чичагов В.П.* Эволюция равнинообразования юго-востока Азии. М.: Институт географии РАН, 2000. 207 с.

**БЕРЕГОВАЯ ЗОНА АЗОВСКОГО МОРЯ В XXI ВЕКЕ: ОПАСНЫЕ
БЕРЕГОВЫЕ ПРОЦЕССЫ, СОСТОЯНИЕ БЕРЕГОЗАЩИТНЫХ
СООРУЖЕНИЙ И СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ
ИХ ПРОЯВЛЕНИЯ**

Л.А. Беспалова, О.В. Ивлиева, А.Е. Цыганкова, Е.В. Беспалова

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия, bespalowaliudmila@yandex.ru,
ivlieva.o@mail.ru, aetsygankova@yandex.ru, elena.bespal@yandex.ru

**THE COASTAL ZONE OF THE SEA OF AZOV IN THE 21ST CENTURY:
DANGEROUS COASTAL PROCESSES, THE STATE OF COASTAL
PROTECTION STRUCTURES, AND THE SOCIOECONOMIC
CONSEQUENCES OF THEIR MANIFESTATION**

L.A. Bespalova, O.V. Ivlieva, A.E. E.V. Tsygankova, Bespalova

Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia, bespalowaliudmila@yandex.ru,
ivlieva.o@mail.ru, aetsygankova@yandex.ru, elena.bespal@yandex.ru

На рубеже XX–XXI вв. проблемы берегопользования обусловлены как придонными воздействиями, так и хозяйственной деятельностью в береговой зоне Азовского моря.

Развитие негативных береговых процессов происходит на фоне постоянного повышения уровня Азовского моря в связи с дифференцированным погружением суши и эвстатическим повышением уровня океана. Большую роль в морфологии и динамике берега играют сгонно-нагонные явления, амплитуда которых достигает 4 м. Опасные природные явления на Азовском море определяются в основном сильными ветрами и сгонно-нагонными колебаниями уровня. Частота ветров со скоростью более 15 м/с может достигать в отдельные периоды почти 100 раз в году. Причем наиболее серьезные последствия связаны со штормовыми нагонами и сгонами, которые в ряде случаев (1739, 1831, 1843, 1877, 1914, 1969, 1983, 2007, 2013, 2014 гг.) охватывали все море и приводили к многочисленным жертвам среди населения. Анализ многолетней динамики и повторяемости опасных и неблагоприятных явлений уровней моря за последние десятилетия свидетельствует о тесной связи этих явлений с активизацией опасных береговых процессов – абразией и оползнеобразованием.

Берега Азовского моря на всем протяжении сложены рыхлыми осадочными малоустойчивыми породами: лессовидными суглинками, скифскими и аллювиальными глинами, песками. Это обуславливает, прежде всего, большую активность процессов абразии. Морфологические и морфометрические характеристики береговых обрывов также влияют на степень проявления опасных береговых процессов (ОБП). К ним относятся высота и крутизна берегового склона, его устойчивость. Интенсивность абразии при прочих равных условиях значительно больше в случае высоких обрывистых берегов. Интенсивное разрушение фиксируется на берегах, сложенных скифскими глинами и четвертичными суглинками, перед которыми выработана широкая абразионная терраса – глинистый бенч без осадочного чехла, так как содержание пляжеобразующей фракции в материале абразии невысокое (от 5 до 30 %). Напротив, широкие песчаные накопления у основания береговых обрывов являются причиной замедления темпа абразии.

Установлено, что гидродинамические факторы в развитии ОБП являются определяющими. Ветровое волнение – самый активный геоморфологический фактор, определяющий процессы абразии и аккумуляцию на берегах Азовского моря. Оценена роль эвстатических колебаний уровня, выявлен положительный тренд за период с 1923 г.

(0.19 см/год), обуславливающий, в сочетании с преобладающими отрицательными современными тектоническими движениями, незатухающий процесс абразии на отмелях азовских берегах.

Неравномерность развития ОБП в пространстве и во времени обусловлена экстремальными нагонами совместно со штормовым воздействием волн. В связи с глобальными климатическими изменениями, увеличением частоты опасных погодных явлений, ОБП интенсифицировались. Выявлена хорошая корреляционная зависимость между увеличением скорости отступления берегов и проявлением экстремальных нагонных явлений. В последнее время их повторяемость резко возросла. По наблюдениям на реперной сети все экстремумы по скорости абразии характерны для 2013–2020 гг. В годы с повышенной активностью проявления ОБП скорость абразии достигала 8–9 м/год, в периоды снижения – менее 0.5 м/год, при средних значениях – более 1 м/год.

Воздействие морских льдов на берега Азовского моря изучено недостаточно. При образовании припая абразия приостанавливается. Но при этом опасным является воздействие стамух, навалов льда, торосов, дрейфующих льдов на берега.

Антропогенное влияние может быть связано как с глобальными и региональными воздействиями, через экосистемные изменения, зарегулирование речного стока, загрязнение среды, так и с локальным – нерациональная берегозащита, промышленная и сельскохозяйственная деятельность в берегозащитной зоне, несанкционированное изъятие пляжевого материала и др.

На основе динамического подхода выполнено районирование берегов Азовского моря по скорости абразии, с целью выявления закономерностей формирования опасных природных явлений в береговой зоне Азовского моря выполнен анализ факторов, определяющих пространственную неоднородность и разную степень проявления ОБП в современных условиях. Выделено четыре типа опасных береговых процессов. Для каждого участка береговой зоны приведено описание основных факторов формирования ОБП.

Основные причины деструктивных процессов имеют природное и техногенное происхождение. К причинам природного характера нужно отнести изменение климатических условий и связанное с ним усиление циклональной деятельности, увеличение повторяемости западных штормов и нагонов, изменение водного баланса Азовского моря и вызванное этим повышение уровня Таганрогского залива, неблагоприятную геологическую обстановку, определенное широкое распространение легкоразмываемых суглинистых отложений в береговых обрывах, малые мощности песков, дефицит пляжеобразующего материала, разнонаправленный характер неотектонических процессов в береговой зоне, широкое развитие овражно-балочной сети.

К числу основных техногенных факторов относится интенсивное освоение побережья различными землепользователями, зачастую без учета природных особенностей береговой зоны (интенсивная распашка земель, сведение лесонасаждений, орошаемое земледелие, зарегулирование стока рек и связанное с этим уменьшение поступления пляжеобразующего материала), высокая плотность поселения, достигающая 613 чел./км² на северном побережье Таганрогского залива, ухудшение качества вод и снижение биологической компоненты в питании пляжей, изъятие песчано-ракушечного материала на пляжах и косах, изменение баланса наносов и уменьшение их ширины, неэффективность и аварийное состояние значительной части существующих берегозащитных сооружений. Для предотвращения опасных экзогенных процессов в береговой зоне Азовского моря необходимо проведение комплекса берегозащитных мероприятий, в том числе строительство новых объектов берегозащиты и реконструкция существующих.

МОРФОДИНАМИКА БЕРЕГОВ ПОЛУОСТРОВА ШМИДТА

П.Ф. Бровко, А.В. Малюгин, М.Р. Симашов

Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия, peter.brofuko@yandex.ru, malyugin.av@dvfu.ru, simashov.mr@dvfu.ru

MORPHODYNAMICS OF THE SCHMIDT PENINSULA COASTS

P.F. Brovko, A.V. Malyugin, M.R. Simashov

Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia, peter.brofuko@yandex.ru, malyugin.av@dvfu.ru, simashov.mr@dvfu.ru

Полуостров Шмидта находится на самом севере о. Сахалин. С юга полуостров соединяется с остальной территорией Сахалина узким, до 7 км в ширину, и холмистым Охинским перешейком. Длина полуострова от зал. Тропто до мыса Елизаветы – 62 км, максимальная ширина – 30 км, протяженность береговой линии – 162 км, площадь 1324 км².

Общие черты геолого-геоморфологического строения п-ва Шмидта представлены в работах [2, 4, 5 и др.]. В морфоструктурном плане, напоминающем в миниатюре строение всего Сахалина, выделяется Шмидтовское блоковое мегаподняtie. Здесь расположены два параллельных низкогорных прибрежных хребта: Восточный и Западный, разделенные Пиль-Диановской низменностью. Протяженность Западного хребта около 50 км, максимальная ширина до 10 км. Средняя высота 250 м, максимальная – 486 м (пик Эспенберга). Западный хребет сложен преимущественно неогеновыми породами – рыхлыми песчаниками и глинистыми сланцами, сильно подверженными эрозии и абразии. Береговые уступы (клифы) перекрыты у основания многочисленными осыпями и оползнями. Участки побережья, сложенные более плотными меловыми породами (мыс Горнера, мыс Шмидта и др.), в связи с устойчивостью к разрушению морским прибоем имеют почти линейные очертания.

На п-ве Шмидта и прилегающих с юга участках Северо-Сахалинской равнины, включая Охинский перешеек, выделяются следующие типы берегов (рисунок).

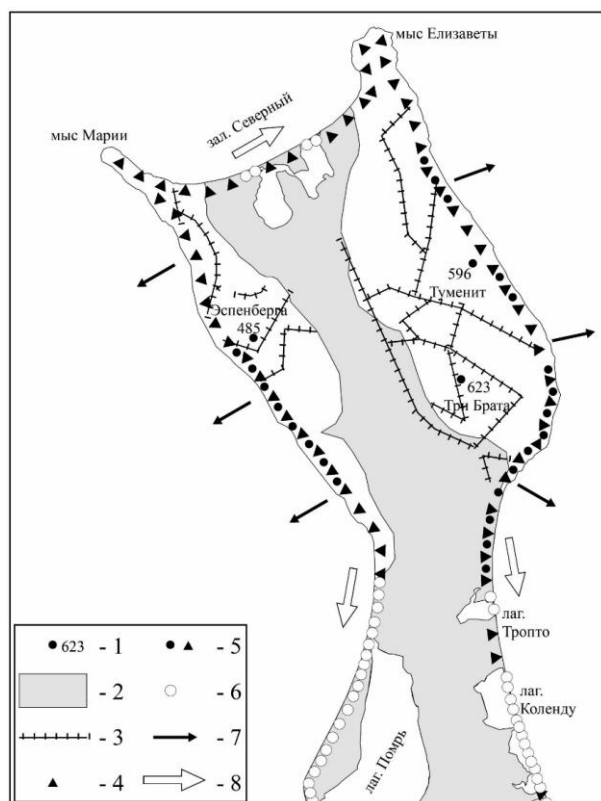
Вследствие особенностей морфоструктурного плана, выхода в береговых обрывах пород с высокой степенью сопротивляемости разрушительному воздействию морского волнения развиты преимущественно *абразионные берега* [1]. Самые высокие клифы и самые низкие темпы абразии приурочены к выступающим в море мысам Марии, Бойница, Тумф и др. Клифы часто окаймлены бенчем в виде мелкобухтового изрезанного контура с многочисленными кекурами, особенно по восточному берегу.

Наиболее широко распространены *абразионно-денудационные берега* двух подтипов.

Первый – с широким проявлением осыпных и обвальных процессов. Южнее устья р. Бол. Лонгри высота уступов в скальных породах составляет в основном 40–120 м. На клифах идет активная денудация, которой способствует четко выраженная дислоцированность пород пильской свиты [5]. Часты сходы грязекаменных потоков.

Южнее р. Пильво развит абразионно-денудационный берег с гигантскими оползнями (второй подтип). Здесь существенно усложнена структура береговой системы как по формам мезо- и микрорельефа, так и по составу прибрежно-морских наносов [1].

Классический *абразионно-аккумулятивный берег* [3] развит южнее лагуны Хейтон и протягивается на 60 км до лагуны Одопту. Так, между лагунами Эхаби и Уркт высота клифа, сложенного песчано-глинистыми отложениями, составляет 6–8 м. Клифы изрезаны оврагами, устья которых достигают их подножия и прорезают верхнюю часть пляжа.



Морфодинамическая схема п-ва Шмидта. 1 – отдельные вершины в горном рельефе; 2 – равнинный рельеф; 3 – разрывные нарушения [2]; 4 – берег абразионный; 5 – берег абразионно-денудационный; 6 – берег аккумулятивный; 7 – поступление наносов за счет абразионных, оползневых, осыпных процессов; 8 – вдольбереговое перемещение наносов.

Севернее лагуны Уркт береговые уступы, выработанные в плиоценовых песчаниках, повышаются до 18–22 м. В их основании появляются волноприбойные ниши и небольшие гроты. Скорость абразии до 2–5 м/год.

Аккумулятивные участки образованы косами и пересыпями, полностью или частично отчленяющими малые лагуны от Охотского моря. Их ширина колеблется от 50 до 300 м, высота не превышает 3–5 м. На поверхности кос и пересыпей прослеживаются 1–2 древних береговых вала, лишенных древесной растительности и несущих четкие морфологические черты сильных штормовых заплесков, периодически достигающих акваторий лагун.

Типично лагунный берег в изученном районе представлен лагуной Помрь в юго-восточной части Сахалинского залива. Лагуна площадью 146 км² отделена от моря косой Кеми длиной 18 км. Поверхность косы, сформированной в позднем голоцене, осложнена тремя генерациями береговых валов высотой 2–4 м и более в местах развития прибрежных дюн. Таким образом, п-ов Шмидта поражает исключительным разнообразием береговых ландшафтов и весьма перспективен для создания особо охраняемой территории.

Литература

- [1] Бровка П.Ф., Малюгин А.В., Микишин Ю.А. Типы клифов и абразия берегов Северного Сахалина // Вестник Сахалинского музея. 2014. № 21. С. 247–251.
- [2] Войкова О.А., Несмеянов С.А., Серебрякова Л.И. Неотектоника и активные разрывы Сахалина. М.: Наука, 2007. 186 с.
- [3] Зенкович В.П. Основы учения о развитии морских берегов. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 710 с.
- [4] Рождественский В.С. Геологическое строение и тектоническое развитие полуострова Шмидта (о. Сахалин) // Тихоокеанская геология. 1988. № 3. С. 62–71.
- [5] Тихонович Н.Н. Полуостров Шмидта. Материалы по исследованию русского Сахалина // Труды геологического комитета. Новая серия. СПб.: Типография М.М. Сталюсевича, 1914. Вып. 82. 166 с.

**ВЛИЯНИЕ РАЗЛИВА МАЗУТА В КЕРЧЕНСКОМ ПРОЛИВЕ НА
ТУРИСТСКО-РЕКРЕАЦИОННУЮ СФЕРУ ЧЕРНОМОРСКОГО
ПОБЕРЕЖЬЯ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА-
КУРОРТА АНАПЫ)**

Т.А. Волкова¹, В.В. Анисимова²

¹ Южное отделение Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Геленджик, Россия, mist-next4@inbox.ru

² Кубанский государственный университет, Краснодар, Россия, viktoriya23.84@mail.ru

**THE IMPACT OF THE FUEL OIL SPILL IN THE KERCH STRAIT ON THE
TOURISM AND RECREATION SECTOR OF THE BLACK SEA COAST OF
THE KRASNODAR REGION (BASED ON THE EXAMPLE OF THE
RESORT CITY OF ANAPA)**

T.A. Volkova¹, V.V. Anisimova²

¹ Southern Branch of the IO RAS, Gelendzhik, Russia, mist-next4@inbox.ru

² Kuban State University, Krasnodar, Russia, viktoriya23.84@mail.ru

Уже в начале XX в., с наращиванием курортной инфраструктуры, Анапа территориально расширялась. Указом президента РФ № 1 954 от 22 сентября 1994 г. Анапа как курортный район получила федеральный статус, который установил приоритеты организации отдыха и лечебных мероприятий для детей и подростков вместе с родителями. Устав муниципального образования с названием «город-курорт Анапа» (г.-к.), зарегистрированный 16 сентября 1996 г. в краевом управлении юстиции, закрепил данный статус. Закон Краснодарского края № 676 от 1 апреля 2004 г. утвердил статус городского округа и определил границы МО г.-к. Анапа [1].

Город Анапа, расположенный на побережье Черного моря в Краснодарском крае, обладает потенциалом круглогодичного курорта с благоприятными природными условиями и динамично развивающейся туристской инфраструктурой. Более 280 дней в году в Анапе преобладает солнечная погода. Купальный сезон длится почти полгода – с 15 мая по 15 октября. Уникальными особенностями курорта являются протяженные песчаные пляжи длиной 42 км и галечные пляжи длиной 12 км. Основу лечения курорта создает совокупность следующих условий: лечебные воды, субтропический климат с мягкими зимами и теплыми летними месяцами, а также уникальные лечебные грязи и воды [1].

Таким образом, указанные особенности природно-географического положения и богатство природных ресурсов привлекают значительное количество туристов, что способствует развитию туристско-рекреационной сферы в регионе.

В г.-к. Анапе формируется широкий гостиничный сектор, который вмещает максимальное разнообразие типов проживания, начиная с частных мини-гостиниц, заканчивая отелями высшей категории. Возможности размещения на федеральном курорте удовлетворяют потребности отдыхающих разных категорий, что способствует успешному функционированию гостиничного бизнеса – одной из ведущих отраслей местной экономики.

В Анапе, выступающей в статусе прибрежного курорта, распределение рекреационной нагрузки по территории происходит с высокой степенью неравномерности, что ведет к неоднородному состоянию инженерной инфраструктуры на отдельных сегментах прибрежной полосы. Главная городская зона отдыха, центральный пляж, сосредоточенный в черте населенного пункта, переживают максимальные нагрузки в летний сезон.

Увеличение числа туристов, посещающих Краснодарский край, отражает повышение интереса к территории как внутри региона, так и за его пределами. На данный тренд влияют такие факторы, как богатство культурно-исторической базы и рекреационного потенциала, развитая инфраструктура, а также возросшее количество развлечений и значительная туристская притягательность территории. Анапа оказалась самым популярным курортным городом Краснодарского края, который посетило около 5 млн туристов в первой половине 2024 г. Отрицательная динамика летних бронирований в 2025 г. – проблемная новость для санаториев и лагерей, где аннулировано почти четверть туристских заявок. Закрытие точек продаж усугубило ситуацию [3]. Совокупность действий, направленных на стабилизацию потока туристов и формирование позитивного образа, позволила достичь существенного повышения доверия туристской аудитории. Конечная оценка полноты потенциала восстановления и продуктивности этих мероприятий станет возможной в среднесрочной и долгосрочной перспективе.



Районы разлива мазута после крушения танкера.

Последствия чрезвычайной ситуации после разлива нефтепродуктов

Сфера воздействия	Проявления последствий	Социальные и экономические эффекты
Туристская отрасль	Снижение туристского потока, закрытие пляжей, отмена бронирований	Падение доходов гостиниц, санаториев и туристских организаций, снижение занятости населения
Гостиничный бизнес	Снижение загрузки средств размещения, рост числа отказов от проживания	Сокращение выручки, оптимизация расходов, риск временного закрытия объектов
Рыбная промышленность	Гибель рыбы и морских организмов, ограничения на вылов	Сокращение объемов добычи, финансовые потери рыболовецких хозяйств
Здравоохранение	Рост обращений за медицинской помощью	Увеличение нагрузки на систему здравоохранения, дополнительные бюджетные расходы
Население прибрежных территорий	Ухудшение условий проживания, ограничения рекреационной деятельности	Снижение качества жизни, рост социальной напряженности
Региональная экономика	Снижение деловой активности в курортных районах	Сокращение налоговых поступлений, необходимость государственной поддержки
Имидж региона	Формирование негативного информационного фона	Снижение инвестиционной и туристской привлекательности территории
Государственные финансы	Ликвидация последствий ЧС, компенсационные выплаты	Рост бюджетных расходов, перераспределение финансовых ресурсов

Вследствие крушения нефтеналивных танкеров в декабре 2024 г. в Керченском проливе по разным оценкам в море попало от 2.4 до 3.7 тыс. т мазута, что вызвало серьезное загрязнение не только акватории Черного моря, но и прибрежных зон [2]. Наибольший масштаб загрязнения зафиксирован на пляжах г. Анапы (рисунок).

Разлив нефтяного мазута вдоль побережья Черного моря в декабре 2024 г. спровоцировал серьезный экологический кризис, последствия которого существенно повлияли не только на природные экосистемы региона. Туристская отрасль, гостиничный бизнес и сфера услуг понесли наиболее значительные потери – их выручка быстро пошла вниз под влиянием катастрофы. Экономическая нестабильность в южных областях РФ оказалась напрямую связанной с экологическим ущербом, нанесенным побережью вследствие разлива мазута (таблица).

Произошедшая экологическая катастрофа оказала масштабное негативное воздействие не только на г.-к. Анапу, но и на всю акваторию Черноморского побережья в целом. Экономика столкнулась с потерями, вызвавшими спад турпотока – основного драйвера местного бизнеса. Снизилась привлекательность и престиж региона, сократилось количество иностранных туристов, что отразилось на доходах и локальной занятости населения.

Исследование выполнено за счет гранта РНФ 25-17-00104, <https://rscf.ru/project/25-17-00104/>.

Литература

- [1] Администрация города-курорта Анапы: сайт. URL: <https://anapa-official.ru/>.
- [2] Доклад о расследовании гибели танкера «Волгонефть-212» в Керченском проливе Черного моря 15.12.2024 г. № 02/2025 // Федеральная служба по надзору в сфере транспорта (РОСТРАНСНАДЗОР). М., 2025. 25 с.
- [3] Российский союз туриндустрии: сайт. URL: <https://rst.ru/>.

ПОСЛЕДСТВИЯ РАЗЛИВА МАЗУТА В КЕРЧЕНСКОМ ПРОЛИВЕ (НА ПРИМЕРЕ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ)

Т.А. Волкова, В.В. Анисимова, А.А. Мелконянц, Е.В. Голубятникова

Кубанский государственный университет, Краснодар, Россия, mist-next4@inbox.ru,
viktoriya23.84@mail.ru, arto8032@gmail.com, kat.ko97@yandex.ru

CONSEQUENCES OF THE FUEL OIL SPILL IN THE KERCH STRAIT (USING THE EXAMPLE OF THE KRASNODAR REGION)

T.A. Volkova, V.V. Anisimova, A.A. Melkonyanc, E.V. Golubyatnikova

Kuban State University, Krasnodar, Russia, mist-next4@inbox.ru, viktoriya23.84@mail.ru,
arto8032@gmail.com, kat.ko97@yandex.ru

Основными территориальными рамками с высоким уровнем развития туристской индустрии в Краснодарском крае являются прибрежные районы Черного моря. Здесь наблюдаются максимальные показатели экономических результатов туристских предприятий. Туристская специализация региона характеризуется множественностью вариантов отдыха, включающих, прежде всего, пляжные направления, санаторно-лечебный, спортивный, а также культурно-просветительский туризм.

Город Анапа, расположенный на побережье Черного моря в Краснодарском крае, обладает потенциалом круглогодичного курорта с благоприятными природными условиями и динамично развивающейся туристской инфраструктурой. Уникальными особенностями курорта являются протяженные песчаные и галечные пляжи Анапы длиной 42 и 12 км соответственно [1].

Наиболее уникальным является песчаный массив Витязевской косы: варьируется в ширину от нескольких десятков метров в городской зоне, вплоть до 1 км в пределах пляжной полосы, образованной кварцевым песком. Витязевская коса, входящая в состав Анапской пересыпи, условно подразделена на две структурные зоны – дюнную и прибрежную. Центральная часть относится к дюнам, которые сегодня квалифицируют как уникальный тип морских береговых ландшафтов, а пляжная зона раскинулась по обеим сторонам косы. Рельеф Витязевской косы (пересыпи), конституируемый песчано-ракушечным детритом, осложнен признаками дюнного строения. Данные пляжи отличает высокая рекреационная емкость – здесь одновременно может отдыхать свыше 100 тыс. человек.

В Анапе, выступающей в статусе прибрежного курорта, распределение рекреационной нагрузки по территории происходит с высокой степенью неравномерности, что ведет к неоднородному состоянию инженерной инфраструктуры на отдельных сегментах прибрежной полосы.

15 декабря 2024 г. во время шторма в Керченском проливе потерпели крушение два танкера – «Волгонефть 212» и «Волгонефть 239», перевозившие в совокупности 9,2 тыс. т мазута [2]. Вследствие крушения по разным оценкам в море попало от 2,4 до 3,7 тыс. т мазута, что вызвало серьезное загрязнение акватории Черного моря, прибрежных зон от м. Панагия до заповедника Утриш на территории черноморского побережья края, южного и юго-западного побережья Крыма, Керчи, а также побережья Азовского моря – Славянский и Темрюкский районы Краснодарского края, Запорожской области (коса Пересыпь и Бердянская коса) (рисунок). Наибольший масштаб загрязнения зафиксирован на пляжах г. Анапы.

Произошедшая авария вызвала масштабную экологическую проблему в Черном море, поставив под угрозу его биоразнообразие и существенно снизив привлекательность прибрежных зон для туризма.



Карта районов, пострадавших от разлива мазута в Керченском проливе [3].

Данные инциденты влекут за собой ухудшение имиджа региона и сокращение объема рекреационной активности. Вследствие этого появляется острая необходимость в дополнительном вложении капитала для проведения восстановительных мероприятий и рекультивации прибрежных зон, что подчеркивает важность разработки и реализации комплексных мер по возрождению экологического и туристского потенциала территории, а также по минимизации последствий экологической катастрофы.

Важнейшими последствиями аварии в Керченском проливе являются повреждение береговых и аквальных экосистем. При попадании на берега мазут проникает в почву и губит растения, лишая их возможности фотосинтеза. Также страдают птицы, морские млекопитающие и другие животные, живущие вблизи береговой зоны. Непосредственно в морской среде мазут, вследствие своей тяжести, оседает на дно, загрязняя его и водную толщу.

Одним из наиболее значимых последствий был ущерб, нанесенный рыболовству и туристской деятельности. Водоемы оказались покрыты мазутом, рыба и прочие представители гидробионтов попали в замкнутую токсичную среду. Рыбаки лишились уловов, населенные пункты региона – постоянных доходов. Загрязненные реки и озера утратили привлекательность. Курортные пляжи оказались пустыми, усугубив кризис туристской сферы. Рыбная индустрия, отрасль туризма и сопряженная инфраструктура – гостиничные комплексы, рестораны, сервисы – получили тяжелый ущерб. Местная экономика утратила движущую силу – упал спрос на основные товары и услуги. Особого внимания заслуживает существенное отрицательное влияние на общественное здоровье: контакт с загрязненными водными объектами вызывает кожные инфекции, болезни дыхательных путей и пищеварительные патологии; загрязненная рыба и пищевая продукция провоцируют интоксикации, крайне опасные для детей и беременных, относимых к уязвимым категориям.

ИЛ УНПК «Аналит» ФГБОУ ВО «КубГУ» был проведен анализ проб морской воды, почвенного покрова (песка) пляжей Анапы и содержащихся в них микроорганизмов на предмет загрязнения углеводородами. По результатам исследования почвенного покрова (песка) выявлено значительное содержание нефтепродуктов в шести точках на полигоне для очистки в хуторе Вознесенском. Несколько повышенные значения отмечаются в пос. Джемете, на Бугазской косе и на центральном пляже Анапы [4].

Всего за весь период ликвидации последствий аварии в Керченском проливе было собрано более 181.5 тыс. т загрязненного песка и грунта (из них около 1 тыс. т – на побережье Крыма), поднято 2.085 тыс. т замазученного грунта со дна Черного моря, очищено более 1300 км береговой линии. Сейчас ученые сходятся во мнении, что на восстановление природы после катастрофы может потребоваться 5–6 лет.

Результаты исследования свидетельствуют о значительном туристско-рекреационном потенциале территории Краснодарского края, прежде всего Анапского региона. Однако техногенная авария в Керченском проливе оказала существенное деструктивное влияние на экологическое состояние прибрежной зоны Черного моря, что привело к деградации природных комплексов и снижению туристской привлекательности региона. Антропогенное загрязнение нефтепродуктами вызвало комплексное негативное воздействие на экосистемы региона, включая почвенный покров, водную среду и биоразнообразие.

Литература

- [1] *Администрация города-курорта Анапа*: сайт. URL: <https://anapa-official.ru/>.
- [2] *Доклад о расследовании гибели танкера «Волгонефть-212» в Керченском проливе Черного моря 15.12.2024 г. № 02/2025* // Федеральная служба по надзору в сфере транспорта (РОСТРАНСНАДЗОР). М., 2025. 25 с.
- [3] *Голубятникова Е.В.* Последствия разлива мазута в Черном море для туристской сферы регионов России // Московский экономический журнал. 2025. Т. 10, № 2. С. 444–456.
- [4] *Нагалецкий Э.Ю., Голубятникова Е.В.* Свидетельство о регистрации базы данных «Результаты исследований содержания нефтепродуктов в природных комплексах Краснодарского края, подвергшихся загрязнению мазутом» № 2025623675: опубл. 05.09.2025.

О СОЗДАНИИ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО УПРАВЛЕНИЯ БЕРЕГОВЫМИ ЗОНАМИ

Е.Д. Вязилов

Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации –
Мировой центр данных, Обнинск, Россия, vjaz@meteo.ru

ON THE CREATION OF A DECISION SUPPORT SYSTEM FOR INTEGRATED COASTAL ZONE MANAGEMENT

E.D. Viazilov

All-Russian Research Institute for Hydrometeorological Information – World Data Centre, Obninsk,
Russia, vjaz@meteo.ru

Концепция устойчивого развития прибрежных зон направлена на то, чтобы сбалансировать сохранение окружающей среды с деятельностью человека, обеспечивая разумное использование прибрежных ресурсов. Этот подход направлен на защиту экологии береговых линий, обеспечение средств к существованию миллионов людей путем повышения устойчивости к климатическим воздействиям, улучшения прибрежных экосистем и обеспечения устойчивых экономических возможностей, информирование и образование общественности. Эта концепция затрагивает всю прибрежную зону, интегрируя экологические, социальные и экономические данные для процессов планирования и принятия решений. Устойчивое развитие прибрежных районов сталкивается с такими проблемами, как воздействие изменения климата и чрезмерная эксплуатация ресурсов. Уравновешивание этих факторов требует создания системы поддержки принятия решений (СППР) для учета влияния изменений климата и связанного с ним повышения уровня моря, увеличения числа опасных природных явлений (ОПЯ), загрязнения.

СППР должны включать модели оценки возможных воздействий окружающей среды на предприятия и население; экономические модели оценки ущерба и расчет стоимости превентивных мероприятий; базы данных по различным направлениям деятельности, базы знаний с формализованными воздействиями изменений климата и опасных природных явлений на население и предприятия, рекомендаций для принятия решений; соответствующие сервисы (идентификация ОПЯ, информационная панель с основными показателями опасности, монитор обстановки в виде интерактивной карты), методы оптимизации решений [1, 2]. Создание СППР для управления береговыми зонами – это вклад в разработку комплексной системы предупреждения о различных угрозах, развитие которой является одной из целей проведения Десятилетия ООН наук об океане.

В рамках развития Единой государственной системы информации об обстановке в Мировом океане ведется разработка СППР для прогноза возможных воздействий ОПЯ и экстремальных явлений, связанных с изменениями климата, и выдачи рекомендаций для принятия превентивных мероприятий по уменьшению или предотвращению воздействий. Реализован макетный вариант СППР (<http://portal.iitu.esimo>), позволяющий определять опасные явления в потоках оперативных гидрометеорологических данных; получать на информационной панели основные показатели ОПЯ с индикацией уровня опасности и представлением графика изменений значений показателей за последнюю неделю, знакомиться детально со сложившейся обстановкой и получать воздействия и рекомендации.

Для СППР собраны и формализованы ситуации для 150 опасных явлений и экологических ситуаций трех уровней опасности (желтый, оранжевый, красный), отдельных

предприятий и видов деятельности для трех фаз явления – до, в период и после явления. Ниже представлен пример описания ситуации, связанной с прибрежными зонами, «Береговая абразия».

Береговая абразия – разрушение (переработка) берега под воздействием морских волн, течений и льда. При разрушении берегов, сложенных рыхлыми породами, абразионный процесс носит название размыва.

Причина: проявления процесса абразии зависят от геологического строения береговой зоны, тектонического режима, особенности рельефа берегов и подводного берегового склона, а также режима ветра, волнения, течений.

Объект: пляжи, гидротехнические сооружения.

Уровень опасности: 3.

Показатель: максимальная скорость размыва берега >0.75 м/год.

Тип явления: климат.

Воздействия:

Планирование строительства на морском берегу:

приводит к деформациям и разрушениям прибрежных территорий;
отступает береговая черта;
заносятся песком гидротехнические сооружения;
размывает и образует новые пляжи;
происходит размыв одних и нарастание других участков берега, прилегающих к порту;

вызывает обмеление прилегающего участка моря;

дестабилизируют инженерно-геологические условия прилегающих территорий.

Рекомендации:

Органы местного управления:

провести микрорайонирование опасных территорий;
организовать намывки пляжей у курортных городов, где практически не осталось песка у берега.

Руководители предприятий:

строить здания, которые находятся вне зоны действия береговой абразии.

Строители гидротехнических сооружений в районе пляжей:

применить камень изверженных пород для каменных набросок;
принять меры к сохранению гальки, покрывающей коренные скальные породы – основания береговых обрывов.

Кроме ситуации, связанной с береговой абразией, при управлении береговыми зонами необходимо использовать описания большинства ситуаций, связанных с опасными гидрометеорологическими (метеорологическими, гидрологическими и морскими), экологическими, геофизическими, геологическими явлениями, а также техногенными чрезвычайными ситуациями.

С помощью СППР можно организовать обучение и тренинги по адаптации к изменениям климата и ОПЯ. СППР использует интегрированные данные из различных доменов в виде геоморфологической, гидрометеорологической, экологической, социальной, технологической и другой информации для принятия решений в области устойчивого развития для рационального управления береговыми зонами, адаптации предприятий и населения, проживающего в районе береговых зон к ОПЯ и изменениям климата.

Литература

- [1] Вязилов Е.Д. Цифровая трансформация гидрометеорологического обеспечения. Т. 1: Подходы по реализации. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 2021. 356 с.
- [2] Вязилов Е.Д. Цифровая трансформация гидрометеорологического обеспечения. Т. 2: Направления использования. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 2022. 355 с.

ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ СТОКА МЕЖДУ ДВУМЯ БЕРЕГОВЫМИ ПРИЕМНЫМИ ВОДОЕМАМИ ПРИ БИФУРКАЦИИ РУСЛА (РЕКА ПРЕГОЛЯ, ЮГО-ВОСТОЧНАЯ БАЛТИКА)

Е.И. Гмыря^{1,2}, Б.В. Чубаренко²

¹ Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград, Россия, gmyryaefim@mail.ru

² Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия, chuboris@mail.ru

FLOW REDISTRIBUTION BETWEEN TWO COASTAL RECEIVING WATER BODIES AT A CHANNEL BIFURCATION (THE PREGOLYA RIVER, SOUTHEASTERN BALTIC)

E.I. Gmyrya^{1,2}, B.V. Chubarenko²

¹ Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia, gmyryaefim@mail.ru

² Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, chuboris@mail.ru

Река Преголя является крупнейшим водотоком Калининградской области. В районе г. Гвардейска она разделяется на два устьевых рукава – Нижнюю Преголю и Дейму (рисунок) [3], точка бифуркации удалена от них примерно на 50 и 40 км по руслу соответственно. Данный участок представляет особый интерес как узел перераспределения стока с водосбора между Калининградским и Куршским заливами [3], что определяет поступление загрязнений в их акватории и, соответственно, влияет на качество воды в прибрежной зоне, в том числе в условиях глобального изменения климата. Какие факторы определяют процесс перераспределения – вопрос до конца не изученный [1].

В предшествующих работах [4, 5] для района бифуркации была разработана методика оценки расходов по данным инклинометрических измерений. Инклинометрический измеритель [6] представляет собой физический «маятник» длиной 1 м с положительной плавучестью, который устанавливался на 0.5–1.0 м над дном (для безопасности судоходства) и регистрировал скорость и направление течения. Расходы оценивались по вдольрусловой составляющей скорости.

Использованы результаты инклинометрических наблюдений, выполненных в период с 15.11.2024 по 13.12.2024 на трех гидростворах, расположенных в непосредственной близости к точке бифуркации: Т3а – приходящее русло Преголи, Т3 – в Нижней Преголе и Т3б – в Дейме (рисунок). Данные о скорости и направлении ветра за рассматриваемый период были получены из открытого интернет-источника RP5 (Расписание Погоды) [2].

Представленные расходы являются исходными и рассчитаны по необработанным данным, поэтому между приходящим и уходящими потоками сохраняется невязка. В дальнейшем к ним планируется применить предложенный ранее метод балансировки [1].

Начальный этап наблюдений, с 15.11.2024 по 24.11.2024, характеризовался преобладанием стока в Дейму. В этот интервал приходящий расход Преголи и уходящий расход Деймы находились в среднем примерно на одном уровне – около 18 м³/с, тогда как расход Нижней Преголи на большей части периода был отрицательным и в среднем составлял –7 м³/с (таблица). Это указывает на перераспределение основного потока в сторону Деймы.

Отчетливо проявлялась согласованность кратковременных изменений в перераспределении стока: усилениям течения в Нижней Преголе соответствовали изменения противоположного знака в Дейме.



Картосхема участка разделения р. Преголи на устьевые рукава в г. Гвардейске (Нижняя Преголя и Дейма).

Усредненные значения расходов по интервалам

№	Водоток	Створ	Расход, м ³ /с	Расход, м ³ /с	Расход, м ³ /с
			15.11.2024– 24.11.2024	24.11.2024– 05.12.2024	05.12.2024– 13.12.2024
1	Дейма	Тзб	18	10	10
2	Нижняя Преголя	Тз	-7	12	16
3	Приходящая Преголя	Тза	18	24	32

В этот интервал по метеоданным преобладали ветра юго-западного направления. Режим преимущественного стока в Дейму сохранялся около 9 дней и потому может рассматриваться как относительно устойчивое состояние системы, формирующееся под воздействием более масштабных внешних причин.

Этап с 24.11.2024 по 05.12.2024 отличался более спокойной динамикой. В этот период приходящий расход Преголи оставался наибольшим и составлял 24 м³/с, а расходы Нижней Преголи и Деймы были сопоставимы – 12 и 10 м³/с соответственно (таблица). Таким образом, во втором этапе система в течение около 11 сут функционировала в более уравновешенном режиме, без отчетливого преобладания стока в одном из отходящих рукавов.

Этот интервал был наиболее «нейтральным» в аспекте ветрового воздействия: проекции ветра на направления русел не имели устойчивого знака и попеременно благоприятствовали разным направлениям перераспределения стока.

Финальный этап, с 05.12.2024 по 13.12.2024, характеризуется новой перестройкой структуры течений. На этом интервале приходящий расход Преголи возрос до 32 м³/с, расход Нижней Преголи – до 16 м³/с, тогда как расход Деймы стал чуть ниже 10 м³/с (таблица). По сравнению с началом наблюдений система перешла в иное состояние: в заключительной части периода, продолжавшейся около 8 дней, заметно усилилась роль Нижней Преголи.

На протяжении данного интервала преимущественно наблюдались ветра со значительной составляющей с востока.

Одной из возможных причин таких изменений в перераспределении стока может быть реакция системы на ветровое воздействие. Оно, по-видимому, реализуется двумя путями: непосредственно через влияние ветра на свободную поверхность водотоков (когда трение ветра способствует или, наоборот, препятствует течению в русле) и опосредованно через подъемы и опускания уровня воды в устьевых створах вследствие нагона со стороны Калининградского и Куршского заливов – приемных водоемов для Нижней Преголи и Деймы [3].

Проведенный анализ показал, что в период наблюдений с 15.11.2024 по 13.12.2024 в точке бифуркации Преголи выделяются три продолжительных интервала, различающихся по характеру перераспределения расходов между Нижней Преголей и Деймой, причем для значительной части наблюдений прослеживается согласованность между этим перераспределением и направлением ветра. На начальном этапе основной поток был ориентирован преимущественно в сторону Деймы; в этот же период ветровые условия в целом благоприятствовали стоку в Дейму и были неблагоприятны для Нижней Преголи. На среднем этапе система находилась в более сбалансированном состоянии, а ветровое воздействие было смешанным и неоднозначным. На заключительном этапе усилился сток по Нижней Преголе и ветер в большей степени соответствовал усилению ее роли, тогда как значение Деймы в перераспределении потока становилось менее выраженным.

Сопоставление режимов перераспределения стока с направлением ветра показывает, что в ряде случаев наблюдаемая картина согласуется с предположением о непосредственном влиянии ветра на свободную поверхность водотоков, хотя не все эпизоды могут быть объяснены только этим механизмом. С учетом [1] можно выдвинуть гипотезу, что влияние местного ветра на перераспределение расходов между устьевыми рукавами менее значимо, чем воздействие градиентного фактора, но может становиться определяющим в моменты перестройки режимов и при слабом стоке Преголи. Для подтверждения этой гипотезы требуется дальнейшее накопление данных.

Работа выполнена в рамках госзадания Минобрнауки России для ИО РАН (тема FMWE-2024-0025). Авторы искренне благодарят своих коллег – А.А. Кондрашова и А.О. Коржа за аппаратное обеспечение и помощь в обработке данных.

Литература

- [1] Gmyrya E.I., Chubarenko B.V. Comparative Assessment of the Influence of Gradient and Wind Factors on the Redistribution of Flow at a Bifurcation Point of a Channel // *Water Resources*. 2026. V. 53, № 2. P. 220–236. doi:10.1134/S0097807825604601.
- [2] RP5 «Расписание погоды». URL: <https://rp5.ru> (дата обращения: 01.02.2026).
- [3] *Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР*. Балтийское море. Куршский и Вислинский заливы / Ред. Ф.С. Терзиев. Л.: Гидрометеиздат, 1985. Т. 1. Вып. 3. 72 с.
- [4] Гмыря Е.И., Чубаренко Б.В. Количественная оценка величины расходов в реках Нижняя Преголя и Дейма (Юго-Восточная Балтика) по данным измерения придонных течений // *Гидрометеорология и экология*. 2023. № 70. С. 38.
- [5] Гмыря Е.И., Чубаренко Б.В. Методика оценки расходов воды в точке бифуркации реки Преголи на основе данных точечных измерений скорости течений в срединных горизонтах // *Морские исследования и образование (MARESEDU-2024): Труды XIII Международной научно-практической конференции*. Тверь: ООО «ПолиПРЕСС», 2025. С. 161–167.
- [6] Пака В.Т. и др. Об усовершенствовании инклинометрического измерителя скорости придонных течений // *Океанологические исследования*. 2019. Т. 47, № 2. С. 220–229.

ПЕРЕСЫПИ СОЛЕННЫХ ОЗЕР ЗАПАДНОГО КРЫМА В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Ю.Н. Горячкин

Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия, yngor@mhi-ras.ru
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

BAY-BARS OF WESTERN CRIMEA'S SALT LAKES IN THE MODERN PERIOD

Yu.N. Goryachkin

Marine Hydrophysical Institute of RAS, Sevastopol, Russia, yngor@mhi-ras.ru
Shirshov Institute of Oceanology of RAS, Moscow, Russia

Изучение пересыпей соленых озер морского происхождения Западного Крыма началось в конце XIX в. в связи с проблемами, вызванными увеличением добычи соли. Их изучение тогда определяли как имеющее большое научно-практическое значение, так как с ними связаны образования целого ряда полезных ископаемых – соль, целебные грязи, строительные материалы – гравий, песок. Вместе с тем отмечалось, что знание генезиса и строения пересыпей нужно для устройства пляжей, их облесения, закрепления, для проведения по ним дорог, устройства через них морских каналов, возведения построек. В 1920–1950-х гг. в Крыму на морских пляжах пересыпей интенсивно разрабатывались пески, где, как тогда считалось, они находятся в неисчерпаемых количествах.

Для анализа современного состояния и динамики пересыпей Западного Крыма использовались материалы многолетних мониторинговых полевых работ МГИ РАН, спутниковые снимки, картографический материал, ведомственные отчеты, литературные источники и электронный архив фотоизображений берегов Крымского полуострова.

В настоящее время пришло понимание, что пересыпи – прежде всего ценный рекреационный ресурс, являющийся уникальным природным объектом, частью экосистем, поддерживающим биоразнообразие. Протяженные широкие песчаные пляжи с благоприятным для отдыха вещественным составом все еще занимают значительную часть береговой линии Западного Крыма. Вместе с тем в последнее десятилетие началось их бурное освоение. В настоящее время существуют проекты застройки пересыпей озер Бакальского и Караджа. Разработан проект строительства нового города с населением около 30 тыс. человек на пересыпях нескольких озер в районе между пос. Штормовым и пгт Заозерным. Активно разрабатывается и рекламируется проект «Золотые пески России», предусматривающий полную застройку пересыпи оз. Сасык-Сиваши и прием в течение года около 1 млн отдыхающих. Практически закончена застройка пересыпи Сакского озера. В ходе общения автора с разработчиками отмеченных выше проектов пришло понимание, что они слабо представляют природные условия и динамику береговой зоны этих участков побережья. Отсюда и непродуманные проектные решения,

которые уже повлияли и могут пагубно повлиять на сложившиеся природные условия и привести к неоправданным финансовым расходам.

В Западном Крыму соленые озера с пересыпями наиболее распространены в северо-западном, присивашском и евпаторийском (от оз. Донузлав до оз. Богайлы) районах. На Тарханкутском полуострове их всего три (в бухтах Ярылгач, Узкой и Караджинской). Пересыпи являются относительно молодыми образованиями, так, по данным радиоуглеродного датирования, полное обособление оз. Ярылгач и оз. Сакского от моря

в процессе трансгрессии Черного моря и активизации абразионных процессов произошло около 4500 лет. Процесс образования пересыпей продолжается и в наше время в северо-западном районе. Еще в конце 30-х гг. прошлого века в присивашском районе существовал ряд песчаных кос в стадии причленения к берегу. В настоящее время они стали пересыпями, сейчас этот участок антропогенно преобразован, на месте бывших озер созданы рисовые чеки и садки для выращивания рыбы. В районе с. Портового на исторических картах начиная с XIX в. хорошо прослеживается процесс отделения небольших лиманов, образования пересыпей, роста числа Конджалайских островков и выдвижения Сергеевской косы, отделяющей морской залив и со временем превратившийся в Андреевский лиман. Особенно значительным был рост Сергеевской косы в последние два десятилетия XX в. Анализ спутниковых снимков показал, что до 2017 г. в теле пересыпи еще возникали прорвы. С 2018 г. по настоящее время они уже не фиксируются. В настоящее время протяженность Сергеевской пересыпи около 10 км.

Если в северо-западном районе преобладают природные процессы, то на Тарханкутском полуострове три пересыпи испытывают значительное антропогенное воздействие. Все пересыпи используются как пляжи, являясь частью курортных комплексов существующих здесь населенных пунктов. Некогда существовавшие дюны практически полностью уничтожены. Из-за изменений профилей пляжа при штормах отмечается разрушение и подтопления прибрежной инфраструктуры. В евпаторийском районе, особенно непосредственно в районе Евпатории, наблюдаются аналогичные процессы.

В настоящее время и в предшествующие годы состояние и динамика пересыпей Западного Крыма определяется совместным влиянием природных и антропогенных факторов. Природное воздействие заключается главным образом в перераспределении наносов между отдельными участками пересыпи и соседними участками берега при штормовом волнении. Изменения ширины пляжей при этом могут быть значительными (до 30 м). Важен также перенос наносов с берегового склона в озера через пересыпи при сильных штормах, а также эоловые процессы. Более существенное значение имеет антропогенное воздействие. Почти повсеместно на пересыпях забирали слагающий их материал в значительных объемах. В промышленных масштабах отбор проводился на пересыпях озер Сасык-Сиваш, Донузлав, Сакское, Кызыл-Яр. Как результат, объем пересыпей значительно сократился. Это выражается в изменении как ширины, так и высоты пересыпей, что делает строения на них уязвимыми при штормовых нагонах.

Исследование выполнено за счет гранта РФФИ № 25-17-00104, <https://rscf.ru/project/25-17-00104/>.

АНТРОПОГЕННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ПЕРЕСЫПЬ ОЗЕРА САСЫК-СИВАШ (КРЫМ)

Ю.Н. Горячкин, Т.В. Ефремова

Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия, yefremova_2027@mail.ru

ANTHROPOGENIC IMPACT ON THE BAY-BAR OF SASYK-SIVASH LAKE (CRIMEA)

Yu.N. Goryachkin, T.V. Efremova

Marine Hydrophysical Institute of RAS, Sevastopol, Russia, yefremova_2027@mail.ru

Между Евпаторией и курортной зоной г. Саки на 12 км протянулась обширная пересыпь оз. Сасык-Сиваш, сложенная песком, ракушей, гравием и галькой. По пересыпи проходит шоссейная и железная дороги, газопровод, линии электропередачи и связи. В 1930–1950-х гг. в восточной части пересыпи существовал карьер по добыче песка и гравия, закрытый в связи с резким отступанием береговой линии. В 1960–1980-х гг. пересыпь в течение трех летних месяцев представляла собой сплошную полосу автокемпингов, главным образом, «диких». К середине 1980-х гг. для них здесь была отстроена довольно скромная инфраструктура. Существовали планы переноса шоссейной и железной дорог. В начале XXI в., в период юрисдикции Украины, были разработаны планы сплошной застройки пересыпи небоскребами. В 2014 г. опять был поднят вопрос о переносе дороги в связи с новым планом освоения территории. В XXI в. началась постепенная застройка пересыпи, в настоящее время она локализуется в ее западной и восточной части. В первой (2026 г.) застроено 3 км береговой линии, во второй немногим более. В восточной части, в местах интенсивного строительства на пляжах нами отмечены первые признаки отступления береговой линии. Об этом свидетельствуют как спутниковые снимки, так и разрушение берегового уступа, сложенного супесчаными отложениями с гравием и галькой.

Мониторинговые исследования МГИ РАН (г. Севастополь) показывают, что в настоящее время основная часть пересыпи оз. Сасык-Сиваш находится в состоянии неустойчивого равновесия, а часть восточной и особенно западной – в аварийном состоянии. В западной части в результате строительства мола морского порта пляж к востоку от него, лишенный питания, исчез на протяжении 3 км. Именно из-за этого вместо пляжа в западной части пересыпи сейчас на урзе находится искусственный клиф из строительного мусора, а постройки на пересыпи подтапливаются в период штормов. В восточной части подтопления связаны с существованием здесь ранее карьера и современным строительством.

Питание пляжей пересыпи оз. Сасык-Сиваш осуществляется вдольбереговым потоком наносов преимущественно с юга на север, а также двусторонними подвижками в зависимости от направления действия штормов. Ранее этот поток поддерживался наносами, образующимися при разрушении клифов, и материалом, выносимым реками Западного Крыма. Приблизительный объем таких наносов для поддержания пляжа составляет до 200 тыс. м³/год. Строительство водохранилищ, добыча песка с пляжей и подводного берегового склона, закрепление берега бетоном (набережные) и строительство поперечных гидротехнических сооружений (пгт Николаевка, пос. Новофедоровка) резко уменьшили этот поток и привели к сокращению ширины пляжей и уменьшению запасов наносов на них. Это состояние усугубилось резким сокращением популяций донных моллюсков, из перетертых раковин которых во многом состоял песок. В добавление к этому в 2017–2018 гг. началась бурная деятельность по «освоению» находившихся ранее в относительно естественном состоянии пляжей. Это освоение начали с

планирования дюн, уничтожения растительности, которую ранее высаживали для защиты пляжа от ветрового выдувания. Песчаные дюны, которые до появления человека на этих берегах были естественным элементом ландшафта и частью профиля пляжа, стали разравнивать бульдозерами. Как свидетельствуют исторические снимки, на побережье Евпатории ранее имелись довольно крупные песчаные дюны, которые сейчас полностью спланированы и застроены.

В настоящее время активно продвигается проект полной застройки пересыпи и создания курорта мирового уровня «Золотые пески России». Заложенные в проекте решения вызывают озабоченность за сохранность в будущем уникальных пляжей, которые на настоящий момент одни из самых чистых и благополучных в Крыму. Особенно это касается трех положений проекта: освоение территории от существующего шоссе до уреза моря, возведение яхтенной марины и наращивания существующего пляжа.

По результатам работ МГИ РАН было установлено, что для северной части участка проектирования емкость потока наносов составляет в среднем за период с 1979–2019 гг. 61 ± 115 тыс. м³/год. В 70 % случаев поток наносов направлен в сторону Евпаторийского побережья. Таким образом, устройство поперечных сооружений в виде бун полного профиля, оградительных сооружений яхт-клубов, причалов непроницаемой конструкции и волноломов недопустимо ввиду возможных размывов береговой зоны на смежных участках. По нашим расчетам смещение линии уреза в сторону моря по одному из предлагаемых решений на 45 м потребует дополнительной отсыпки пляжного материала в объеме ориентировочно около 300 м³/пм, а всего для обеспечения безопасных отметок территории как минимум 3,9 млн м³ пляжного материала (для сравнения – ранее было добыто около 1,5 млн м³ за 20 лет), что приведет к усилению вдольберегового потока и необходимости его компенсации. Кроме этого, таких запасов материала, возможно, и нет на дне, во всяком случае ранее проведенные изыскания их не подтверждают. По предпроектному предложению ширина пляжа составляет 25 м. По результатам наших расчетов ширина пляжной зоны для участка проектирования должна составлять не менее 35 м (оптимально 40–45 м) с сохранением природных дюн. В любом случае проектирование капитальных сооружений на территории в сторону моря от существующего сейчас шоссе недопустимо. Литодинамическая система пересыпи, состоящая как из подводной (береговой склон), так и надводной (пляж) части, крайне чувствительна к объемам и масштабам внешнего воздействия. Возведение гидротехнических сооружений должно основываться на тщательных предварительных исследованиях, включающих полевые наблюдения, а также физическое и математическое моделирование. Уместно отметить, что климат в месте пересыпи неблагоприятен для круглогодичного отдыха. В холодное время года он отличается сильными ветрами от северных направлений, нередко пыльные бури, летом характерен сильный неприятный запах с соленого озера и большое количество кровососущих насекомых. Непосредственное соседство с железной дорогой и оживленным шоссе тоже не является доводом в пользу размещения курорта. Мелководность прилегающей акватории не позволяет проектировать здесь выпуски сточных вод без ущерба для природы и самих отдыхающих. На данном этапе для развития рекреационной отрасли нам представляется более целесообразным сосредоточиться на восстановлении заброшенных пустующих здравниц Евпатории и Крыма.

Исследование выполнено в рамках госзадания № FNNN-2024-0016.

ЭРОЗИЯ МОРСКИХ И ВНУТРЕННИХ БЕРЕГОВ ДЕЛЬТЫ РЕКИ ЛЕНЫ, ПОТОКИ НАНОСОВ И ОРГАНИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

М.Н. Григорьев

Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, Якутск, Россия

EROSION OF THE SEA AND INTERNAL SHORES OF THE LENA RIVER DELTA, SEDIMENT AND ORGANIC MATERIAL FLUX

M.N. Grigoriev

Melnikov Permafrost Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russia

Морские берега дельты р. Лены, второй по площади в мире, изучены недостаточно, особенно в отношении темпов разрушения многолетнемерзлых береговых уступов и объемов наносов, поступающих в пределы авандельты. Более половины морских берегов дельты относятся к эрозионным и термоэрозионным (термоабразионным) уступам. Исследования их динамики проводились на нескольких десятках ключевых участков. В результате этих работ было выяснено, что скорость отступления эрозионных морских берегов дельты составляет от 0.3 до 13 м/год (рисунок).



Темпы разрушения морских берегов дельты Лены.

Было установлено, что эрозия морских берегов дельты, протяженностью 1900 км, приводит к поступлению на прилегающий шельф моря Лаптевых около 6.5 млн т осадков в год, включая около 70 тыс. т органического углерода.

Суммарный поток наносов из разрушаемых берегов дельты Лены пока надлежаще не оценен. Неизвестно, какое количество этого материала остается в пределах дельты, какое оседает в авандельте и какая его часть уходит на шельф. Решение этой региональной задачи, входящее в наши планы, позволит уточнить объемы терригенных наносов,

поступающих на шельф моря Лаптевых, а оценка «внутренних» береговых потоков материала в устьевых областях крупных арктических рек поможет скорректировать бюджет терригенных осадков на арктическом шельфе и в какой-то мере во всем арктическом бассейне.

При разрушении берегов, сложенных ледовым комплексом в центральном секторе моря Лаптевых, в море в среднем поступает 16 млн т в год обломочного материала и более 200 тыс. т органического углерода. Это составляет более 80 % от общей суммы обломочного материала и более 70 % от общей суммы органического углерода, поступающего в результате разрушения всех берегов в центральном секторе моря.

В центральном секторе моря Лаптевых (от мыса Терпий-Тумса на западе до мыса Буор-Хая на востоке) была оценена средняя многолетняя скорость разрушения берегов, сложенных многолетнемерзлыми породами. Берега дельты Лены характеризуются умеренной скоростью разрушения – 0.3–2.0 м/год, а на участках развития ледового комплекса в морских заливах темпы разрушения берегов достигают 4–13 м/год.

Оценены средние многолетние скорости отступления берегов в бухте Тикси и на прилегающих к ней участках побережья. В бухте на отдельных участках выявлены аномально высокие скорости разрушения берегов, сложенных коренными породами (предразрушенные морозным выветриванием аргиллит и песчаник), достигающие значений 0.1 м/год.

Данных о динамике разрушения внутренних берегов дельты также не очень много. Длина берегов, расположенных вдоль многочисленных протоков, многократно превышает длину морских берегов дельты Лены. Более половины ее внутренних берегов относятся к эрозионным и к термоэрозионным. Потоки наносов из этих берегов дельты изучены лишь на 42 участках в ее центральном и восточном секторе. Общая протяженность исследованных участков составила 72.7 км. Подсчитано, что поток наносов с этих берегов составил 2.1 млн т/год, включая 60 тыс. т/год органического углерода.

При этом совершенно неизвестно, какой объем влекомого и сальтационного материала выносятся протоками из дельты, который, возможно, приближается к известной массе влекомых наносов.

Исследование выполнено при поддержке научного проекта НИОКР 126020516709-1 «История развития и современная динамика континентальной и шельфовой криолитозоны Сибири и Арктики».

МОНИТОРИНГ ПЛЯЖА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ

А.Р. Данченков, Е.Д. Питерниекс

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия
Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград, Россия

BEACH MONITORING USING COMPUTER VISION SYSTEM

A.R. Danchenkov, E.D. Piterniex

Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia

Развитие прибрежных дюн на аккумулятивных берегах тесно связано с морфодинамикой песчаных пляжей, однако традиционные геодезические съемки и дистанционное зондирование обеспечивают высокую точность при недостаточной временной разрешающей способности. Для анализа быстропротекающих штормовых событий и фаз восстановления требуется высокочастотная регистрация морфологических характеристик, в первую очередь ширины пляжа как интегрального индикатора состояния буферной зоны между морем и дюнным валом.

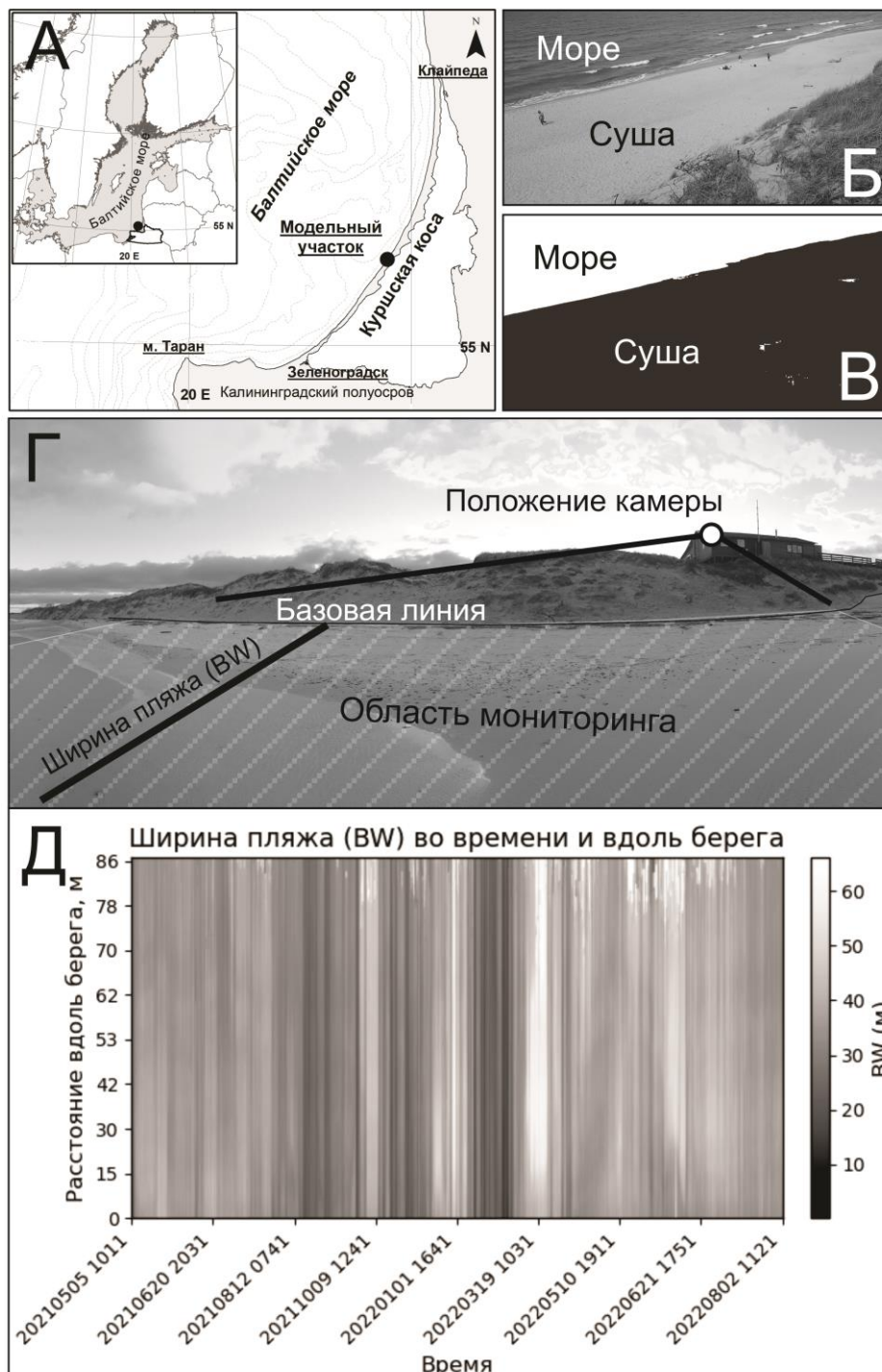
Целью работы является описание методики построения непрерывных временных рядов ширины пляжа по данным стационарной камеры наружного наблюдения с использованием процедур семантической сегментации и координатной привязки. В качестве модельного участка использован морской берег на 42-м километре Куршской косы в районе «Дюна Эфа», где камера установлена на здании на гребне дюнного вала на высоте около 12 м, обеспечивая устойчивое питание и связь по 3G/4G сети с сервером для длительных наблюдений.

Исходный массив данных сформирован из 157 тыс. фотографий за период май 2021 – май 2024 гг., с интервалом съемки в 10 мин, обеспечивающими высокую временную дискретность наблюдений. Для обучения алгоритма сегментации подготовлены два набора: 418 тыс. неразмеченных фрагментов изображений размером 256×256 пикселей для предобучения автоэнкодера и 1361 размеченных фрагментов той же размерности для обучения целевой модели, подобранных таким образом, чтобы охватить максимальное разнообразие текстур (различная степень затопления, волнение, пена, снег, туман, присутствие людей и морского мусора).

Сегментация выполняется конволюционной нейросетью архитектуры Unet [1], для которой реализован двухэтапный подход: сначала обучается автоэнкодер на неразмеченном массиве изображений для извлечения устойчивых признаков прибрежной сцены, затем веса его энкодера переносятся в сегментационную сеть, дообучаемую на размеченной выборке. В качестве оптимизатора используется Adam, в качестве функции потерь – модифицированная Focal-Jaccard loss, а валидация качества проводится по метрике intersection over union (IOU), достигшей значения порядка 0.86 на валидационной выборке. Такой подход позволяет устойчиво выделять классы «море» и «суша» в условиях высокой изменчивости освещенности и текстур пляжа.

Технически реализация системы включает конвейер: прием и архивация изображений с камеры, предварительная фильтрация по качеству с использованием размера кадра и целостности его структуры (убирает размытость, засветку, недосвет, ошибки матрицы), семантическая сегментация с получением бинарных масок, выделение линии уреза моря как границы классов и ее перевод в геопространственный формат. Для коор-

динатной привязки использована сеть из 112 наземных опорных точек, по которой строятся матрицы трансформаций «координаты изображения – координаты местности» и формируются растровые модели для широты и долготы в проекции UTM34N. Координация опорных точек выполнялась с использованием GNSS оборудования Topcon GR-5 в RTK с точностью до 5 см. Ширина пляжа вычисляется как расстояние от базовой линии у подножия дюнного вала до линии уреза для каждого пиксела вдоль берега, что позволяет получать как интегральное значение, так и продольные распределения параметра ширины пляжа.



A – расположение модельного участка Куршской косы; **Б** – пример исходного кадра; **В** – соответствующая бинарная маска «море/суша» поле обработки алгоритмом сегментации; **Г** – вид на участок мониторинга с отметкой положения камеры и полосой поля зрения на пляже; **Д** – фрагмент записи ширины пляжа за период 2021–2022 гг. с ее вдольбереговым распределением.

Верификация результатов выполнена путем сравнения планового положения береговой линии и ширины пляжа с данными наземного лазерного сканирования (Topcon GLS-2000) и аэрофотосъемки (DJI Phantom 4); плановая погрешность растет с удалением от камеры и составляет порядка 5 см для расстояния до 30 м и 50 см на расстоянии 80 м, что является приемлемым для задач морфодинамического анализа. Отдельно приводятся ограничения метода: зависимость от разрешения съемки, влияния освещенности, снежного покрова и морской пены, а также необходимость периодического полевого контроля качества и актуализации матриц трансформаций.

Предложенная методика показывает, что система на основе стационарной камеры и алгоритмов семантической сегментации может служить высокочастотным дополнением к традиционным съемкам, обеспечивая многолетние временные ряды ширины пляжа для анализа штормовой эрозии и этапов восстановления. Описанные технические решения (подготовка массивов, схема обучения, геопривязка и проверка по независимым данным) могут быть воспроизведены на других участках береговой зоны при наличии базовой инфраструктуры и ограниченного набора полевых измерений.

Литература

- [1] *Ronneberger O., Fischer P., Brox T.* U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation. In: International Conference on Medical image computing and computer-assisted intervention. Cham: Springer, 2015. P. 234–241.

ОЦЕНКА СКОРОСТИ ТЕЧЕНИЯ НА УСТЬЕВОМ УЧАСТКЕ РЕКИ ПРЕГОЛИ С ПОМОЩЬЮ ИНКЛИНОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ

Н.В. Двоглазова¹, Е.И. Гмыря^{1,2}, А.А. Кондрашов¹, Б.В. Чубаренко¹

¹ Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия, nadya2eyes@mail.ru

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

ESTIMATION OF RIVER FLOW VELOCITY AT THE MOUTH SECTION OF PREGOLYA RIVER USING TILTING CURRENT METERS

N.V. Dvoeglazova¹ E.I. Gmyrya^{1,2}, B.V. A.A. Kondrashov¹, Chubarenko¹

¹ Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, nadya2eyes@mail.ru

² Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia

Расход воды является одним из ключевых параметров оценки поступления солоноватых вод, а также взвешенных наносов и микропластика в эстуарную часть устьевое участка реки Преголи. Ранее исследования расходов воды реки Преголи [1, 5] проводились в том числе и инструментально [2, 3] с использованием инклинометрических измерителей скорости придонных течений (далее – инклинометры [6]). Если в предшествующих работах проводился анализ перераспределения стока Преголи между ее устьевыми рукавами (Нижняя Преголя и Дейма) [2, 3], то в настоящей работе рассматривается, наоборот, район слияния двух протоков Нижней Преголи в одно русло (9–30 км выше устья, рисунок), который находится в пределах эстуарной части рукава Нижней Преголи, где наблюдаются затоки солоноватых вод Калининградского залива.



Схема расположения донных инклинометрических измерителей в пределах устьевое участка рукава Нижняя Преголя (протоки Новая и Старая Преголя): а – локализация района исследований в юго-восточной части Балтийского моря; б – устьевая область р. Преголи (Калининградский залив, Калининградский морской канал, устьевой участок Нижней Преголи).

Цель работы – оценка вдольрусловой скорости и расходов воды во время фаз естественного стока и проникновения солоноватых вод вверх по течению, а также оценка соотношения расходов в основном русле Нижней Преголи с расходами в двух ее протоках.

Измерение скорости и направления течения проводилось с использованием инклинометров, усовершенствованная конструкция которых разработана в АО ИО РАН [6]. Приборы размещались на стрежне реки в трех точках – 26а, 34, 34о (8,5, 4,6 и 3,0 м), в придонном горизонте на расстоянии 1 м от свинцового якоря. К якорю крепился от-

водной фал длиной 30–50 м, с таким же якорем на другом конце. Местоположение якорей фиксировалось посредством портативного GPS-приемника. Подъем станции осуществлялся тралением «кошкой» фала, уложенного на дне между двумя грузами.

Инклинометр представляет собой маятник с положительной плавучестью, в состав конструкции которого входит герметичный приборный контейнер с датчиком наклона, магнитометром и регистрирующим блоком электроники. Погрешность определения направления наклона составляет $\pm 10^\circ$. Скорость и направление течения рассчитывались при постобработке по моментальному наклону прибора. Запись направления и скорости придонного течения выполнялись в период с 15.11.2024 по 13.12.2024 г. в течение 28 сут с частотой опроса датчиков наклона, магнитометра и времени 5 Гц.

Для периода с хорошей обеспеченностью достоверными данными (15.11.2024–26.11.2024 г.) было выявлено чередование фаз естественного стока реки и обратных течений, соответствующих затоку солоноватых вод из Калининградского залива (подтвержден инструментально [4]) – обратные течения в реке были зафиксированы на ст. 26а в 48 %, на ст. 34 – в 46 %, на ст. 340 – в 43 % измерений.

Для трех отдельно взятых периодов стока (19–20, 22–23, 24–25 ноября 2024 г.) корреляция без сдвига между временными сериями в т. 26а (8 км выше устья) и т. 34/340 (21 км выше устья) составляла 0.5–0.9. С учетом временного сдвига значений (отставание от т. 26а) на 1 ч на ст. 34 и на 30–50 мин на ст. 340, коэффициент корреляции увеличился до 0.97–0.99. Между рукавами (ст. 34 и 340) наилучшая корреляция наблюдается с отставанием значений в протоке Новой Преголи на 10–20 мин. Для периода возникновения обратных течений (20.11.2026–22.11.2026 г.) коэффициент корреляции увеличился с 0.92 до 0.98 с учетом таких же временных сдвигов. Это позволяет выдвинуть гипотезу, что кратковременные изменения скорости стока на данном участке определяются условиями в устье. При этом течение в более мелкой протоке Старой Преголи реагирует на 40 мин, а в более глубокой – на 60 мин позже реакции течений в т. 26а.

Площадь сечения русла на ст. 26а соотносится с суммой сечений русел на ст. 34 и 340 в пропорции почти 1:1 (478 и 440 м² соответственно). Среднесуточные значения расходов в этих же точках, рассчитанные с учетом определенного ранее временного сдвига, соотносятся также в пропорции почти 1:1 для трех суточных периодов с естественным стоком (19–20, 22–23, 24–25 ноября 2024 г.). Соотношение расходов при обратных течениях не оценивалось, так как при эстуарной циркуляции обратные течения не проникают на всю длину русла и могут быть локализованы только в глубокой его части (т. 26а и ниже).

Оценка вдольрусловых скоростей потока с использованием инклинометрических измерителей показала наличие как положительных (8–13 см/сек), так и отрицательных (обратно направленных) течений (8–14 см/сек) на устьевом участке реки. Краткосрочные изменения скоростей потоков определяются изменением условий в устье, скорости в протоках Новой и Старой Преголи всегда запаздывают по отношению к изменениям потока в основном русле на 60 и 40 мин соответственно, причем как при естественном стоке, так и при обратных течениях. Сумма расходов рукавов совпадает с расходом через основное русло (для естественного стока), что говорит о хорошем качестве измерений скорости потока.

Исследование выполнено за счет гранта РНФ № 24-44-20027 (<https://rscf.ru/project/24-44-20027/>). Авторы благодарны своему коллеге А.О. Коржу за обеспечение обработки данных программными средствами.

Литература

- [1] Боскачев Р.В., Чубаренко Б.В. Среднегодовые расходы воды в реках Преголя и Дейма в 1990–2020 гг. // Международный научно-исследовательский журнал. 2021. № 8–1(110). С. 176–183. doi:10.23670/IRJ.2021.110.8.030.
- [2] Боскачев Р.В., Чубаренко Б.В., Кондрашов А.А., Корж А.О. Инструментальные инклинометрические измерения течения в реках Преголя и Дейма в период 10.12–26.12.2019 // Процессы в геосредах. 2020. № 3(25). С. 747–754.
- [3] Гмыря Е.И., Чубаренко Б.В. Количественная оценка величины расходов в реках Нижняя Преголя и Дейма (Юго-Восточная Балтика) по данным измерения придонных течений // Гидрометеорология и экология. 2023. № 70. С. 38–53. doi:10.33933/2713-3001-2023-70-38-53.

- [4] Двоеглазова Н.В., Чубаренко Б.В., Иванов Ю.В. Сезонная миграция устьевой зоны смешения р. Преголи и ее связь с перекрытиями водозаборов г. Калининграда (по данным 2024 г.) // *Океанологические исследования*. 2025. С. 46–47. doi:10.62994/b7314-9428-9558-w.
- [5] Наумов В.А. Статистический анализ ежедневных расходов воды в реках Калининградской области в 2022 году // *Вестник науки и образования северо-запада России*. 2024. Т. 10, № 4. С. 37–49.
- [6] Пака В.Т., Набатов В.Н., Кондрашов А.А., Корж А.О., Подуфалов А.П., Облеухов С.Д., Голенко М.Н., Шука С.А. Об усовершенствовании инклинометрического измерителя скорости придонных течений // *Океанологические исследования*. 2019. Т. 47, № 2. С. 220–229. doi:10.29006/1564-2291.JOR-2019.47(2).13.

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЦИРКУЛЯЦИИ ВОД И ПОТОКОВ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ АЗОВСКОГО МОРЯ

Б.В. Дивинский

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

CLIMATIC FEATURES OF WATER CIRCULATION AND SEDIMENT TRANSPORT IN THE SEA OF AZOV

B.V. Divinsky

Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow, Russia, divin@ocean.ru

Гидро- и литодинамический режимы мелководной морской акватории определяют в основном течения, поверхностное волнение, колебания уровня, а также особенности батиметрии и строение дна. Для Азовского моря, благодаря широкой сети прибрежных гидрометеостанций с постоянным мониторингом уровня моря, наиболее исследованными являются колебания свободной поверхности [2, 6–9, 14, 16, 18, 21]. Существенное развитие спектральных волновых моделей позволило достаточно подробно изучить волновой режим моря [1, 3, 5, 17, 22–23]. Анализ течений Азовского моря представлен рассмотрением конкретных задач при выбранных условиях формирования поля течений, например под воздействием отдельных штормов или ветров заданных направлений [4, 11–13, 15, 19, 20].

В условиях дефицита данных прямых инструментальных измерений единственным методом исследований климатических особенностей гидро- и литодинамики моря является численное моделирование, позволяющее получать крайне продолжительные и, что самое главное, непрерывные ряды необходимых характеристик морских течений по всей акватории моря.

В настоящем исследовании используется объединенная модель, корректно описывающая механизмы взаимодействия морских течений, ветрового волнения и штормовых нагонов. Отметим основные подходы, используемые при моделировании:

- в качестве гидродинамической модели выступает 5-слойный сигма-координатный трехмерный вариант модели ADCIRC;
- параметры поверхностного волнения рассчитываются с помощью спектральной волновой модели MIKE 21 SW;
- объединение моделей позволяет учитывать взаимодействие поверхностного волнения и течений;
- потоки донного материала определяются на основании модели Soulsby-Van Rijn [24], учитывающей транспорт взвешенного и влекомого материала в условиях комбинированного воздействия течений и поверхностного волнения;
- исходные поля атмосферного давления, компонентов приземного ветра и концентрации льда готовятся на основе базы данных глобального атмосферного реанализа ERA5 (ECMWF);
- расчетная область ограничена координатами: по широте – $45.25\text{--}47.50^\circ$ с.ш., по долготе – $34.75\text{--}39.50^\circ$ в.д. Пространственное разрешение по широте и долготе – 0.125° , шаг по времени – 3 часа для полей атмосферного давления и ветра, сутки – для концентрации льда;
- основа расчетной сетки – батиметрическая карта Азовского моря, построенная специалистами Южного научного центра РАН [10].



Климатические потоки донных осадков в Азовском море (м³/год/м).

Расчеты гидродинамических параметров и потоков донного вещества Азовского моря выполнены за 46 лет с 1979 по 2024 гг. Выходными расчетными величинами являются трехмерные пространственные поля скоростей течений, высот волн, возвышений уровня и потоков песка дискретностью в 1 ч.

В результате проведенных исследований установлены климатические особенности гидродинамических полей и потоков наносов:

1. Основным элементом климатической структуры течений Азовского моря является обширный циклон, охватывающий всю толщу вод центральной части моря. В западной части моря поверхностные течения образуют локальные вихревые структуры с генеральным переносом вод в сторону Арабатской стрелки, придонные течения формируют антициклонический вихрь с общим переносом вод от Арабатской косы в направлении на северо-восток. Самые сильные течения наблюдаются в проливе, соединяющем основное зеркало и Таганрогский залив, в самом Таганрогском заливе, на оконечностях кос северного побережья, а также в южной части моря, примыкающей к Керченскому проливу. В этих районах максимальные скорости поверхностных течений составляют порядка 1.2 м/с, причем в проливе могут достигать значений в 1.5, придонных – 0.6–0.7 м/с.

2. Максимальное ветровое волнение развивается в центральной, относительно глубоководной, части моря. В этом регионе среднегодовые значения значительных высот ветровых волн составляют 0.70–0.75 м, волн зыби – в два раза меньше и не превышают 0.30 м.

3. Основной поток песчаных отложений формируется в виде обширного циклона, охватывающего центральную часть моря (рисунок), в который вовлекаются донные осадки с западной и восточной прибрежной части моря. На северном побережье, в районе оконечности Обиточной косы, встречаются два потока: один, преобладающий, со стороны Бердянской косы, второй, менее выраженный, со стороны косы Федотова. Результирующий поток образует обширные отмели к югу от Обиточной косы. Наиболее сильные потоки донного материала формируются у Бердянской и Обиточной кос, а также в районе косы Долгой.

Формирование базы данных параметров морских течений и настройка численной модели выполнены в рамках госзадания № FMWE-2024-0027. Постановка задачи, обработка и анализ результатов выполнены за счет гранта РНФ № 25-17-00104, <https://rscf.ru/project/25-17-00104>.

Литература

- [1] *Атлас волнения, течений и уровня Азовского моря* / Ред. В.В. Фомин. Киев, 2012. 238 с.
- [2] *Беспалова Л.А., Цыганкова А.Е., Беспалова Е.В., Мисиров С.А.* Опасные штормовые нагоны и разрушение берегов Азовского моря // *Наука юга России*. 2019. Т. 15, № 2. С. 29–38.
- [3] *Евстигнеев В.П., Наумова В.А., Воскресенская Е.Н., Евстигнеев М.П., Любарец Е.П.* Ветро-волновые условия прибрежной зоны Азово-Черноморского региона. Севастополь: ИПТС, 2017. 320 с.
- [4] *Григоренко К.С.* Течения Азовского моря по данным измерений и спектрального анализа // *Доклады РАН. Науки о Земле*. 2025. Т. 523, № 1. С. 169–177. doi:10.31857/S2686739725070197.
- [5] *Дьяков Н.Н., Фомин В.В., Мартынов Е.С., Гармашов А.В.* Ветро-волновой режим Азовского моря // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа*. 2010. № 22. С. 228–239.
- [6] *Иванов В.А., Черкесов Л.В., Шульга Т.Я.* Исследование свободных колебаний уровня Азовского моря, возникающих после прекращения длительного действия ветра // *Морской гидрофизический журнал*. 2015. № 2. С. 15–25.
- [7] *Корженювская А.И., Медведев И.П., Архипкин В.С.* Приливные колебания уровня Азовского моря // *Океанология*. 2022. Т. 62, № 5. С. 677–689. doi:10.31857/S0030157422050094.
- [8] *Лемешко Е.Е., Полозок А.А.* Экстремальные значения уровня Азовского моря по данным береговых измерений // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря*. 2018. Вып. 3. С. 13–21. doi:10.22449/2413-5577-2018-3-13-21.
- [9] *Матишов Г.Г., Бердников С.В.* Экстремальное затопление дельты Дона весной 2013 г. // *Известия РАН. Серия географическая*. 2015. № 1. С. 111–118.
- [10] *Матишов Г.Г.* Геоморфологические особенности шельфа Азовского моря // *Вестник ЮНЦ РАН*. 2006. Т. 2, № 1. С. 44–48.
- [11] *Матишов Г.Г., Григоренко К.С.* Динамика и термохалинная структура вод контактных зон Азовского моря // *Доклады РАН. Науки о Земле*. 2022. Т. 502, № 2, С. 107–114. doi:10.31857/S2686739722020116.
- [12] *Матишов Г.Г., Григоренко К.С.* Сейшевые течения Азовского моря по данным натуральных наблюдений // *Океанология*. 2023. Т. 63, № 1. С. 32–40. doi:10.31857/S0030157423010094.
- [13] *Матишов Г.Г., Григоренко К.С.* Течения Азовского моря в период маловодья Дона // *Океанология*. 2021. Т. 61, № 2. С. 198–208. doi:10.31857/S0030157421020131.
- [14] *Попов С.К., Лобов А.Л.* Краткосрочные прогнозы колебаний уровня Азовского моря в безледный период 2017 года // *Гидрометеорологические исследования и прогнозы*. 2018. № 3 (369). С. 104–118.
- [15] *Попов С.К.* Моделирование и прогноз изменений уровня и скорости течений в морях России: Дис. ... докт. физ.-мат. наук. М., 2018. 300 с.
- [16] *Филиппов Ю.Г.* Свободные колебания уровня Азовского моря // *Метеорология и гидрология*. 2012. № 2. С. 78–82.
- [17] *Фомин В.В.* Численная модель циркуляции вод Азовского моря // *Научные труды УкрНИГМИ*. 2002. Вып. 249. С. 246–255.
- [18] *Фомин В.В., Полозок А.А.* Технология моделирования штормовых нагонов и ветрового волнения в Азовском море на неструктурированных сетках // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа*. 2013. Вып. 27. С. 139–145.
- [19] *Фомин В.В., Полозок А.А., Фомина И.Н.* Моделирование циркуляции вод Азовского моря с учетом речного стока // *Морской гидрофизический журнал*. 2015. № 1. С. 16–28.
- [20] *Черкесов Л.В., Шульга Т.Я.* Волны, течения, сгонно-нагонные процессы и трансформация загрязнений в Азовском море. Севастополь: ФГБУН МГИ, 2017. 228 с.
- [21] *Черкесов Л.В., Шульга Т.Я., Дьяков Н.Н., Станичная Р.Р.* Численное исследование сгонно-нагонных процессов и течений Азовского моря в период экстремальных ветров // *Морской гидрофизический журнал*. 2017. № 5. С. 3–20. doi:10.22449/0233-7584-2017-5-3-20.
- [22] *Экологический атлас Азовского моря* / Ред. Г.Г. Матишов. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2011. 328 с.
- [23] *Яицкая Н.А.* Математическое моделирование ветрового волнения Азовского моря // *Труды Южного научного центра Российской академии наук*. 2020. Т. 8. С. 86–96. doi:10.23885/1993-6621-2020-8-86-96.
- [24] *Soulsby R.* Dynamics of marine sands. A manual for practical applications. London: Thomas Telford, 1997. 249 p.

НЕОДНОРОДНОСТЬ СОДЕРЖАНИЯ МИКРОПЛАСТИКА В ЭСТУАРИИ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ОПТИМАЛЬНОГО ОБЪЕМА ОТБОРА ПРОБ ВОДЫ

Д.А. Домнин, О.И. Лобчук

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия,
dmitriy.domnin@atlantic.ocean.ru

PATCHINESS OF MICROPLASTICS CONTENT IN ESTUARY AND EXPERIMENTAL ASSESSMENT OF OPTIMAL WATER SAMPLING VOLUME

D.A. Domnin, O.I. Lobchuk

Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia,
dmitriy.domnin@atlantic.ocean.ru

Эстуарные зоны – это уникальные прибрежные зоны, где реки впадают в морскую воду, создавая динамичную систему взаимодействия пресных и соленых вод. Такие зоны особенно чувствительны к изменениям гидрологического режима, вызванным многими факторами: связь с морем, влияние атмосферы, речной сток и деятельность человека [5].

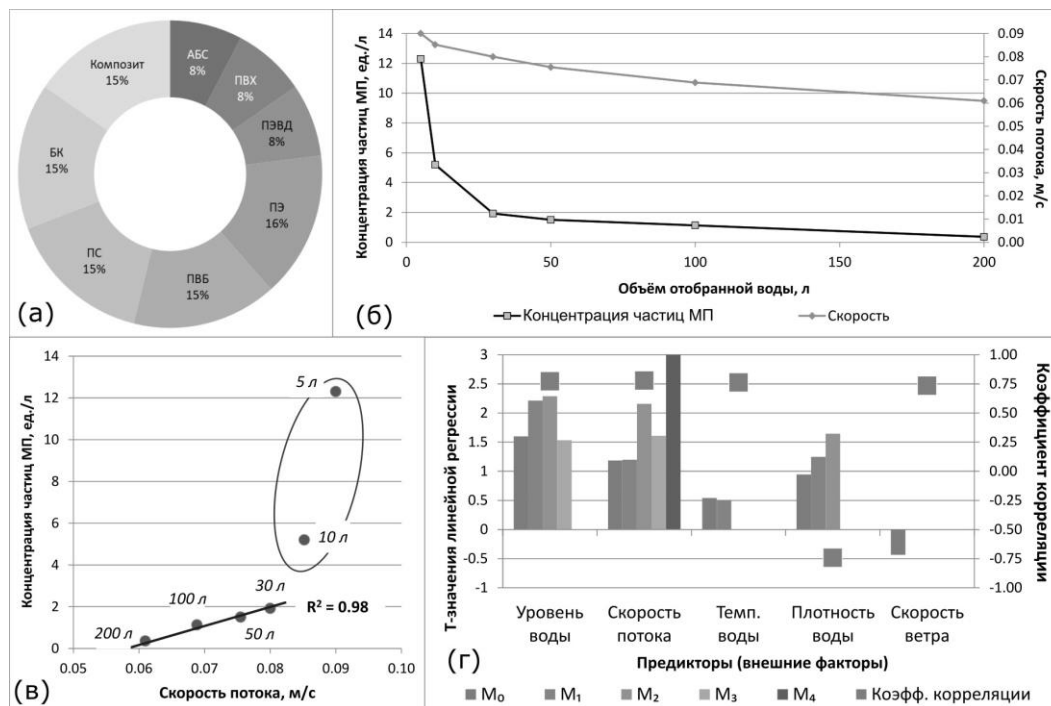
Содержание взвешенных веществ определяет основные гидрофизические характеристики и режим природных вод (мутность, прозрачность, цвет, вкус, запах). Помимо природных частиц, в водные объекты добавляются мелкие пластиковые частицы (микро- и мезопластики), которые благодаря своему небольшому весу и химической стойкости легко проникают в речные и морские экосистемы, подвергаются воздействию течений и ветра, способны перемещаться на большие расстояния и неравномерно распределяться по акватории [3, 6].

Эффективная оценка такого загрязнения возможна при понимании гидрологических характеристик водного объекта. Пространственная и временная неоднородность («пятнистость») распределения взвешенных частиц в потоке требует использования методов, способных нивелировать эту изменчивость [2]. Определение оптимального объема проб воды является важной методологической задачей при охвате эстуарной системы.

На основе опыта других авторов была разработана концепция и создана установка, названная авторами «Слоник», предназначенная для использования в мелководных водоемах. Ее назначение – фильтрация воды разных объемов (до 500 л), проходящей через каскад фильтров, расположенных в начале забора воды, для получения проб, содержащих взвешенные частицы различного происхождения, включая микропластик (МП). Конструкция и принцип работы установки описан ранее [1].

С помощью такой установки в эстуарной области р. Преголи (российская часть Юго-восточной Балтики) [4] проведен натурный эксперимент, направленный на определение оптимального объема проб воды при отборе частиц МП и выявление временной неоднородности этой зоны. Эксперимент проведен в течение дня в меняющихся внешних условиях: снижение скорости ветра и воды, уменьшение температуры воздуха, колебания уровня воды.

В фильтровальной колонне использован последовательный каскад фильтров с размерами ячеек 333, 175 и 100 мкм. Фильтрацию проводили трижды для каждого из шести контрольных объемов – 5, 10, 30, 50, 100 и 200 л. Средний расход – 8.9 л/мин.



Параметры и их взаимосвязи, описывающие распределение частиц МП в воде: распределение частиц по типу материала (а); соотношение концентрации частиц МП в воде с различными скоростями потока (б); корреляция между скоростью потока и концентрацией МП в воде (в); корреляционно-регрессионная диаграмма между концентрацией частиц МП и внешними физическими параметрами (г).

Визуальный скрининг фильтрующих мембран выполнялся с помощью визуального контроля с использованием ультрафиолетового излучения, механических испытаний, термического анализа и стереомикроскопии. Все частицы МП были идентифицированы и подсчитаны (рисунок, а).

Самое высокое среднее количество было обнаружено в 100-литровом объеме – 113 частиц, а самое низкое – в 10-литровом объеме – 52 частицы. Наибольшая концентрация наблюдалась для объемов 5 и 10 л – 12.3 и 5.2 ед./л соответственно, наименьшая для объема 200 л – 0.4 ед./л (рисунок, б).

В условиях эксперимента при небольших объемах пробы (<30 л) концентрация уменьшается на ту же величину, на которую увеличивается объем (для 5 л – 12, 10 л – 5, 30 л – 2 ед./л). При объемах отбора проб >30 л коэффициент изменяется (30 л – 2, 50 л – 1.6, 100 л – 1.2, 200 л – 0.4 ед./л) и концентрация уменьшается гораздо медленнее, чем увеличивается объем (рисунок, в).

Для оценки взаимосвязи между концентрацией МП в воде и внешними условиями попарно применялся метод параметрической статистики Пирсона для определения наличия или отсутствия линейной зависимости между показателями. Концентрация МП в воде имеет высокую корреляцию (0.7) со всеми внешними факторами.

Для оценки статистической значимости коэффициентов для факторов линейной регрессии использовался Т-критерий Стьюдента. Т-значение = 5.0 указывает на статистически значимый эффект, уменьшение Т-значения предполагает уменьшение взаимосвязей. Так, наименее важным фактором является скорость ветра, за которым следует температура воды, плотность, уровень поверхности, а наиболее значимым фактором является скорость потока воды (Т-значение = 4.48) (рисунок, г).

Эксперименты показали, что количество МП в воде меняется во времени. На это влияют природные условия, а не только объем воды, проходящей через установку. Небольшие объемы проб фиксируют только отдельные «кластеры» загрязнения, а большие интегрируют пространственную изменчивость. С учетом того, что река динамична, отбор проб в точке следует рассматривать не как «точечный», а как «линейный», например, при отборе 50–100 л вода будет поступать с расстояния 250 м.

Исследование выполнено в рамках совместного российско-иранского проекта, финансируемого РНФ (грант № 24-44-20027).

Литература

- [1] Домнин Д.А., Лобчук О.И. Разработка и применение установки отбора проб воды большого объема в природных водоемах для оценки содержания частиц микропластика // Современные методы и средства океанологических исследований: Материалы XIX Международной научно-технической конференции. М.: Изд-во Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 2025. Т. II. С. 146–150.
- [2] Чашечкин Ю.Д., Розенталь О.М. Физическая природа неоднородности состава речных вод // Доклады РАН. 2019. Т. 484, № 5. С. 605–609.
- [3] Chubarenko B.V., Esiukova E.E., Lobchuk O.I., Dvoeglazova N.V., Kilesa A.V., Radmanesh (Manbohi) A., Taheri M. Whether a non-tidal estuary produces microplastic maxima (case study of the Pregolya River, the Baltic Sea) // Marine Pollution Bulletin. 2026. V. 222. 118519. doi:10.1016/j.marpolbul.2025.118519.
- [4] Domnin D., Chubarenko B., Lewandowski A. Vistula lagoon catchment: Atlas of water use. М.: Exlibris Press, 2015. 106 p.
- [5] Junior O.C. Estuary. A systems perspective // Estuarine Management and Technologies, 2025. V. 2. P. 43–70. doi:10.3897/emt.2.158168.
- [6] Laurson S.N., Fruergaard M., Dodhia M.S. et al. Settling of buoyant microplastic in estuaries: The importance of flocculation // Science of the Total Environment. 2023. V. 886. 163976. doi:10.1016/j.scitotenv.2023.163976.

МОРСКИЕ БЕРЕГА ОСТРОВА-ВУЛКАНА ДЕСЕПШЕН (АНТАРКТИКА)

Н.Н. Дунаев, М.А. Кузнецов

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия,
dunaev@ocean.ru, KuzMiArGeo@ocean.ru

THE SEASHORES OF DECEPTION ISLAND (ANTARCTICA)

N.N. Dunaev, M.A. Kuznetsov

Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia,
dunaev@ocean.ru, KuzMiArGeo@ocean.ru

Объектом исследования выбран остров-вулкан Десепшен (Антарктика), вызывающий повышенный интерес исследователей многих научных направлений. Была выполнена экспедиционная рекогносцировка, анализ релевантной литературы, геоморфологическое дешифрирование топографических карт, космоснимков и геологического строения острова, дана характеристика его геоморфологической структуры и рельефообразующих факторов. Проведенные исследования реализованы в соответствии со «Стратегией развития деятельности Российской Федерации в Антарктике до 2030 года».

Одним из ведущих рельефообразующих процессов на острове является деятельность моря. За исключением СВ берега внешнее побережье острова почти полностью окружено уступами, преимущественно тектонического и абразионного происхождения. Формирование последних облегчается отсутствием припая в зимние месяцы. Крупные скопления плавучего льда также не задерживаются здесь на длительный срок. Следует отметить, что абразия идет более интенсивно на СЗ побережье. Это объясняется направлением господствующих ветров и, соответственно, разницей в характере волнения, обрушивающегося на островное побережье.

Выделено пять основных морфогенетических типов берегов. В целом, мористые берега острова распределяются в следующем порядке: северные и западные вулканотектонического расчленения (39.6 % всех берегов), юго-западные эрозионно-тектонические с водно-ледниковой эрозией (15.5 %), участки северо-западных и юго-восточных берегов полигенетические эндогенно-экзогенные (27.7 %), небольшие участки на востоке и северо-востоке абразионно-термоденудационные (5.8 %), расположенный между мысами Макарони и Бейли Хед северо-восточный берег протяженностью 7.2 км (11.4 %). Последний, изначально термоабразионно-аккумулятивный, к настоящему времени трансформировался в термоденудационно-аккумулятивный. Его спрямленная береговая линия дискуссионно рассматривается с тектонических и гидродинамических позиций [2].

Осадочный материал для формирования здесь берега аккумулятивного профиля поступает в основном вследствие дестабилизации исходного пористого грунта в результате оттаивания содержащегося в нем льда и перемещения его в береговую зону под воздействием склоновых процессов, главным образом солифлюкции и русловых процессов временных водотоков. Впоследствии в ходе нагонов и штормов поступивший материал размывается волнами с образованием данного типа берегов.

Воздействие морского волнения на северо-восточный берег в районе Десепшена предопределено ослабленными на контакте с островом ветрами западных и в большей мере региональных северо-восточных румбов. Ветры западных румбов хотя и ослаблены, но все же могут создавать морские волны, подходящие с косым углом к этому берегу, предопределяя некоторый вдольбереговой перенос береговых отложений в ЮВ направлении. Волны СВ направления подходят к берегу близко к нормали и с участием

Обусловленная тектоникой приглубость большинства берегов острова – основная причина отсутствия пляжей, так как обломочный материал выносится из береговой зоны в акваторию.

В развитии береговой зоны острова-вулкана Десепшен преобладает начальная стадия, когда характерны неизменные или слабо измененные морем берега. Для отдельных участков можно говорить о стадии юности, когда образуются простые волновые аккумулятивные формы – пляжи, аккумулятивные террасы, слабая абразия.

Работа выполнена в соответствии с темой госзадания ИО РАН (УГТ) – FMWE-2024-0018.

Литература

- [1] Дунаев Н.Н., Брянцева Г.В., Кузнецов М.А. Неотектоническая структура острова Десепшен (Антарктика) по результатам структурно-геоморфологического анализа // Доклады РАН. Науки о Земле. 2021. Т. 501, № 2. С. 5–13. doi:10.31857/S2686739721120045.
- [2] Fernández-Ibáñez F., Pérez-López R., Martínez-Díaz J.J., et al. Costa Recta beach, Deception Island, West Antarctica: a retreated scarp of a submarine fault? // Antarctic Science. 2005. V. 17, № 3. P. 418–426. doi:10.1017/S0954102005002827.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ХВОСТОХРАНИЛИЩА НА СОСТОЯНИЕ ПРИБРЕЖНЫХ ЛАНДШАФТОВ

Е.П. Душкин, В.В. Акулова, А.А. Юрьев

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия, dushkin@crust.irk.ru

ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF TAIL STORAGE ON THE STATE OF COASTAL LANDSCAPES

E.P. Dushkin, V.V. Akulova, A.A. Yuryev

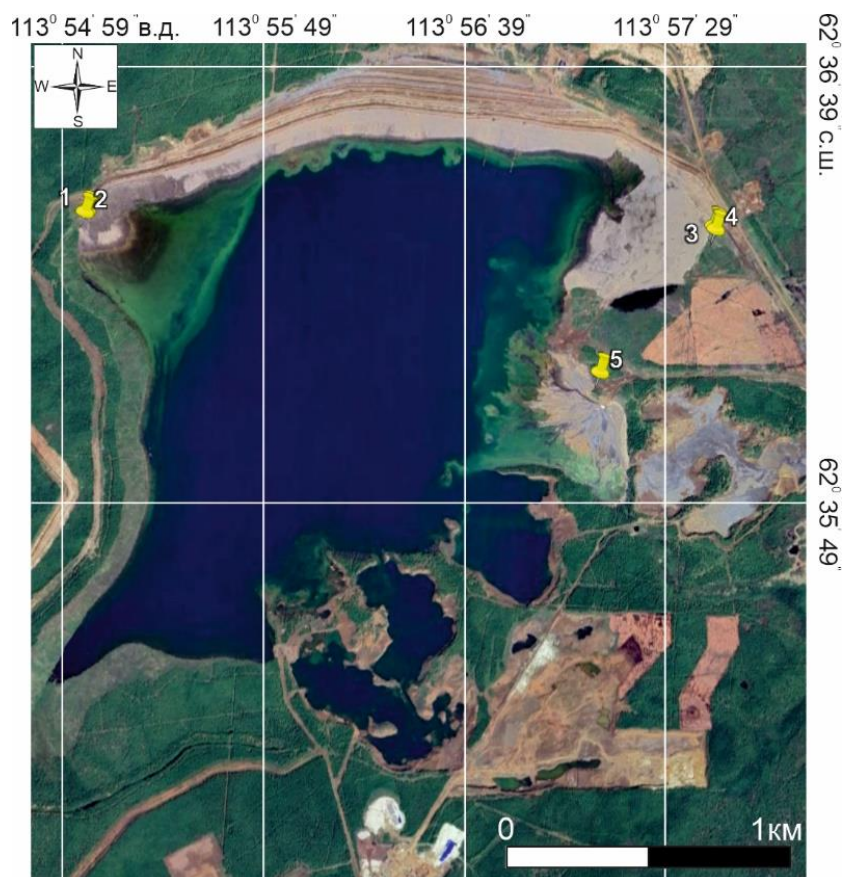
Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia, dushkin@crust.irk.ru

Хвостохранилище представляет собой сложное гидротехническое сооружение (ГТС), предназначенное для складирования хвостов (отходы обогащения полезных ископаемых). Наиболее распространённым типом таких объектов являются намывные. Их отличительные особенности – постепенное наращивание дамбы за счет материала самих хвостов и использование пульпы (неоднородная смесь воды и мелкодисперсных частиц горных пород). В структуре намывного хвостохранилища, помимо ограждающей дамбы, выделяют пляж (зона намыва), примыкающий непосредственно к дамбе, где происходит отложение наиболее крупных и тяжелых частиц, пруд – отстойник, находящийся в центральной зоне, куда попадают уже более мелкие и легкие частицы, а также ряд других инженерных элементов, обеспечивающих прием, разделение, накопление и удержание хвостов [1].

Эксплуатация ГТС в сложных геолого-структурных, гидрогеологических, геокриологических и климатических условиях требует особого внимания и контроля [2, 3]. В рамках изучения техногенных грунтов на объектах алмазодобывающей промышленности исследовалась ограждающая дамба второй очереди хвостохранилища ОФ № 3 Мирнинского ГОКа [4]. С целью оценки техногенного воздействия ГТС на прилегающие ландшафты в пределах третьей очереди (~7 км от г. Мирный) был выполнен отбор проб грунта на трех участках, расположенных на стыке природных отложений и зоны намыва (рисунок).

Установлено, что исследуемые приповерхностные отложения представлены тяжелыми супесями и легкими суглинками. Высокое содержание органического вещества (2.2–22.1 %), и значительная емкость катионного обмена (209–235 мг-экв /100 г) свидетельствуют о происходящих в них активных сорбционных процессах. Выявлено повышенное количество карбонатных солей (23–41 %) с существенным преобладанием железистых форм ($FeCO_3=20-37\%$). Зафиксирована преимущественно средняя степень засоления (1.16–1.57 %) отложений. Они характеризуются нейтральной и слабощелочной средой (pH=7.0–7.4).

Кроме этого, на границе зоны намыва отмечается ухудшение состояния растительности. Если в удаленных от пляжа зонах и на территориях со «свежими» хвостами встречается больше растений (в основном, травы и кустарники), то при приближении к зоне намыва их становится гораздо меньше, при этом увеличивается количество сухой травы и древесных остатков (коряги). Также на некоторых листьях кустарников отмечается наличие бурых пятен, отверстий и подсохших краев, что может быть связано с нестабильностью техногенного ландшафта (колебания уровня воды в хвостохранилище, открытая местность, обедненная почва).



Обзорная схема района исследований (3-я очередь хвостохранилища ОФ № 3 Мирнинского ГОКа). 1–5 – места отбора проб.

В заключении необходимо отметить, что даже при строгом контроле за состоянием окружающей среды со стороны АК «АЛРОСА» (ПАО) хвостохранилище остается мощным фактором деградации прибрежного ландшафта. Происходит постепенное засоление почв и разрушение растительных сообществ.

Работа выполнена в рамках базового бюджетного проекта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 1025022500090-2-1.5.1-1.5.1 «Палеогеография, динамика и эволюция природной среды Восточной Сибири в мезозое и кайнозое» с использованием оборудования ЦКП «Геодинамика и геохронология» Института земной коры СО РАН.

Литература

- [1] Мельников И.Т., Кутлубаев И.М., Голяк С.А., Сузов А.И., Мельников И.И., Васильев К.П. Совершенствование технологии формирования намывных хвостохранилищ // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2012. № 2. С. 11–15.
- [2] Анискин Н.А., Малаханов В.В., Антонов А.С. Анализ работы дренажной системы дамбы хвостохранилища Мирнинского ГОК // Вестник МГСУ. 2016. № 12. С. 91–102.
- [3] Дроздов А.В. Природные и техногенные резервуары промышленных стоков в криолитозоне (на примере якутской части Сибирской платформы). Якутск: ИПК СВФУ, 2011. 416 с.
- [4] Душкин Е.П., Акулова В.В., Рыбченко А.А., Янников А.М. Состояние и деформационно-прочностные свойства техногенных отложений дамбы хвостохранилища Мирнинского ГОКа как фактор ее устойчивости // Геодинамика и тектонофизика. 2025. Т. 16, №. 3. 0832.

МЕЖГОДОВАЯ И СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ПЛОЩАДЕЙ ВОДНОГО ЗЕРКАЛА СОЛЕННЫХ ОЗЕР КЕРЧЕНСКОГО ПОЛУОСТРОВА В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ

Е.С. Еремина¹, А.А. Алескерова¹, В.П. Евстигнеев², С.В. Станичный¹

¹ Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия, shchurova88@gmail.com

² Севастопольский государственный университет, Севастополь, Россия

INTERANNUAL AND SEASONAL DYNAMICS OF THE KERCH PENINSULA SALT LAKES WATER SURFACE AREA UNDER GLOBAL CLIMATE CHANGE

E.S. Eremina¹, A.A. Aleskerova¹, V.P. Evstigneev², S.V. Stanichny¹

¹ Marine Hydrophysical Institute of RAS, Sevastopol, Russia

² Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

В последние десятилетия на фоне меняющегося климата на юге России наблюдается увеличение повторяемости опасных метеорологических явлений – продолжительные атмосферные засухи сменяются интенсивными осадками. Такие экстремальные метеоусловия прямо влияют на водный баланс водных объектов, при этом наиболее уязвимы мелководные озера и лагуны, водность которых сильно зависит от изменчивости природно-климатических факторов. Целью настоящего исследования было изучить сезонную и межгодовую динамику водного зеркала соленых озер-лагуны Керченского п-ва на основе данных спутникового зондирования, с учетом влияния опасных явлений: выпадения экстремального количества осадков и продолжительных атмосферных засух.

Для исследования были выбраны четыре наиболее крупных соленых озера Керченского п-ва: Узунларское, Кояшское (Черное море), Тобечикское (Керченский пролив), Чокракское (Азовское море). Все озера морского происхождения, глубиной, не превышающей 0.5 м; наиболее крупное озеро Узунларское, его площадь составляет 21 км², самое маленькое – Кояшское, его площадь 5.4 км². Питание озер происходит за счет фильтрации морских вод через пересыпи, поступления подземных вод, атмосферных осадков и поверхностного стока. Водность озер характеризуется высокой сезонной и межгодовой изменчивостью. Наибольшая наполняемость характерна для зимы и весны, летом некоторые озера могут практически полностью пересыхать.

Для изучения изменчивости атмосферных осадков в работе использованы данные климатологического обобщения наблюдений на метеорологической станции Керчь за последние 60 лет. По результатам обобщения отмечено, что в рассматриваемом регионе летние сезоны 2024, 2010, 2018, 2007, 2016 гг. составили пятерку наиболее жарких летних сезонов за последние 60 лет. Более того, за последние 25 лет радикально изменилась повторяемость и продолжительность атмосферных засух в районе исследования. В среднем опасная атмосферная засуха продолжалась 52 дня в году. Наиболее экстремальным годом за последние 60 лет по продолжительности явлений стал 2024 г., лето 2024 г. стало самым жарким за весь период наблюдений, и была зарегистрирована самая продолжительная опасная атмосферная засуха – 88 дней. Тем не менее, по динамике атмосферных осадков наиболее засушливыми годами за исследуемый период стали 2019, 2020, 2025 гг., в эти годы недобор осадков относительно среднемноголетней нормы зафиксирован практически во все месяцы.

В работе предложен автоматический алгоритм расчета водной поверхности соленых озер по снимкам высокого разрешения Sentinel-2. Алгоритм основан на совместном

использовании спектральных индексов, охватывающих видимый ближний инфракрасный (NIR) и средний инфракрасный (SWIR) диапазон. Всего было отобрано и проанализировано 38 снимков за период 2016–2025 гг. В работе анализировались снимки за максимально полноводный период (апрель – май) и наиболее засушливые месяцы (август – сентябрь), что позволило охватить крайние состояния водного режима озер. Проведенный анализ спутниковых данных показал заметные аномалии в водности соленых озер Керченской группы в 2020, 2024, 2025 гг. Совместное использование спектральных индексов NDWI, MNDWI дает возможность надежно отделить водную поверхность от суши, а также выделить мелководные переходные зоны, формирующиеся в летний период при частичном или полном высыхании озер. Применение индексов на основе SWIR-диапазона особенно эффективно для засоленных водоемов, поскольку позволяет минимизировать ошибки, возникающие на засоленных грунтах и солевых корках, характерных для изучаемых объектов в период маловодья.

Работа выполнена в рамках госзадания FNNN-2024-0016, FNNN-2024-0012, FEFM-2024-0013.

ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ И ТИПИЗАЦИЯ БЕРЕГОВ ЕНИСЕЙСКОГО ЗАЛИВА КАРСКОГО МОРЯ И НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ ЕНИСЕЯ

А.А. Ермолов, А.И. Кизяков

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия,
ermolov@geogr.msu.ru

GEOMORPHOLOGICAL ZONING AND TYPIFICATION OF THE COASTS OF THE YENISEI BAY OF THE KARA SEA AND THE LOWER REACHES OF THE YENISEI RIVER

A.A. Ermolov, A.I. Kizyakov

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, ermolov@geogr.msu.ru

Оценка устойчивости и прогноз развития береговой зоны Енисейского залива Карского моря и нижнего течения р. Енисей являются актуальной задачей в связи с вполне определенными перспективами обустройства новых месторождений и развитием транспортной инфраструктуры. Основой таких исследований служат региональные закономерности развития рельефа и динамики рельефообразующих процессов в меняющихся условиях. С целью формирования регионального представления о геоморфологическом строении и динамике береговой зоны выполнено районирование, типизация и картографирование берегов Енисейского залива и эстуарно-дельтовой системы Енисея общей протяженностью свыше 4610 км. Масштаб исследования 1:100000–1:700000. Основу районирования составила оригинальная морфодинамическая типизация берегов, учитывающая широкий спектр факторов морфо- и литодинамики береговой зоны, в том числе специфику развития берегов дельты и нижнего течения р. Енисей. Сведения о морфологии, литологии и динамике берегов получены в результате анализа картографических, литературных и спутниковых данных.

Берега Енисейского залива сложены преимущественно многолетнемерзлыми, льдистыми, дисперсными песчано-глинистыми плиоцен-четвертичными морскими, прибрежно-морскими и континентальными отложениями, вмещающими подземные льды различных генетических типов [1, 4–6]. В пределах большей части исследуемого региона преобладают обстановки денудации и транзита. Наибольшее распространение имеют термоабразионные и абразионно-термоденудационные берега, сложенные дисперсными мерзлыми породами. Они характерны для островов Сибирякова и Оленьего, северо-западных берегов от устья р. Монгочейха до м. Песчаного, а также для побережья южнее м. Сопочная Карга.

Коренные породы в береговых уступах обнажаются только на Таймырском побережье севернее Корсаковских островов и представлены главным образом выступами складчатого раннемезозойского фундамента, а также консолидированными осадочными породами верхнего мела [3]. Здесь, в соответствии с морфоструктурными особенностями побережья преобладают абразионные и абразионно-денудационные берега, выработанные в скальных породах. Встречаются как обрывистые уступы высотой до 15–20 м, так и низкие полого наклоненные выходы раздробленных и трещиноватых коренных пород, переходящие в поверхность сильно трещиноватого бенча. Общая изрезанность побережья усиливается благодаря многочисленным бухтам, мысам, а также группам островов, самым крупным из которых является о. Диксон.

Участки современной аккумуляции локальны и приурочены к приустьевым областям средних рек и участкам с устойчивым вдольбереговым транспортом продуктов разрушения термоабразионных берегов. Влияние твердого стока р. Енисей выражено

слабо. Наиболее крупные аккумулятивные выступы берегового контура, такие как м. Сопочная Карга, Песчаный, Поеловый, Ошмарина, образованы на участках конвергенции и двусторонних миграций наносов. Дельтовые и приустьевые аккумулятивные формы выделяются в устьевых областях рек Монгочехя, Глубокая, Омудевая, Зырянка и др. В целом, ориентировка отдельных приустьевых и островных аккумулятивных форм свидетельствует о преобладающем направлении вдольбереговых потоков волновой энергии с севера на юг и общем снижении интенсивности гидрогенных процессов и по мере продвижения в глубь материка. Вместе с тем в южной части залива возрастает роль штормовых нагонов, выраженная в широком распространении отмелых и лайдовых берегов. В нижнем течении и дельте Енисея расположены многочисленные аккумулятивные острова, разделенные сетью протоков, преобладают относительно стабильные низкие берега и береговые уступы, покрытые растительностью. Эти берега затапливаются эпизодически в периоды наиболее высоких паводков и в половодье, большая их часть перекрыта склоновыми отложениями и закреплена растительным покровом, местами этот «плащ» несет следы эпизодического подрезания водами реки. Аккумулятивные берега представлены песчаными пляжами и отмелями, в том числе приустьевыми, и формируются на участках падения скоростей потока на извилистых участках, мелководьях и в устьевых областях притоков. Несмотря на общую тенденцию к аккумуляции твердого стока реки в приустьевой области, протяженность аккумулятивных берегов невелика и заметно уступает берегам относительно стабильным. Это во многом обусловлено преобладанием в твердом стоке алевритово-пелитовых частиц, осаждающихся на поверхностях поймы и выносимых в Енисейский залив. Эрозионные берега с откосами, выработанными в песчано-глинистых отложениях, имеют разнообразный морфологический облик, высоту и протяженность. Характерным является размыв основания склона в результате боковой эрозии реки и глубокие термоэрозионные ниши, перекрываемые впоследствии обвально-осыпными шлейфами. Блоковое обрушение рыхлых отложений на залесенных участках вызывает подмыв и падение деревьев, что увеличивает объемы выносимого в Енисейский залив плавника.

Разработанные карты типов берегов отражают многообразие геоморфологических и литодинамических условий побережья и могут рассматриваться как основа комплексного управления и планирования хозяйственной деятельности, проведения научных исследований и инженерных изысканий для строительства. При оценке устойчивости и разработке прогноза развития береговой зоны особое внимание должно уделяться росту показателей гидрометеорологического потенциала термоабразии берегов в регионе [2]. Другой важной особенностью является высокая пространственная и временная изменчивость интенсивности рельефообразующих процессов, обусловленная, прежде всего, неравномерной льдистостью отложений, слагающих берега.

Материалы публикации подготовлены в рамках выполнения работ по госбюджетной теме лаборатории геоэкологии севера географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова «Проблемы освоения Арктической зоны РФ: опасные экзогенные процессы и риски природопользования (госзадание)».

Литература

- [1] Баранская А.В., Романенко Ф.А., Арсланов Х.А., Петров А.Ю., Максимов Ф.Е., Пушина З.В., Тихонов А.Н., Демидов Н.Э. Верхнечетвертичные отложения Гыдана и арктических островов: реконструкция относительного уровня Карского моря за последние 50 тысяч лет // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2018. № 6. С. 56–71.
- [2] Ермолов А.А., Кажукало Г.А., Огородов С.А., Прядилина А.В., Шабанова Н.Н. Морфология и динамика берегов Обской губы Карского моря // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2026. Т. 81, № 1. С. 74–87. doi:10.55959/MSU0579-9414.5.81.1.7.
- [3] Гусев Е.А. Неотектонические нарушения новейшего чехла в районе Енисейского залива Карского моря // Проблемы Арктики и Антарктики. 2015. № 3(105). С. 5–14.
- [4] Гусев Е.А., Кузнецов А.Б., Куприянова Н.В., Пушина З.В., Степанова Г.В., Деревянко Л.Г., Аникина Н.Ю., Четверова В.А., Яржембовский Я.Д., Крылов А.В. Эоплейстоценовые отложения гыданского побережья Енисейского залива (север Западной Сибири) // Проблемы Арктики и Антарктики. 2017. № 2. С. 5–14. doi:10.30758/0555-2648-2017-0-2-5-14.

- [5] Стрелецкая И.Д., Гусев Е.А., Васильев А.А., Облогов Г.Е., Аникина Н.Ю., Арсланов Х.А., Деревянко Л.Г., Пушина З.В. Геокриологическое строение четвертичных отложений берегов Западного Таймыра // Криосфера Земли. 2013. Т. 17, № 3. С. 17–26.
- [6] *Streletskaya I.D., Vasiliev A.A., Oblogov G.E.* Ground Ice and Landforms of the Yenisei Gulf Coastal Plains and Adjacent Parts of the Byrranga Mountains // *Doklady Earth Sciences*. 2026. V. 525, № 53. P. 1–14. doi:10.1134/S1028334X25609332.

ГЕОМОРФОЛОГИЯ И ДИНАМИКА БЕРЕГОВ И ДНА ОБСКОЙ ГУБЫ КАРСКОГО МОРЯ

**А.А. Ермолов, С.А. Огородов, Г.А. Кажукало,
А.В. Прядилина, Н.Н. Шабанова**

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия,
ermolov@geogr.msu.ru

GEOMORPHOLOGY AND DYNAMICS OF THE COASTS AND BOTTOM OF THE OB BAY OF THE KARA SEA

**A.A. Ermolov, S.A. Ogorodov, G.A. Kazhukalo,
A.V. Pryadilina, N.N. Shabanova**

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, ermolov@geogr.msu.ru

Обская губа Карского моря представляет собой эстуарий, вдающийся в сушу более чем на 800 км и сохранивший в рельефе дна фрагменты затопленной и частично переработанной в ходе послеледниковой трансгрессии древней долины р. Оби, сочетающиеся с более мелкими формами субаквального и субаэрального генезиса. В течение девяти месяцев в году акватория Обской губы покрыта льдом. Высота волн в летне-осенний период обычно не превышает 1–2 м, на выходе в открытое море достигает 3–4 м. 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 м.

Особенностью рельефа прибрежных территорий Обской губы является ступенчатое строение поверхности. Эта черта сформировалась в позднечетвертичное время на регрессивном этапе развития шельфа Карского моря [1] и в последующем была осложнена деятельностью экзогенных процессов, интенсивность которых определялась особенностями неотектонического развития. На побережье господствует верхнеплейстоценовая (казанцевская) морская равнина, комплекс верхнеплейстоценовых лагунно-морских террас, а также современные лагунно-морская и пойменная террасы.

Берега Обской губы сложены многолетнемерзлыми, льдистыми, песчано-глинистыми отложениями. Криогенное строение донных осадков изучено крайне слабо и фрагментарно. Известно, что в пределах акватории кровля многолетнемерзлых пород погружается с удалением от берега и на глубинах воды 1–2 м залегает на 3–6 м ниже поверхности дна, а на глубинах воды 2–5 м погружена до 10 м и более [3]. Сплошность вдольбереговых зон распространения многолетнемерзлых пород может нарушаться таликами, образовавшимися напротив устьев впадающих (впадавших) в губу рек [5].

С целью создания региональной характеристики геоморфологического строения и динамики берегов и дна, а также оценки степени природного риска развития опасных береговых процессов выполнено районирование, типизация и картографирование берегов Обской губы в масштабе 1:1000000. Комплексный геоморфологический анализ проводился с использованием материалов экспедиционных исследований авторов, литературных, картографических и спутниковых данных, имеющихся фотоматериалов. При разработке типизации учитывались существующие классификации берегов региона, особенности морфологии, динамики и современных условий формирования рельефа береговой зоны мелководного залива. Всего выделено пять типов берегов, распространение и протяженность которых весьма неравномерны [2].

Термоабразионные берега развиты на участках выхода к урезу разновысотных террас верхнеплейстоцен-голоценового возраста, сложенных песчано-глинистыми отложениями. Береговая линия характеризуется выровненным в плане контуром, высота уступов варьируется от 1–15 до 35–50 м, крутизна – от 35–70° до отвесных и нависающих. Пляжи, как правило, узкие при значительных по ширине осушках. Нередко наблюдаются глинистые бенчи шириной до 30–50 м, перекрытые чехлом склоновых отложений. Низкие уступы на западном берегу южной части Обской губы, выработанные в мерзлых торфах, характеризуются отсутствием пляжей и неровным, извилистым в плане, контуром береговой линии.

Абразионно-термоденудационные берега выделяются преимущественно на Гыданском и Тазовском полуостровах на участках выхода к морю верхнеплейстоценовой равнины высотой до 40–60 м. Разрушение происходит за счет комплекса термоденудационных, склоновых и эрозионных процессов, обуславливающих сложную морфологию и ступенчатый профиль склонов, изобилующих разнообразными формами протаивания и оползания льдистых толщ. Смещение материала ведет к выполаживанию склонов, крутизна которых редко превышает 15–30°.

Аккумулятивные пляжевые берега с приливными осушками характеризуются выровненным контуром береговой линии, развитием баров, кос и серий подводных валов. Самые крупные аккумулятивные формы сформированы на западном берегу губы и приурочены к приустьевым областям рек и дистальным оконечностям литодинамических систем с устойчивым вдольбереговым транспортом наносов. На восточном побережье берега этого типа более выровнены и распространены в основном в приустьевых областях рек, как например, в районе рек Лайяха, Хэмпаята.

Аккумулятивные лайдовые и бухтовые берега развиты на западном побережье на отмелях участках с небольшими уклонами подводного склона. Преимущественно неволновая аккумуляция выражается в отсутствии широких пляжей, берегового бара и штормовых валов. Контур береговой линии, в отличие от пляжевых берегов, имеет сложную конфигурацию. Низкие аккумулятивные поверхности лайд имеют несколько высотных уровней при ширине до 0.5–0.8 км и затапливаются в штормовые нагоны редкой повторяемости. На отдельных участках лайды, как и аккумулятивные берега, подвержены размыву [6].

Дельтовые берега с развитыми приустьевыми аккумулятивными формами характерны для внешнего края устьевых областей рек со значительным притоком аллювиального материала. Нередко формируются осушки шириной до 0.3–0.6 км, отмели (авандельты) и островные бары, а береговая линия этих районов имеет сложный изрезанный контур. Крупнейшим районом распространения этих берегов является дельта р. Оби, а также устьевые области рек Тамбей, Паютаяха, Лайяха, Пясядэйяха, Яраяха.

Выполненный анализ природных условий и факторов развития береговой зоны, пространственного размещения и геоморфологического строения различных типов берегов подтвердил отмечавшуюся ранее [4] тенденцию к снижению интенсивности гидрогенных процессов по мере продвижения в глубь материка и различия в динамике западного и восточного берега Обской губы. Временной анализ изменчивости гидрометеорологических параметров выявил устойчивую тенденцию к потеплению в регионе и росту основных показателей гидрометеорологического потенциала термоабразии берегов, рассчитанного для пяти ключевых участков Обской губы [2]. Установлено, что за последние четыре десятилетия сумма положительных температур (индекс таяния), продолжительность безледного периода и энергия ветровых волн выросли от 1.5 до 2.0 раз. В результате имеет место ускорение темпов отступления термоабразионных берегов, зафиксированы многочисленные факты начала разрушения ранее стабильных низких аккумулятивных берегов.

Материалы публикации подготовлены в рамках выполнения работ по госбюджетной теме лаборатории геоэкологии севера географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова «Проблемы освоения Арктической зоны РФ: опасные экзогенные процессы и риски природопользования (госзадание)».

Литература

- [1] Ермолов А.А., Кажукало Г.А., Носков А.И., Огородов С.А. Рельеф дна Обской губы Карского моря // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2024. Т. 79, № 1. С. 89–102. doi:10.55959/MSU0579-9414.5.79.1.7.
- [2] Ермолов А.А., Кажукало Г.А., Огородов С.А., Прядлина А.В., Шабанова Н.Н. Морфология и динамика берегов Обской губы Карского моря // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2026. Т. 81, № 1. С. 74–87. doi:10.55959/MSU0579-9414.5.81.1.7.
- [3] Кокин О.В., Цвецинский А.С. Геокриологическое строение подводного берегового склона Обской губы в зоне контакта с припаем // Вести газовой науки. 2013. № 3 (14). С. 67–69.
- [4] Попов Б.А., Совершаев В.А., Новиков В.Н., Бирюков В.Ю., Камалов А.М., Федорова Е.В. Береговая зона морей Печорско-Карского региона // Исследование устойчивости геосистем севера / Ред. В.И. Соломатин. М.: Изд-во МГУ, 1988. С. 176–190.
- [5] Рокос С.И., Костин Д.А., Куликов С.Н. Субаквальные многолетнемерзлые породы Обской и Тазовской губ Карского моря // Криосфера Земли. 2019. Т. XXIII, № 5. С. 17–26.
- [6] Романенко Ф.А., Баранская А.В., Ермолов А.А., Кокин О.В. Низкие берега западно-арктических морей: происхождение, возраст и современная динамика // Вопросы географии. Сборник 140: Современная геоморфология / Ред. В.М. Котляков. М.: Издательский дом Кодекс, 2015. С. 275–306.

КАЧЕСТВЕННО-КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ ПОДХОД К ОХРАНЕ И РАЦИОНАЛЬНОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ПРИБРЕЖНЫХ МАКРОФИТНЫХ ЭКОСИСТЕМ

В.А. Жигульский, В.Ф. Шуйский, Е.Ю. Чебыкина

ООО «Эко-Экспресс-Сервис», Санкт-Петербург, Россия, ecoplus@ecoexp.ru

A QUALITATIVE AND QUANTITATIVE APPROACH TO THE PROTECTION AND RATIONAL USE OF COASTAL MACROPHYTE THICKET ECOSYSTEMS

V.A. Zhigulsky, V.F. Shuisky, E.Yu. Chebykina

Eco-Express-Service LLC, St. Petersburg, Russia, ecoplus@ecoexp.ru

Экосистемы макрофитных зарослей относятся к наиболее важным и разносторонне ценным экосистемам береговых зон [1]. Они отличаются высоким биоразнообразием, обеспечивают условия для размножения и миграционных стоянок птиц, для нереста и развития ранней молоди рыб фитофильных видов, участвуют в самоочищении вод, армируют берега и т.д. Но они же и наиболее привлекательны для многопланового хозяйственного освоения и рекреации, что нередко порождает конфликты интересов различных хозяйствующих субъектов, природоохранных структур и местного населения. Таким образом, необходим объективный метод сравнительной оценки экологической ценности макрофитных экосистем, позволяющий принимать взвешенные управленческие решения по оптимальному сочетанию их охраны и рационального использования.

Разработка такого метода выполнена в рамках научно-исследовательской программы «Плавни Невской губы», инициированной и выполненной Санкт-Петербургской негосударственной научной организацией «Эко-Экспресс-Сервис» в 2016–2022 гг. В Невской губе и сопредельной акватории изучались макрофитные зарослевые экосистемы («плавни») различного возраста и генезиса под разным уровнем воздействия гидротехнических работ. Сеть эталонных участков плавней была подобрана так, чтобы соответствующие им значения указанных факторов распределились в их гиперпространстве достаточно равномерно. Ежегодно весной, летом и осенью проводился комплексный экологический мониторинг (аэрофотосъемка и натурные исследования) эталонных участков с определением индикационных признаков, характеризующих сообщества макрофитов, приуроченные к ним миграционные процессы и размножение птиц, нерест и нагул ранней молоди фитофильных видов рыб, характеристики фито- и зоопланктона, макрозообентоса, воды и донных грунтов.

По итогам наблюдений были отобраны и протестированы наиболее информативные индикаторы локальной экологической ценности различных участков плавней. Критериями сравнительной оценки информативности показателей являлась, во-первых, мера их смысловой значимости для общей оценки «экосистемных услуг», во-вторых, мера их вариабельности в Невской губе и сопредельной акватории, отражающая чувствительность показателя. Таким образом, наиболее информативными оказались около 30 показателей: характеристики самой водной растительности и ее использования фитофильными видами рыб и водоплавающими и околоводными птицами. Для результирующей же оценки предложены, испытаны и сопоставлены четыре варианта сводных индексов, объединяющих значения индикаторных характеристик, единообразно нормализованных по пятибалльной шкале (с учетом степени их информативности и чувствительности; с учетом только информативности или только чувствительности; без учета обеих указанных особенностей). При этом выяснилось, что сочетанный учет информативности и чувствительности показателей в их сводной оценке обеспечивает ее

точность на 26 % больше, чем при их игнорировании. Самый упрощенный сводный показатель – средняя арифметическая балльных оценок по всем признакам без учета их сравнительной диагностической ценности – может использоваться для предварительной экспресс-оценки. Однако для наиболее точной итоговой оценки целесообразно все же применять модификацию индекса, учитывающую степень и информативности, и чувствительности его компонентов.

Оказалось, что наиболее ценными являются макрофитные заросли, «старовозрастные» (существующие более 45 лет) и «средневозрастные» (20–45 лет), причем вторые более пластичны, продуктивны, репаративны и устойчивы к техногенным воздействиям. У более молодых зарослей «экосистемные услуги» временно ограничены: для раскрытия их потенциала требуется 10–15 лет сукцессии. В целом, техногенез обеспечивает достаточно полноценное самовосстановление нарушенных макрофитных зарослевых экосистем.

Разработанный метод комплексной оценки экологической ценности плавней дает обоснованный количественный подход к адресному выбору режима их охраны и использования и может быть рекомендован к достаточно широкому использованию при минимальной необходимой адаптации его к конкретной региональной специфике.

Кроме того, в ходе выполнения программы «Плавни Невской губы»:

1) создан кадастр плавней Невской губы различного состава, возраста и происхождения с характеристиками их экологической ценности. Составлена и прошла государственную регистрацию в Роспатенте база данных, включающая результаты выполнения программы: «Жигульский В.А. и др. Экосистемы плавней Невской губы Финского залива // Свидетельство о регистрации базы данных RU 2020622106, 29.10.2020. Заявка № 2020621978 от 20.10.2020»;

2) подробно разработана методология и методы мониторинга экосистем макрофитных зарослей с использованием аэрофотосъемки;

3) выполнен количественный учет ресурсов основных массивов плавней Невской губы, определена ценность экосистем, результаты картированы, даны рекомендации по оптимальному использованию и охране плавней;

4) итоги реализации программы используются как природоохранными органами (НЛБВУ, СЗТУ Росрыболовства), так и экологически ответственными природопользователями при разработке, корректировке и оценке природоохранной проектной документации с учетом созданных сводных карт экологической ценности и экосистемных услуг плавней. Выделен ряд их уникальных участков, требующих особой охраны и максимального вывода из-под антропогенного воздействия;

5) полученные результаты представлены в серии тематических научных публикаций, в том числе в коллективной монографии [2], свободно доступной на сайте компании: <https://ecoexp.ru/nauchno-issledovatel'skaya-deyatelnost/>.

Работа выполнена по инициативе и на средства ООО «Эко-Экспресс-Сервис».

Литература

- [1] *Экосистема эстуария реки Невы: биологическое разнообразие и экологические проблемы* / Ред. А.Ф. Алимов, С.М. Голубков. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. 477 с.
- [2] *Жигульский В.А., Шуйский В.Ф., Чебыкина Е.Ю., Федоров В.А., Паничев В.В., Успенский А.А., Жигульская Д.В., Былина Т.С., Бульшева М.М., Бульшева А.М.* Плавни Невской губы. Научно-исследовательская программа. Итоги I этапа. СПб.: «Реноме», 2020. 304 с.

ДИНАМИКА НИЗКИХ БЕРЕГОВ КРИОЛИТОЗОНЫ ПО ДАННЫМ ДЗЗ: СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИНДИКАТОРОВ БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ

Г.А. Кажукало, А.В. Прядилина, С.А. Огородов

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия,
kazhukalo@geogr.msu.ru

DYNAMICS OF THE PERMAFROST LOW-LYING COASTS USING REMOTE SENSING DATA: A COMPARISON OF SHORELINE PROXIES

G.A. Kazhukalo, A.V. Priadilina, S.A. Ogorodov

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, kazhukalo@geogr.msu.ru

Выбор индикатора береговой линии ("shoreline proxy") имеет определяющее значение при анализе динамики берегов с помощью разновременных аэро- и космических снимков. При этом векторизация береговой линии может быть проведена множеством способов в зависимости от задач исследования, типа берега и гидродинамических особенностей акватории [1, 2]. В отличие от термоабразионных берегов, где в качестве «прокси» береговой линии используется бровка уступа размыва, положение береговой линии низких берегов (лайд, барьерных форм) при отсутствии четкого перегиба поперечного профиля (уступа размыва, подножья авандюны и т.д.) является более дискуссионным и насчитывает более десяти интерпретаций [1]. Цель настоящего исследования – сравнение репрезентативности индикаторов береговой линии на низких берегах криолитозоны при оценке динамики берегов с помощью данных дистанционного зондирования Земли.

В качестве ключевого участка был выбран о. Песяков Печорского моря, представляющий собой типичную для западного сектора российской Арктики барьерно-лагунную систему. Геоморфологическое строение подобного типа берега обуславливает высокую вариативность при выборе индикатора береговой линии. Величина приливно-отливных колебаний в районе работ составляет 1.1 м, что в условиях малых уклонов подводного берегового склона создает дополнительную неопределенность при оценке динамики берега. Широкое распространение берегов со схожим геоморфологическим строением, развивающихся в сопоставимых микроприливных условиях, позволяет заключить, что выбранный участок является достаточно репрезентативным для Баренцево-Карского региона.

В пределах мористого берега о. Песяков можно выделить по меньшей мере три «прокси» береговой линии. Положение линии уреза (уровень воды на момент съемки, O) возможно определить автоматическими методами, однако данный индикатор береговой линии в наибольшей степени подвержен колебаниям уровня моря из-за приливно-отливного воздействия и ветроволновых условий в момент съемки. Для ее выделения на современном мультиспектральном снимке рассчитывался индекс NDWI (по формуле: $NDWI = (Green - NIR) / (Green + NIR)$), а для архивной аэросъемки проводилась автоматическая кластеризация (Iso Cluster Unsupervised Classification). Тыловые береговые линии, такие как положение бровки уступа авандюны или граница растительности (D), в многолетнем масштабе наиболее точно фиксируют эрозионную тенденцию берега [1], однако в изучаемой береговой зоне дешифрируются не на всех временных срезах. Положение линии максимальной высоты заплеска (W), в свою очередь, уверенно дешифрируется по светотону или цвету (wet\dry line), позволяя отделить регулярно затопляемый приливами и ветровыми волнами пляж от более стабильного участка. Данная

береговая линия часто используется в качестве основной для приливных морей [1] за счет меньшей подверженности суточным колебаниям их уровня.

Таким образом, были приняты три индикатора динамики берегов, оценка которых проводилась по построенным трансектам (поперечным профилям) с интервалом 50 м. Динамика береговой линии по индикаторам (*O*) и (*W*) получена для четырех временных срезов (1961–1977, 1977–1986, 1986–2018 и общий, 1961–2018), тогда как (*D*) дешифрируется лишь за период 1977–2018 гг. В качестве основной метрики скорости был использован end-point-rate (EPR, м/год), определяемый как соотношение расстояния между двумя береговыми линиями и временного промежутка между ними.

Установлено, что наибольшие скорости размыва характерны для бровки авандюны (*D*), которая является наиболее репрезентативной для многолетних оценок. Расчет коэффициента ранговой корреляции Спирмена характеризует высокую сходимость ($r=0.74$, $p<0.05$) оценок скорости размыва между линией максимального заплеска (*W*) и бровкой авандюны (*D*) при попарном сравнении по трансектам. Несоответствия в тренде размыва или аккумуляции по данным индикаторам наблюдаются лишь в дистальных оконечностях барьерной системы. Линия уреза воды (*O*) описывает наименьшие среднемноголетние темпы отступления, а также характеризуется высокой временной изменчивостью. За отдельные временные срезы пиковые скорости размыва или аккумуляции превышают 5 м/год, что не характерно для оценок по иным индикаторам. Таким образом, линия максимального заплеска (*W*) является репрезентативной для оценки долгосрочного тренда размыва низких берегов и может быть использована при отсутствии более надежных (выраженных в рельефе) индикаторов береговой линии.

Сравнение динамики берегов (1977–2018 гг.) по различным индикаторам

Период	Бровка авандюны (<i>D</i>)	Максимальный заплеск (<i>W</i>)	Урез (<i>O</i>)
Средняя скорость (м/год)	–0.61	–0.51	–
Максимальная (м/год)	2.24	1.94	1.84
Минимальная (м/год)	–2.63	–1.9	–
Доля отступающих берегов* (%)	66.4	69.5	53.5
Средняя скорость отступающих (м/г)	–1.08	–0.74	–
Доля выдвигающихся берегов* (%)	24.7	14.2	20.3
Средняя скорость выдвигающихся (м/г)	0.81	0.39	0.47

П р и м е ч а н и е. * – представлены доли статистически значимо отступающих / выдвигающихся берегов с учетом погрешности привязки.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, проект № 23-67-10006 «Запасы и динамика «голубого углерода» в береговой зоне морей западного сектора Российской Арктики».

Литература

- [1] Boak E.H., Turner I.L. Shoreline Definition and Detection: A Review // Journal of Coastal Research. 2005. V. 2005, № 21. P. 688–703. doi:10.2112/03-0071.1.
- [2] Pollard J.A., Spencer T., Brooks S.M. et al. Understanding spatio-temporal barrier dynamics through the use of multiple shoreline proxies // Geomorphology. 2020. V. 354. P. 107058. doi:10.1016/j.geomorph.2020.107058.

БЕРЕГОВЫЕ ЗОНЫ СИБИРСКИХ ВОДОХРАНИЛИЩ КАК ИСТОЧНИК ПАЛЕОНТОЛОГИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

А.М. Клементьев

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия, klem-al@bk.ru

COASTAL ZONES OF SIBERIAN RESERVOIRS AS A SUPPLIER OF PALEONTOLOGICAL MATERIAL

A.M. Klementiev

Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia,
klem-al@bk.ru

В результате сооружения гидроэнергокомплексов на Ангаре и Енисее возникли огромные водные резервуары. Экзогенное воздействие водных масс на берега несет в основном разрушительный характер, имеющий отрицательные последствия для хозяйственной деятельности (обвалы, оползни, карстовые провалы и пр.) [7, 13, 15, 18]. В то же время интенсивные береговые процессы обеспечивают «свежесть» геологических обнажений, в том числе четвертичного возраста. Четвертичные осадочные толщи несут в себе перманентно захороненные остатки крупных и мелких млекопитающих. Благодаря волноприбойной деятельности водохранилищ (далее – вдхр) эти палеонтологические материалы концентрируются на береговых отмелях. Сборы таких материалов предоставляют палеонтологические сведения о составе ископаемых фаун, зоогеографических особенностях фаунистических группировок разных геологических эпох и географических местностей, а также уникальные экземпляры редких ископаемых животных. Систематический мониторинг береговых пляжей и обнажений позволяет проследить костеносность четвертичных отложений, выявить перспективность их стратиграфического расчленения [3, 10, 11, 21]. В последнее десятилетие такие работы проводились на Братском и Красноярском вдхр. Это позволило выявить обычные и редкие виды нижнего, среднего и позднего плейстоцена для отдельных местонахождений ископаемой фауны, а также экстраполировать их приуроченность к отдельным стратиграфическим подразделениям четвертичной толщи отложений.

Впервые палеонтологические сборы на пляжных участках Игетейского участка (Братское вдхр) осуществляла сотрудница Института земной коры СО РАН А.А. Хамзина в составе археологических экспедиций в 1980-х гг. К сожалению, эти сборы не сохранились. В начале 1990-х гг. подъемные сборы четвертичной фауны на участке Озерная Баля (Братское вдхр) осуществлялись геологом ВостСибНИИГТИМСа А.Г. Филипповым. Эти сборы частично сохранились в коллекциях ИГУ и ЛИН СО РАН. С 2007 г. автором периодически осуществлялись подъемные сборы костных остатков на пляжах Братского (Метляевский, Балаганский, Малышовский, Усть-Удинский участки, Рассвет) [4] и Иркутского (Новоразводная, Ерши) вдхр. Благодаря энтузиазму С.Г. Аржанникова многочисленные материалы были получены с Первомайского участка Унгинского залива Братского вдхр в 2007, 2016–18 гг. В 2016 г. были возобновлены сборы костных остатков на участке Озерная Баля.

На Красноярском вдхр сборы осуществлялись Северо-Азиатской археологической экспедицией ИИФиФ СО АН СССР с 1989 г. Частично они сохранились в коллекциях КГПУ и ЗИН РАН и были обработаны по систематическому принципу [1, 2, 8, 16, 17, 19, 20 и др.]. В течение второго десятилетия XXI в. костеносные пляжи Куртакского и других участков Красноярского вдхр интенсивно осваивались сибирскими косторезами. В основном эти материалы осели в частных коллекциях, и лишь единичные образцы поступили в распоряжение исследователей четвертичной фауны [5, 9, 12]. С 2023 г. ведется

весенний мониторинг пляжей Куртакского участка с поиском и подробной фиксацией палеонтологического материала [14].

В результате палеонтологических исследований на Братском вдхр были обнаружены редкие виды крупных млекопитающих – пещерный лев, лошадь Оводова, снежный баран. Костное вещество этих находок имеет типичный позднеплейстоценовый тип сохранности. Исследования пляжей Куртакского участка Красноярского вдхр показали большее разнообразие типов сохранности костного вещества и таксономическое разнообразие фауны [6]. Среди редких находок коллектированы остатки мелкого волка, древнего слона, очень крупной лошади (ранний плейстоцен), малого (русского) пещерного медведя, крупной пещерной кошки, древней газели (средний плейстоцен), бурого медведя, пещерной гиены, мелкой россомахи, лошади Оводова, большерогого оленя (поздний плейстоцен).

Литература

- [1] Васильев С.К., Оводов Н.Д. Бизоны (*Bison priscus* Vojanus, 1827) позднего плейстоцена Алтая и юга Средней Сибири // Енисейская провинция. Альманах. Красноярск: КККМ, 2009. Вып. 4. С. 77–90.
- [2] Васильев С.К., Оводов Н.Д. Благородный олень (*Cervus elaphus* cf. *sibiricus*) в позднем плейстоцене и голоцене юга Западной и Средней Сибири // Зоологический журнал. 2013. Т. 92, № 9. С. 1031–1045.
- [3] Дроздов Н.И., Чеха В.П., Хазартс П. Геоморфология и четвертичные отложения Куртакского георхеологического района (Северо-Минусинская впадина). Красноярск: КГПУ им. В.П. Астафьева, 2005. 112 с.
- [4] Клементьев А.М. Остатки крупных млекопитающих с Братского водохранилища (Унга-Осинское расширение): предварительные данные // Енисейская провинция. Альманах. Вып. 4. Красноярск: КККМ, 2009. С. 91–102.
- [5] Клементьев А.М., Лаптенков В.В. Древнейшие носороги Куртака (Красноярское водохранилище) // Палеонтология, стратиграфия и палеогеография мезозоя и кайнозоя boreальных районов: Материалы научной онлайн-сессии, посвященной 110-летию со дня рождения чл.-корр. АН СССР В.Н. Сакса. Новосибирск: ИНГТ СО РАН, 2021. С. 291–298.
- [6] Клементьев А.М., Филатов Е. А., Глушкова Н.В. Тафономия и анализ распределения костных остатков в пределах Бережековского участка Куртакского археологического района, Красноярский край, Средняя Сибирь // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2026. № 2. (в печати).
- [7] Кусковский В.С., Подлипский Ю.И., Савкин В.М., Широков В.М. Формирование берегов Красноярского водохранилища. Новосибирск: Наука, 1974. 235 с.
- [8] Маликов Д.Г. Новые материалы по малому пещерному медведю *Ursus rossicus* Borissiak, 1930 среднего неоплейстоцена Куртакского археологического района // Амурский зоологический журнал. 2018. Т. X (I). С. 80–87.
- [9] Маликов Д.Г., Бондарев А.А. Первая находка винторогой антилопы *Spirocerus* cf. *wongi* на территории Минусинской котловины // Фундаментальная и прикладная палеонтология: Материалы LXIV сессии ПО при РАН. СПб.: ВСЕГЕИ, 2018. С. 209–210.
- [10] Медведев Г.И., Бердников М.А., Федоренко А.Б. Некоторые аспекты изучения докерамических местонахождений Ангаро-Осинского района (Южное Приангарье) // Палеоэтнологические исследования на юге Средней Сибири: Сборник научных трудов. Иркутск: Изд-во ИГУ, 1991. С. 5–14.
- [11] Михаревич М.В., Шпанский А.В. Проблемы возрастной и генетической диагностики четвертичных отложений в долине среднего течения р. Енисей (Енисей-Нижнеангарский стратиграфический район и район Минусинских котловин) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2021. № 10с. С. 57–67.
- [12] Оводов Н.Д., Тарасов А.Ю. Большая кошка (*Panthera* sp.) и малый пещерный медведь (*Ursus rossicus*) в Сибири // Енисейская провинция. Альманах. Вып. 4. Красноярск: КККМ, 2009. С. 129–135.
- [13] Овчинников Г.И., Карнаухова Г.А. Прибрежные наносы и донные отложения Братского водохранилища. Новосибирск: Наука, 1985. 69 с.
- [14] Филатов Е.А., Клементьев А.М., Джуманов А.Т. Новый этап исследований Куртакского археологического района (Средний Енисей) // Актуальная археология 7: Материалы международной научной конференции молодых ученых. СПб.: ИИМК РАН, 2024. С. 120–123.
- [15] Ямских Г.А., Кожуховский А.В., Марусин К.В., Федорова Е.А. Прогноз переформирования береговой зоны Красноярского водохранилища в районе поселка Куртак // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2019. Т. 29, Вып. 2. С. 267–278.

- [16] *Baryshnikov G., Foronova I.* Pleistocene small cave bear (*Ursus rossicus*) from the South Siberia, Russia // *Cadernos Lab. Xeoloxico de Laxe Coruna*. 2001. V. 26. P. 373–398.
- [17] *Foronova I.V.* Late quaternary equids (genus *Equus*) of South-western and South-central Siberia. In: *Equids in Time and Space, ICAZ 9*. Oxford: OxbowBooks, 2006. P. 20–30.
- [18] *Mazaeva O.A., Yuriev A.A., Babicheva V.A.* UAV Aerial Survey in Monitoring of Coastal Geosystems in the Southern Irkutsk Amphitheatre // *Geodynamics & Tectonophysics*. 2023. V. 14, № 6. 0734. doi:10.5800/GT-2023-14-6-0734.
- [19] *Motuzko A., Oreshnikov I.* Equus ex gr. germanicus-gallicus as the main object of Paleolithic man hunting on the territory of Derbino archeological area // *Suyanggae and her neighbours. Prehistoric migrations in Eurasia and America: The XIIth International Symposium*. Krasnoyarsk: KSPU, 2010. P. 162–166.
- [20] *Sotnikova M.V., Foronova I.V.* First Asian record of *Panthera (Leo) fossilis* (Mammalia, Carnivora, Felidae) in the Early Pleistocene of Western Siberia, Russia // *Integrative Zoology*. 2014. V. 9, № 4. P. 517–530. doi:10.1111/1749-4877.12082
- [21] *Zander A., Frechen M., Zykina V., Boenigk W.* Luminescence chronology of the Upper Pleistocene loess record at Kurtak in Middle Siberia // *Quaternary Science Reviews*. 2003. V. 22. P. 999–1010. doi:10.1016/S0277-3791(03)00034-9.

ФОРМИРОВАНИЕ ПЕСЧАНЫХ ВАЛОВ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ НЕЛИНЕЙНЫХ СВОЙСТВ ВОЛН

Д.В. Корзинин, М.Н. Штремель

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия, korzinin@ocean.ru

FORMATION OF SAND BARS UNDER THE INFLUENCE OF NONLINEAR PROPERTIES OF WAVES

D.V. Korzinin, M.N. Shtremel

Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, korzinin@ocean.ru

Подводные валы являются наиболее важной частью морфодинамики аккумулятивного песчаного берега. Наиболее распространенный случай – внешняя и внутренняя система подводных валов. Внешний, наиболее крупный, вал часто имеет вдольбереговую ориентацию и тенденцию к смещению в сторону берега за счет волнового переноса, а также может эволюционировать в трехмерный, т.е. серповидный вал. Интерес представляет то, как волновой климат предопределяет положение внешнего вала на морской границе береговой зоны.

Одна из теорий, объясняющих возникновение подводных валов, основывается на появлении градиента расхода наносов, связанного с изменением симметрии формы волны и придонных волновых скоростей. Причиной этих изменений является обмен энергией между основной и высшими кратными гармониками на промежуточной глубине [1]. Ранее было показано, что наибольшая волновая компонента транспорта наносов располагается в ближайшей к берегу точке максимума амплитуды второй гармоники волнового движения, где сдвиг фаз между гармониками равен нулю, т.е. волны симметричны относительно вертикальной оси [2]. Данная точка (L_M) располагается на расстоянии в 1.5 длины пространственного периода обмена энергией между гармониками (L_b). Значение L_b рассчитывается по формуле:

$$L_b = \frac{2\pi}{\Delta k}, \quad \Delta k = 2k_1 - k_2, \quad (1)$$

где k_1, k_2 – волновые числа первой и второй кратных гармоник, которые могут быть определены исходя из фундаментального дисперсионного соотношения линейной теории волн.

Исследуется два береговых участка, сложенных песчаными осадками, для которых были получены разновременные данные о рельефе – Анапская пересыпь (северо-восточная часть Черного моря) и п. Шкорпиловицы (побережье Болгарии, западная часть Черного моря). Волновые режимы оценивались с помощью ежечасных данных реанализа волнения ERA5 Европейского центра среднесрочных прогнозов (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts – ECMWF*) за 30-ти летний период (1992–2021 гг.).

Каждый из береговых участков был охарактеризован по динамической классификации аккумулятивных берегов на основе усредненного за многолетний период параметра Дина [3]:

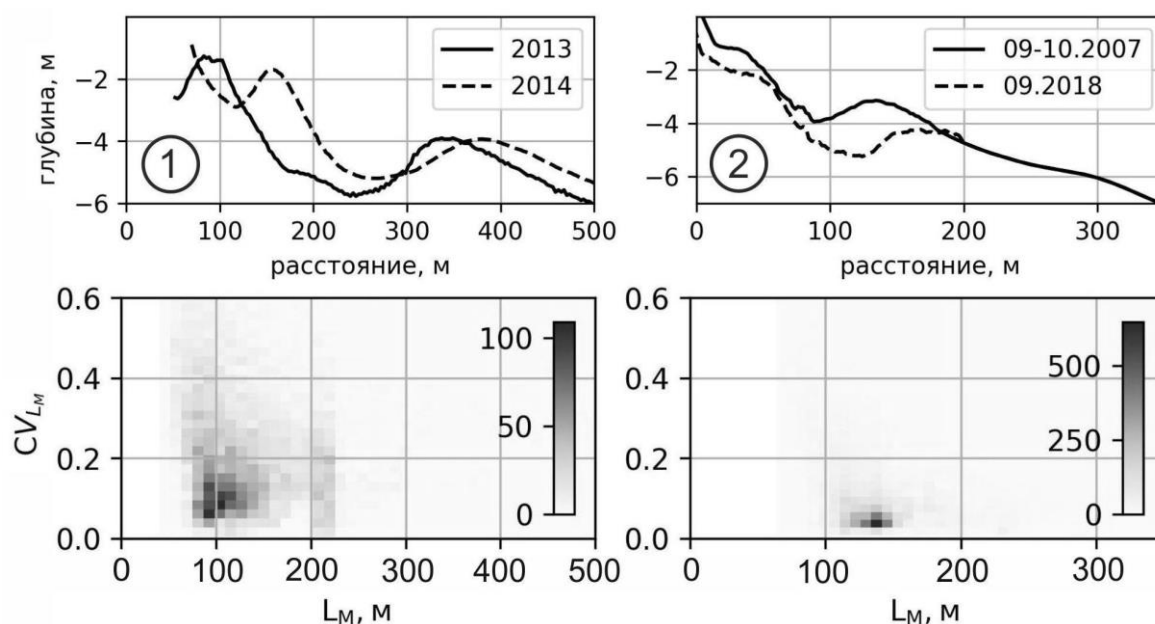
$$\Omega = \frac{H_b}{w_s T_p}, \quad (2)$$

где H_b – высота волн при обрушении, w_s – гидравлическая крупность, T_p – пиковый период волн. Среднее значение параметра Дина $\bar{\Omega}$ для всего исследуемого ряда данных характеризует данный берег в аспекте преобладающих процессов – диссипации и отражения волновой энергии. Согласно расчету параметра Дина, берег Анапской пересыпи от-

носится к сильно диссипативному типу ($\bar{Q}=12$) и согласно динамической классификации аккумулятивных берегов [3] является наиболее устойчивым к штормовому воздействию. Берег в районе п. Шкорпиловицы является типичным промежуточным берегом ($\bar{Q}=3$) и, согласно [3], характеризуется наибольшей изменчивостью. Полученные характеристики подтверждаются измерениями. Зона внешнего подводного вала на Анапской пересыпи достаточно устойчива – вал может смещаться как в сторону моря, так и в сторону берега, но в целом является относительно стабильным образованием. В свою очередь береговой профиль в районе п. Шкорпиловицы наиболее изменчив, и может заметно трансформироваться за отдельный шторм.

Для оценки стационарности метрики L_M определен коэффициент вариации (CV_{L_M}), представляющий собой отношение среднеквадратичного отклонения L_M в пределах условного расчетного «окна» (15 ч) к его среднему значению. Анализировались волновые режимы, которые относятся к сильным штормам, т.е. превышают перцентиль 95 % для анализируемого ряда значений H_s .

Для каждого из береговых участков был выполнен анализ повторяемости значений L_M для выделенных штормовых режимов вдоль профиля в совокупности со значениями CV_{L_M} (рисунок). Согласно представленным результатам наибольшее количество значений L_M для берегового участка Анапской пересыпи приурочено к внутреннему валу, а для берегового участка п. Шкорпиловицы – к гребню внешнего вала. Для всех случаев значения CV_{L_M} в указанных областях минимальны (не более 0.2), т.е. данные волновые режимы относительно стабильны на рассматриваемом промежутке времени (15 ч), что способствует эффективной переработке рельефа и формированию квазиравновесного берегового профиля.



Характерные береговые профили (вверху) и двумерные гистограммы совместного распределения пар значений L_M и CV_{L_M} для исследуемых береговых участков (1 – Анапская пересыпь, 2 – п. Шкорпиловицы). Градиентная шкала отражает количество случаев.

Согласно представленным результатам на сильно диссипативном берегу с небольшим уклоном формирование подводного вала происходит за пределами зоны статистического максимума значений L_M . По всей видимости, формирование вала происходит при редких штормах, для которых значение L_M близко к 300–400 м. Эту особенность можно связать со значением уклона берегового профиля – на более отлогом профиле Анапской пересыпи волновая энергия диссипирует постепенно и зона активного противотечения смещается дальше от берега [4]. Соответственно, волновой перенос, направленный в сторону берега, компенсируется противотечением на относительно больших расстояниях от берега ($L_M > 300$ м). Это приводит к градиенту расхода и формированию

подводного вала. Для участка п. Шкорпиловицы зона активного противотечения располагается ближе к берегу, в области статистического максимума значений L_M , где и происходит формирование подводного вала. Таким образом, у предложенного подхода есть ограничения, – в частности данный метод не является эффективным для сильно диссипативных берегов, т.е. берегов, которые характеризуются относительно небольшим уклоном берегового профиля и высокими значениями \bar{L} .

Литература

- [1] *Boczar-Karakiewicz B., Davidson-Arnott R.* Nearshore Bar Formation by Non-Linear Wave Processes – A Comparison of Model Results and Field Data // *Marine Geology*. 1987. V. 77, № 3–4. P. 287–304.
- [2] *Saprykina Y.V., Shtremel M.N., Kuznetsov S.Y.* On the possibility of biphasе parametrization for wave transformation in the coastal zone // *Oceanology*. 2017. V. 57, № 2. P. 253–64. doi:10.1134/S0001437016060126.
- [3] *Wright L.D., Short A.D.* Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis // *Marine Geology*. 1984. V. 56. P. 93–118. doi:10.1016/0025-3227(84)90008-2.
- [4] *Faria A.F.G., Thornton E.B., Lippmann T.C., Stanton T.P.* Undertow over a barred beach // *Journal of Geophysical Research*. 2000. V. 105, № C7. P. 16999–17010. doi:10.1029/2000JC900084.

ИМПУЛЬСНО-ДОПЛЕРОВСКИЙ РАДАР КАК ПЕРЕДОВАЯ СИСТЕМА ОБНАРУЖЕНИЯ И ОПОВЕЩЕНИЯ О БЫСТРОМ ДВИЖЕНИИ МАСС: 16 ЛЕТ ОПЫТА

Р. Кошуч

IBTP Koschuch, Langeegg 31, 8463 Leutschach, Austria

PULSE DOPPLER RADAR AS THE STATE OF THE ART DETECTION SYSTEM FOR FAST MASS MOVEMENT MONITORING AND ALARMING; 16 YEARS OF EXPERIENCE

R. Koschuch

IBTP Koschuch, Langeegg 31, 8463 Leutschach, Austria

Because rock-falls, debris flows and avalanches occur spontaneously, rapid response is essential. For investigation and detection of such fast mass movements in cost regions, a reliable monitoring system is required. Key parameters for detecting and characterizing such movements are volume, mass and velocity. Pulse Doppler RADAR technology provides highly accurate velocity measurements and the RADAR cross-section for a given wavelength depends on object size, material properties, and the incident and scattering angles; this cross-section determines the scattered intensity, making reflected intensity an intrinsic parameter of the moving volume. Thus, RADAR technology can measure both magnitude (via reflected intensity/cross-section) and velocity (via Doppler shift). Similar systems have been applied in snow-avalanche research since the early 1980s (H. Gubler, SLF; later TU Graz/BFLW Innsbruck; NGI; most recently University College London), but have generally remained at the prototype stage. Since 2010 IBTP Koschuch developed together with HS Hochfrequenztechnik a Pulse Doppler Radar for Natural Hazard detection and have brought and established it to the market. Other companies like Geopraevent, Gravimon or Cautus Geo followed later with their own products and now the radar technology represents the state of the art technology for detection of fast natural hazards.

The used Pulse Doppler RADAR operates according to the principle of the coherent pulse Doppler RADAR. A high-frequency generator produces a signal in the X-band (10.425 GHz) [3]. The used frequency is far away of the absorption line of water, which is 22.235 GHz. Therefore, the frequency is a compromise of low absorption cross-section, high reflection cross-section and attenuation in air to detect wet moving objects. The signal itself is pulse-modulated in a high-frequency switch, amplified to an output power of about 5 W and radiated from a parabolic antenna to the detection area. The reflected beam from the illuminated area passes the parabolic antenna again and goes through the receiver. There, the signal is sampled and converted by an analog-digital converter. Afterwards, a digital signal processor processes the raw data from the signal. This data are streamed via Ethernet to a second computer that allows to editing them or the data are processed with alerting software in order to produce possible alerts.

Figure shows the illumination of a mountain slope with a pulse-shaped electromagnetic wave packet limited to discrete steps in time in Umhausen /Tirol Austria. The maximal detection range in heavy weather condition for a moving object with a 1 m² radar cross-section is about 2000 m. The range is divided in 15–250 m long range gates and for each range gate a velocity intensity spectrum is obtained every 1/3 of a second. This spectrum is very characteristic for each different moving objects like avalanches, debris flow, river flow rain or single moving objects like people or vehicles. The alarming software can easily distinguish between them and can calculate the main interesting parameters.

The experience over 16 years now, with more than 30 RADAR installed, showed the enormous potential of the presented RADAR technology in use as an independent warning and monitoring system in the field of natural hazards in an impressive manner. The results proof, that not only avalanches and fluvial natural hazard processes can clearly and reliably be detected, but the RADAR can also be used as an accurate monitoring system for water level changes and flow volumes as well and with an additional antenna, looking upward in the sky, it is also possible to use the system as a local Rain-RADAR, which detect and quantify heavy rainfalls in a monitored catchment.



Installed RADAR-System (smaller picture) with 2 antennas and solar power supply in Umhausen/Tirol Austria and view from the RADAR-system with monitored area subdivided in range gates.

The high frequency RADAR device was already successfully tested in different projects (for snow avalanches: evaluation project Sedrun/Switzerland [1], pilot installation Ischgl/Austria [2], for debris flows: Pians/Austria [2]; pilot installation with test wise operative integration in the ÖBB alarming system (ÖBB-ASFINAG-FFG Project VIF2011-Naturgefahrenradar [4]) and was than established in worldwide 30 projects in different setups. Several scientific papers are published in reviewed journals and conference contributions [5–8].

Thus, with just one system you get following functions:

- Alarming system for avalanches, debris flows, floods
- Monitoring system for heavy rainfalls, water levels, flow volumes, rockfall and people entering a dangerous area

One further main advantage is, that for the installation of the RADAR only a mast and a power supply of 40 Watt is necessary, which can be installed even in the restricted places in one day.

References

- [1] *Lussi D., Schoch M., Meier L., Rüschi M.* Projekt Lawinendetektion Schlussbericht, WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, 2012.
- [2] *Kogelnig A., Wyssen S., Pichler J.* Artificial release and detection of avalanches: Managing avalanche risk on traffic infrastructures, a case study from Austria, Congress contribution ISSW, 2012.
- [3] *Koschuch R., Jocham P., Hübl J.* One Year Use of High-Frequency RADAR Technology in Alpine Mass Movement Monitoring: Principles and Performance for Torrential Activities // Engineering Geology for Society and Territory: Conference paper. Cham: Springer, 2015. P. 69–72. doi:10.1007/978-3-319-09054-2_14.
- [4] *Hübl J., Pichler J., Jocham P., Koschuch R.* Automatische Detektion alpiner Massenbewegungen mittels Hochfrequenzradartechnik; Naturgefahren-Radar; Abschlußbericht // ASST '87 6. Aachener Symposium für Signaltheorie: Conference paper. Berlin: Springer, 2014. P. 176–180. doi:10.1007/978-3-642-73015-3_33.

- [5] Schimmel A., Hübl J., Koschuch R., Reiweger I. Automatic detection of avalanches: evaluation of three different approaches // *Natural Hazards*. 2017. V. 87. P. 83–102. doi:10.1007/s11069-017-2754-1
- [6] Hübl J., Schimmel A., Koschuch R. Monitoring of Debris Flows with an Improved System Setup at the Lattenbach Catchment, Austria // *Advancing Culture of Living with Landslides: Conference Paper*. Cham: Springer, 2017. P. 449–457. doi:10.1007/978-3-319-53485-5_53.
- [7] Schöffl T., Koschuch R., Jocham P., Agerer H., Hübl J. Automatisierte Alarmierung vor Stein- und Blockschlag auf der Bodenalpe. *Article WLV Journal*. 2021.
- [8] Schöffl T., Nagl G., Koschuch R., Schreiber H., Hübl J., Kaitna R. A Perspective of Surge Dynamics in Natural Debris Flows Through Pulse-Doppler Radar Observations. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*. 2025. V. 28, N^o9. e2023JF007171. doi:10.1029/2023JF007171.

ХАРАКТЕРИСТИКА РЕЛЬЕФА БАКАЛЬСКОЙ БАНКИ

В.В. Крыленко, М.В. Крыленко

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия, krylenko.slava@gmail.com

CHARACTERISTIC OF THE RELIEF OF THE BAKALSKAYA BANK

V.V. Krylenko, M.V. Krylenko

Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia,
krylenko.slava@gmail.com

Бакальская коса расположена на СЗ побережье Крымского п-ова и литодинамически связана с Бакальской банкой, протянувшейся поперек Каркинитского залива Черного моря. В пределах банки и на прилегающем дне ранее были выявлены [3–5] разнообразные формы рельефа, анализ генезиса и динамики которых представлен в настоящей работе.

Западная, древняя генерация Бакальской банки, следуя контуру изобат, плавно загибается к СЗ и почти достигает северного берега Каркинитского залива. Восточная, молодая генерация, ориентирована параллельно оси древней, но не достигает берега залива, хорошо прослеживается ее оконечность, сформированная направленными на север потоками наносов. На юге тела реликтовой и современной аккумулятивных форм соприкасаются, между ними прослеживается ложбина с пологими бортами шириной от 1 км на юге до 2 и более км на севере, где они окончательно расходятся. Наличие ложбины и тот факт, что современная банка вблизи оконечности отделена от древней участком ровного дна, указывает на разные условия формирования. Древняя банка образовалась при низких отметках уровня моря как замыкающая форма с преобладанием поперечного движения наносов, современная банка образовалась как свободная форма с преобладанием продольного движения наносов.

Наименьшие глубины вдоль продольной оси молодой генерации Бакальской банки составляют 4–5, реликтовой 6–8 м. Генеральный поперечный профиль современной и северного отрезка реликтовой банок асимметричный: западный склон пологий, восточный край крутой, его превышение над прилегающим дном залива составляет 5.0–8.5 м. Поперечное строение банки отражает общую тенденцию к движению наносов на восток под действием мощных [3] волнений З-ЮЗ направлений. Материал банки по своему составу отличен от материала Бакальской косы: на восточном крутом склоне залегают плохо сортированные наносы из песка со слабоокатанной крупной толсто-стенной ракушкой [2], имеющей следы длительного пребывания на дне. Поскольку эти наносы не были принесены с косы и не могли быть образованы на месте, наиболее вероятный способ их поступления на восточный край банки – это перемещение вверх по западному пологому склону на гребень банки и сваливание вниз по крутому восточному склону.

Поверхность современной и древней генерации Бакальской банки осложнена вторичными формами мезорельефа, образующимися под действием разнонаправленных движений водных масс. Вдоль оси современной Бакальской банки и на северном участке реликтовой расположены отмели, имеющие каплевидную или дуговидную форму. Несмотря на то, что генеральный поток наносов определяется мощным волнением западных румбов и направлен на восток, конфигурация отмелей указывает на наличие течений, направленных на запад. Поскольку волны В-СВ направлений [1] не могут перемещать наносы на таких глубинах, динамику отмелей определяют движения водных масс иной природы. Вероятно, над Бакальской банкой могут наблюдаться

компенсационные течения, формирующиеся в придонных слоях восточной части Каркинитского залива при действии волн З-ЮЗ направлений. Кроме того, при восточных ветрах могут наблюдаться направленные на запад сгонные течения. Наконец, могут образовываться течения при разности плотностей водных масс восточной и западной части залива. При прохождении над гребнем Бакальской банки упомянутые выше течения формируют характерную конфигурацию отмелей.

Выявлена система субпараллельных прямолинейных ложбин и разделяющих их гребней, покрывающих поверхность древней части Бакальской банки. Протяженность ложбин не менее 5–6 км, они ориентированы по нормали к продольной оси банки. Превышение гребней над дном ложбин, в зависимости от участка, составляет от 1.0 до 1.5 м. Ширина ложбин, также в зависимости от участка, составляет от 50 до 150 м. Характеристики выявленных форм позволяют предположить их эрозионное происхождение. Древнее аккумулятивное тело сложено уплотненными песками с примесью гальки и ракуши. Под действием направленных на запад придонных течений в древних прибрежно-морских отложениях сформировались постепенно удлиняющиеся эрозионные врезы. Относительная стационарность течений, сравнительно высокая устойчивость и гомогенность донных отложений способствуют регулярности в пространственном расположении, сходству морфометрических характеристик, стабильности образовавшихся форм рельефа. При сравнении космических снимков периода 2016–2025 гг. не отмечено существенных изменений в пространственной структуре указанных форм, в отличие от быстро меняющих конфигурацию отмелей. Извлеченный в ходе эрозии материал впоследствии подхватывается крупными волнами западных румбов и выносится к восточному краю современной банки.

Исследование выполнено за счет гранта РФФИ 25-17-00104, <https://rscf.ru/project/25-17-00104/>.

Литература

- [1] Дивинский Б.В. Гидродинамические условия вод в районе Бакальской косы // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2018. № 4. С. 1–39.
- [2] Зенкович В.П. Берега Черного и Азовского морей. М.: Государственное издательство географической литературы, 1958. 374 с.
- [3] Крыленко В.В., Крыленко М.В., Алейников А.А. Исследование подводного рельефа Бакальской банки по данным космических снимков SENTINEL-2 // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2019. № 2. С. 30–39.
- [4] Руднев В.И. Особенности рельефа дна прибрежной зоны Бакальской косы // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2018. № 4. С. 15–21.
- [5] Krylenko V., Aleinikov A., Krylenko M., Beliaeva N., Moiseeva N. Possibility of the underwater topography studying of large accumulative forms according to Sentinel-2 data // Proceedings of the seventh international conference on remote sensing and geoinformation of the environment. Paphos, Cyprus, 2019. V. 11174. P. 111741. doi:10.1117/12.2532292.

ДИНАМИКА БЕРЕГОВ КОСЫ КАМЫШЕВАТСКОЙ

М.В. Крыленко, В.В. Крыленко

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия, krylenko@mail.ru

COASTAL DYNAMICS OF THE KAMYSHEVATSKAYA SPIT

M.V. Krylenko, V.V. Krylenko

Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Коса Камышеватская является крупной (около 7 км) морской береговой аккумулятивной формой восточной части Азовского моря, которая с юга примыкает к коренным берегам Ейского п-ова абразионно-обвального типа, сложенным лессовидными суглинками, подстилаемыми скифскими глинами [2]. Ширина косы в корневой части 4 км, большую часть (80–95 %) объема отложений надводной части косы составляет ракуша и ракушечный детрит. Подводный склон отмельный, с уклонами в пределах 0.001–0.1.

Исследование динамики береговой линии косы Камышеватской проводилось на основе анализа картографических (начиная с 1702 г.) и литературных источников, натуральных данных, материалов дистанционного зондирования (архивные космические снимки 1960–1980 гг. [8], отдельных снимков высокого разрешения периода 2000–2026 гг., данных Sentinel-2 [6, 7]).

Современная коса Камышеватская состоит из прикорневой реликтовой аккумулятивной террасы, активного морского берегового вала, активной дистальной нарастающей части, а также сложной системы вытянутых полуостровов, островов и отмелей на месте отмерших дистальных частей разного возраста.

Основой рельефа прикорневой части косы является мощный береговой вал (бар). Динамика бара характеризуется его смещением в СВ направлении и продвижением на лагунную часть косы. Скорость смещения бара определяется скоростью размыва коренного берега, которая зависит от интенсивности и направления волнового воздействия. Периоды 1980–2002 и 2006–2010 гг. охарактеризованы снижением темпов абразии, а 2003–2006 и 2010–2014 гг. – ее интенсификацией [1, 3, 4]. По данным авторов, коренной берег к северо-западу от косы за 55 лет отступил на 145 м, средняя скорость отступления составила 2.6 м/год. В Ясенском заливе к востоку от косы отступление берега составило 80 м со скоростью 1.5 м/год.

Средние скорости не отражают реальную динамику развития абразионного берега. Его активное разрушение происходит преимущественно во время сильных штормов – в 1992 и 2007; 2013–2014 гг. во время штормов абразионные берега отступали на 3–6 м, на отдельных участках отмечались еще большие величины [3, 4]. При этом в межштормовой период берег может быть стабилен несколько лет.

Рельеф дистальной части представлен системой береговых валов (0.5–1.5 м) и понижений (–0.2 до 0.5 м). Многолетняя динамика дистальной части сложная, ее характерной чертой является периодическое резкое изменение направления и скорости роста. Характерный раздвоенный дистальный вал на карте Черноморья 1857 г. [5] позволил оценить периодичность образования новых дистальных оконечностей за последние два столетия: с 1857 по 1969 гг. выдвигание дистали в среднем за год составило около 8 м, в период с 1969 по 2010 гг. – 18 м, а с 2010 по 2025 гг. – 44 м. Таким образом, развитие косы Камышеватской носит циклический характер, что указывает на периодическое изменение одного или нескольких действующих факторов, вероятно, флуктуаций объема и направления вдольберегового перемещения наносов. Отметим, что частота указанных циклов возрастает.

В 2015 г. начала формироваться новая дистальная оконечность, длина которой быстро превысила 2 км. В последующее время изменения ограничиваются частыми перестройками оконечности новой дистали: увеличением и сокращением длины, образованием и закрытием промоин, появлением и исчезновением дистальных отростков (дзэндзиков).

Исследование выполнено за счет гранта РНФ 25-17-00104, <https://rscf.ru/project/25-17-00104/>.

Литература

- [1] Беспалова Л.А., Цыганкова А.Е. Абразионные процессы и их последствия // Труды Южного научного центра РАН. 2020. Т. 8. С. 97–110. doi:10.23885/1993-6621-2020-8-97-110.
- [2] Мамыкина В.А., Хрусталева Ю.П. Береговая зона Азовского моря. Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ, 1980. 176 с.
- [3] Матишов Г.Г., Беспалова Л.А., Ивлиева О.В. Азовское море: современные абразионные процессы и проблемы берегозащиты // Доклады РАН. 2016. Т. 47, № 4. С. 483–486. doi:10.7868/S086956521634020X.
- [4] Скрипка Г.И., Косолапов А.Е., Беспалова Л.А., Ивлиева О.В. Мониторинг опасных экзогенных процессов в береговой зоне Азовского моря с применением данных дистанционного зондирования и ГИС-технологий // Водные ресурсы: новые вызовы и пути решения: Сборник научных трудов. 2017. С. 531–536.
- [5] Etomesto (Maps). URL: http://www.etomesto.com/map-kuban_1857-1858/ (дата обращения: 12.12.2023).
- [6] MultiSpectral Instrument (MSI). URL: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2/instrument-payload> (дата обращения: 12.12.2023).
- [7] Sentinel Online technical website. URL: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/technical-guides/sentinel-2-msi/level-1c/product-formatting> (дата обращения: 12.12.2023).
- [8] U.S. Department of the Interior U.S. Geological Survey (USGS). URL: <http://earthexplorer.usgs.gov> (дата обращения: 01.02.2024).

ЗАТУХАНИЕ ВОЛНОВЫХ ДВИЖЕНИЙ С ГЛУБИНОЙ В БЕРЕГОВОЙ ЗОНЕ МОРЯ

С.Ю. Кузнецов, Я.В. Сапрыкина, М.Н. Штремель

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия, kuznetsov@ocean.ru,
saprykina@ocean.ru, shtremel@ocean.ru

ATTENUATION OF WAVE MOTION WITH DEPTH IN THE COASTAL ZONE

S.Yu. Kuznetsov, Ya.V. Saprykina, M.N. Stremel

Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia,
kuznetsov@ocean.ru, saprykina@ocean.ru, shtremel@ocean.ru

Волны являются основными факторами, определяющими динамику шельфа и прибрежных зон, поэтому в последнее время во всем мире большое внимание уделяется глобальным мониторинговым измерениям волновых полей с использованием дистанционного зондирования, лидаров и спутниковых технологий. Однако для решения локальных задач широко используются более простые методы измерения волн с применением датчиков давления и подводных измерителей тока. Согласно линейной теории волн, измеренные скорости и давление могут быть пересчитаны в высоты свободной поверхности и по отношению друг к другу с использованием дисперсионного соотношения линейной волновой теории. Это позволяет, например, измерять высоты свободной поверхности и на их основе получать значения скоростей на различных уровнях. Более практический интерес представляет определение высоты свободной поверхности (волн) по данным давления, поскольку манометры проще устанавливать для измерений. Точность, с которой записи орбитальных скоростей волн получаются на основе измеренных высот свободной поверхности, очень важна, поскольку перенос наносов в прибрежных зонах определяется асимметрией придонных скоростей волн. Во время нелинейных волновых преобразований возникает множество высших волновых гармоник. Генерируемая вторая гармоника не удовлетворяет дисперсионному соотношению линейной теории. Это приводит к одновременному возникновению волн с разными волновыми номерами на одной и той же частоте. Этот парадокс известен как одновременное существование свободных и связанных волн [1]. Многие исследователи отмечали, что передаточная функция для получения записей скорости по высотам свободной поверхности для вторых гармоник отличается от линейной теории. Однако детального изучения вклада свободной и связанной волновых составляющих в скорости и давление в аспекте их взаимосвязи с высотой свободной поверхности и изменением с глубиной не проводилось, поэтому основной целью нашей работы является изучение взаимосвязи между высотами свободной поверхности и измерениями орбитальной скорости на различных расстояниях от дна с использованием данных лабораторных экспериментов и численного моделирования для оценки вклада свободных и связанных волн.

Лабораторные эксперименты проводились в волновых лотках Йылдызского Технического Университета (Стамбул, Турция) и консалтинговой компании «Гидротехника» (Сочи, Россия). Волновые каналы имели 20 м в длину, 1 м в ширину и 1 м в глубину. Волны измерения проводились с помощью струнных волнографов емкостного типа. Для измерения 3D-колебаний скорости воды использовался акустический профилограф Vetrino высокого разрешения (Nortek). Для детального изучения взаимосвязи между высотами свободной поверхности и скоростью было проведено численное моделирование с использованием модели SWASH. Использовались методы взаимного спектрального анализа. Описание экспериментов приведено в работе [2].

Анализ экспериментальных и модельных данных показывает, что одновременное существование свободных и связанных волн, наряду с различием в законах их затухания и неизвестным законом затухания связанных гармоник с глубиной, может быть причиной неточного получения скорости на разных глубинах по высоте свободной поверхности. Однако с учетом затухания высших гармоник с глубиной, их вклад в восстановленные скорости будет уменьшаться, что позволяет использовать линейную теорию для описания поля скоростей вблизи дна. Следует отметить, что в случае восстановления высот свободной поверхности по записям давления на дне с использованием теории линейных волн могут возникать большие ошибки из-за незнания закона затухания связанных волн и пренебрежения совместным вкладом свободных и связанных волн. Для точного преобразования высоты свободной поверхности в скорость, давление и наоборот, необходима дальнейшая разработка полностью нелинейной теории волн на конечной глубине. Кроме того, передаточная функция также демонстрирует пространственные флуктуации, связанные с изменениями волнового числа из-за нелинейных процессов.

Литература

- [1] *Kuznetsov S., Saprykina Y. Nonlinear Wave Transformation in Coastal Zone: Free and Bound Waves // Fluids. 2021. V. 6, № 10. P. 347. doi:10.3390/fluids6100347.*
- [2] *Saprykina Y., Kuznetsov S., Aydogan B., Ayat B., Shtremel M. Differing Aspects of Free and Bound Waves in Obtaining Orbital Velocities from Surface Wave Records // Journal of Marine Science and Engineering. 2023. V. 11, № 8. 1479. doi:10.3390/jmse11081479.*

МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ УВЛАЖНЕНИЯ БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ РЕКИ ИРТЫШ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ ИНДЕКСОВ

А.А. Кусаинова

Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан,
aimarh@mail.ru

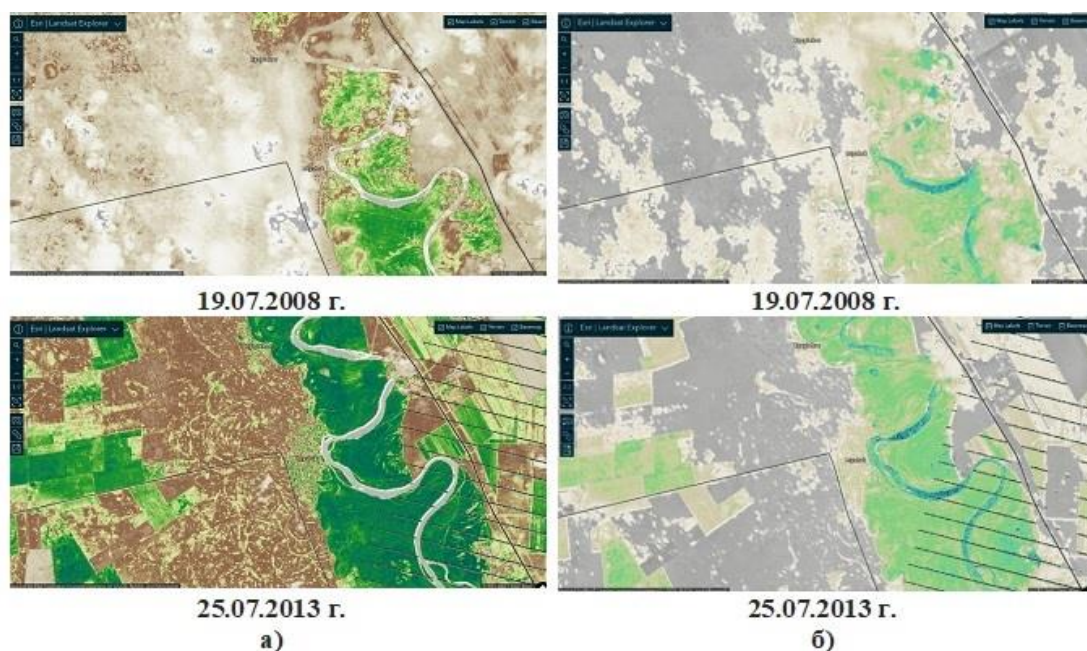
MONITORING THE MOISTURE CONDITION OF THE IRTYSH RIVER COASTAL ZONE BASED ON SATELLITE INDICES

A.A. Kusainova

Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan, aimarh@mail.ru

В условиях усиливающейся климатической нестабильности и возрастающего антропогенного воздействия на водные системы особую значимость приобретает оценка состояния прибрежных территорий крупных рек. Береговые экосистемы выполняют регуляторные, средообразующие и защитные функции, обеспечивая поддержание гидрологического баланса, стабилизацию почвенного покрова и сохранение растительных сообществ. Изменения уровня увлажнения в пределах береговой зоны являются индикатором трансформации природных процессов, отражая динамику водного режима, степень деградации ландшафтов и устойчивость экосистем к внешним воздействиям.

Река Иртыш относится к числу крупнейших трансграничных водотоков Евразии и играет стратегическую роль в обеспечении водными ресурсами промышленных, сельскохозяйственных и населенных территорий. Современные гидрологические изменения, выражающиеся в колебаниях уровня воды, перераспределении стока и изменении продолжительности паводковых периодов, оказывают непосредственное влияние на состояние прибрежной растительности и влажность почв. В этой связи возрастает потребность в систематическом пространственном анализе процессов увлажнения береговой полосы [2].



Распределение влажности растительного покрова на основе индекса NDVI (а) и увлажнения береговой зоны р. Иртыш на основе индекса NDMI (б).

Основным источником информации для исследования послужили спутниковые изображения, снятые в засушливом месяце (июль 2008, 2012 гг.) и наиболее увлажненном месяце (июль 1993, 2013 гг.). Для количественного анализа применялись спектральные индексы NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) и NDMI (Normalized Difference Moisture Index). Индекс NDVI использовался для оценки плотности и биомассы растительного покрова, позволяя выявлять зоны деградации и восстановления растительности [3, 6]. Индекс NDMI обеспечивал определение содержания влаги в растительном и почвенном покрове, что позволяло выявлять участки с повышенной или пониженной увлажненностью прибрежной зоны р. Иртыш. Спутниковые изображения были получены в приложении *Landsat Explorer* в среде *ArcGIS* [1, 4].

В данном исследовании проведен мониторинг состояния увлажнения береговой зоны р. Иртыш в районе с. Иртышск на основе спутниковых индексов NDVI и NDMI. Для данной местности норма осадков за июль составляет 53 мм. По сведениям Республиканского государственного предприятия «Казгидромет» на данной территории отмечается наименьшее количество осадков в следующие годы: в 2008 г. – 10 мм (19 % от нормы); в 2012 г. – 7 мм (13 % от нормы). А также выделяются годы с наибольшим количеством осадков: 1993 г. – 206 мм (388 % от нормы); 2013 г. – 102 мм (192 % от нормы) [5].

Для анализа состояния увлажненности береговой зоны р. Иртыш в рассматриваемые годы были использованы спутниковые изображения (рисунок). На рисунке (а) представлена пространственная дифференциация влажности растительного покрова береговой территории, определенная на основе нормализованного разностного вегетационного индекса NDVI за 19 июля 2008 г. и 25 июля 2013 г. На рис. (б) показано распределение увлажнения территории, рассчитанное по нормализованному разностному индексу влажности NDMI для тех же дат.

Анализ морфологии распределения индексных значений выявил, что в годы с недостаточным увлажнением (2008 и 2012 гг.) значения NDVI колебались в пределах 0.29–0.44, что указывает на умеренный уровень растительного покрова с пониженной биомассой. Показатели NDMI в те же годы находились в диапазоне от –0.12 до –0.35, что отражает снижение растительной влагонасыщенности. В периоды повышенного увлажнения (1993 и 2013 гг.) наблюдались значительно более высокие значения NDVI – от 0.71 до 0.89, а NDMI варьировался от –0.41 до –0.65, что свидетельствует о наибольшей водообильности и более благоприятных гидрологических условиях в исследуемой части поймы. Спутниковые изображения за июль 1993 и 2012 гг. также подвергались анализу по тем же индексам влажности и растительного покрова, но в настоящей работе они не приведены.

Мониторинг состояния увлажненности береговой зоны р. Иртыш с использованием спутниковых вегетационных и влагосодержащих индексов NDVI и NDMI подтвердил их эффективность в отражении межгодовых различий гидрологических условий изучаемой территории: пониженные значения NDVI, соответствующие годам с недостаточным увлажнением, указывают на снижение плотности растительного покрова и сниженную водообеспеченность, тогда как высокие значения NDVI в сочетании с более низкими (отрицательными) значениями NDMI в годы избыточного увлажнения свидетельствуют о более благоприятных условиях влагообеспечения и развитии растительности.

Состояние увлажненности прибрежных экосистем р. Иртыш характеризуется динамичностью и изменяется под влиянием межгодовой вариабельности гидролого-климатических особенностей, обусловленных колебаниями водного режима реки, количеством атмосферных осадков, температурными значениями и другими природными факторами.

Литература

- [1] Kusainova A.A., Chistyakova G.N., Zhangozhina G.M. The Impact of Intensified Aridization Caused by Moisture Deficit on the Productivity of Grain Crops in Northern Kazakhstan. *Research in Ecology*. 2025. V. 7, № 3. P. 199–211. doi:10.30564/re.v7i3.10487.
- [2] Мезенцева О.В. Особенности многолетней изменчивости увлажнения ландшафтов Акмолинской области Республики Казахстан по данным спутниковой съемки // *Природообустройство*. 2023. № 5. С. 95–102. doi:10.26897/1997601120235-95-102.

- [3] *Мезенцева О.В., Кусаинова А.А., Галиуллина К.Р.* Исследование влагозапаса в растительном покрове на территории Казахстана с применением спутниковых снимков // *Безопасный Север – чистая Арктика: Материалы V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (13–14 апреля 2023 г.)*. Сургут: Сургутский государственный университет, 2023. С. 240–244.
- [4] *Макенова С.К., Акимов В.В., Шаяхметов М.Р., Музыка О.С.* Оценка современного состояния пастбищных угодий на основе анализа спутниковых данных // *Вестник науки Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина*. 2021. № 2(109). С. 37–49. doi:10.51452/-kazatu.2021.2(109).589.
- [5] *Метеорологический информационный сайт «Казгидромет»*. Республиканское Государственное предприятие «Казгидромет». Астана, 2026. URL: <http://www.kazhydromet.kz> (дата обращения: 13.03.2026).
- [6] *Уньшева Н.К., Макенова С.К., Бабкенова Л.Т.* ГИС-моделирование урожайности пшеницы с использованием NDVI в условиях степной зоны // *3i: Intellect, Idea, Innovation – интеллект, идея, инновация*. 2025. № 3–1. С. 270–280. doi:10.52269/KGTD2531270.

СМЕЩЕНИЯ БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ, СВЯЗАННЫЕ С КОЛЕБАНИЯМИ ВОЛНОВОЙ АКТИВНОСТИ

И.О. Леонтьев, Д.В. Корзинин

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия, igor.leontiev@gmail.com, korzinin@ocean.ru

SHORELINE DISPLACEMENTS DUE TO FLUCTUATIONS OF WAVE ACTIVITY

I.O. Leont'yev, D.V. Korzinin

Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, igor.leontiev@gmail.com, korzinin@ocean.ru

В настоящей работе объектом анализа служат среднесрочные миграции береговой линии, которые проявляются на временных масштабах от нескольких месяцев до нескольких лет. Они контролируются главным образом сезонными и межгодовыми колебаниями потока волновой энергии и связанными с этим флуктуациями поперечного транспорта наносов.

Моделирование этого явления обычно основывается на идее о стремлении береговой линии к некоторому положению равновесия, которое отвечает данному волновому воздействию [3]. В модели авторов [1] используется идея о профиле равновесия пляжа, причем основное внимание акцентируется на том, что положение береговой линии во время шторма контролируется динамикой волнового заплеска. Применение принципа сохранения массы позволяет прийти к зависимости $\frac{\partial x_0}{\partial t} = \frac{\hat{q}_w}{h_w + R}$, где x_0 – положение береговой линии, t – время, \hat{q}_w – поперечный объемный расход наносов на нижней границе зоны заплеска (на глубине h_w , равной высоте заплеска R). Величина \hat{q}_w оценивается на базе концепции профиля равновесия. Направление транспорта наносов (к берегу или от берега) определяется с помощью критерия [2].

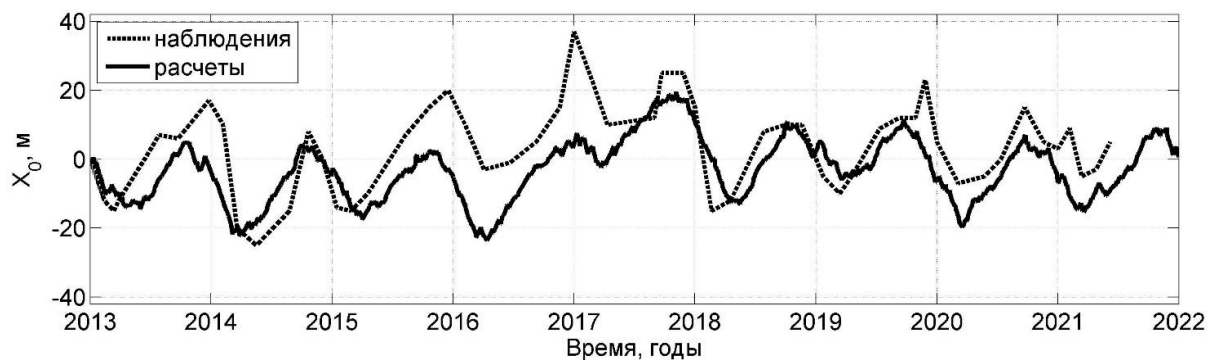
Исходными данными для расчетов служит исходное положение береговой линии, размер песка, начальный уклон пляжа, а также временные ряды (хронограммы) параметров волн – высот, периодов и направлений. На выходе получается временной ряд положений береговой линии (ее траектория во времени) $X_0(t)$.

Характеристика объектов, послуживших для проверки модели

№	Регион	Название объекта	Координаты с.ш./в.д.	$A_n, ^\circ$	$d_g, \text{мм}$	$\eta_T, \text{м}$	Период наблюдения
1	Тихий океан, Япония	Hasaki Beach	35.84/140.76	60	0.30	1.2	1а) 1990–1992, 1б) 2005–2007
2	Тихий океан, Австралия	Golden Coast, Queensland	28.0/153.4	90	0.25	1.8	2001–2006
3	Тихий океан, США	Long Beach, Washington	46.5/124.1	270	0.35	2.7	1998–2003
4	Атлант. океан, США	Wildwood, New Jersey	39.0/74.8	142	0.25	1.5	1987–2003
5	Атлант. океан, США	Duck, North Carolina	36.2/75.8	68	0.25	1.1	2006–2014
6	Атлант. океан, Франция	Truc Vert, Gironde	44.7/1.3	275	0.35–0.40	3.7	2013–2022
7	Балтика, Россия	Балтийская коса (Vistula Spit)	54.61/19.85	304	0.35	<0.2	2019–2024

Главная цель настоящего исследования заключается в том, чтобы расширить географию применения нашей модели и проверить ее возможности на различных берегах Мирового океана на базе опубликованных данных наблюдений за миграциями береговой линии на песчаных пляжах. Необходимым компонентом служат данные реанализа волнения ERA5 (с дискретностью 1 ч) в ближайших точках к пунктам наблюдений.

Общая характеристика условий на выбранных объектах приводится в таблице, где A_n – азимут нормали к берегу, d_g – характерный размер песка на пляже, η_T – высота прилива. На рисунке приведено сравнение расчетов с наблюдениями на примере объекта 6 в таблице.



Хронограмма смещений береговой линии $X_0(t)$ по данным наблюдениям и согласно расчетам для объекта Truc Vert (Атлантический океан, Франция).

По оценкам базы данных показателя Brier Skill Score (BSS) в большинстве случаев модель ранжируется как «приемлемая (reasonable)» или «хорошая (good)». Среднеквадратичная ошибка в среднем по всем объектам близка к 10 м, что примерно соответствует точности определений берега по космическим снимкам.

Литература

- [1] *Leont'yev I.O., Korzinin D.V.* Assessing shoreline displacements caused by storms and seasonal changes in wave activity // *Oceanology*. 2025. V. 65, Suppl. 1. P. S88–S101. doi:10.1134/S000143-7025700808.
- [2] *Larson M., Kraus N.C.* SBEACH: numerical model for simulating storm-induced beach change. Technical Report CERC-89-9. Washington: US Army Corps of Engineers, 1989. 115 p.
- [3] *Miller J.K., Dean R.G.* A simple new shoreline change model // *Coastal Engineering*. 2004. V. 51, № 7. P. 531–556. doi:10.1016/j.coastaleng.2004.05.006.

НЕГАТИВНОЕ ВЛИЯНИЕ ХВОСТОХРАНИЛИЩ В БЕРЕГОВОЙ ЗОНЕ НА ЭКОСИСТЕМУ ПРИРОДНОЙ ВОДНОЙ АРТЕРИИ (на примере р. Ардон, Республика Северная Осетия – Алания)

А.Б. Лолаев, С.О. Дзедоев, А.Х. Оганесян, Г.Г. Мирзоев

Владикавказский научный центр РАН, PCO-Алания, abl-2010@mail.ru

NEGATIVE IMPACT OF TAILINGS DUMPS IN THE COASTAL ZONE ON THE ECOSYSTEM OF THE NATURAL WATER ARTERY (on the example of the Ardon River, Republic of North Ossetia – Alania)

A.B. Lolaev, S.O. Dzeboev, A.H. Oganesyanyan, G.G. Mirzoev

Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, RSO – Alania, abl-2010@mail.ru

Рост техносферы и водоемких отраслей экономики ведет к снижению водного баланса и загрязнению поверхностных и подземных вод. Терек – крупнейшая трансграничная река, являющаяся стратегически важным водным объектом на Северном Кавказе. Притоки р. Терек, такие как р. Ардон и р. Фиагдон (PCO – Алания), р. Баксан (Республика Кабардино-Балкария) постоянно загрязняют ее химически опасными элементами, так как находятся в непосредственной близости от Унальского, Фиагдонского и Тырныаузского хвостохранилищ. Химически опасные элементы, попадающие в р. Терек, загрязняют не только воды р. Терек, но и прибрежные территории вплоть до Каспийского моря, что вызывает проблемы регионального масштаба.

В России р. Терек протекает по территории пяти субъектов: Республики Северная Осетия-Алания, Кабардино-Балкарской Республики, Чеченской Республики, Дагестана и Ставропольского края (рисунок).



Водные артерии р. Терек, от истоков горы Зильгахох (PCO – Алания) до Каспийского моря (Республика Дагестан).

Река Ардон, впадающая в р. Терек, находится в непосредственной близости от хвостохранилища Мизурской горно-обогатительной фабрики (МГОФ). Промышленные отходы МГОФ от передела руд («хвосты») ежегодно полностью сбрасывались в р. Ардон в паводковый период, что вместе с попаданием в нее шахтных и производственных стоков

привело к сильному загрязнению речной воды и донных, а также береговых отложений на всем ее протяжении [3].

Степень загрязнения воды в р. Ардон зависит от:

- степени дальности ветрового переноса с поверхности пляжной части хвостохранилища тонкодисперсного материала, попадающего в р. Ардон;
- масштаба загрязнения основных притоков р. Ардон самоизливающимися шахтными водами [2].

Пробы отбирались как из р. Ардон, так и с ее притоков и защитного озера хвостохранилища. Для достоверности результатов фоновой пробой выступала проба, взятая на южной окраине пос. Бурон.

Результаты исследований представлены в таблице. Полученные данные показали, что р. Садонка, р. Бад-дон, р. Архон-дон и другие притоки р. Ардон загрязняют р. Ардон шахтными водами со следующими элементами: Zn, Cd, Pb, U, Rb, Mo, Be, Ag, W, и др. [1].

Результаты геохимических исследований проб воды в районе Унальского хвостохранилища

Элемент	ПО, мкг/л	ПДК, мг/л	класс опасности	30/15	31/15	32/15	33/15	34/15	35/15	36/15	40/15	30/15-1
B	0.8	0.50	2	175	278	276	277	274	18,3	99,4	2044	177
Na	9	200	2	1110898	3310442	3142955	3152484	3096475	7389	751670	247070	1106074
Mg	4	50	3	25246	177	171	7555	234	5743	8678	55,0	24589
Al	0.8	0.2 (0.5)	3	3194	6190	5775	5443	5533	2592	2336	337	30129
Si	8	10	2	62549	68700	69614	68703	67450	5635	21475	16318	104517
P	12			949	2294	2377	3137	2222	263	792	211	<ПО
S	35		4	237097	872264	968669	994852	960940	10560	260718	18825	224033
K	2		4	25350	55891	57086	57385	51814	1176	13963	1561	22539
Ca	8		4	455732	17363	18341	863275	19389	25590	56709	990	150497
Ti	0.7	0.1	4	215	25.2	19.0	22.8	21.2	64.4	35.4	<ПО	14-7
V	0.1	0.1	3	55.5	522	507	505	511	3.7	116	<ПО	127
Cr	0.6	0.05	2	60.6	43.2	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	22.7	<ПО	102
Mn	0.04	0.1	4	6323	38.6	26.5	33.5	21.6	71.5	42.7	15.6	7109
Fe	7	0.3	4	102410	706	520	1306	477	3205	1491	57.1	121703
Co	0.06	0.1	2	21.5	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	1.7	<ПО	<ПО	23.5
Ni	0.2	0.02	3	54.1	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	8.5	8.5	<ПО	64.3
Cu	0.2	1		12223	146	133	125	54.1	6.1	18.7	7.8	3924
Zn	0.5	1	3	240862	1504	1528	886	1073	80.5	594	44.2	238552
As	0.07	0.01	1	107113	458619	453513	459969	456441	714	107166	284	104365
Sr	0.05	7	2	3312	626	603	600	544	134	1043	71.2	2646
Ba	0.01	0.7	4	2527	182	175	158	138	15.6	44.7	38.4	306
Pb	0.01	0.01	2	30740	440	513	349	221	9.1	51.0	10.7	32020

На сегодняшний день в хвостохранилище захоронено примерно 2.6 млн тонн промышленных отходов с содержаниями (в мас. %):

Pb – 0.21 – запасы – 5460 т.; Zn – 0.32 – запасы – 8320 т.; Cu – 0.1 – запасы 2600 т.; Fe – 6.2 – запасы – 161200 т.; Ti – 0.18 – запасы – 4680 т.; Mn – 0.16 - запасы – 4160 т.; Ag – 4.2. – запасы – 10.92 т. [4].

Хвостохранилище расположено в сейсмо- и селеопасном районе, где и сейчас наблюдаются слабые тектонические подвижки. Следовательно, в случае возникновения природных катастрофических событий защитная дамба Унальского хвостохранилища может быть разрушена, что приведет к катастрофам регионального масштаба.

Причины и вероятности возникновения гидродинамической аварии:

- 1) переполнение емкости хвостохранилища;
- 2) фильтрация через тело и основание ограждающей дамбы с выносом частиц грунта;
- 3) потеря устойчивости низового откоса ограждающей дамбы;
- 4) разрушение ограждающей дамбы в результате чрезвычайных ситуаций природного характера.

Расчет возможного экологического ущерба производился для случая аварийной ситуации по наиболее значимым загрязняющим компонентам, находящимся во взвешенном состоянии, – Zn, Mn, Pb, Cu, Fe.

В результате расчетов получены значения экологического ущерба по наиболее значимым загрязняющим компонентам: Cu=3.329, Pb=6.991, Zn=10.653, Mn=5.326, Fe=206.410 млн руб.

Суммарный экологический ущерб для р. Ардон составит свыше 230 млн руб. [4].

На основе данных о химическом загрязнении вод р. Ардон и впадающих в нее притоков можно сделать вывод о том, что основными природно-техногенными загрязнителями вод р. Ардон являются ее правые притоки – р. Архон-дон и р. Унал-дон; основными техногенными загрязнителями вод р. Ардон является Унальское хвостохранилище и вода из «защитного» озера, сливаемая по деривационной трубе прямо в р. Ардон.

На данный момент никаких действий по улучшению экологической обстановки в бассейне р. Ардон не проводится, что приводит к еще большему загрязнению вод с каждым годом. Для улучшения экологической обстановки предложен комплекс мероприятий, который позволит значительно снизить поступление экологически опасных и экономически ценных элементов в основную водную артерию района – р. Ардон и улучшить экологическую обстановку. Кроме того, в процессе извлечения комплекса элементов вполне реально попутное получение ряда ценных металлов (Pb, Zn, Cd, Sb, Bi и т.д.), что существенно повысит экономическую привлекательность этого мероприятия.

Литература

- [1] Гурбанов А.Г., Винокуров С.Ф., Газеев В.М., Лексин А.Б., Лолаев А.Б., Дзэбоев С.О., Оганесян А.Х., Цуканова Л.Е., Гурбанова О.А. Содержание макро- и микроэлементов в поверхностных водотоках в районе деятельности Садонского свинцово-цинкового комбината (Республика Северная Осетия-Алания, РФ) // Вестник Владикавказского научного центра. 2016. Т. 16, № 2. С. 42–54.
- [2] Гурбанов А.Г., Лолаев А.Б., Лексин А.Б., Дзэбоев С.О., Газеев В.М., Докучаев А.Я., Цуканова Л.Е., Оганесян А.Х., Гурбанова О.А., Илаев В.Э. Основные источники загрязнения вод р. Ардон, его степень и масштабы проявления, оцененные по результатам геохимического изучения проб воды из контрольных пунктов (PCO-A) // Вестник Владикавказского научного центра. 2018. Т. 18, № 3. С. 40–50.
- [3] Дзэбоев С.О. Влияние техногенеза на формирование природно-технической системы – намывной техногенный грунтовый массив и экологическая безопасность горных территорий: Дис. ... канд. геол.-мин. наук. Иркутск, 2022. 122 с.
- [4] Методика определения предотвращенного экологического ущерба. Государственный комитет Российской Федерации по охране окружающей среды. М., 1999.

ДИНАМИКА БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ ЗАПАДНОЙ КАМЧАТКИ

Д.Р. Лукашенко¹, Д.В. Корзинин^{2,3}

¹ Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия, lukashenkodr@inbox.ru

² Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия, korzinin@ocean.ru

³ Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга, Петропавловск-Камчатский, Россия

COASTAL DYNAMICS OF WESTERN KAMCHATKA

D.R. Lukashenko¹, D.V. Korzinin^{2,3}

¹ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, lukashenkodr@inbox.ru

² Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, korzinin@ocean.ru

³ Vitus Bering Kamchatka State University, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia

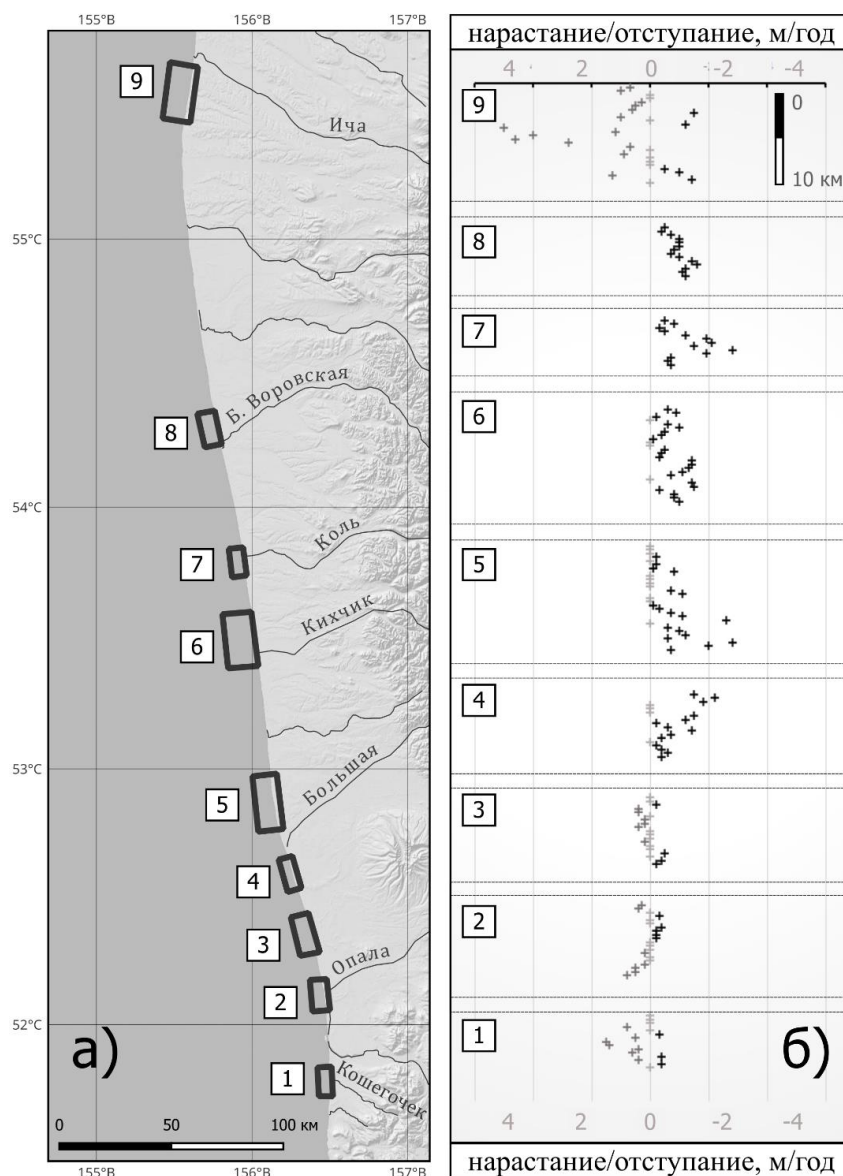
Инфраструктура рыбной отрасли Охотоморского побережья Камчатки, расположенная на аккумулятивных береговых участках к югу от м. Хайрюзова, страдает от естественного отступления берегов, что приводит к серьезным денежным убыткам [2, 3]. Однако количественные оценки выдвигания или отступления берега имеются лишь для отдельных участков региона. На данный момент существует морфолитодинамическая схема берега [1], согласно которой на периферийных, северных и южных, частях данного участка берега действует однонаправленный вдольбереговой перенос на север и юг соответственно, а в центральной части преобладают двусторонние миграции наносов. Согласно данной схеме, области стабилизации берега располагаются к северу от р. Ича и к югу от р. Большой, а отступление берега происходит в центральной части района. Уточнение этих данных поможет выделить участки берега, наиболее опасные для размещения и эксплуатации промысловых баз. Целью работы является оценка динамики береговой зоны Западной Камчатки на основе анализа аэрокосмических снимков за многолетний период (10–20 лет) и моделирования вдольберегового транспорта наносов.

Динамика берегов оценивалась при помощи космических снимков, полученных через платформу Google Earth Pro (системы Maxar Technologies, CNES/Airbus). Индикатором береговой динамики служило изменение положения границы многолетней растительности (seaward vegetation line) – надежный индикатор многолетней динамики берегов [7]. Для каждого намеченного участка были определены средние и максимальные темпы отступления и погрешность темпа смещения за определенный временной интервал.

Литодинамическое моделирование вдольберегового транспорта наносов сводится к вычислению значений его емкости и осуществлялось с помощью модели LONT-2D [4–6], основанной на связи вдольберегового расхода наносов (Q_y) с продольной составляющей потока энергии волн (F_y).

Южная часть исследуемого района (участки 1–3) характеризуется примерно равной долей стабильных и нарастающих берегов (рисунок). Отступление границы растительности наблюдается на 20–25 % профилей с локальными скоростями отступления не более 0.5 ± 0.1 м/год. На некоторых профилях зафиксировано выдвигание берега со скоростью до 1.5 ± 0.2 м/год.

Центральная часть района (участки 4–8) демонстрирует иную картину. Здесь отступление берега зафиксировано на 60–80 % профилей, а на некоторых участках – на 100 %. Средние по участку скорости отступления берега достигают в этой части района 1.2 ± 0.23 м/год. Северная часть района (участок 9) выделяется наибольшим разбросом разнонаправленных смещений – от $+5 \pm 0.1$ до -1.5 ± 0.1 м/год. Более половины профилей характеризуются выдвиганием берега, а доля стабильных участков составляет около 30 %. Средняя по участку скорость выдвигания берега составляет 0.7 ± 0.1 м/год.



Результаты оценки динамики берега на ключевых участках 1–9. (а) – положение участков, (б) – значения скоростей отступления берега по профилям в пределах участков.

Результаты литодинамического моделирования с использованием модели LONT-2D показали однонаправленное перемещение наносов для северной и южной части региона с максимальными рассчитанными значениями емкости переноса до 100 тыс. м³/год в северном направлении и 200–300 тыс. м³/год в южном. В центральной части перемещение наносов носит характер неустойчивых и маломощных (до 50–70 тыс. м³/год) двусторонних миграций, по всей видимости, подчиняясь сезонным флуктуациям режима ветровых волн.

Зоны максимального отступления берега (центральная часть района) приурочены к наиболее спрямленной части побережья. Стабильность или выдвигание берега наблюдаются на периферийных (северных и южных) участках района. Такая картина может быть объяснена с помощью результатов литодинамического моделирования. Наиболее интенсивное отступление берегов в центральной части исследуемого района связано с преобладающим действием поперечной составляющей волновой энергии, а выдвигание и стабильность берегов в периферийных частях района объясняются возрастающей ролью продольной составляющей волновой энергии. Полученные сведения качественно подтверждают и уточняют данные А.Т. Владимирова о характере продольной и поперечной динамики в районе [1], а также дополняют их количественными сведениями о емкости вдольберегового переноса и скоростях отступления/нарастания берега.

Впервые для западного побережья Камчатки получены количественные оценки темпов отступления берегов на серии ключевых участков. Показано, что для южной и северной части района, где продольная составляющая волновой энергии достигает наибольших величин, характерна стабилизация или выдвигание берегов (до $+0.7 \pm 0.1$ и $+0.3 \pm 0.2$ м/год соответственно), а также результирующее перемещение материала вдоль берега на юг (до 300 тыс. м³/год) и север (до 100 тыс. м³/год). Центральную часть района можно рассматривать как зону наибольших величин поперечной составляющей волновой энергии и наибольшей интенсивности отступления берегов (до 1.20 ± 0.23 м/год). Вдольбереговой транспорт здесь имеет небольшие емкости (50–70 тыс. м³/год) и неустойчив во времени. Именно эта зона является наиболее уязвимой для хозяйственной деятельности. Полученные результаты могут служить основой для более рационального размещения объектов рыбной промышленности в регионе.

Литература

- [1] *Владимиров А.Т.* К морфологии и динамике берега Западной Камчатки // Известия АН СССР. Серия географическая. 1958. № 2. С. 81–87.
- [2] *Горин С.Л., Игнатов Е.И., Кравчуновская Е.А., Корзинин Д.В., Тембрел И.И.* Морфодинамика Октябрьской косы (Охотоморское побережье Камчатки) // Морские берега – эволюция, экология, экономика: Материалы XXIV международной береговой конференции. Краснодар: Издательский Дом Юг, 2012. Т. 1. С. 94–97.
- [3] *Зенкович В.П., Леонтьев О.К., Никифоров Л.Г., Лукьянова С.А.* К геоморфологии западного побережья Камчатки // Геоморфология и литология береговой зоны морей и других крупных водоемов. М.: Наука, 1971. С. 3–8.
- [4] *Леонтьев И.О.* Моделирование динамики берега Имеретинской низменности // Геоморфология. 2013. № 3. С. 36–41
- [5] *Леонтьев И.О.* Морфодинамические процессы в береговой зоне моря. Saarbrücken, Deutschland: Lambert Academic Publishing, 2014. 260 с.
- [6] *Леонтьев И.О.* Потоки наносов вдоль юго-восточного побережья Балтики // Геоморфология. 2015. № 1. С. 70–76.
- [7] *Boak E.H., Turner I.L.* Shoreline definition and detection: a review // Journal of Coastal Research. 2005. V. 21, № 4. P. 688–703. doi:10.2112/03-0071.1.

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА НА БЕРЕГОВУЮ ЗОНУ АЗОВСКОГО МОРЯ

А.А. Магаева, Н.А. Яицкая, С.А. Мисиров

Субтропический научный центр РАН, Сочи, Россия, a.magaeva@mail.ru

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF ICE COVER ON THE COASTAL ZONE OF THE SEA OF AZOV

A.A. Magaeva, N.A. Yaitskaya, S.A. Misirov

Subtropical Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Sochi, Russia, a.magaeva@mail.ru

Одним из факторов развития береговой зоны замерзающих морей является морской лед. В арктическом регионе сокращение площади, толщины и возраста морского льда привело к увеличению сезона открытой воды [2, 3], что в совокупности с изменением штормовой активности сделало арктические побережья более уязвимыми к геоморфологическим изменениям, затоплениям и повреждению инфраструктуры [1]. Берега мелководного, периодически замерзающего, Азовского моря подвержены абразионно-обвальным процессам. Ранее была установлена связь между интенсивностью абразии берегов и экстремальными штормовыми нагонами [4], однако морской лед как фактор динамики берегов не рассматривался.

Вследствие сложной конфигурации береговой линии, мелководного рельефа и ветро-волновой активности береговая зона Азовского моря подвержена навалам льда, которые могут оказывать как негативное влияние – способствуя размыванию основания береговых клифов при таянии или создавая дополнительное воздействие при ледовых нагонах, так и положительное – защищая берег от штормов поздней зимой и ранней весной. Натурных наблюдений за этими явлениями чрезвычайно мало. В ходе проведенных экспедиционных исследований в зиму 2024/2025 гг. были зафиксированы навалы льда на берега в районе хутора Рожок (Ростовская область), а в 30 м от уреза воды – стамуха высотой 2.15 м и шириной 17.8 м. Высота навалов составляла 0.8–1.6 м, протяженность около 1 км, толщина отдельных льдин 5–15 см. На центральном пляже г. Таганрога также были зафиксированы навалы высотой 1.6–2.2 м, протяженностью около 2 км, толщина отдельных льдин 8–12 см. В пределах западной части Глафиrowsкой косы (южный берег Таганрогского залива) навалы льда достигали 3.0–3.5 м.

Для оценки воздействия льда на береговую зону Азовского моря был выполнен комплексный анализ штормового волнения, динамической нагрузки и пространственно-временной динамики морского льда за период 2000–2025 гг. для двух участков побережья с максимальными скоростями абразии 3.5–4.0 м/год – участок северного побережья Таганрогского залива в районе села Весело-Вознесенка и участок от с. Воронцовка до косы Долгой на южном побережье залива. Используются данные численного моделирования, дистанционного зондирования Земли и многолетних полевых наблюдений за абразией берегов Азовского моря. Установлено, что ледяной покров наблюдается в исследуемых районах ежегодно (в среднем в течение двух месяцев) и сокращает динамическую нагрузку примерно в 1.5 раза, ограничивая штормовое воздействие на побережье. Однако это не оказывает существенного влияния на динамику берегов – максимальные скорости абразии зафиксированы в годы с экстремальными гидрологическими событиями – нагонами или штормами или сочетанием штормов и нагонов, – происходящих до или после ледового сезона.

Исследование выполнено за счет гранта РФФИ № 24-17-20015, <https://rscf.ru/project/24-17-20015/>, а также при финансовой поддержке Кубанского научного фонда в рамках проекта № 24-17-20015.

Литература

- [1] Barnhart K.R., Overeem I., Anderson R.S. The effect of changing sea ice on the physical vulnerability of Arctic coasts // *Cryosphere*. 2014. V. 8, № 5. P. 1777–1799. doi:10.5194/tc-8-1777-2014.
- [2] Serreze M.C., Holland M.M., Stroeve J. Perspectives on the Arctic's shrinking sea-ice cover // *Science*. 2007. V. 315. P. 1533–1536. doi:10.1126/science.1139426.
- [3] Stammerjohn S., Massom R., Rind D., Martinson D. Regions of rapid sea ice change: An inter-hemispheric seasonal comparison // *Geophysical Research Letters*. 2012. V. 39. L06501. doi:10.1029/2012GL050874.
- [4] Матишов Г.Г., Беспалова Л.А., Ивлиева О.В., Цыганкова А.Е., Кропянко Л.В. Азовское море: современные абразионные процессы и проблемы берегозащиты // *Доклады РАН*. 2016. Т. 471, № 4. С. 483–486.

АКТИВИЗАЦИЯ ЭКЗОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ БРАТСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

О.А. Мазаева, В.А. Бабичева

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия, moks@crust.irk.ru, khak@crust.irk.ru

THE REACTIVATION OF EXOGENOUS GEOLOGICAL PROCESSES IN THE BACKWATER ZONE OF THE BRATSK RESERVOIR

O.A. Mazaeva, V.A. Babicheva

Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia, moks@crust.irk.ru, khak@crust.irk.ru

Братское водохранилище занимает особое место среди водохранилищ Ангарского каскада ГЭС – второе в мире по объему (169.3 км³) с протяженностью берегов 6013 км. Его создание сопровождалось бурной активизацией абразии, карста, золowych процессов, оползней, овражной эрозии [10].

Береговая зона Братского водохранилища представляет собой впечатляющий природный полигон для изучения развития и активизации экзогенных геологических процессов (ЭГП), где лаборатория инженерной геологии и геоэкологии Института земной коры СО РАН (ИЗК СО РАН) ведет мониторинг этих изменений уже более полувека (с 60-х гг. XX в.).

Наиболее чувствительными к такому длительному воздействию остаются береговые локальные геосистемы, развивающиеся в области распространения рыхлых отложений и карстующихся пород, покрытых ими. Объекты данного исследования расположены на территории Хадахан-Мельхитуйского карстового массива в зоне подпора водохранилища.

Для среднесрочного мониторинга процессов применялся сравнительный анализ аэрофотоматериалов, а также результаты работ лаборатории инженерной геологии и геоэкологии ИЗК СО РАН в разные периоды эксплуатации водоема [3–10]. Для получения краткосрочной динамики ЭГП выполнялась тахеометрическая съемка с использованием электронного тахеометра Trimble TS635, а с 2021 г. – аэрофотосъемка с использованием квадрокоптеров DJI Inspire 1 V2.0, DJI Phantom 4 Pro RTK [2].

Основные задачи исследования – выявление условий, факторов и механизмов формирования карстово-эрозионных и карстово-суффозионных форм, определение структуры взаимосвязей ЭГП в локальной береговой системе и представление концептуальной модели ее функционирования в условиях многолетних и сезонных колебаний уровня воды в водохранилище.

Для разработки концептуальной модели функционирования прибрежной геосистемы в области сульфатно-карбонатных пород в условиях изменения уровня воды в водохранилище использовался подход, предложенный В.М. Литвиным [7]. Ранее этот подход был реализован для других локальных геосистем береговой зоны Братского водохранилища [3–6].

Под влиянием внешнего фактора (колебаний уровня воды в водохранилище) – критерия изменения геосистемы – мы анализировали, что происходит с компонентами прибрежной геосистемы на разных иерархических уровнях: первый – «внутрипородный» (взаимодействие структурных элементов или свойств грунта, определяющее развитие геологического процесса); второй – взаимодействие процессообразующих факторов, управляющих данным процессом; третий – взаимодействие геологических процессов, формирующих геодинамическое состояние территории. Мы наблюдали динамику

ЭГП как чувствительных индикаторов для интерпретации реакции прибрежной геосистемы на колебания уровня воды в водохранилище.

Уровненный режим Братского водохранилища за последние 5 лет представлял собой чередующиеся этапы высокого и относительно низкого уровня воды в водоеме. В осенние периоды 2021 и 2023 гг. уровень воды в водохранилище достиг предельных отметок и привел к высоким темпам абразии.

Исследования показали, что ответная реакция геосистем (динамика процессов, их взаимодействие, изменение среды) характеризуется определенной цикличностью, соответствующей изменениям уровня воды [1, 3–6, 10]. Из-за смены положения уровня не наблюдается стабилизации процессов, лишь относительно – на определенный промежуток времени, до следующей его смены.

Результаты мониторинга динамики процессов в береговой зоне свидетельствуют о незатухающем процессе изменения локальных береговых геосистем. Со времени наполнения водохранилища прошло почти 60 лет, а проблемы, связанные с его воздействием на береговую зону, остаются актуальными и обсуждаемыми. Эксплуатация Братского водохранилища до сих пор вызывает существенные изменения в окружающей среде и практике землепользования, а также активизирует различные природные опасности, такие как оползни, карст, абразия и овражная эрозия. Тесная взаимосвязь уровня подземных вод с уровнем водохранилища определяет высокие скорости выщелачивания сульфатно-карбонатных пород и активизацию карста зоны подпора. Активизация экзогенных геологических процессов в береговой зоне Братского водохранилища и отсутствие равновесия в развитии геосистем провоцируются уровненным режимом.

Мы полагаем, что наш почти 60-летний опыт и результаты исследований будут полезны для предотвращения ожидаемых последствий создания водохранилищ ГЭС и смягчения их масштабного воздействия на прибрежные ландшафты.

Литература

- [1] Kaczmarek H., Tyszkowski S., Brykała D., Bartczak A., Słowiński M., Mazaeva O.A., Kozyreva E.A., Babicheva V.A., Rybchenko A.A. Impact of large water level fluctuations on geomorphological processes and their interactions in the shore zone of a dam reservoir // *Journal of Great Lakes Research*. 2016. V. 42, № 5. P. 926–941. doi:10.1016/j.jglr.2016.07.024.
- [2] Mazaeva O.A., Yuriev A.A., Babicheva V.A. UAV Aerial Survey in Monitoring of Coastal Geosystems in the Southern Irkutsk Amphitheatre // *Geodynamics & Tectonophysics*. 2023. V. 14, № 6. 0734. doi:10.5800/GT-2023-14-6-0734.
- [3] Mazaeva O., Babicheva V., Kozyreva E. Gully development on large dam reservoir shores: dynamics, interaction, and mechanisms // *Physical Geography*. 2020. V. 41, № 3. P. 195–216. doi:10.1080/02723646.2019.1613329.
- [4] Mazaeva O., Khak V., Kozyreva E. Geomorphological process development under the impact of man-made reservoir operation, a case study: Bratsk reservoir, Baikal-Angara hydroengineering system, Russia // *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. 2019. V. 78, № 7. P. 4659–4672. doi:10.1007/s10064-018-1428-x.
- [5] Mazaeva O., Khak V., Kozyreva E. Model of erosion-landslide interaction in the context of the reservoir water level variations (East Siberia, Russia): Factors, environment and // *Journal of Earth System Science*. 2013. V. 122, № 6. P. 1515–1531. doi:10.1007/s12040-013-0363-2.
- [6] Козырева Е.А., Бабичева В.А., Мазаева О.А. Трансформация геологической среды в зоне влияния водохранилищ Ангарского каскада ГЭС // *Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле*. 2018. Т. 25. С. 66–87. doi:10.26516/2073-3402.2018.25.66.
- [7] Литвин В.М., Тржцинский Ю.Б. Взаимодействия в сложных геосистемах и их значение для оценки геодинамической опасности территорий // *Оценка и управление природными рисками. Материалы общероссийской конференции «Риск-2000»*. М: Анкил, 2000. С. 95–99.
- [8] Мазаева О.А., Козырева Е.А., Тржцинский Ю.Б. Оценка взаимодействия экзогенных процессов в локальных береговых геосистемах Братского водохранилища // *География и природные ресурсы*. 2006. № 3. С. 81–86.
- [9] Мазаева О.А., Хак В.А., Козырева Е.А. Мониторинг локальных береговых геосистем Братского водохранилища // *Геоморфология*. 2014. № 1. С. 75–80.
- [10] Овчинников Г.И., Павлов С.Х., Тржцинский Ю.Б. Изменение геологической среды в зонах влияния Ангаро-Енисейских водохранилищ. Новосибирск: Наука, 1999. 254 с.

АНАЛИЗ ПРИРОДНЫХ ОПАСНОСТЕЙ БЕРЕГОВЫХ МОРФОСИСТЕМ ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КАВКАЗА ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА СУХОПУТНО-МОРСКИХ ГАЗОПРОВОДОВ

С.Г. Миронюк

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия,
mironyuksg@gmail.com

ANALYSIS OF NATURAL HAZARDS OF COASTAL MORPHOSYSTEMS OF THE BLACK SEA COAST OF THE CAUCASUS FOR VALIDATION OF A CONSTRUCTION PROJECT OF LAND-SEA GAS PIPELINES

S.G. Mironyuk

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, mironyuksg@gmail.com

Растущий во всем мире спрос на углеводороды сопровождается соответствующим увеличением темпов их добычи и объемов строительства нефтегазотранспортной инфраструктуры, включая промысловые морские, магистральные сухопутно-морские трубопроводы, газораспределительные станции (ГРС) и др. Повышенная подверженность природным опасностям линейных сооружений, особенно в сейсмоактивных горно-складчатых областях, замерзающих морях, на оползневых участках перехода «суша – море» требует, в условиях интенсивного воздействия опасных природных процессов, разработки соответствующих технологий обеспечения их безопасного строительства и эксплуатации. На сегодня наиболее распространенными способами пересечения трубопроводами береговой линии являются: прокладка трубопровода в открытой траншее с заглублением в морское дно на безопасную глубину, наклонно-направленное бурение (ННБ) (варианты: с предварительным обсаживанием ствола или протаскиванием трубопровода в предварительно пробуренный ствол пилотной скважины) и микротоннелирование. Критериями выбора способов строительства трубопроводов являются: техническая осуществимость, инженерно-геологические условия (рельеф, грунты, ключевые природные опасности и др.), сроки строительства, стоимость изысканий и строительно-монтажных работ, возможный ущерб окружающей среде, ремонтно-пригодность и др.

В данной работе на примере нескольких участков трасс газопроводов, расположенных в пределах трех локальных береговых морфосистем (БМС) (междуречье рек Псоу и Мзымта; Мзымта-мыс Кодош; Мысхако-Анапа) [4], рассмотрены особенности инженерно-геологических условий их строительства с акцентом на анализе рельефа, грунтовых условий и природных опасностей, значительно повлиявших на выбор того или иного способа строительства трубопроводов и мер их инженерной защиты.

1. Участок берегового примыкания в районе Имеретинской низменности, БМС «Междуречье рек Псоу и Мзымта»

Низменность представляет собой поверхность новочерноморской и нимфейской аккумулятивных террас, сочленяющихся в устьях рек с одновозрастными речными террасами. Основными опасностями в пределах берегового склона являются процесс регрессивной эрозии, протекающий в вершинах подводных каньонов, а также многочисленные мелкомасштабные оползни на их склонах, трансформирующиеся в небольшие мутьевые потоки [1].

На побережье широко развита абразия, подтопление, периодическое затопление и заболачивание. Абразия – ключевой опасный процесс. Ее среднесреднегодные скорости составляют 1.5–3.0 м/год. Рекомендовано разработать схему защиты трубопровода от абразии, а ГРС – от подтопления и периодического затопления. С учетом степени

опасности природных процессов, рельефа, грунтовых условий, планируемых мероприятий по инженерной защите проектируемого сооружения, было принято решение о его строительстве траншейным способом с последующей обратной засыпкой.

2. Участки берегового примыкания в междуречье рек Хоста и Кудепста и обхода верховьев подводного каньона р. Шахе, БМС «р. Мзымта – мыс Кодош»

Участок берегового примыкания в междуречье рек Хоста и Кудепста

Береговой участок расположен между поселками Хоста и Кудепста в Хостинском районе г. Сочи. В геоморфологическом отношении он расположен в пределах приморского склона низкогорного (макс. высота 229 м) Хостинского хребта юго-западной экспозиции, ограниченного полосой абразионно-аккумулятивного пляжа. Пляж прислоненный, в основном неполного профиля шириной 35–40 м. Абразия развита слабо, имеется волноотбойная стена и пляжеудерживающие сооружения – буны. Подводный склон во внутренней подзоне шельфа перекрыт гравийно-галечным материалом с валунами и характеризуется повышенными уклонами донной поверхности (1–5° и более). Дно морского участка от уреза воды до глубины 4 м (бенч) сложено деляпсием – смещенными блоками коренных пород (аргиллиты, песчаники), выходящими на поверхность дна. Темпы разрушения бенча по данным [8] составляют 0.1–0.2 м/год.

В приморском сегменте участка берегового примыкания наибольшую угрозу для существующих и проектируемых сооружений создают глубокие, активные оползни на склонах Хостинского хребта. В долинах водотоков развита боковая и донная эрозия, периодически возникают паводки и затопления поймы. В силу сложных природных условий был принято решение строительство трубопровода осуществлять способом ННБ.

Участок обхода верховьев подводного каньона р. Шахе

В пределах рассматриваемого участка шельф имеет ширину всего 1.5 км. При подходе к каньону р. Шахе трасса газопровода с безопасного интервала глубин в центральной подзоне шельфа вынужденно смещается к берегу в область глубин ~12–15 м, пересекает аванделту р. Шахе, вторгаясь в зоны активного штормового воздействия и стоковых течений. Кроме опасных гидрологических факторов определенную угрозу для целостности газопровода представляют оползни и селеподобные паводки. Формирование оползней, вызванных воздействием штормовых волн в пределах рассматриваемого участка, как в глинистых, так и в песчаных грунтах возможно только при экстремальных характеристиках волнения с периодами повторяемости 100 лет при обеспеченности 0.1 % [3, 6]. Наибольшую опасность для рассматриваемого сооружения представляет процесс регрессивной эрозии. Установлено, что средняя скорость продвижения абразионно-эрозионной границы головной части каньона р. Шахе за период с 2008 по 2018 гг., составила 2.6 м/год [2].

3. Участок берегового примыкания газопровода в районе хр. Семисам, БМС «Мысхако-Анапа»

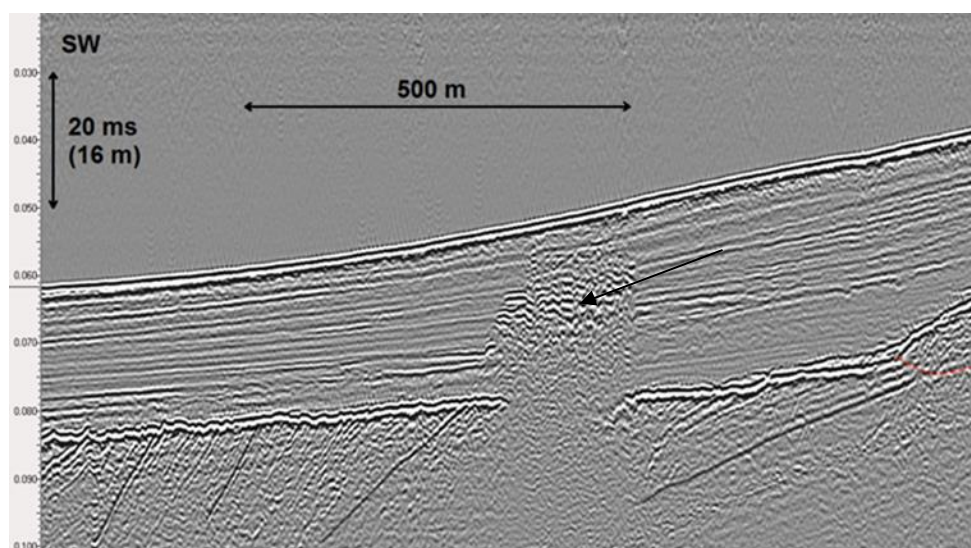
Береговое примыкание трассы газопровода расположено на территории Анапского района Краснодарского края. Протяженность участка берегового примыкания, включая сухопутный участок (приморье) и прибрежную зону, составляет ≈3.9 км. Диапазон глубин, в пределах которого расположен шельф, составляет 0–100 м. Углы наклона шельфа – от 0.5 до 0.8°. В геоморфологическом отношении в состав сухопутного участка входит береговой хребет Семисам, долина р. Шингарь и прилегающая с северо-востока местность низкогорного и холмистого эрозионно-тектонического рельефа, расчлененная долинами водотоков (Графова щель и др.) первого – второго порядков. Склон осложнен оползнями двух типов: консеквентным оползнем сдвига в скальных и полускальных грунтах и инсеквентными оползнями сдвига в дисперсных грунтах [5].

Мощность скального оползня по данным геофизических исследований и бурения достигает 20–40 м, его длина достигает 160 м, ширина 700 м. Тело основного скального оползня осложнено локальными (вторичными) инсеквентными оползнями. Они характеризуются небольшими размерами и мощностью не более 10–15 м. Результаты расчета устойчивости скальных оползней показывают, что их можно отнести к оползням длительной стабилизации, так как они находятся в устойчивом положении как в естественном состоянии так и при сейсмическом воздействии (I=8.2 балла). Дополнительные исследования, включающие обратные расчеты с использованием программ PSK-98M5A и PSK-2018, показали, что принятое для расчетов сейсмическое воздействие (9.5 баллов) при нормативном уровне запаса устойчивости ($K_u=1.10$) соответствует заглублению

нижней точки потенциальной поверхности смещения скального оползня до отметки 35 м [7].

Помимо детального изучения опасных оползневых процессов, в ходе изысканий не меньшее внимание уделялось исследованиям разрывных нарушений, пересекающих рассматриваемую территорию. Отмечено, что единственным сбросовым активным разломом (ближайший к сухопутному участку берегового примыкания газопровода) в районе является Анапский. Дешифрирование не подтвердило принадлежность большинства разломов приморья, включая Марфовский, к активным тектоническим нарушениям. Помимо рассмотренных приоритетных геологических опасностей (оползни, зоны повышенной трещиноватости) на склонах водоразделов, в долинах водотоков, широко распространены осыпи, овражно-балочная эрозия, глубинная и боковая эрозия, обрушение берегов водотоков. К числу опасных гидрометеорологических явлений следует относить смерчи, при разгрузке которых на суше могут сформироваться катастрофические паводки и сели.

На отдельных участках трассы сейсмоакустическим профилированием выявлены признаки газонасыщенности осадков (яркие пятна, т.н. газовые факелы) и погребенные микроформы сосредоточенной разгрузки газа (покмарки). В частности, выявленный газовый факел на глубине около 40 м имеет характерный «хаотический» тип записи и, вероятно, приурочен к зоне разрывного нарушения в коренных породах (рисунок).



Газовый факел в четвертичных осадках шельфа (стрелка).

С учетом сложных инженерно-геологических условий строительства берегового примыкания трубопровода, повышенного уровня ответственности проектируемого сооружения, рекреационной ценности побережья, было принято решение строить объект на участке пересечения трассы трубопровода хр. Семисам и долины р. Шингарь путем проходки микротоннеля с его выходом в море. На остальном, исключительно сухопутном, отрезке трассы с более благоприятными, прежде всего, геоморфологическими и грунтовыми условиями, рекомендовано применить траншейный способ укладки трубопровода. Здесь наибольшую опасность для сооружения представляют явления, связанные с разгрузкой смерчей в водосборных бассейнах водотоков, пересекаемых трубопроводом. Наложение смерчевых осадков на общий фон ливневых осадков может послужить триггером возникновения катастрофического селя, который, в свою очередь, может стать причиной размыва основания трубопровода, его провисания или разрыва с последующим выходом из строя участка магистрали.

Литература

- [1] Глазырин Е.А. Литодинамические процессы на дне Черного моря в районе Имеретинской низменности // Осадочные бассейны, седиментационные и постседиментационные процессы в геологической истории. Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 2013. Т. I. С. 211–215.

- [2] Глазырин Е.А. Морфология и динамика головной части подводного каньона Шахе (Черное море) // Геология морей и океанов: Материалы XXII Международной научной конференции (школы) по морской геологии. М.: ИО РАН, 2019. Т. V. С. 110–114. doi:10.29006/978-5-9901449-9-6.
- [3] Ионов В.Ю. Инженерно-геологические условия формирования подводных оползней в отложениях шельфа Черного моря (между мысом Мал. Утриш и бухтой Хоста): Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. М., 2013. 23 с.
- [4] Куклев С.Б. Проблемы защиты берегов российского сектора Черного моря: Автореф. дис. ... канд. географ. наук. Геленджик, 2003. 24 с.
- [5] Миронюк С.Г., Ионов В.Ю. Опыт и проблемы оценки устойчивости обвально-оползневых склонов морских побережий (на примере хр. Семисам, Краснодарский край) // Опасные для строительства геологические процессы: Сборник материалов Международного семинара, посвященного 70-летию докт. геол.-мин. наук В.П. Хоменко. М.: МИСИ – МГСУ, 2019. С. 33–38.
- [6] Миронюк С.Г., Маркарьян В.В., Шельтинг С.К. Опыт комплексной оценки и крупномасштабного инженерно-геологического районирования северо-восточного шельфа Черного моря по геологической опасности для строительства линейных объектов // Инженерные изыскания. 2013. № 13. С. 48–59.
- [7] Миронюк С.Г., Кропоткин М.П., Ионов В.Ю. Оценка устойчивости обвально-оползневого склона Черноморского побережья с учетом возможных сейсмических воздействий // Изучение опасных природных процессов и явлений при инженерных изысканиях: Материалы докладов Общероссийской научно-практической конференции. М.: ООО «Геомаркетинг», 2019. С. 99–113.
- [8] Пешков В.М. Галечные пляжи неприливных морей. Краснодар: Эдарт-принт, 2005. 444 с.

ОСОБЕННОСТИ МОРФОЛИТОГЕНЕЗА МИКРОПРИЛИВНЫХ УСТЬЕВ РЕК В ЮЖНОМ ПРИМОРЬЕ

Н.Н. Назаров¹, И.В. Назарова²

¹ Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, Россия,
nikolainazarovpsu@gmail.com

² Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия,
irvik13@gmail.com

CHARACTERISTICS OF MORPHOLITHOGENESIS IN MICRO-TIDAL RIVER MOUTHS OF THE SOUTHERN PRIMORYE REGION

N.N. Nazarov¹, I.V. Nazarova²

¹ Pacific Geographical Institute Far-Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Vladivostok,
Russia, nikolainazarovpsu@gmail.com

² Perm State National Research University, Perm, Russia

Выявление особенностей протекания гидролого-геоморфологических процессов в приливных устьях рек – часть проблемы развития береговых геосистем переходной зоны суша – океан. В устьях рек, впадающих в моря, одновременно действуют флювиальные (русловые), приливоотливные, волновые и некоторые другие процессы, каждый из которых в дельтах, эстуариях, лагунах образует эрозионные или аккумулятивные формы рельефа разного размера и различной морфологической выраженности. В настоящее время формирование устьевой части рек практически повсеместно происходит на фоне повышения уровня Мирового океана, часто создающего критические ситуации разного масштаба и продолжительности [2, 3, 5]. Понимание масштабов распространения в них гидролого-геоморфологических процессов может стать основой для выработки мер по организации защиты береговой инфраструктуры и населения от возникающих рисков разной природы.

При достаточно активном изучении речных и морских процессов в мезо- и макроприливных устьях рек [4, 6, 7] наименее исследованными остаются микроприливные устья. К таким устьям относятся и нижние течения рек Южного Приморья: Туманной и Партизанской, впадающих в залив Петра Великого. Устья данных рек и стали объектами исследования. Цель исследования – выявление особенностей устьевого морфолитогенеза в эстуариях руслового типа с разным соотношением влияния на них речных (флювиальных) и морских (волновых, приливоотливных) процессов.

В ходе изучения морфодинамических процессов, развивающихся в устьях исследуемых рек, были задействованы спутниковые изображения свободного доступа (Yandex-карты, GoogleMaps, Google Earth Pro). Для установления верхних границ эстуариев, а также зон приливных колебаний уровня и приливоотливных течений применялись дешифрировочные признаки, апробированные при картировании мезо- и макроприливных устьев рек [6].

Роль морских процессов в переформировании русла р. Туманной наиболее выражено проявилась в динамике аккумулятивных форм в ее эстуарии и на приустьевом взморье. Экстраординарная скорость ветра и возникающие в связи с этим аномально сильные волнения в прибрежной зоне периодически приводят к кардинальным перестройкам подводного и надводного рельефа в районе устьевого створа и самой нижней части эстуария. Активное развитие тайфунов, наблюдавшееся в конце 1990-х – начале 2000-х (до 2005) гг. [1], спровоцировало активный размыв подводного склона и, как следствие, наращение высоты приустьевых баров, закончившееся формированием большого острова, который в последующие шесть лет, отмечаемых как период без тайфунов,

был размыт «фоновыми» штормами. Важную роль в морфолитогенезе также играли прибойные потоки и вдольбереговые течения. Результатом развития этих процессов стало формирование донного рельефа эстуария и берегового контура русла в районе устьевого створа. В первую очередь, это проявилось в образовании недолговечных аккумулятивных тел и крючкообразных береговых кос, «заползающих» в русловую часть реки. Обрушение океанских волн на подводные склоны приустьевого бара приводило к концентрации энергии и образованию прибойного потока, поставляющего наносы из приустьевой части взморья непосредственно в эстуарий.

Важной составляющей в объеме материала, поступающего в русло эстуария, являются также наносы, поставляемые вдольбереговыми течениями в район приустьевого створа. В процессе выдвигании косы на устьевом мысе они захватываются прибойным потоком и также перенаправляются в эстуарий, формируя при этом аккумулятивные тела разной степени сохранности в пространстве и времени.

Не менее оригинально развитие устьевого морфолитогенеза происходит и в нижнем течении р. Партизанской. Важной особенностью современного формирования ее эстуарно-дельтовой системы стало влияние направленных природных процессов, причем прямо воздействующих на переформирование плановых очертаний элементов русла и береговых геосистем. В первую очередь, как и в случаях с другими реками Южного Приморья, это относится к повышению уровня моря при одновременном «проседании» береговой зоны из-за отрицательных движений земной коры.

Таким образом, изучение особенностей функционирования гидролого-геоморфологических процессов в микроприливных устьях рек показало, что их переформирование может проходить с преобладанием проявлений процессов как морского, так и флювиального (руслового) происхождения. В зависимости от расположения устья на открытом побережье или в вершине залива (бухты, лагуны), ведущими процессами могут быть как волновые, так и связанные с приливоотливными явлениями. Эти процессы определяют дальность распространения проявлений устьевого морфолитогенеза в речное русло. Общей тенденцией развития устьев рек Южного Приморья является постепенное продвижение верхней границы зоны смешивания речных и морских вод вверх по течению реки.

Работа выполнена по теме госзадания «Естественная и антропогенная динамика, трансформация и эволюция разноранговых геосистем и их компонентов в переходной зоне суша – океан в условиях возрастания природных и техногенных рисков; разработка методов и геоинформационных технологий их мониторинга и моделирования» (125021302113-3).

Литература

- [1] Как тайфуны-варвары терроризировали Приморье за последние 65 лет. URL: <https://primamedia.ru/news/457726>.
- [2] Кортаев В.Н. Геоморфология речных дельт. М.: Изд-во МГУ, 1991. 224 с.
- [3] Кортаев В.Н., Михайлов В.Н. Дельтообразование в устьях рек: типизация форм и процессов // Эрозионные и русловые процессы. 2000. Вып. 3. С. 223–237.
- [4] Мискевич И.В., Алабян А.М., Демиденко Н.А., Коробов В.Б., Панченко Е.Д. Формирование высокой мутности вод в малых приливных эстуариях Белого и Баренцева морей // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2022. № 4. С. 142–153.
- [5] Михайлова М.В. Взаимодействие приливов и штормовых нагонов в устье р. Эльбы // Водные ресурсы. 2011. Т. 38, № 3. С. 283–296.
- [6] Назаров Н.Н. Особенности проявления русловых процессов в устьевых областях приливных рек // Тихоокеанская география. 2025. № 1. С. 18–32. doi:10.35735/268_70509_2025_21_2.
- [7] Назаров Н.Н., Фролова И.В. Влияние приливо-отливных процессов на геосистемы устьевых областей рек // Геосистемы северо-восточной Азии: природные и социально-экономические факторы и структуры. Владивосток, 2024. С. 159–163. doi:10.35735/9785604968338_159.

ПРОТОТИП УЧЕБНО-ТРЕНАЖЕРНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ БЕЗЭКИПАЖНЫХ КАТЕРОВ В ПРИБРЕЖНЫХ МОРСКИХ ЭКСПЕДИЦИЯХ

В.В. Никишин^{1,2}, А.В. Багаев², Л.В. Вержевская²

¹ Севастопольский государственный университет, Севастополь, Россия

² Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия

PROTOTYPE OF A TRAINING SIMULATOR FOR USERS OF UNMANNED SURFACE VESSELS IN COASTAL MARINE EXPEDITIONS

V.V. Nikishin^{1,2}, A.V. Bagaev², L.V. Verzhevskaya²

¹ Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

² Marine Hydrophysical Institute RAS, Sevastopol, Russia

Современные прибрежные морские исследования все чаще опираются на применение безэкипажных катеров (БЭК), оснащенных гидроакустическим и океанографическим оборудованием. Эффективность экспедиционных работ напрямую зависит от уровня подготовки операторов, управляющих этими комплексами. Однако традиционное обучение на воде сопряжено с высокими материальными затратами, ограниченностью навигационного времени и рисками, связанными с отработкой навыков в реальных условиях. Существующие методики не позволяют в полной мере имитировать нештатные ситуации, отрабатывать алгоритмы поиска подводных объектов и корректировать маршрутные задания до выхода на акваторию.

Цель настоящей работы – разработка интерактивного учебно-тренажерного комплекса для подготовки операторов БЭК, обеспечивающего комплексную теоретическую и практическую подготовку в виртуальной среде, максимально приближенной к реальным условиям прибрежных экспедиций.

Комплекс реализован на базе российской симуляционной среды UNIGINE Community, обладающей высокой производительностью при создании крупномасштабных трехмерных ландшафтов (до сотен квадратных километров) и возможностью работы на оборудовании со средними характеристиками. Выбор среды обусловлен ее функционалом: поддержкой физики ветро-волнового воздействия, расчетом взаимодействий объектов в реальном времени и готовыми инструментами для интеграции VR-технологий.

Ключевым элементом комплекса является математическая модель эхолота и гидролокатора бокового обзора (ГБО). В отличие от традиционного подхода, имитирующего акустический сигнал, в нашей модели глубина и форма эхограммы определяются расчетом длины векторов между приемно-излучающим устройством и отражающей поверхностью в трехмерном пространстве. Это позволяет реалистично воспроизводить отражения от сложных объектов (затонувшие суда, аномалии рельефа) и формировать тени, характерные для реальных ГБО.

Для обеспечения репрезентативности обучения создан цифровой двойник акватории Лименской бухты (Южный берег Крыма) – района расположения Черноморского гидрофизического подспутникового полигона Морского гидрофизического института РАН (МГИ). Пространственная модель включает: батиметрию, построенную по данным натурных промерных работ, выполненных авторами; цифровую модель рельефа прибрежной зоны на основе открытых карт высот; текстуры – маски для размещения растительности, повышающие реалистичность визуальной обстановки.

Виртуальная среда позволяет воспроизводить различные сценарии движения БЭК с учетом реальной динамики ветра и волнения. Разработанный комплекс обеспечивает отработку полного цикла подготовки оператора:

1) планирование миссии. Пользователь формирует маршрутное задание (промерные галсы) в геоинформационной системе с последующим импортом в тренажер для верификации и коррекции;

2) управление БЭК и гидроакустическая съемка. Обучающийся управляет курсом и скоростью судна в виртуальной акватории, получая в реальном времени эхограммы однолучевого эхолота и синтезированные изображения ГБО. Реализована возможность поиска и идентификации подводных природных и антропогенных объектов под разными азимутами прохода;

3) обработка результатов. По завершении виртуальной экспедиции формируется выходной файл данных, содержащий географические координаты и измеренные глубины, по формату идентичный данным реальных приборов. Это позволяет отрабатывать навыки постобработки, визуализации и построения карт глубин в специализированном ПО.

Тренажерный комплекс апробирован в процессе подготовки инженерного состава, участвующего в экспедиционных работах МГИ РАН. Практическая апробация показала, что использование виртуальной среды позволяет: сократить время базовой подготовки операторов за счет переноса начального этапа обучения из натуральных условий в лабораторию; отработать типовые и нештатные сценарии гидроакустического поиска без привлечения флота и дорогостоящего оборудования, повысить качество планирования экспедиций за счет предварительной оценки маршрутов на цифровом двойнике акватории.

В ближайших планах – расширение номенклатуры моделируемых параметров, интеграция моделей STD-зондов (электропроводность, температура, глубина), распределенных датчиков на термокосте, измерителей растворенного кислорода, а также внедрение VR-интерфейсов для повышения уровня погружения обучающегося в процесс.

Разработанный учебно-тренажерный комплекс представляет собой эффективный инструмент подготовки операторов БЭК для прибрежных морских экспедиций. Сочетание реалистичной гидроакустической модели, цифрового двойника реальной акватории и интеграции с геоинформационными системами позволяет обеспечить непрерывный цикл обучения от планирования до обработки данных, существенно повышая готовность персонала к выполнению задач в реальных условиях.

Работа выполнена в рамках темы госзадания ФГБУН ФИЦ МГИ FNNN-2024-0016 «Прибрежные исследования».

ТЕХНОГЕННЫЙ ФАКТОР ДИНАМИКИ МОРСКИХ БЕРЕГОВ РОССИИ

С.А. Огородов

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия,
ogorodov@geogr.msu.ru

TECHNOGENIC FACTORS IN THE DYNAMICS OF RUSSIA'S SEA COASTS

S.A. Ogorodov

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, ogorodov@geogr.msu.ru

Береговая зона – область взаимодействия трех географических оболочек: литосферы, гидросферы и атмосферы. Это ценнейший ресурс, который планета Земля даровала человеку. В свою очередь, человек, если грамотно распорядится этим ресурсом, то может практически бесконечно извлекать для себя пользу, используя этот ресурс для своего существования и устойчивого развития. Вместе с тем, несмотря на существующую нормативно-законодательную базу, регламентирующую хозяйственную деятельность в береговой (прибрежной) зоне моря, XXI в. (век высоких природоподобных технологий) для морей России ознаменовался повсеместным и не всегда оправданным вмешательством человека в процесс взаимодействия литосферы, гидросферы и атмосферы. Вместо того, чтобы использовать эти уникальные условия и подстроиться под процесс взаимодействия географических оболочек, что как раз и предполагает применение природоподобных технологий, человек постоянно пытается воздействовать на него.

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 [3, 5]. 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 подходных каналов, локальные берегоукрепительные мероприятия – все эти факторы привели к тому, что с начала XXI в. повсеместно произошла активизация береговых процессов [2, 4, 6]. 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 скорость отступления морских берегов на отдельных участках достигла катастрофических масштабов [1].

Венец творения трех сфер – пляж, продукт их динамического равновесия, идеальное берегозащитное сооружение, придуманное самой природой, и одновременно самый популярный в мире объект рекреационного притяжения. Именно пляж обычно становится первой жертвой чрезмерной человеческой активности. К сожалению, активизация освоения береговой зоны морей России с началом XXI в. ознаменовалась ростом вмешательства человека в естественный ход береговых процессов. В свою очередь, техногенный фактор стал триггером климатически обусловленных изменений в береговой зоне, их влияния на динамику берегов и транспорт наносов. Результат – снижение устойчивости береговых систем, потеря берегозащитной функции пляжей, активизация

деструктивных абразионных процессов, необходимость строительства дорогостоящих берегозащитных сооружений, снижение рекреационной привлекательности.

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.

Материалы публикации подготовлены в рамках выполнения работ по госбюджетной теме лаборатории геоэкологии севера географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова «Проблемы освоения Арктической зоны РФ: опасные экзогенные процессы и риски природопользования».

Литература

- [1] *Алексютин Д.М., Огородов С.А.* Устойчивость берегозащитных сооружений в криолитозоне // Устойчивость природных и технических систем в криолитозоне: Материалы Всероссийской конференции с международным участием, посвященной 60-летию образования Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН. Якутск, 2020. С. 357–361.
- [2] *Ермолов А.А., Огородов С.А.* Роль техногенного фактора в динамике низких берегов арктических морей // Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации: Материалы XIX Общероссийской научно-практической конференции изыскательских организаций. М.: МИИ, 2024. Т. 1. С. 216–220.
- [3] *Котляков В.М., Огородов С.А.* Береговая зона морей России в XXI веке. Т. 160: Вопросы географии. Русское географическое общество. М.: Медиа-ПРЕСС, 2025. С. 11–20.
- [4] *Огородов С.А., Бадина С.В., Землянов И.В.* Береговая зона федеральной территории Сириус: проблемы освоения и управления природопользованием // Стратегические проблемы, угрозы и риски Азовского бассейна и Приазовья (Опасные явления – V): Материалы V Международной научной конференции памяти чл.-корр. РАН Д.Г. Матишова. Ростов-на-Дону: ЮНЦ РАН, 2024. С. 260–264.
- [5] *Ogorodov S.A., Baranskaya A.V., Belova N.G., Kamalov A.M., Kuznetsov D.E., Overduin P.P., Shabanova N.N., Vergun A.P.* Coastal Dynamics of Pechora and Kara Seas under Changing Climatic Conditions and Human Disturbances // *Geography, Environment, Sustainability*. 2016. V. 9, № 3. С. 53–73. doi:10.15356/2071-9388_03v09_2016_04.
- [6] *Ogorodov S.A.* Human impacts on coastal stability in the Pechora Sea // *Geo-Marine Letters*. 2005. V. 25, № 2–3. P. 190–195.

**ОЦЕНКА ПРОСТРАНСТВЕННОГО И ВРЕМЕННОГО
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТУРИСТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ
ПО ДАННЫМ СОЦИАЛЬНОЙ СЕТИ И ВИДЕОМОНИТОРИНГА
(ПОБЕРЕЖЬЕ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ)**

Е.Д. Питерниекс, А.Р. Данченков

Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград, Россия
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

**AN ASSESSMENT OF THE SPATIAL AND TEMPORAL DISTRIBUTION
OF TOURIST ACTIVITIES BASED ON SOCIAL NETWORK AND VIDEO
MONITORING DATA (COAST OF THE KALININGRAD REGION)**

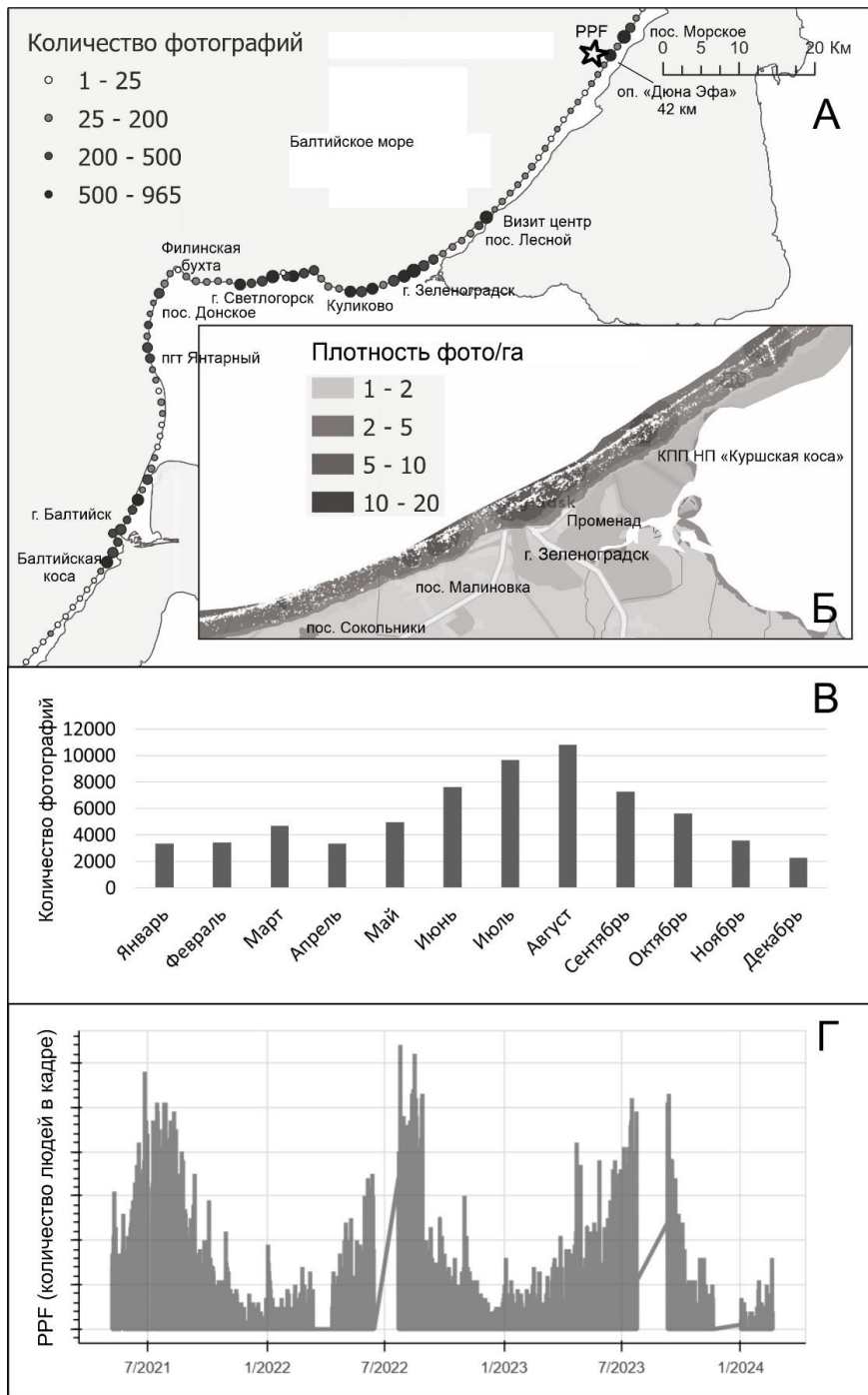
E.D. Piterniex, A.R. Danchenkov

Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia
Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Использование морского побережья, ценного рекреационного ресурса, приводит к деградации природных комплексов. Различные участки побережья имеют различную степень привлекательности, что связано с набором природных характеристик и степенью освоенности территории. Для принятия решений по оптимизации природопользования необходима количественная оценка использования морского побережья в рекреационных целях. Однако сбор информации о посещаемости в больших пространственных и временных масштабах представляет собой сложную задачу. Целью исследования является количественная оценка туристической активности на морском побережье на основе данных социальной сети и автоматизированного видеомониторинга.

В качестве модельного участка использовано морское побережье Калининградской области. Исходный массив данных включал записи о 66 719 фотографиях из социальной сети «ВКонтакте» за период 2008–2026 гг. Данные были получены с использованием программы на языке Python, выполняющей последовательные запросы к социальной сети для выгрузки записей в радиусе 500 м от центра сегмента береговой линии. Построение центров сегментов выполнялось на основе береговой линии с использованием ArcGIS Pro. Каждая запись содержала географические координаты, временную метку и идентификатор сегмента. Записи были отфильтрованы на наличие дублей. Объединение фотографий по сегментам позволило получить вдольбереговое распределение рекреационной нагрузки и выделить участки, на которых наблюдается повышенная туристическая активность (рисунок, а, б).

Временная обработка данных включала перевод временных меток в календарные даты и построение рядов, отражающих межгодовую и месячную динамику количества фотографий. Межгодовая динамика продемонстрировала экспоненциальный рост: от двух фотографий в 2008 г. до более 5 тыс. фотографий/год после 2019 г. Максимальное количество фотографий (12 629 шт.) пришлось на 2022 г. В 2025 г. годовое количество фотографий достигло 9 589, что отражает переход к высокой туристической нагрузке после этапа интенсивного роста. Распределение фотографий по месяцам имеет выраженную сезонность: рост динамики наблюдается в мае и достигает максимума в августе, что свидетельствует о доминировании теплого сезона в структуре прибрежной рекреации (рисунок, в).



(а) – суммарное количество фотографий вдоль побережья Калининградской области в 2008–2026 гг.; (б) – пример массива фотографий и их плотность на участке побережья; (в) – месячная динамика количества фотографий в 2008–2026 гг.; (г) – межгодовая динамика посещаемости участка побережья по данным видеомониторинга.

Для проверки достоверности сезонных и внутрисуточных распределений дополнительно использованы данные видеомониторинга репрезентативного участка побережья на 42-м км Куршской косы (рисунок, а), где показатель PPF (people per frame, количество людей в кадре) рассчитывался с интервалом 10 мин в период с мая 2021 по февраль 2024 г. Анализ временных рядов PPF показал устойчивый дневной максимум в интервале 10–14 ч местного времени, когда средние значения достигали 5–7 человек в кадре, а пиковые превышали 60 человек; в ночные часы показатель был близок к нулю. Ход PPF по месяцам продемонстрировал, что летний сезон является периодом наибольшего количества посетителей, что согласуется с летним максимумом числа фотографий «ВКонтакте» (рисунок, г).

Предложенная методика является инструментом для выявления «горячих точек» рекреационной активности и оценки многолетней пространственно-временной структуры использования побережья. Данные социальной сети позволяют получить вдольбереговое распределение туристической активности, позволяя реконструировать пространственно-временную структуру рекреационной нагрузки вдоль всей береговой линии.

Перспективой развития исследования является объединение карт рекреационной нагрузки с геоморфологическими и экологическими показателями устойчивости береговой зоны, в том числе с экспериментально установленными зависимостями морфодинамического отклика дюнных склонов на рекреационное воздействие [1]. Подобная интеграция создаст основу для дальнейшего анализа природно-антропогенного развития побережья и его учета в процедурах морского пространственного планирования.

Работа выполнена в рамках госзадания Минобрнауки России для ИО РАН (тема № FMWE-2024-0025).

Литература

- [1] *Danchenkov A.R., Piterniex E.D., Belov N.S. Mechanical Anthropogenic Impact on Natural Slopes of Coastal Dunes // Russian Journal of Earth Sciences. 2025. V. 25, № 5. ES5027. doi:10.2205-2025es001026.*

МАТРИЧНО-ИНДИКАТОРНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ: ЭКОСИСТЕМЫ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Е.А. Румянцева, Е.А. Ефименко

Мурманский арктический университет, Мурманск, Россия, rumkate@rambler.ru

MATRIX-INDICATOR APPROACH TO ASSESSING TECHNOGENIC IMPACT IN THE ARCTIC ZONE: ECOSYSTEMS OF THE MURMANSK REGION

E.A. Rumiantceva, E.A. Efimenko

Murmansk Arctic University, Murmansk, Russia, rumkate@rambler.ru

Активная эксплуатация недр в российской Арктике провоцирует нарастание экологических и техногенных проблем на всей ее прибрежной территории. Классификационная схема, предложенная Г.Г. Гогоберидзе [1, 2], представляет комплексную характеристику рисков, связанных с природоресурсной деятельностью, учитывая их категории, источники возникновения, географическое распределение и пространственные масштабы, а также особенности воздействия на арктические экосистемы и социально-экономические структуры. Процесс формирования риска рассматривается как последовательная триада: источник, фактор и объект воздействия. Оценка корреляций между этими компонентами проведена путем двумерного матричного моделирования («фактор – источник» и «объект – фактор») на основе экспертных оценок по пятибалльной шкале. Данный подход позволяет провести интегральную оценку и классификацию угроз, возникающих при использовании природного потенциала арктической зоны.

Апробация разработанной системы оценки рисков природопользования в арктических прибрежных районах проводилась через вычисление матриц рисков для 17 административных единиц Мурманской области. Для выявления и определения критериев коэффициентов, отражающих масштаб рискового воздействия на компоненты арктических прибрежных территорий, в расчетах использовались данные спутникового мониторинга и статистических исследований. Применение матричного подхода позволило создать пространственные карты распределения рисковых параметров и подготовить картографические материалы для арктических береговых экосоциоэкономических комплексов с градацией по уровням рисков освоения природных ресурсов. Кроме того, данный подход способствовал выявлению доминирующих рисковых компонентов и их взаимосвязей, влияющих на устойчивость анализируемых систем.

Задача оценки значимости потенциального воздействия рисков, являющаяся важным этапом их идентификации, для Мурманской области была решена с использованием матрицы последствий, разработанной на основе шкалы последствий [3]. Оценка последствий происходит в диапазоне баллов от одного до пяти, в котором минимальный уровень (1 балл) соответствует незначительному ущербу, затрагивающему лишь единичные социальные или локальные объекты; 2 балла – умеренные последствия, оказывающие локальное негативное влияние на региональные экономические показатели и состояние инфраструктуры, отдельные производственные объекты, малые социальные группы; 3 балла – умеренные последствия, причем объектами воздействия опасного события являются люди, экономика, инфраструктура, живые организмы (животные/птицы/рыбы/насекомые), производственные процессы, нарушение экосистем; 4 балла – значительный ущерб, оказывающий существенное негативное влияние на биоту, техносферу, людей и социально-экономическую инфраструктуру региона; и 5 баллов – катастрофический масштаб последствий, характеризующийся системным

разрушением техносферы, деградацией биоты и параличом органов государственного управления на фоне необратимого экологического и экономического ущерба. Производство полученных матриц последствий, представляющих собой оценки последствий предполагаемых событий, на матрицы вероятностей наступления различных рисков дает матрицы значимости риска, представляющие собой результирующие оценки значимости риска. На основе матриц значимости риска устанавливается масштаб риска и в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 21.05.2007 г. № 304 (в актуальной редакции 2025 г.) становится возможным переход к монетарным оценкам рисков. Благодаря такому подходу можно будет заранее определить наиболее рискованные и затратные в рублевом эквиваленте источники, факторы и объекты риска, что позволит минимизировать ожидаемый ущерб.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ, грант № 24-17-20021, <https://rscf.ru/project/24-17-20021/>, и Минобрнауки Мурманской области, Соглашение от 03.05.2024 № 199.

Литература

- [1] Гогоберидзе Г.Г., Румянцева Е.А., Шилин М.Б. Природные и техногенные риски природопользования в береговых эко-социо-экономических системах Арктической зоны Российской Федерации // Региональная экономика: теория и практика. 2021. Т. 1, № 2 (485). С. 360–383. doi:10.24891/re.19.2.360.
- [2] Гогоберидзе Г.Г., Румянцева Е.А., Шилин М.Б. Оценка рисков арктического берегового природопользования на основе матричного подхода // Российская Арктика. 2021. № 15. С. 5–16. doi:10.24412/2658-4255-2021-4-05-16.
- [3] Могилко Д.Ю. Управление рисками: модель процесса и компетенций // Менеджмент качества. 2019. № 3. С. 184–199. URL: <https://grebennikon.ru/article-tfn3.html>.

ДИНАМИКА И ТРАНСФОРМАЦИЯ БЕРЕГА КУРШСКОГО ЗАЛИВА В ПОС. МОРСКОМ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

О.И. Рябкова, Г.С. Михневич, Е.В. Моданова

Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград, Россия, mi78galina@mail.ru

DYNAMICS AND TRANSFORMATION OF THE CURONIAN LAGOON COAST IN THE VILLAGE OF MORSKOYE UNDER CONTEX OF MODERN CLIMATE CHANGE

O.I. Ryabkova, G.S. Mikhnevich, E.V. Modanova

Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia, mi78galina@mail.ru

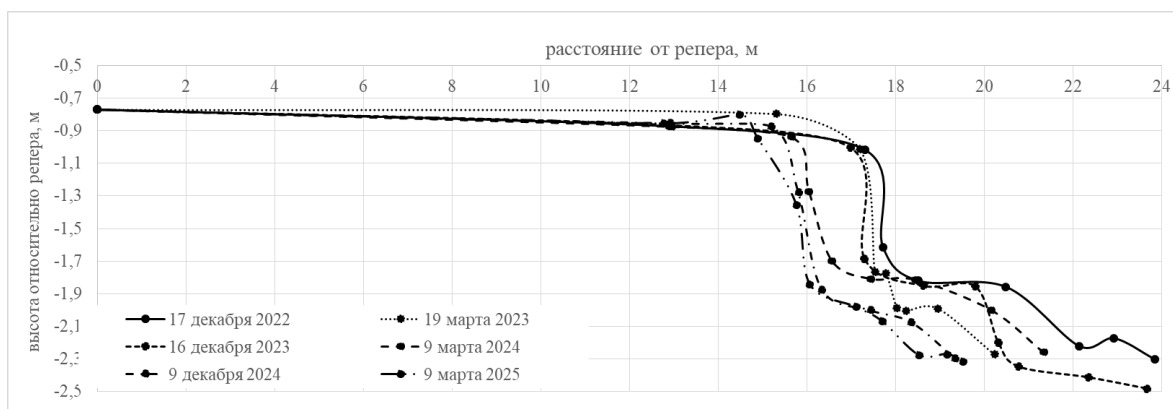
Стабильность береговых зон находится под угрозой из-за изменения климата и повышения уровня моря, а также регионального увеличения частоты и интенсивности штормов [3]. Вследствие этого низменные побережья сталкиваются с периодом нестабильности и более частыми штормовыми наводнениями. Куршская коса – это песчаная аккумулятивная форма рельефа, отчленяющая Куршский залив от Балтийского моря и характеризующаяся извилистой береговой линией. Мелководная бухта в районе пос. Морского является одной из наиболее динамичных и уязвимых точек Куршской косы. Литодинамический режим этого участка берега, расположенного в северной части российского сектора Куршской косы у подножия дюнной гряды, характеризуется отрицательным балансом наносов в штормовые периоды и избыточным эоловым пополнением в межштормовое время.

Анализ гидродинамических процессов показывает, что береговая линия в пос. Морском подвергается наиболее интенсивной трансформации в периоды прохождения «ныряющих» циклонов. Особую опасность для береговой зоны представляют их «кластеры»: серии из 3–6 барических образований, следующих друг за другом через определенную область за короткий промежуток времени (2–4 сут) [2, 3]. За последние десятилетия частота таких циклонов увеличилась, что делает гидродинамический режим бухты экстремальным и непредсказуемым [3]. Сильные нагоны (+100...+120 см) вызывают фронтальную абразию берегового склона. Высокая энергия прибойного потока разрушает подошву дамбы в пос. Морском; размывтый материал выносится в глубокие части залива или аккумулируется в виде донных гряд, что приводит к необратимому отступанию береговой линии и дефициту песчаного материала в береговой зоне. В зимний период берег и гидротехнические сооружения в пос. Морском подвергаются криогенному воздействию. Штормовые ветры северных румбов вызывают дрейф ледяных полей с их последующим торошением у дамбы и коренного берега. Образующиеся ледяные валы выступают дополнительным фактором абразии, «выпахивая» мелководные участки дна и изменяя конфигурацию береговой линии.

Ниже представлен обзор результатов мониторинга в 2022–2026 гг.; были оценены темпы деформации берегового профиля и выявлена направленность литодинамических процессов. Берег в районе пос. Морского относится к типу интенсивно разрушаемых: резкие штормовые колебания уровня залива вызывают размыв берега, перемещение осадочного материала и коренную перестройку берегового профиля. Прослежены изменения, возникшие в морфологии берега после шторма Ульф (февраль 2023 г.), серии штормов Маргрет, Надин, Ольга (февраль 2024 г.), шторма Чарли (январь 2025 г.). Процесс эрозии в пос. Морском сопровождается качественным изменением ландшафта: ши-

рина пляжа сокращается на 2–5... 10 м, иногда пляж полностью размывается. Вследствие этого волны бьют непосредственно в основание уступа или защитные сооружения. Происходит деградация растительных сообществ, выполняющих роль естественного волнолома, что ускоряет размыв. Происходит заиление прибрежной полосы: вымытый песок уносится на глубину, замещаясь органическим илом.

Наиболее динамичен участок на северной окраине поселка. Здесь отмечается не только размыв пляжа, но и отступление бровки уступа призаливной террасы. Пляж временами отсутствует; среднее зимнее значение его ширины – 2–3 м. Общая величина отступления берега за три года составила 2.2 м (рисунок). Основной вклад в деструкцию берегового склона вносит зимний период, на который пришлось 1.8 м (около 80 % общей величины размыва), что указывает на высокую штормовую активность в данный сезон. Особенно значительно пострадал берег в результате штормов зимой 2023–2024 гг. (–1.3 м) (рисунок).



Изменения профиля берега на северной окраине пос. Морского.

Южная окраина поселка, расположенная на искусственно намытой в конце XX в. террасе, относительно стабильна. Размыв уступа террасы не был зафиксирован, чему способствует достаточно значительная ширина и высота пляжа. Периодически в тыловой части пляжа формируется эоловая подушка. После крупных подъемов уровня залива эоловая подушка оказывается уничтоженной, что косвенно свидетельствует о воздействии нагонов и волн на тыловую часть пляжа. Зимний размыв пляжа составляет до 10 м (зима 2022–2023 гг.). Среднее зимнее значение ширины пляжа – 12–16 м.

Центральная часть поселка защищена дамбой, предназначенной для предотвращения размыва жилой застройки и затопления территорий при нагонах. Истощение грунта, слагающего дамбу, идет быстрыми темпами: через несколько лет после окончания строительства дамбы сильные штормы нанесли серьезный ущерб ее южному флангу. Размыв дамбы в начале века происходил со скоростью 4–6 м/год, в результате ее ширина сократилась с 70–100 м до опасных значений [1]. Анализ динамики разрушения дамбы выявил выраженную тенденцию к интенсификации размыва. По результатам выполненных исследований средняя скорость размыва дамбы за период 2000–2023 гг. составила 1.5–2.0 м/год; за период 2010–2023 гг. – 1.0–2.5 м/год, за период 2018–2023 гг. – 2.5–5.5 м/год, что демонстрирует неравномерное распространение процесса размыва и ускорение его темпов. Ширина дамбы при низком уровне залива составляет 9–19 м, при высоком – зафиксировано затопление дамбы (февраль 2024 г., январь 2025 г.). Таким образом, переход от умеренного размыва (1.5 м/год) к критическому (до 5.5 м/год) свидетельствует о прохождении береговой системой «точки устойчивости». Текущее состояние объекта можно оценить как предаварийное. Деградация дамбы может привести к изменению гидрологического режима: при прохождении ныряющих циклонов вода будет беспрепятственно проникать в низменные части поселка, что вызовет подпор грунтовых вод и хроническое переувлажнение почв.

Полученные данные обосновывают необходимость проектирования и строительства берегозащитных сооружений в районе п. Морского для предотвращения прорыва дамбы и затопления прилегающих территорий.

Литература

- [1] Бадюкова Е.Н., Жиндарев Л.А., Лукьянова С.А., Соловьева Г.Д., Щербина В.В. Особенности современной динамики лагунных берегов Куршской косы, юго-восток Балтики // Литодинамика донной контактной зоны океана. М.: ГЕОС, 2009. С. 124–130.
- [2] Нестеров Е.С. Экстремальные циклоны над морями европейской части России // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2018. № 1 (367). С. 97–115.
- [3] Stont Zh.I. «Diving» cyclones and consequences of their impact on the coasts of the South-Eastern Baltic Sea // Russian Journal of Earth Sciences. 2023. V. 23. ES2001.

ДИНАМИКА БЕРЕГОВ АЗОВСКОГО МОРЯ КАК СДЕРЖИВАЮЩИЙ ФАКТОР РЕКРЕАЦИОННОГО ОСВОЕНИЯ ПОБЕРЕЖЬЯ ЗАПОРОЖСКОЙ ОБЛАСТИ

А.Ю. Санин

Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова, Росгидромет, Москва, Россия, eather86@mail.ru

DYNAMICS OF THE SHORES OF THE SEA OF AZOV AS A DETERRENT TO RECREATIONAL DEVELOPMENT OF THE COAST OF THE ZAPORIZHIA REGION

A.Yu. Sanin

Zubov State Oceanographic Institute, Roshydromet, Moscow, Russia, eather86@mail.ru

В Запорожской области, вошедшей в состав России в 2022 г., традиционно высокое значение, особенно для ее прибрежной части, имеет рекреационная деятельность. Для некоторых небольших прибрежных населенных пунктов (Кирилловка, Новопетровка и др.) она является основной отраслью специализации, для других, более крупных (Приморск, Бердянск и др.), играет важную роль.

Рекреационная активность предполагает строительство инженерных сооружений туристического назначения, в частности, для размещения отдыхающих, при этом традиционно многие из них располагаются непосредственно на береговой линии. Ключевую роль в рекреационном потенциале Запорожской области в силу ее рекреационной специализации играют пляжи. Однако динамические процессы, свойственные берегам Северного Приазовья, описанные в литературе [1–3, 6], часто, особенно в среднесрочной и долгосрочной перспективе, представляют угрозу как для зданий и сооружений, расположенных в непосредственной близости от береговой линии, так и для пляжей.

Для берегов Азовского моря на многих участках характерны высокие скорости размыва [2, 6], так как часто они сложены легко разрушаемыми волнами горными породами. На многих участках абразионные процессы дополняются оползневыми, значительная часть берегов в пределах области относится к так называемым абразионно-оползневым [3]. Существенная часть объектов рекреационной инфраструктуры (в Приазовье в целом и в Запорожской области в частности) расположена на азовских косах, которые также характеризуются повышенной динамичностью. Для побережья Азовского моря характерны и другие неблагоприятные и опасные явления природы (НОЯ). К ним относятся сгонно-нагонные явления, особенно в устьях рек, отбойные течения, штормовые явления (в литературе отмечено, что шторм силой 9 баллов отмечается 2–8 раз в году [4]), и др., что также необходимо учитывать при рекреационном освоении. Также важно понимать и преобладающее направление вдольбереговых потоков наносов, изученных для Азовского моря еще в середине XX в. [1], что позволяет спрогнозировать изменения интенсивности процессов размыва на участках, смежных с теми, на которых могут быть построены дамбы, буны и прочие сооружения, перпендикулярные береговой линии.

Особую актуальность вопрос необходимости учета динамики берегов приобретает в связи с перспективами восстановления имеющихся объектов рекреационной инфраструктуры и строительства новых. Комплексная экспедиция Русского географического общества вокруг Азовского моря в 2024 г., показала, что многие рекреационные объекты в настоящее время заброшены и не используются [4, 5, 7]. В Стратегии устойчивого развития Приазовья [7] предусматривается существенный рост туристического потока в регион, в том числе и в Запорожскую область. Он представляется вполне логичным с

учетом огромной разницы между туристическим потенциалом Приазовья в целом и Запорожской области в частности и интенсивности его использования. Коэффициент его использования (отношение туристского потока к предельной рекреационной емкости) для Азовского побережья составляет 0.21, что примерно в три раза ниже, чем для черноморского [7]. Для Северного Приазовья (за исключением Ростовской области) в настоящее время его значение еще существенно ниже, особенно для Запорожской и Херсонской областей.

Предполагается, что рост турпотока только в прибрежных территориях может достичь 11–12 млн человек к 2030 г. и до 15–16 млн человек к 2040 г. [7]. От 10–15 до 20–30 % от этого потока может приходиться на Запорожскую область, особенно в случае успешной реализации проекта строительства нового курорта «Приморск».

Существенный рост туристического потока невозможен без строительства новой современной инфраструктуры для туристов и путей сообщений к ней, что должно осуществляться с учетом НОЯ для минимизации материального ущерба и человеческих жертв от них в будущем.

Отдельного внимания требуют планы по строительству в рамках проекта «5 морей и озеро Байкал» нового федерального круглогодичного курорта «Приморск» около г. Приморска и у основания Обиточной косы. От других рекреационных комплексов, которые уже функционируют или которые будут запущены в строй в регионе в будущем, «Приморск» отличается масштабностью инвестиций (преимущественно частные), которые планируется привлечь для его строительства, а также значительным количеством туристов, которые, согласно утвержденным планам, будут посещать курорт. Предполагается, что их количество достигнет 2 млн рекреантов в год [5], что в несколько раз больше, чем объем туристического потока на всю территорию области в 2025 г.

Исследование выполнено при поддержке РНФ, научный проект № 25-27-00760 «Рекреация в пространственной структуре природопользования Запорожской области и способы ее интенсификации посредством туристской деятельности».

Литература

- [1] *Зенкович В.П.* Берега Черного и Азовского морей. М.: Географгиз, 1958. 373 с.
- [2] *Мамыкина В.А., Хрусталева Ю.П.* Береговая зона Азовского моря. Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ, 1980. 176 с.
- [3] *Матишов Г.Г. и др.* Азовское море: современные абразионные процессы и проблемы берегозащиты // Доклады РАН. 2016. Т. 471, № 4. С. 483–486.
- [4] *Позаченюк Е.А., Самохин Г., Кутикова Е.* Рекреационный потенциал водных ресурсов побережья Азовского моря // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. География. Геология. 2025. Т. 11 (77), № 1. С. 124–144.
- [5] *Проект Стратегии социально-экономического развития Запорожской области на 2024–2034 гг.* URL: https://www.economy.gov.ru/material/file/5799ea4f6ecf0c6f03abc6911f88bfae/project_strategii_socialno_ekonomicheskogo_razvitiya_zaporozhskoy_oblasti_na_2024_2034_gg.pdf (дата обращения: 24.02.2026).
- [6] *Селиванов А.О.* Береговая катастрофа на Азовском море. Миф или реальная угроза? М.: ГЕОС, 2001. 84 с.
- [7] *Стратегия устойчивого развития Приазовья до 2040 года.* Разработана Агентством стратегических инициатив в соответствии с Поручением Президента Российской Федерации В.В. Путина от 1 апреля 2023 г. № Пр-650 о разработке Стратегии развития акватории Азовского бассейна и территорий Приазовского побережья.

ВЗАИМОПОДСТРОЙКА ВОЛН И РЕЛЬЕФА ДНА

Я.В. Сапрыкина, С.Ю. Кузнецов

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

SELF-ORGANIZING WAVES AND BOTTOM TOPOGRAPHY

Ya.V. Saprykina, S.Yu. Kuznetsov

Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow, Russia, saprykina@ocean.ru, kuznetsov@ocean.ru

Ветровые волны в береговой зоне являются основным фактором, влияющим на накопление и эрозию песчаных отложений, а также на морфодинамические изменения рельефа дна, например, такие как образование подводных валов. Современные исследования продемонстрировали ведущую роль нелинейной трансформации волн в этих процессах. Наличие высших нелинейных гармоник при трансформации волн на мелкой воде при их распространении к берегу изменяет форму волн, делая ее асимметричной. Изменение симметрии волн приводит к изменению симметрии волновых орбитальных скоростей вблизи дна, что влияет на направление и величину расхода наносов. Существует множество эмпирических и полуэмпирических моделей переноса наносов, использующих различные параметризации изменения асимметрии волн. Как показано во многих исследованиях, форма рельефа дна при переносе наносов в поперечном направлении зависит от положения максимума второй волновой гармоники, определяющей точку дивергенции потока наносов. Таким образом, может, например, образоваться подводный вал. При распространении волн к берегу из-за существования свободных и связанных волн возникают пространственные флуктуации между первой и второй нелинейной гармоникой, проявляющиеся как видимый обмен энергией между ними. Этот эффект типичен для нелинейной трансформации волн на пологом склоне и часто наблюдается в экспериментах. Такие пространственные флуктуации первой и второй нелинейной гармоники были определены в статье [1] как сценарий нелинейной трансформации волн. Были выявлены основные характерные сценарии для положения максимума второй волновой гармоники, зависящие от среднего уклона дна и крутизны волн на входе в береговую зону.

Считается, что по мере распространения волн к берегу происходит взаимоподстройка (самоорганизация) волн и рельефа дна. Волны воздействуют на рельеф, а затем изменяются над ним, что приводит к дальнейшим изменениям рельефа. Однако до сих пор в деталях неясно, как это происходит, например, даже под влиянием одного волнового режима с постоянным периодом и высотой волн. Как быстро происходит самоорганизация в рамках одного постоянного волнового режима? Как изменяются сами волны, например, их сценарий нелинейной трансформации, и в какой степени изменяется исходная топография дна? Является ли сценарий нелинейной трансформации определяющим морфологическим фактором для данного рельефа дна при постоянном волновом режиме? Или таким фактором является обрушение волн?

Цель данного исследования — оценить влияние нелинейной трансформации волн на изменения рельефа дна и выявить ключевые закономерности взаимной подстройки между рельефом дна и волнами. Для этой цели в волновом лотке ООО «Гидротехника» в Сочи в 2023 г. был проведен специализированный лабораторный эксперимент. Длина лотка составляет 22 м, глубина и ширина — 1 м. Исследовались монохроматические волны, распространяющиеся над изначально ровным горизонтальным песчаным дном.

На основе анализа эволюции волновых спектров, изменений волновой асимметрии, фазового сдвига между гармониками (бифазы) и деформаций рельефа дна было

выявлено, что взаимоподстройка происходит в первую очередь за счет нелинейных свойств волн при их трансформации. Для каждого волнового режима существует сценарий нелинейной трансформации, основанный на пространственном положении максимумов и минимумов амплитуды второй гармоники и соответствующих изменений бифазы. В общем случае, увеличение амплитуды второй гармоники и соответствующее отрицательное значение бифазы приводят к эрозии, а уменьшение амплитуды второй гармоники и соответствующее положительное значение бифазы – к аккумуляции песчаных наносов. Положения основных минимумов и максимумов амплитуд сохраняются на протяжении всего волнового воздействия. Небольшая «коррекция» положения максимумов наблюдалась только в первые минуты волнового воздействия. Сценарий нелинейной трансформации полностью определяет основные изменения рельефа дна и положения подводных валов. При этом обрушение волн не изменяет положения максимумов и минимумов второй гармоники (сценарий), а лишь изменяет их абсолютные значения, что ускоряет изменение рельефа дна. На основе анализа экспериментальных данных можно сделать вывод, что рельеф дна достаточно быстро адаптируется к сценарию нелинейной трансформации. Следовательно, в прибрежной зоне можно ожидать формирования аналогичного рельефа под влиянием схожих волновых режимов. Это объясняет периодическое повторение форм рельефа в одной и той же прибрежной зоне в разное время.

Литература

- [1] Saprykina Y.V., Kuznetsov S.Y., Andreeva N., Shtremel M.N. Scenarios of nonlinear wave transformation in coastal zone // *Oceanology*. 2013. V. 53. P. 422–431.

ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ЭКОСИСТЕМЫ ПРИБРЕЖНЫХ АКВАТОРИЙ

Ю.Е. Токач, Р.Р. Гафаров, Ю.К. Рубанов

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
Белгород, Россия, tokach@bk.ru, beldevid94@mail.ru

WAYS TO SOLVE THE PROBLEM OF ANTHROPOGENIC LOAD ON THE ECOSYSTEM OF COASTAL WATERS

Yu.E. Tokach, R.R. Gafarov, Yu.K. Rubanov

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia,
tokach@bk.ru, beldevid94@mail.ru

Проблема антропогенной нагрузки на прибрежные акватории – это комплексный вызов, требующий сочетания технологических, законодательных и экосистемных подходов. Прибрежные зоны являются наиболее продуктивными, но и самыми уязвимыми участками гидросферы.

Согласно современным представлениям нефть и нефтяные остатки состоят из низко- и высокомолекулярных углеводородных и неуглеводородных компонентов. По коллоидно-химическим свойствам они являются нефтяными дисперсными системами со сложной внутренней организацией, способной изменяться под воздействием внешних факторов.

Малознергетические технологии (акустические, вибрационные, магнитные и др.), с помощью которых можно без заметных внешних энергетических затрат или с использованием внутренних резервов вещества перестраивать его структуру, являются наиболее перспективными ввиду их экономичности, эффективности и доступности. Эти методы находят все более широкое применение в нефтяной промышленности при добыче, транспорте и хранении высоковязких и высокозастывающих нефтей. Их использование дает возможность за короткий промежуток времени достичь значительного уровня разрушения структуры нефтяных ассоциатов, образованных смолисто-асфальтеновыми компонентами и кристаллическими парафиновыми углеводородами, и поддерживать этот уровень в течение времени, необходимого для осуществления массообменных процессов.

Применение сорбционных методов позволяет удалить загрязнения чрезвычайно широкой природы практически до любой остаточной концентрации независимо от их химической устойчивости, а придание сорбентам магнитных свойств обеспечит использование физических методов удаления разлитых нефтепродуктов с использованием магнитных ловушек. В связи с этим разработка адсорбента с высокими адсорбционными и магнитными свойствами с возможностью его эффективного внесения в слой нефтепродуктов и быстрого удаления с поверхности воды управляемым магнитным полем является актуальной научной и практической задачей [1].

Работа авторов направлена на получение сорбентов из смеси магнитного наполнителя и сорбирующего материала. Предлагаемые сорбенты обладают пожаро- и взрывобезопасными свойствами, отличаются многократностью применения, технологичностью и экономичностью.

В качестве магнитных наполнителей был исследован природный железорудный концентрат (магнетит), получаемый при мокрой магнитной сепарации железистых кварцитов и синтезированный магнетит, получаемый методом соосаждения солей железа избытком щелочи. В качестве сорбирующих материалов были выбраны распадающийся сталеплавильный шлак и хвосты обогащения мокрой магнитной сепарации.

Компоненты выбраны из условия содержания железосодержащих фаз и аналогичности качественных химических составов с целью образования прочных связей при межмолекулярном взаимодействии [2].

По химическому составу в шлаке и в хвостах обогащения преобладают CaO (45 %) и SiO₂ (59 %), что определяет их адсорбционную способность, а присутствие оксидов железа способствуют проявлению магнитных свойств.

В магнитных компонентах преобладающее содержание Fe₂O₃ (67.7 и 87.5 %,) свидетельствует об их высокой магнитной восприимчивости.

Соотношения компонентов выбраны из условия оптимальной магнитной восприимчивости, которую измеряли методом Фарадея по показаниям торсионных весов в магнитном поле. Максимальная напряженность магнитного поля катушки составляла 18 кА/м. Оптимальное массовое соотношение установлено при 40 % адсорбирующего компонента и 60 % магнитного наполнителя (1.0:1.5), что соответствовало практически равному объемному соотношению компонентов.

Для обеспечения плавучести и снижения водопоглощения комплексный адсорбент модифицировали силиконовым гидрофобизатором.

В результате модификации выявлено, что необходимое количество гидрофобизатора для достижения максимальной плавучести (3 ч) составляет 8–10 %. При этом водопоглощение образцов составляет 6–10 %.

Данные по водопоглощению подтверждаются значениями краевого угла смачивания для капли воды, помещенной на поверхность уплотненного слоя материала, которые составили 115–120°.

Значения массовой нефтеемкости исследуемого комплексного адсорбента составили от 0.6 до 1.0 кг/кг (в зависимости от вида нефтепродуктов). При этом объемная нефтеемкость соответствует значениям от 960 до 1600 кг нефтепродуктов/м³ адсорбента (при объемной массе комплексного сорбента 1600 кг/м³), что превышает значения известных промышленных сорбентов. Например, при массовой нефтеемкости 5 кг/кг и объемной массе сорбента 200 кг/м³ объемная нефтеемкость составит 1000 кг/м³.

Разработанный сорбент обладает максимальной объемной нефтеемкостью, что положительно отражается при транспортировании адсорбента на судах-нефтеборщиках с ограниченным полезным объемом для размещения груза.

Предлагаемый магнитный сорбент обладает пожаро- и взрывобезопасными свойствами. Отличается многократностью применения, технологичностью и экономичностью [3].

Приведенные результаты исследований показывают, что применение магнитных сорбентов совместно с воздействием магнитного поля на нефтепродукты способствует значительному положительному эффекту при соответствующей конструктивной проработке применяемых устройств.

Использование магнитных сорбентов с насыпной плотностью, превышающей плотность нефтепродуктов, обеспечивает их быстрое омагничивание и эффективное извлечение магнитными сепараторами.

Литература

- [1] Рубанов Ю.К., Токач Ю.Е. Удаление разливов нефтепродуктов с поверхности воды комплексными сорбентами на основе оксидов железа // Вестник технологического университета. 2015. № 7. С. 268–271.
- [2] Романовский В.И., Горелая О.Н., Хорт А.А. Магнитные сорбенты для удаления нефтепродуктов из водных сред // Актуальные вопросы и перспективы развития транспортного и строительного комплексов: Материалы IV международной научно-практической конференции. Гомель: БелГУТ, 2018. С. 215–216.
- [3] Рубанов Ю.К., Токач Ю.Е., Онищук В.И., Ли Ксианг. Создание новых адсорбентов для удаления эмульгированных нефтепродуктов из сточных вод с использованием магнитного поля // Экология и промышленность России. 2022. Т. 26, № 5. С. 4–9.

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА АКТИВИЗАЦИЮ ОПОЛЗНЕЙ В БЕРЕГОВОЙ ЗОНЕ ЮГО-ЗАПАДНОГО КРЫМА

Л.В. Харитонова, Ю.Н. Горячкин, В.В. Фомин

Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия, kharitonova.dntmm@gmail.com,
yngor@yandex.ru, fomin.dntmm@gmail.com

COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF HYDROMETEOROLOGICAL FACTORS ON LANDSLIDE ACTIVATION IN THE COASTAL ZONE OF SOUTHWESTERN CRIMEA

L.V. Kharitonova, Yu.N. Goryachkin, V.V. Fomin

Marine Hydrophysical Institute of RAS, Sevastopol, Russia, kharitonova.dntmm@gmail.com,
yngor@yandex.ru, fomin.dntmm@gmail.com

Побережье северной части г. Севастополя от м. Коса Северная до м. Тюбек протяженностью 24 км является наиболее перспективным участком для развития рекреационной инфраструктуры, однако оползнями здесь поражено 30 % побережья, на кадастровом учете состоит 18 оползней. Средние скорости отступления берега составляют 0.1–0.3 м/год, но максимальные подвижки могут достигать 3.5 м/год, а на отдельных участках зафиксированы экстремальные смещения до 8.8 м [1–3]. В условиях меняющегося климата и роста антропогенной нагрузки изучение связи гидрометеорологических факторов с динамикой оползней приобретает особую актуальность. Цель настоящей работы – комплексная оценка влияния волнового режима и атмосферных осадков на активизацию оползневой деятельности в береговой зоне Юго-Западного Крыма на основе многолетних данных наблюдений и математического моделирования.

Для анализа подвижек оползней использованы ежегодные экспедиционные наблюдения МГИ РАН и ГУП РК «Крымгеология» за 1976–2024 гг. Данные об осадках включали годовые суммы за 1979–2024 гг. и суточные ряды за 2012–2025 гг. по МГ «Севастополь» [4]. Для оценки ветрового волнения применялась спектральная модель SWAN [5] с данными реанализов ERA-Interim и ERA5 [6], а штормовая активность оценивалась с помощью индекса мощности шторма SPI [7]. Установлено, что преобладающими направлениями волнения являются запад-северо-запад, запад и запад-юго-запад (55 % случаев), а максимальная высота волн (7–8 м на глубинах более 20 м) формируется при западных и юго-западных ветрах; при этом зона обрушения волн ограничена изобатой 4 м. Совместный анализ межгодовой изменчивости SPI и атмосферных осадков позволил выделить годы с повышенными значениями обоих показателей: 1981, 1983, 1988, 2001, 2007, 2015, 2017, 2021.

Катастрофические подвижки зафиксированы в три основных периода. В 1981–1985 гг. на фоне высокой штормовой активности и повышенного увлажнения скорость подвижки Учкеевского оползня достигла 1.8 м/г., двух соседних оползней – 1.6 и 1.0 м/год. В 2001 г. после серии мощных штормов 2000 г. произошли рекордные смещения: оползень Большой Любимовский – 8.8 м, оползень Балочный – 6.9 м. В 2018–2019 гг. после пика штормовой активности 2015–2017 гг. и аномальных ливней 2018 г. (до 49 мм за 12 ч) суммарное смещение Учкеевского оползня достигло 8 м.

Выявлены запаздывающие реакции оползней, когда подвижки происходят через 1–3 г. после пика штормовой активности (например, подвижка Любимовского южного оползня на 3 м в 2003 г.). Показано, что резкие колебания увлажнения (периоды 2008–2012 и 2020–2024 гг.) формируют сеть трещин усыхания в глинистых толщах, подготавли-

ливающую склоны к новой активизации. С 1990-х гг. существенную роль играет антропогенный фактор: стихийная застройка и отсутствие централизованной канализации создали дополнительную статическую нагрузку и постоянное обводнение склонов. В 2014 г. сброс 5 тыс. м³ грунта на головную часть Учкеевского оползня перевел его в режим глубинной ползучести. По данным экспедиций 2024 г. на Учкеевском оползне зафиксированы критические деформации: смещение блоков в сторону моря составило 4–5 м, ширина трещин достигла 0.7 м, а вертикальные смещения смежных блоков увеличились с 0.6–0.8 до 1.0–1.2 м, что свидетельствует о фазе активной подготовки к новой разгрузке напряжений.

Таким образом, данные наблюдений показывают, что катастрофические подвижки оползней в Западном Крыму происходят при сочетании экстремальной штормовой активности и аномального увлажнения, причем определяющую роль играет интенсивность ливней, а не годовая сумма осадков. Антропогенное воздействие существенно снижает порог активизации оползней. Накопленные к настоящему времени деформации позволяют прогнозировать высокую вероятность новой катастрофической фазы. Полученные результаты создают научную основу для совершенствования системы мониторинга и прогнозирования оползневой опасности, проектирования берегозащитных сооружений и разработки рекомендаций по ограничению антропогенной нагрузки в береговой зоне.

Исследование выполнено при финансовой поддержке темы госзадания Министерства науки и высшего образования РФ № FNNN-2024-0016; модельные расчеты проводились на вычислительном кластере ФГБУН ФИЦ МГИ.

Литература

- [1] Горячкин Ю.Н., Федоров А.П. Оползни Севастопольского региона. Часть 1. Северная сторона // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2018. № 1. С. 4–12. doi:10.22449/2413-5577-2018-1-4-12.
- [2] Горячкин Ю.Н., Марков А.А. Анализ эффективности реконструкции берегозащитных сооружений Крыма // Гидротехника. 2023. № 3. С. 2–9.
- [3] Горячкин Ю.Н. Динамика клифов Западного Крыма // Геоморфология и палеогеография. 2024. Т. 55, № 1. С. 50–67. doi:10.31857/S2949178924010058.
- [4] *Расписание погоды rp5*. URL: <https://rp5.ru>. (дата обращения: 21.10.2025).
- [5] Booij N., Ris R.C., Holthuijsen L.H. A third-generation wave model for coastal regions. Model description and validation // Journal of Geophysical Research. 1999. V. 104, № 4. P. 7649–7666. doi:10.1029/98JC02622.
- [6] *Forecast charts and data European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF)*. URL: <https://www.ecmwf.int/en/forecasts>. (дата обращения: 10.03.2025).
- [7] Amarouche K., Akpınar A. Increasing Trend on Storm Wave Intensity in the Western Mediterranean // Climate. 2021. V. 9, № 1. 11. doi:10.3390/cli9010011.

КРИОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ НА БЕРЕГАХ ОЗЕР НА СЕВЕРЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

**А.В. Хомутов, М.О. Лейбман, Ю.А. Дворников,
Н.Ю. Факашук, М.М. Данько, Е.А. Бабкина**

Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН, Тюмень, Россия, artcryo@ya.ru

CRYOGENIC PROCESSES ON THE LAKE SHORES IN THE NORTH OF WEST SIBERIA

**A.V. Khomutov, M.O. Leibman, Yu.A. Dvornikov,
N.Yu. Fakashuk, M.M. Danko, E.A. Babkina**

Earth Cryosphere Institute Tyumen Scientific Centre, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
Tyumen, Russia, artcryo@ya.ru

С середины прошлого столетия известна и широко обсуждается активизация криогенных процессов, связанных с вытаяванием разных типов подземных льдов на фоне тренда повышения температуры воздуха [3, 7, 13], особенно прослеживающегося в Арктике [8]. Заозеренность на севере Западной Сибири местами превышает 25 % [1]. Среди наиболее опасных для динамики озер этого региона процессов в условиях сохраняющегося тренда потепления в Арктике – криогенное оползание и термокарстово-термоэрозионные процессы. Первые связаны с вытаяванием преимущественно пластовых подземных льдов (ПЛ), распространенных в условиях типичных тундр. Вторые развиваются при вытаявании повторно-жильных льдов (ПЖЛ) в торфяниках южных тундр.

Для исследования воздействия указанных процессов на берега озер выбраны два ключевых объекта.

1. Термоцирки, формирующиеся в результате развития криогенных оползней течения (КОТ) на п-вах Ямал и Гыданский в зоне широкого распространения ПЛ [9, 12, 14 и более ранние]. Динамика термоцирков оказывает влияние на химический состав воды в малых озерах Центрального Ямала [11] через изменение общей минерализации и концентрации ряда ионов – Ca, Mg, Na, HCO₃, SO₄, Cl в разные годы в зависимости от активности термоцирков по берегам. Изучение концентрации окрашенного растворенного органического вещества (ОРОВ), используемого в качестве измеряемого индикатора концентрации растворенного органического углерода (РОУ), в этих же озерах [5] показало, что активное формирование термоцирков по берегам приводит к мобилизации древнего органического вещества мерзлых торфяников и выносу его в озера.

2. Полигональные торфяники, широко распространенные на севере Западной Сибири. Полигональный рельеф образуется сетью ПЖЛ мощностью в основном до 5 м [2, 6]. ПЖЛ деградируют в настоящее время под совместным влиянием естественных и антропогенных факторов [4], особенно в южной части сплошной криолитозоны. По результатам мониторинга развития полигональных торфяников в зоне взаимодействия торфяник – озеро на севере Пур-Тазовского междуречья выявлено, что на фоне современных климатических колебаний основной естественный фактор активизации термоэрозионных и термоабразионных процессов, приводящих к деградации полигонального рельефа по берегам озер, – волновое воздействие озерной воды. Это воздействие напрямую зависит от розы ветров района исследования. Актуальна оценка выноса РОУ с мерзлых торфяников [10] как в результате углубления сезонно-талого слоя вследствие сохраняющегося тренда повышения температуры воздуха, так и при термоабразионно-термоэрозионном разрушении торфяных берегов озер. Этот процесс важен на участках залегания торфяных залежей, значительно превышающих по мощности глубину сезонного протаивания. Предварительные гидрохимические исследования озер этого района

показывают, что в воде повышена доля Са и SO₄. Повышенное содержание Са сходно с таковым в малых озерах Центрального Ямала, подверженных активному выносу материала из термоцирков и антропогенному влиянию строительства ж/д [11] и может объясняться похожими причинами. Повышенное содержание SO₄ на Пур-Тазовском междуречье, возможно, связано с притоком подземных вод через подоцерные талики.

Основой для комплексного дифференцированного анализа влияния криогенных процессов на гидрохимию озер криолитозоны являются разрабатываемые в настоящее время карты (1) опасности проявления КОТ, приводящих к формированию термоцирков, для Центрального Ямала и (2) устойчивости полигональных торфяников к изменениям под влиянием естественных факторов с учетом антропогенной нагрузки для севера Пур-Тазовского междуречья. Районы, выбранные для построения карт, наиболее репрезентативны в аспекте распространения анализируемых криогенных образований и их связи с озерами.

Работа выполняется в ИКЗ ТюмНЦ СО РАН в рамках госзадания Минобрнауки РФ (тема № FWRZ-2026-0016).

Литература

- [1] *Ананьева Г.В.* Изучение озерности Российской Арктики с использованием ГИС-технологий // Криосфера Земли. 2000. Т. 4, № 1. С. 67–73.
- [2] *Васильчук Ю.К., Васильчук А.К.* Мощные полигональные торфяники в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород Западной Сибири // Криосфера Земли. 2016. Т. 20, № 4. С. 3–15.
- [3] *Воскресенский К.С., Совершаев В.А.* Роль экзогенных процессов в динамике арктических побережий. Динамика арктических побережий России. М.: Изд-во МГУ, 1998. С. 35–48.
- [4] *Данько М.М., Хомутов А.В.* Первые результаты мониторинга развития полигонального рельефа в зоне взаимодействия торфяник–озеро на севере Пур-Тазовского междуречья // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2025. Т. 30, № 1. С. 49–60.
- [5] *Дворников Ю.А., Лейбман М.О., Хайм Б. и др.* Термоденудация на Ямале - источник увеличения концентрации растворенного органического вещества в озерах // Криосфера Земли. 2017. Т. 21, № 2. С. 33–42.
- [6] *Кашперюк П.И.* Типы и инженерно-геологические особенности многолетнемерзлых торфяных массивов севера Западно-Сибирской плиты: Дис. ... канд. геол.-мин. наук. М., 1985. 291 с.
- [7] *Лейбман М.О., Кизяков А.И.* Криогенные оползни Ямала и Югорского полуострова. М.: Институт криосферы земли СО РАН, 2007. 206 с.
- [8] *Переведенцев Ю.П., Васильев А.А., Гурьянов В.В. и др.* Тенденции изменения основных климатических показателей на территории России в период 1976–2023 годов // Метеорология и гидрология. 2025. Т. 10. С. 44–62.
- [9] *Тарасевич И.И., Лейбман М.О., Кизяков А.И. и др.* Распространение и динамика термоцирков на ключевом участке Центрального Ямала по материалам дистанционного зондирования // Проблемы Арктики и Антарктики. 2024. Т. 70, № 3. С. 391–411.
- [10] *Тимофеева М.В., Гончарова О.Ю., Матышак Г.В. и др.* Вынос углерода из торфяных почв севера Западной Сибири в разных гидрологических условиях // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2024. Т. 119. С. 211–241.
- [11] *Факащук Н.Ю., Дворников Ю.А., Опокина О.Л., Хомутов А.В.* Влияние процессов термоденудации на ионный состав малых озер Центрального Ямала // Криосфера Земли. 2023. Т. 27, № 4. С. 14–23.
- [12] *Хомутов А.В., Бабкина Е.А., Хайруллин Р.Р., Дворников Ю.А.* Факторы активизации термоденудации и активность термоцирков на Центральном Ямале в 2010–2018 гг. // Проблемы Арктики и Антарктики. 2024. Т. 70, № 2. С. 222–237.
- [13] *Liljedahl A.K., Boike J., Daanen R.P. et al.* Pan-Arctic ice-wedge degradation in warming permafrost and its influence on tundra hydrology // Nature Geoscience. 2016. V. 9, № 4. P. 312–318.
- [14] *Nesterova N., Tarasevich I., Leibman M. et al.* High-resolution inventory and classification of retrogressive thaw slumps in West Siberia. Earth System Science Data. 2025. V. 17. P. 5707–5727.

ЦУНАМИ 2025 ГОДА НА КАМЧАТКЕ: ПОСЛЕДСТВИЯ ДЛЯ ПОБЕРЕЖЬЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

А.Л. Хомчановский¹, Е.В. Кронрод²

¹ Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, Россия, khomscience@mail.ru

² Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, Москва, Россия, e.kronrod@gmail.com

THE 2025 KAMCHATKA TSUNAMI: COASTAL IMPACTS AND FUTURE RESEARCH DIRECTIONS

A.L. Khomchanovsky¹, E.V. Kronrod²

¹ Institute of Volcanology and Seismology, Russian Academy of Sciences, Far Eastern Branch, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia khomscience@mail.ru

² Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, e.kronrod@gmail.com

30 июля 2025 г. в Авачинском заливе у берегов п-ова Камчатка произошло цунами, вызванное сильным землетрясением магнитудой M_w 8.8. Заплеск цунами составил от 2 до 33 м на Камчатке и Курильских островах. Инструментальные исследования по максимальному заплеску были проведены на Халактырском пляже, в устье р. Приливной, Авачинской бухте и о-ве Парамушир на Тихоокеанском побережье и в районе мыса Лопатка с Охотоморской стороны. Дистанционные исследования охватывали 230 км от Русской бухты (Камчатка) до о. Шумшу (Северные Курилы) [6].

Помимо высоты заплеска и дальности затопления, которые являются основными характеристиками при исследовании цунами, необходимо также учитывать косейсмические деформации берега. Согласно нашим предыдущим исследованиям на Тихоокеанском побережье Камчатки происходят в основном косейсмические опускания от нескольких сантиметров до двух метров [4]. Такие тектонические процессы влияют на относительный уровень океана, что, в свою очередь, изменяет баланс наносов, профиль динамического равновесия и в целом морфо- и литодинамику берега. Как правило, после косейсмических опусканий проградация, характерная для морских аккумулятивных террас, сменяется размывом побережья до 100 м и более. По данным КФ ФИЦ ЕГС РАН (Камчатский филиал Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук») на тихоокеанском побережье вертикальные опускания берега, в связи с землетрясением, составили до 30 см. В соответствии с правилом Бруна – Зенковича [1, 2], на данных участках побережья в дальнейшем можно ожидать размыв порядка 30–40 м. Очевидно, что для каждого конкретного участка необходимо проводить отдельные исследования, поскольку прогноз отступления берега, помимо изменения относительного уровня моря, зависит от многих гидро-, морфо- и литодинамических факторов.

Наши прошлые палеосейсмологические исследования в Авачинском заливе выявили за последние ~5000 лет как минимум три крупных события с опусканием берега на несколько метров, в результате чего были образованы уступы размыва, в дальнейшем погребенные под чехлом свежих морских отложений на новом гипсометрическом уровне [4]. В то же время во многих шурфах были идентифицированы отложения цунами разных возрастов, в среднем повторяемость цунами была около 56 лет за исторический период и 133 – за весь период [5].

Для дальнейших исследований цунами предполагается оборудовать площадки мониторинга с закрепленными реперными точками, три из которых уже были установлены несколько лет назад на Халактырском пляже – наиболее посещаемом участке побережья. Регулярные палеосейсмологические исследования помогут установить потенциально опасные участки, примерные зоны затопления от прошлых цунами, а также их повторяемость. Моделирование цунами позволит сделать прогноз масштабов проявления возможных цунами, а палеосейсмологические, полевые геоморфологические и дистанционные исследования позволят верифицировать эти прогнозы. Подобные подходы уже реализованы, в частности в Японии, где существует система срочного прогнозирования цунами, затоплений и ущерба в реальном времени – RTi-cast/TsunamiCast, – использующая численное моделирование на суперкомпьютерах и данные дистанционного зондирования. За счет этого уже в течение 20 мин после землетрясения возможно получить информацию о параметрах цунами и его распространении в глубь материка, что позволяет минимизировать ущерб и сохранить жизнь населения [3]. Для всестороннего исследования цунамиопасности предлагается использовать постоянные полевые и палеосейсмологические наблюдения, мониторинг, моделирование, данные дистанционного зондирования, аэрофотосъемку, срочный прогноз и моделирование последствий опускания поверхности и изменения баланса наносов. При накоплении достаточного количества данных дальнейшие исследования можно сосредоточить на применении систем искусственного интеллекта с постоянным экспертным контролем.

Работа выполнена в рамках темы НИР FWME-2024-0010 Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН.

Литература

- [1] *Зенкович В.П.* Основы учения о развитии морских берегов. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 710 с.
- [2] *Bruun P.* The Bruun rule of erosion by sea-level rise: a discussion on large-scale two- and three-dimensional usage // *Journal of Coastal Research*. 1988. V. 4, № 4. P. 627–648.
- [3] *Kosaka N., Koshimura S., Terada K., Murashima Y., Kura T., Koyama A., Matsubara H.* Decision-making support utilizing real-time tsunami inundation and damage forecast // *International journal of disaster risk reduction*. 2023. V. 94. 103807. doi:10.1016/j.ijdr.2023.103807.
- [4] *Pinegina T.K., Bourgeois J., Bazanova L.I. et al.* Coseismic coastal subsidence associated with unusually wide rupture of prehistoric earthquakes on the Kamchatka subduction zone: A record in buried erosional scarps and tsunami deposits // *Quaternary Science Reviews*. 2020. V. 233. 106171. doi:10.1016/j.quascirev.2020.106171.
- [5] *Pinegina T.K., Bazanova L.I., Zelenin E.A. et al.* Holocene Tsunamis in Avachinsky Bay, Kamchatka, Russia // *Pure and Applied Geophysics*. 2018. V. 175. P. 1485–1506.
- [6] *Pinegina T.K., Ozerov A.Y., Tsvetkov V.A. et al.* Tsunami from the Mw 8.8 Kamchatka Earthquake of 29 July 2025 on the East Coast of Kamchatka and the North Kuril Islands // *Pure and Applied Geophysics*. 2025. V. 183. P. 1–25. doi:10.1007/s00024-025-03873-1.

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОТУБ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПОДВОДНЫХ ВОЛНОЛОМОВ В КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

С.С. Черкасов, Е.М. Бурнашов

ГБУ КО «Балтберегозащита», Светлогорск, Россия, beregozaschita@mail.ru

EXPERIENCE OF USING GEOTUBES IN THE CONSTRUCTION OF UNDERWATER BREAKWALLS IN THE KALININGRAD REGION

S.S. Cherkasov, E.M. Burnashov

GBU KO "Baltcoastprotection", Svetlogorsk, Russia, beregozaschita@mail.ru

Морское побережье Калининградской области ежегодно подвергается штормовым воздействиям, интенсивность и повторяемость которых начиная с 2012 г. увеличивается, особенно с наиболее опасных для побережья ЮВ Балтики северных направлений, где располагается федеральный курорт Светлогорск-Отрадное [4].

Штормовые явления приводят к размыву пляжей, абразии берегов, разрушениям различных сооружений и береговой инфраструктуры, нанося значительный ущерб Калининградской области и снижая привлекательность морских курортов [5].

С целью сохранения и развития морского побережья федерального курорта Светлогорск-Отрадное в его береговой зоне на протяжении 4.5 км с 2023 г. ведется масштабное строительство пляжеудерживающих сооружений, состоящих из 16 волноломов и 6 бун.

Волноломы длиной по 170 м по гребню располагаются в акватории Балтийского моря на расстоянии 170–200 м от берега на глубинах от 3.0 до 5.5 м. Поперечное сечение волноломов представляет собой призму с шириной верхней полки 10 м и боковыми гранями с уклоном 1:2. Отметка гребня волноломов соответствует уровню моря 50 % обеспеченности из наивысших годовых уровней и составляет +0.930 мБС [2].

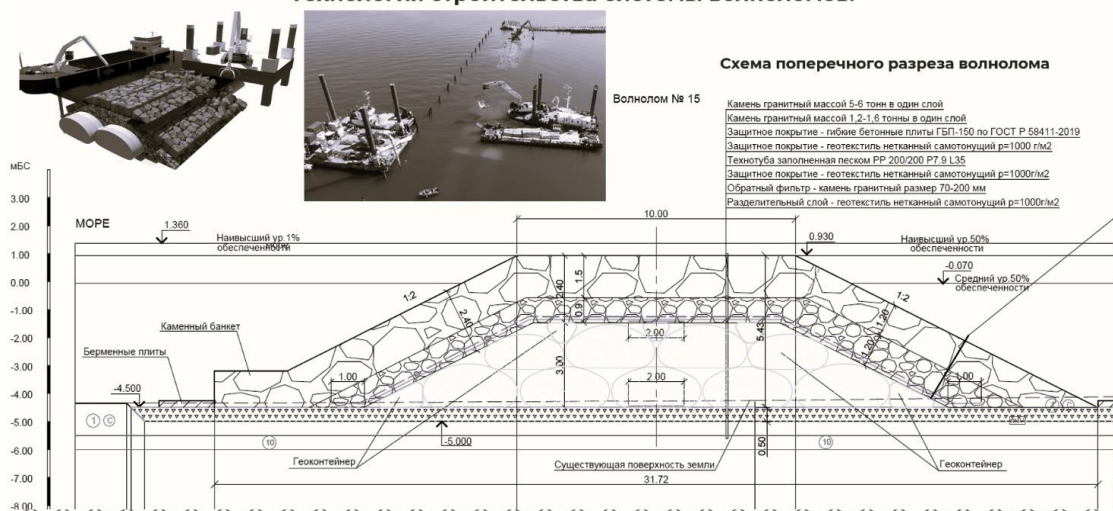
В качестве внутреннего ядра большинства волноломов проектом предусмотрены конструкции из каменной наброски с ядром из геотуб (технотубы). При этом технотуба диаметром 1.5 м и длиной 35 м, заполненная песком, имеет значительный вес и устойчива к расчетному волнению. Для защиты геотуб и геоконтейнеров меньшего размера от механических повреждений их накрывают нетканым иглопробивным гидротехническим геотекстилем. На защитный геотекстиль укладываются гибкие бетонные плиты (ГБП-150), которые обеспечивают устойчивость ядра волнолома до укладки защитного покрытия из камня при волновом воздействии до 4-х баллов и защиту от повреждения при укладке камня. Сверху гибких плит в качестве главного волногасителя в два слоя укладывают защитное покрытие из крупногабаритного гранитного камня расчетной массой от 1–2 до 5–6 т. В основании защитного каменного покрытия со стороны моря устраивается упорный банкет из камня с массой в 1.5 раза больше массы защитного покрытия [3].

Для предотвращения неравномерного погружения камня и геотуб в песчаные грунты и предотвращения вымывания песчаных грунтов основания и выравнивания поверхности дна в основании волноломов устраивается слой из камня (щебня) размером 70–200 мм М1000. Весь камень должен соответствовать требованиям [1].

Для защиты от размыва дна штормовыми волнами в основание укладываются железобетонные щелевые берменные плиты массой 7 т, размером 6.0×2.0×0.3м.

Общая конструкция волнолома и визуализация его строительства показана на рисунке.

Технология строительства системы волноломов.



Технология строительства волноломов с ядром из технотуб (геотуб) в береговой зоне Светлогорской бухты.

Принятый тип волноломов имеет высокую эффективность как пляжеудерживающее сооружение ввиду наличия в них ядра из геотуб, заполненных песчаными наносами. При этом значительно экономится дефицитный и дорогостоящий в Калининградской области камень. При такой конструкции волноломов не формируются застойные зоны и обеспечивается достаточный водообмен в заволноломном пространстве даже при незначительном волнении или вдольбереговом течении. Сооружения являются свободно деформируемыми, вероятность их повреждения, по сравнению с бетонными массивами, значительно меньше, а возможные деформации ремонтпригодны. В пустотах каменной наброски будут находить убежище рыбы и другие морские обитатели, что позитивно сказывается на условиях для развития живых морских организмов и процессах самоочищения прибрежных вод.

Однако опыт строительства волноломов в морских условиях береговой зоны Светлогорской бухты показал, что применение геотуб и необходимость их защиты высокопрочным геотекстилем и гибкими бетонными плитами приводят к значительному увеличению сроков строительства из-за повышения сложности технологии подводных работ с привлечением водолазов и дорогостоящей морской строительной техники, работа которых сильно зависит от волнения и транспорта наносов. Увеличение сроков строительства приводит к значительному увеличению затрат на организацию строительства всего волнолома, которые превышают экономию по сокращению дефицитного камня. Оказалось, что экономически выгоднее строить волноломы не с дорогих морских плавательных и судоходных средств, а с суши, осуществляя отсыпку временных дорог с оборачиваемостью. И кроме того, лучше использовать в теле волнолома только крупногабаритный камень без технотуб, лишнего защитного геотекстиля и гибких бетонных плит.

Литература

- [1] *Ведомственные строительные нормы. ВСН 5-84/Минморфлот. Применение природного камня в морском гидротехническом строительстве.* М., 1984.
- [2] *Сооружения морские берегозащитные. Правила проектирования СП 277.1325800.2016.* М.: Стандартинформ, 2017.
- [3] *Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов) СП 38.13330.2018.* М.: Стандартинформ, 2019.
- [4] *Стонт Ж.И., Рябкова О.И. Летопись штормов юго-восточной части Балтики // XXIX Береговая конференция: Натурные и теоретические исследования – в практику берегопользования: Сборник материалов Всероссийской конференции с международным участием.* Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 2022. С. 148–150.
- [5] *Stont Z.I., Esiukova E.E., Ulyanova M.O. Clusters of cyclones and their effect on coast abrasion in Kaliningrad region // Russian Journal of Earth Sciences. 2023. V. 23, № 3. P. 1–13. doi:10.2205/2023es000826.*

**ПРОЯВЛЕНИЕ МАКСИМУМА КОНЦЕНТРАЦИИ
МИКРОПЛАСТИКА В НЕПРИЛИВНОМ ЭСТУАРИИ
(ПРИМЕР РЕКИ ПРЕГОЛИ, ЮГО-ВОСТОЧНАЯ БАЛТИКА)**

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

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

**MANIFESTATION OF MAXIMUM CONCENTRATION OF
MICROPLASTICS IN A NON-TIDAL ESTUARY (EXAMPLE OF THE
PREGOLYA RIVER, SOUTH-EASTERN BALTIC)**

B.V. Chubarenko, E.E. Esiukova, O.I. Lobchuk, N.V. Dvoeglazova

Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, chuboris@mail.ru

Известно, что частицы микропластика (МП) присутствуют повсеместно: и в арктическом льду, и на побережье необитаемых островов, и в морских донных отложениях на больших глубинах, и в отдаленных озерах, и горных реках [9]. Примеры изучения загрязнения МП рек и озер представлены, например в [5, 6]. Но, тем не менее, распределение частиц МП в эстуариях и взаимосвязь между составом пластиковых микрочастиц и физическими процессами изучены недостаточно [4]. По аналогии с эстуарным максимумом мутности предполагается наличие максимума в концентрации МП в средней части эстуария [6].

В качестве исследуемой области для изучения распределения частиц МП в акватории неприливногo эстуария [1] был определен устьевой участок р. Преголи (Юго-восточная Балтика, рисунок). Эстуарная зона смешения в Калининградском морском канале, где расположены точки отбора (рисунок, с), может быть классически [11] разделена на нижнюю, среднюю и верхнюю часть эстуария (рисунок, b, c) по изогалинам 90 ‰ солености морской воды и 1.0 psu [12]. Ситуация осложняется тем, что эти границы мигрируют в течение года на десятки километров [1].

Цель работы – провести сравнительный анализ загрязнения частицами МП акватории эстуария р. Преголи при схожих условиях весеннего речного стока по данным 2024 и 2025 гг. и попытаться выявить особенности пространственного распределения частиц МП, свойственные именно неприливной эстуарии.

Отбор проб воды на содержание частиц проводился с борта маломерного судна в марте 2024 г. в восьми точках (320, 12, 13, 14, 16, 19, 22, 30, рисунок, с), а в феврале 2025 – в десяти точках (320, 13, 16, 19, 22, 24, 25, 27а, 29, 30, рисунок, с). Пробы воды отбирались с глубины 1.0–1.5 м с помощью 5-литрового батометра. Пробы отбирались в дрейфе с подработкой к маркерному дрейфтеру для обеспечения взятия проб (шесть батометров в точке) в движущемся речном потоке. Параллельно проводились гидрологические вертикальные зондирования с помощью зонда Idronaut Ocean Seven 316Plus.

Фильтрация проб воды проводилась с использованием серии из трех фильтров с размерами пор 333, 175 и 100 мкм [2]. С фильтров собирались частицы МП в размерном диапазоне 0.3–5.0 мм и мезопластика (МЗП, 5–25 мм), относящиеся к трем основным формам – волокна, фрагменты и пленки. Частицы выделялись при визуальном осмотре, с использованием УФ-лампы, механического растяжения и тестирования горячей иглой (в соответствии с рекомендациями по микроскопическому анализу [10]). Морфологические характеристики мелких микрочастиц, такие как форма, размер, цвет определялись с помощью стереомикроскопа (Micromed MC2 Zoom Digital) с диапазоном увеличения от 10× до 40× [2] и УФ-лампы, используемой при необходимости [3]. Полимерный состав микрочастиц определялся с помощью μ -рамановской и ИК-спектроскопии [7, 8]. Для анализа более крупных фрагментов и пленок (более 1 мм) также использовался ИК-фурье-спектрометр FT-801.

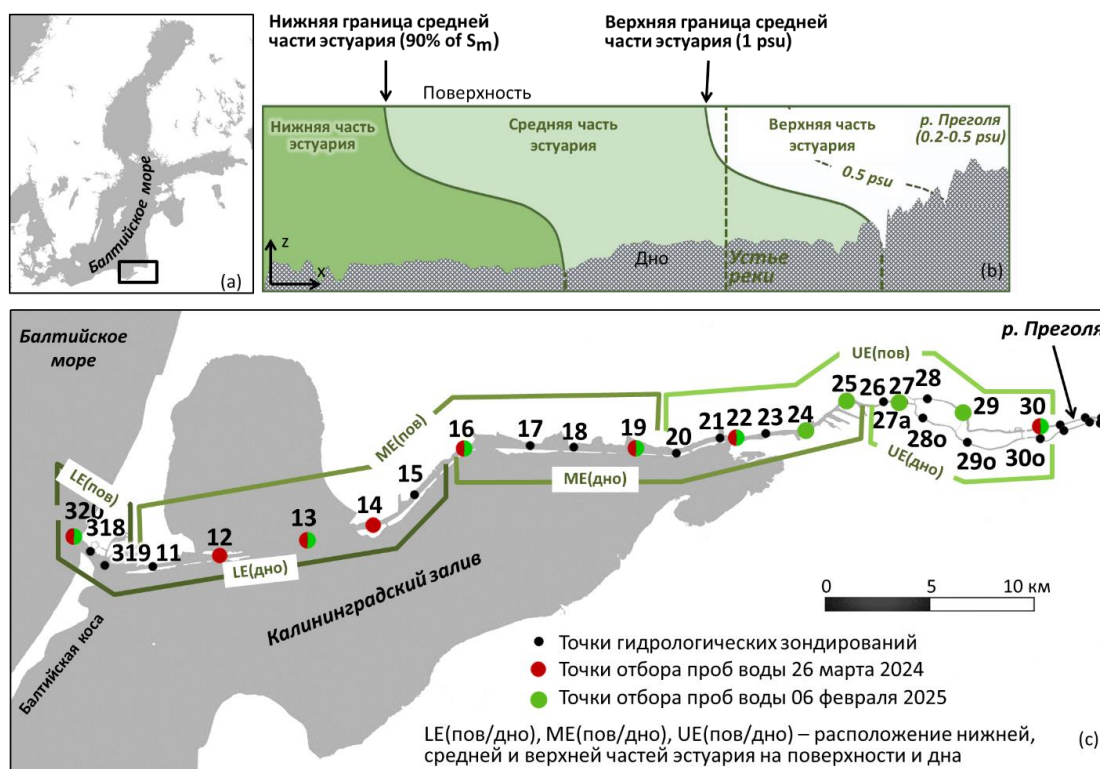


Схема расположения точек отбора проб на содержание частиц микропластика в эстуарии р. Преголи: (а) – расположение исследуемой акватории в юго-восточной части Балтийского моря; (б) – схематичное изображение гидрологической структуры вод в пределах эстуарной части устьевое участка реки Преголи (нижняя – средняя – верхняя часть эстуария [11], вид в вертикальной плоскости)); (с) – расположение точек отбора и их принадлежность нижней – средней – верхней части эстуария.

Съемки 2024–2025 г. дали схожие результаты и позволили получить диапазон изменчивости характеристик загрязненности вод эстуария р. Преголи частицами МП. Среди обнаруженных частиц МП и МЗП (всего более 3000 шт) более 90 % составляли нити диаметром до 20–30 мкм. В размерном диапазоне эти частицы распределены без ярко выделяющихся максимумов – по 20–30 % в размерных градациях 0.3–0.5, 0.5–1.0, 1.0–1.5 мм. Основными источниками загрязнения МП являются сточные воды и портовая инфраструктура вдоль Калининградского морского канала. Обе съемки показали наличие пространственного промежуточного максимума в концентрации частиц МП, приуроченного к градиентной зоне смешения пресных и солоноватых вод.

Исследование выполнено за счет гранта РФФИ № 24-44-20027 (<https://rscf.ru/project/24-44-20027/>).

Литература

- [1] Chubarenko B., Domnin D., Navrotskaya S., Stont Zh., Chechko V., Bobykina V., Pilipchuk V., Karmanov K. et al. Transboundary Lagoons of the Baltic Sea // The Diversity of Russian Estuaries and Lagoons Exposed to Human Influence, Estuaries of the World / Ed. R. Kosyan. Switzerland: Springer, 2017. P. 149–191. doi:10.1007/978-3-319-43392-9_6.
- [2] Chubarenko B.V., Esiukova E.E., Lobchuk O.I., Dvoeglazova N.V., Kilesa A.V., Radmanesh (Manbohi) A., Taheri M. Whether a non-tidal estuary produces microplastic maxima (case study of the Pregolya River, the Baltic Sea) // Marine Pollution Bulletin. 2026. V. 222. 118519. doi:10.1016/j.marpolbul.2025.118519.
- [3] Chubarenko I.P., Esiukova E.E., Bagaev A.V., Bagaeva M.A., Grave A.N. Three-dimensional distribution of anthropogenic microparticles in the body of sandy beaches of a non-tidal sea and its oceanographic causes // Science of The Total Environment. 2018. V. 628–629. P. 1340–1351. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.02.167.

- [4] Chubarenko I., Khatmullina L., Esiukova E., Krivoslyk P., Radmanesh Manbohi A., Bocherikova I., Isachenko I., Hamzeh M.A., Chubarenko B., Deposition of microplastics in estuaries: critical review of field and experimental data from the perspective of the Ocean Marginal Filter concept // *Science of The Total Environment*. 2025. V. 997. 180210. doi:10.1016/j.scitotenv.2025.180210.
- [5] D'Avignon G., Gregory-Eaves I., Ricciardi A. Microplastics in lakes and rivers: an issue of emerging significance to limnology. *Environmental Reviews*. 2022. V. 30. P. 228–244. doi:10.1139/er-2021-0048.
- [6] Defontaine S., Jalón-Rojas I. Physical processes matters! Recommendations for sampling microplastics in estuarine waters based on hydrodynamics // *Marine Pollution Bulletin*. 2023. V. 191. 114932. doi:10.1016/j.marpolbul.2023.114932.
- [7] Esiukova E., Lobchuk O., Fetisov S., Bocherikova I., Kantakov G., Chubarenko I. Baltic plastic soup recipe: Presence of paraffin increases micro- and mesoplastic contamination // *Regional Studies in Marine Science*. 2024. V. 74. 103554. doi:10.1016/j.rsma.2024.103554.
- [8] Esiukova E., Lobchuk O., Fetisov S., Chubarenko I. The fate of marine microplastics in the swash zone // *Marine Pollution Bulletin*. 2026. V. 224. 119100. doi:10.1016/j.marpolbul.2025.119100.
- [9] Kye H., Kim J., Ju S., Lee J., Lim C., Yoon Y. Microplastics in water systems: A review of their impacts on the environment and their potential hazards // *Heliyon*. 2023. V. 9, № 3. e14359. doi:10.1016/j.heliyon.2023.e14359.
- [10] Norén F. Small plastic particles in Coastal Swedish waters. KIMO report, 2007. 11 p.
- [11] Perillo G.M.E., Piccolo M.C. Global Variability in Estuaries and Coastal Settings // *Treatise on Estuarine and Coastal Science* / Eds. E. Wolanski, D.S. McLusky Waltham: Academic Press, 2011. V. 1. P. 7–36.
- [12] Михайлов В.Н., Михайлова М.В., Магрицкий Д.В. Основы гидрологии устьев рек: Учебное пособие. М.: «Триумф», 2018. 316 с.

РЕЗУЛЬТАТЫ ДИАТОМОВОГО АНАЛИЗА ПО ДОННЫМ ОСАДКАМ ОЗЕРА ВОДОНОСНОГО (БЕЛОЕ МОРЕ)

А.Е. Шаталова¹, Д.Н. Левкова¹, Т.В. Сапелко², Т.Ю. Репкина³

¹ Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург, Россия, shatalova10@gmail.com

² Институт озероведения РАН – СПб ФИЦ РАН, Санкт-Петербург, Россия

³ Институт географии РАН, Москва, Россия

RESULTS OF DIATOM ANALYSIS ON LAKE VODONOSNOE (WHITE SEA) SEDIMENTS

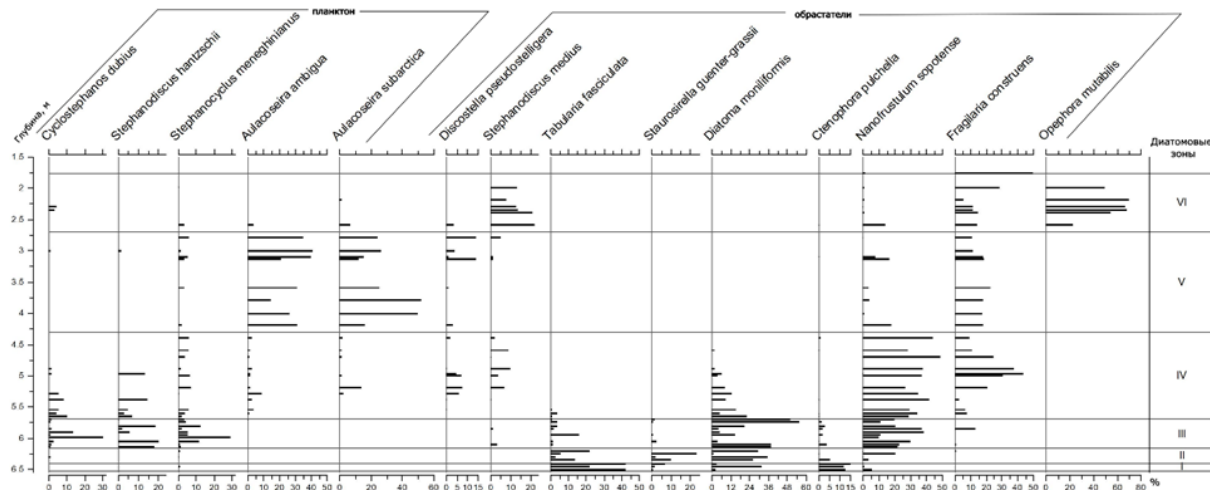
A.E. Shatalova¹, D.N. Levkova¹, T.V. Sapelko², T.Ju. Repkina³

¹ Herzen State Pedagogical University of Russia, St. Petersburg, Russia, shatalova10@gmail.com

² Institute of Limnology RAS – SPC RAS, St. Petersburg, Russia

³ Institute of Geography RAS, Moscow, Russia

В 2022 г. на о. Жижгин (Белое море) проведены геоморфологические и палеолимнологические исследования оз. Водоносного [2, 3]. Для реконструкции колебаний его уровня в голоцене и определения роли трансгрессий Белого моря был проведен диатомовый анализ донных отложений, который был выполнен для 44 образцов в интервале 6.52–1.77 м по стандартной методике [1]. В донных осадках оз. Водоносного было отмечено 305 видов диатомовых водорослей (рисунок). Состав диатомовых комплексов позволяет выделить шесть диатомовых зон (ДЗ), соответствующих основным этапам развития оз. Водоносного.



Процентное содержание основных родов и видов диатомовых водорослей в оз. Водоносном.

Зона ДЗ-1 (6.52–6.40 м). Доминируют диатомеи бентоса, достигая суммарно показателей 99–100 %, среди которых многочисленны *Tabularia fasciculata*, *Stenophora pulchella* и виды рода *Fragilaria*. Преобладают индифферентные по отношению к солёности диатомовые виды. Доминирование обрастателей свидетельствует о том, что осадконакопление происходило в условиях мелководного водоема, не имеющего постоянной связи с морем.

В ДЗ-2 (6.40–6.16 м) увеличивается содержание солоноватоводных диатомовых (до 64 %), сокращается количество индифферентных и пресноводных видов (до 36 %). Природные условия в этот период были наиболее благоприятными для развития разнообразной флоры диатомовых водорослей. При этом численность планктона остается на низком уровне 0–3 %, что говорит о сохранении небольшой глубины водоема. В этой зоне доминирует *Diatoma moniliformis* (30 %), возрастает содержание донных диатомовых, в том числе появляются различные виды рода *Navicula*. Вероятнее всего, в это время началось поступление морских вод в котловину озера, что обуславливает развитие и преобладание в этой зоне солоноватоводных и морских диатомовых видов.

ДЗ-3 (6.16–5.70 м). В диатомовых сообществах для этой зоны характерно увеличение содержания планктонных диатомовых водорослей (максимальное значение 60 % на глубине 6.00–5.98 м). Среди диатомей планктона важно отметить присутствие *Stephanocyclus meneghinianus* и *Cyclostephanos dubius*, которые являются галофилами и достигают численности доминанта и субдоминанта (суммарно до 60 %). Процентное содержание эпифитов сокращается с 87 % в начале зоны до 22 % на глубине 6.0 м. На этом же уровне наблюдается пиковое значение в доли содержания органического вещества по разрезу: на глубине 6.03 м содержание органического вещества составляет 46 %. Преобладание диатомей планктона, доминирование галофильных диатомовых видов, наряду с максимальным содержанием органического вещества по колонке, говорит о трансгрессии Белого моря в этот период. К верхней границе зоны возрастает содержание *D. moniliformis*, которая является солоноватоводным обрастателем. Высокое содержание этого вида (до 56 %) свидетельствует об ослабевании стока в озеро и уменьшении уровня воды в его котловине.

В ДЗ-4 (5.7–4.3 м) сокращается содержание пресных и солоноватоводных видов, преобладают индифферентные (до 90 %) по отношению к солености виды и эпифиты (до 78 %), такие как *Fragilaria construens*, *Nanofrustulum sopotense*. Содержание планктона колеблется в пределах от 7 до 38 %, среди которых *S. meneghinianus*, *Discostella pseudostelligera*, *C. dubius*. В это время также появляются эпифиты *Tabellaria fenestrata* и *Tabellaria flocculosa*, которые являются галофобами. На данном этапе озеро развивалось изолированно.

ДЗ-5 (4.3–2.7 м). Зона характеризуется увеличением содержания планктона: *Aulacoseira ambigua*, *Aulacoseira subarctica*, *D. pseudostelligera* и др. до 87 % на глубине 2–8 м и сокращением эпифитов до 11 %. По-прежнему преобладают виды, индифферентные по отношению к солености, содержание галофильных диатомовых варьируется от 3 до 27 %. Доминирование планктона говорит об увеличении уровня воды в озере, однако перечисленные виды являются индифферентными по отношению к солености, и в озере продолжают развиваться галофобные *T. fenestrata* и *T. flocculosa*, *D. pseudostelligera*, *Stephanodiscus medius*. Суммарно количество пресных видов достигает 30 %, поэтому сложно говорить о возможной трансгрессии на этом уровне, озеро продолжает развиваться изолированно.

В ДЗ-6 (2.70–1.77 м) наблюдается рост числа солоноватоводных и галофильных диатомовых водорослей (до 73 %), сокращается число индифферентов и планктона. Доминирующим видом является морская *Operphora mutabilis* (до 70 % на глубине 2.2 м). На глубине 1.77 м исчезает планктон и солоноватоводные виды, остаются виды-эпифиты, индифферентные по отношению к солености. Постепенное сокращение планктона и рост числа эпифитов говорит об уменьшении уровня воды в озере. Преобладание в ДЗ-6 солоноватоводных и галофильных видов указывает на существование морского стока в озеро, который прекратился на глубине 1.77 м.

Таким образом, начало поступления морских вод в котловину оз. Водоносного зафиксировано в ДЗ-2 по преобладанию солоноватоводной диатомовой флоры. Дальнейшее увеличение содержания органического вещества и галофильных диатомовых планктона свидетельствует о трансгрессии Белого моря в ДЗ-3, после чего озеро развивалось изолированно. Дополнительный период морского воздействия также отмечен в ДЗ-6.

Литература

- [1] Давыдова Н.Н. Диатомовые водоросли – индикаторы природных условий водоемов в голоцене. Л.: Наука, 1985. 244 с.

- [2] Репкина Т.Ю., Леонтьев П.А., Кублицкий Ю.А., Крехов А.К., Орлов А.В., Левкова Д.Н., Вяткин Е.Д., Яковлева А.П. Морфодинамика берегов Белого моря в позднеледниковье и голоцене: Соловецкий архипелаг и о. Жижгин // Геология морей и океанов: Материалы XXVI Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. М.: ИО РАН, 2025. Т. III. С. 259–263. doi:10.29006/978-5-6051054-9-7.
- [3] Левкова Д.Н., Сапелко Т.В., Репкина Т.Ю., Кублицкий Ю.А., Леонтьев П.А. Голоценовая история о. Жижгин в Белом море по результатам изучения донных отложений оз. Водоносного // Динамика экосистем в голоцене: Материалы VII Всероссийской научной конференции, Пермь: Товарищество научных изданий КМК, 2025. С. 228–232.

КАРТИРОВАНИЕ ГРАНИЦ АБРАЗИОННОГО УСТУПА ПО ДАННЫМ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОСЕТОВОЙ СЕГМЕНТАЦИИ

А.А. Юрьев, А.А. Рыбченко, И.В. Буддо, Е.П. Душкин

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия, antonyrevgeo@mail.ru

MAPPING OF ABRASION SCARP BOUNDARIES FROM UNMANNED AERIAL VEHICLE DATA USING NEURAL NETWORK SEGMENTATION

A.A. Yuryev, A.A. Rybchenko, I.V. Buddo, E.P. Dushkin

Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia,
antonyrevgeo@mail.ru

Абразионные берега оз. Байкал характеризуются высокой динамичностью и пространственной неоднородностью процессов разрушения, что обуславливает необходимость разработки воспроизводимых методов их мониторинга. Одним из ключевых объектов инженерно-геологического картографирования является абразионный уступ, положение бровки и подошвы которого традиционно определяется по ортофотоплану и цифровой модели рельефа (ЦМР) в ручном режиме [1]. Поскольку данный подход отличается значительной трудоемкостью и зависит как от квалификации исполнителя, так и от качества исходных данных, актуальной задачей становится разработка автоматизированных методов выделения границ уступа по материалам беспилотного летательного аппарата (БПЛА).

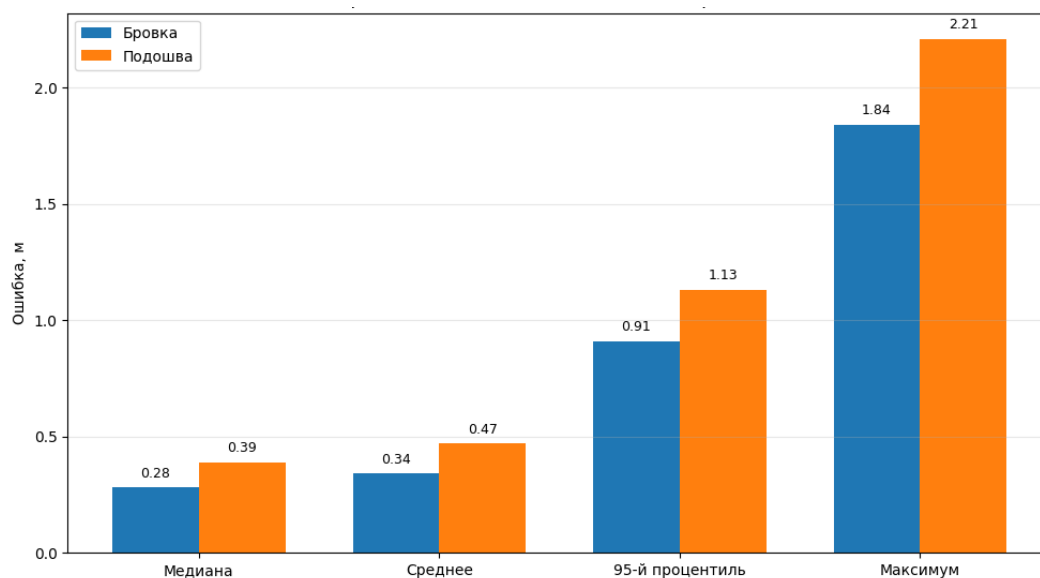
Цель работы заключалась в разработке программного решения для автоматического выделения границ абразионного уступа по данным ортофотоплана и ЦМР с использованием нейросетевой сегментации и последующей векторизации результата. В основу подхода была положена мультиклассовая пиксельная разметка, включающая четыре класса: фон, стенку, подошву и бровку. В качестве базовой архитектуры использована сверточная нейронная сеть U-Net, обеспечивающая устойчивое выделение линейно-протяженных морфологических элементов при ограниченном объеме обучающей выборки [2]. Для генерализации полученных границ применялись алгоритмы упрощения ломаных и сглаживания кривых, что позволило формировать отдельные векторные слои бровки, подошвы и стенки с возможностью экспорта в стандартные геоинформационные форматы [3, 4].

В качестве объекта реализации автоматизированного подхода выбран абразионный уступ участка «Гремячий» (с.ш. 51.755° , в.д. 105.965°), расположенного на восточном побережье оз. Байкал.

По данным из валидационной выборки получены следующие показатели качества сегментации: для класса «стенка» значение Intersection over Union (IoU) составило 0.78, F1-мера (F1) – 0.88; для «бровки» – 0.62 и 0.77; для «подошвы» – 0.58 и 0.73 соответственно. Дополнительно для оценки точности положения границ рассчитана граничная F1-мера (boundary-F1), составившая 0.69 для бровки и 0.65 для подошвы. Оптимальные пороги вероятности, определенные по максимуму F1 на валидационной выборке, составили 0–0.45 для стенки, 0–0.40 для бровки и 0–0.42 для подошвы.

Оценка качества векторизации показала, что для линии бровки медианная плановая ошибка относительно экспертной оцифровки составила 0.28 м, средняя – 0.34 м, 95-й перцентиль – 0.91 м, максимальное отклонение – 1.84 м (рисунок). Для линии подошвы соответствующие значения составили 0.39, 0.47, 1.13 и 2.21 м. После сшивки сегментов непрерывность линии достигла 92 % общей длины для бровки и 88 % для подошвы. Автоматическая проверка топологической корректности показала отсутствие

самопересечений, а доля паразитных ответвлений после фильтрации не превысила 2 % общей длины скелета. Анализ устойчивости к параметрам постобработки показал, что при изменении порога на ± 0.05 медианное смещение итоговой линии составляет 0.12–0.18 м, что свидетельствует о стабильности предложенного решения в рабочем диапазоне параметров.



Сравнение показателей плановой ошибки векторизации (медиана, среднее, P95, максимум) для линий бровки и подошвы абразионного уступа на участке «Гремячий».

Практическая апробация метода показала его высокую эффективность. Если ручное выделение бровки и подошвы по ортофотоплану и ЦМР для одного участка занимает в среднем 2–3 ч, то автоматизированный конвейер, включающий расчет признаков, сегментацию, постобработку и векторизацию, выполняется за 8–15 мин. Даже с учетом последующей ручной корректировки отдельных проблемных фрагментов суммарное время обработки не превышает 15–25 мин, что обеспечивает многократное снижение трудоемкости и времязатратности, по сравнению с традиционным подходом.

Таким образом, разработанный подход может рассматриваться как эффективный инструмент автоматизированного мониторинга абразионных берегов оз. Байкал по данным БПЛА. Его применение позволяет повысить воспроизводимость картографирования, сократить время камеральной обработки и обеспечить получение векторных границ, пригодных для последующего инженерно-геологического и геоморфологического анализа.

Работа выполнена в рамках темы № 1023110300018-4-1.5.4 Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в молодежной лаборатории комплексных исследований Арктики Института земной коры СО РАН (г. Иркутск).

Работа выполнена в рамках базового бюджетного проекта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 1025022500090-2-1.5.1-1.5.1 «Палеогеография, динамика и эволюция природной среды Восточной Сибири в мезозое и кайнозое» с использованием оборудования ЦКП «Геодинамика и геохронология» Института земной коры СО РАН.

Литература

- [1] Мазаева О.А., Юрьев А.А., Бабичева В.А. БПЛА аэрофотосъемка при мониторинговых исследованиях береговых геосистем юга Иркутского амфитеатра // Геодинамика и тектонофизика. 2023. Т. 14, № 6. 0734. doi:10.5800/GT-2023-14-6-0734.
- [2] Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation // Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI). 2015. P. 234–241. doi:10.1007/978-3-319-24574-4_28.

- [3] *Douglas D.H., Peucker T.K.* Algorithms for the Reduction of the Number of Points Required to Represent a Digitized Line or Its Caricature // *Cartographica*. 1973. V. 10, № 2. P. 112–122. doi:10.3138/FM57-6770-U75U-7727.
- [4] *Chaikin G.M.* An Algorithm for High-Speed Curve Generation // *Computer Graphics and Image Processing*. 1974. V. 3, № 4. P. 346–349. doi:10.1016/0146-664X(74)90028-8.

ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ ЭКЗОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЗОНЕ ПОДВОДНОГО СКЛОНА ВБЛИЗИ ПОС. БОЛЬШОЕ ГОЛОУСТНОЕ

Е.И. Ягодкина, В.А. Шахвердов, Д.В. Рябчук, Е.Н. Нестерова, А.В. Брылина

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия, Ekaterina_Yagodkina@karpinskyinstitute.ru

FEATURES OF EXOGENOUS GEOLOGICAL PROCESSES MANIFESTATION IN THE SUBMARINE SLOPE ZONE NEAR THE SETTLEMENT OF BOLSHOYE GOLUSTNOYE

E.I. Yagodkina, V.A. Shakhverdov, D.V. Ryabchuk, E.N. Nesterova, A.V. Brylina

Karpinsky Russian Geological Research Institute, St. Petersburg, Russia, Ekaterina_Yagodkina@karpinskyinstitute.ru

С 2015 г. Институт Карпинского проводит ежегодные наблюдения за состоянием геологической среды в акватории оз. Байкал для оценки и прогноза развития опасных экзогенных геологических процессов (ЭГП), распространение которых установлено с использованием комплекса геолого-геофизических методов [1].

В южной части акватории оз. Байкал, находящегося в зоне высокой тектонической активности, наблюдаются проявления ЭГП: подводные оползни, крипы, осыпи; нарушения рельефа дна, связанные с подводной разгрузкой газов; донные выходы метана и нефти; грязевулканическая деятельность; распространение газовых гидратов [2].

Район акватории недалеко от устья р. Голоустной (Южный Байкал) расположен в краевой части Бугульдейской авандельты при ее переходе к денудационно-аккумулятивным склонам (до 25°), осложненным оползнями и расчлененным каньонами (N₂-Q). К югу они переходят в субгоризонтальные абиссальные равнины. Вдоль берегового склона, контролируемого Приморской зоной разломов, расположены крутые прямолинейные склоны, созданные разрывными нарушениями (N₂-Q), с которыми могут быть связаны как оползневые, так и обвальные экзогенные геологические процессы [3, 5].

В ходе экспедиционных исследований с целью всестороннего изучения геологического строения участка «Голоустное», где установлены донные выходы газовых гидратов, которые сопровождаются интенсивным выделением газа, проявленным в виде акустических аномалий в толще воды, было проведено детальное сейсмоакустическое профилирование. Всего было пройдено около 50 профилей общей протяженностью более 200 пог. км. Кроме того, на площади около 700 км² выполнено многолучевое эхолотирование с помощью эхолота Kongsberg EM710S и профилографа Knudsen CHIRP 3260 [4]. Проведенные геофизические исследования показали, что подводный склон осложнен тектоническими нарушениями, характеризуется большой крутизной и сопровождается проявлениями процессов оползнеобразования. Гидроакустические исследования позволили зафиксировать и описать донные выходы газа, а также выявить морфоструктурные связи этих выходов с каньонами и склоновыми формами рельефа дна.

Результаты работ съемки дна гидролокатором бокового обзора и фото- и телепрофилирования с использованием в качестве основы результатов многолучевого эхолотирования и донного пробоотбора на 24 станциях позволили проследить границы форм рельефа, контролируемые расположением литофациальных зон и типов поверхностных донных отложений и, как следствие, уточнить литологическую карту поверхности дна участка «Голоустное» [1]. Поверхностные отложения глубоководной равнины Южной впадины Байкала (глубины 1300 м и более), которые картируются у подножия склонов авандельты р. палеоГолоустной, представлены биогенно-терригенными пелитовыми

(алевро-пелитовыми) илами, переслаивающимися с прослоями турбидитов [6]. К центральным частям и верхней части склонов приурочены отложения, включающие прослойки газовых гидратов. Поверхностный слой отложений представлен серыми, в ряде случаев с буроватым оттенком, пелитовыми алевритами. В зонах разложения газовых гидратов осадок приобретает характерный «творожистый» облик.

В 2025 г. на станции 25Б-28 подводной видеосъемкой уточнен контур перехода между валунно-галечными и гравийными отложениями, покрывающими подводный береговой склон, и более плотными глинами палеоделты, перекрытыми современным песчаным осадочным покровом. Визуальные данные показывают ступенчатую зону: от валунов на глубинах 1.5–8.0 м через смешанные валунно-галечно-песчаные отложения (8–50 м) к пелитово-алевритовым илам на большей глубине [1].

Среди основных наблюдаемых экзогенных геологических процессов на участке выделяются: (1) подводные оползни и обвалы на крутых склонах палеоделты и каньонов, (2) газофлюидная разгрузка на фоне дегазации газовых гидратов и коренных пород, (3) трансформация донных отложений под влиянием турбидитовой седиментации. Последняя связана с периодическими сползаниями вещества по подводным склонам, донными сейсмическими сдвигами и селевыми потоками на водосборе, что подтверждается наличием прослоев турбидитов в колонках донных отложений Южной впадины [6].

Анализ материалов позволил уточнить данные о потенциальных масштабах в районах проявления ЭГП. Прогнозируемый уровень активности гравитационных оползневых процессов на пункте наблюдения «Голоустное» относительно высокий: оползневые процессы занимают до 28 % площади участка, обвальные – 2.7 %, процессы заносимости – до 9.2 % [1]. Факторами, способствующими активизации оползней и обвалов в пределах сейсмически активной Байкальской природной территории, являются сейсмогеологические процессы, а также снижение устойчивости донного грунта в случае нарушения стабильности газовых гидратов.

Таким образом, участок «Голоустное» представляет собой типичную модель зоны активного взаимодействия флюидных, гравитационных и литодинамических процессов в прибрежной зоне крупного рифтового озера и его систематический мониторинг позволяет получить детальные данные для оценки динамики береговой и подводной зоны.

Литература

- [1] *Рябчук Д.В., Ковалева О.А., Прищепенко Д.В., Сергеев А.Ю., Нестерова Е.Н.* Характеристика поверхностных донных отложений озера Байкал и современные седиментационные процессы // Региональная геология и металлогения. 2023. № 94. С. 29–47. doi:10.52349/0869-7892_2023_94_29-47
- [2] *Хлыстов О.М., Кононов Е.Е.* Подводный рельеф Голоустненско-Крестовского участка Южного Байкала // География и природные ресурсы. 2023. № 3. С. 87–95
- [3] *Нестерова Е.Н., Спиридонов М.А., Шахвердов В.А., Кропачев Ю.П., Буданов Л.М., Дронь О.В., Неевин И.А.* О положении объектов природной миграции углеводородов в геоморфологической зональности дна озера Байкал // Региональная геология и металлогения. 2023. № 95. С. 71–87. doi:10.52349/0869-7892_2023_95_71-87
- [4] *Губин Н.А., Григорьев К.А., Ченский Д.А., Ченский А.Г.* Комплексное представление гидрографических данных по исследованию озера Байкал // Региональная геология и металлогения. 2023. № 95. С. 34–41. doi:10.52349/0869-7892_2023_95_34-41
- [5] *Шахвердов В.А., Шахвердова М.В., Дронь О.В.* Проявления углеводородов как уникальные геологические объекты на дне озера Байкал // Региональная геология и металлогения. 2023. № 94. С. 48–55. doi:10.52349/0869-7892_2023_94_48-55.
- [6] *Вологина Е.Г., Штурм М.* Типизация голоценовых отложений и районирование бассейна озера Байкал // Геология и геофизика. 2009. Т. 50, № 8. С. 933–940.

ИЗМЕНЕНИЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В РЕГИОНЕ АЗОВСКОГО МОРЯ В 2000–2025 гг. И ИХ ВОЗМОЖНОЕ ВЛИЯНИЕ НА ОТДЕЛЬНЫЕ РАЙОНЫ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ

Н.А. Яицкая, А.А. Магаева, С.А. Мисиров

Субтропический научный центр РАН, Сочи, Россия, yaitskayan@mail.ru

CHANGES IN HYDROMETEOROLOGICAL CONDITIONS IN THE SEA OF AZOV REGION IN 2000–2025 AND POSSIBLE IMPACT ON CERTAIN AREAS OF THE COASTAL ZONE

N.A. Yaitskaya, A.A. Magaeva, S.A. Misirov

Subtropical Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Sochi, Russia, yaitskayan@mail.ru

Разрушение береговой зоны морей является одной из важных проблем. Причины разрушения берегов могут быть как антропогенные, так и естественные. Периодически замерзающее Азовское море подвержено комплексу опасных экзогенных геологических процессов, главные из которых – береговая эрозия и оползни [1, 2].

Анализ данных с 1950-х гг. и собственных полевых наблюдений позволил выявить два района с наибольшими скоростями абразии – на севере Таганрогского залива Азовского моря (северный район) и на границе собственно моря и залива на юго-востоке (южный район), которые отличаются площадью распространения льда, конфигурацией береговой линии по отношению к штормовому волнению и нагонной волне. При этом имеют схожее геоморфологическое строение и оба относятся к типу абразионных. В связи с этим на примере двух районов оценено влияние различных гидрометеорологических факторов на интенсивность абразионных процессов на побережье Азовского моря.

В качестве исходных данных использованы многолетние наблюдения за абразионными процессами на стандартной реперной сети, литературные материалы [1], результаты спутникового мониторинга пространственно-временной динамики положения берегового клифа Азовского моря за период 2000–2025 гг. Расчет ветрового волнения выполнялся с помощью математической модели SWAN [6]. Расчет ударных волновых нагрузок на берег основывается на работе [3]. Анализ ледяного покрова выполнен на основе схем ледовой обстановки в Азовском море, полученных из Международного Центра Данных – Морской Лед (МЦД-МЛ) и содержащих значения сплоченности, возрастных характеристик, формы плавучего льда и т.д. Рассчитаны среднесезонные, максимальные и минимальные площади ледяного покрова и припайного льда, продолжительность ледового сезона. Данные о надвигах и навалах льда на берега получены из литературных источников и спутниковых снимков [6]. Для определения эффективных скоростей ветра, оказывающих механическое воздействие на высокий береговой клиф, использована скорость и направление ветра, полученные на основе расчетов негидростатической атмосферной модели WRF для Азово-Черноморского региона [5].

Преыдущие исследования [4] выявили режимный сдвиг гидрометеорологического сезона Азовского моря. Температура воздуха зимнего периода в регионе непрерывно возрастает с 1975 г., увеличилась повторяемость мягких зим. Сроки образования и разрушения льда смещаются с начала 1980-х гг. на более поздние и ранние соответственно с интенсивностью 5–7 дней/10 лет. Ледовитость моря устойчиво сокращается с начала 1990-х гг., а скорость ветра имеет тренд на увеличение в зимние месяцы, что приводит к высокой штормовой динамической нагрузке на берег [6]. После 2000 г. отмечено увеличение высоты значительных волн на фоне снижения количества и продолжительности штормов, количества штормовых нагонов. По данным многолетних

наблюдений наиболее штормовыми месяцами в регионе являются ноябрь – март. Но с 2010-х гг. количество экстремальных штормовых явлений, сопровождающихся нагонами, увеличивается в теплый безледный период. Изменение гидрометеорологического режима Азовского моря приводит к изменению воздействия на береговую зону.

По результатам настоящего исследования средняя скорость абразии в северном районе с 2000 по 2025 г. составляет от 1.0 до 1.6 м/год. В южном районе – от 1.5 до 1.8 м/год. Максимальные значения береговой эрозии для обоих районов достигали 6.0 м в 2014 г. во время одного из наиболее крупных за столетие штормов (24–25 сентября), когда продолжительность штормового события с высотой волны более 2.0 м составила 30 ч. В остальных случаях скорость разрушения берегов между районами не имеет синхронной динамики.

Натурные измерения скоростей динамики берегового клифа, выполненные в 2024–2025 гг., показали, что для северного района характерна относительная стабильность. Скорость динамики берегового клифа за июль 2024 – февраль 2025 г. составила от 0 до 0.1 м/мес, за период февраль – сентябрь 2025 г. – от 0 до 0.2 м/мес.

В свою очередь, южный район исследований характеризовался более значительным разрушением берегов. С июля 2024 г. по февраль 2025 г. скорость береговой эрозии составляла от 0.1 до 0.4 м/мес. В последующие месяцы, с февраля по сентябрь 2025 г., наблюдались значения до 0.7 м/мес.

Выполненный анализ массива данных не выявил прямой связи между скоростью разрушения берегов и гидрометеорологическими параметрами Азовского моря. Взаимодействие береговой зоны и гидрометеорологических факторов является сложным процессом, результат которого может проявляться спустя продолжительное время. Для каждого района важно определить ключевые особенности развития опасных геоморфологических процессов, что впоследствии поможет разработке стратегии защиты и укрепления прибрежной зоны.

Исследование выполнено за счет гранта РФФИ № 24-17-20015, <https://rscf.ru/project/24-17-20015/>, а также при финансовой поддержке Кубанского научного фонда в рамках проекта No 24-17-20015.

Литература

- [1] Беспалова Л.А., Ивлиева О.В., Цыганкова А.Е. Берега Азовского моря: 100 лет наблюдений. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2023. 364 с.
- [2] Матишов Г.Г., Григоренко К.С. Динамика и термохалинная структура вод контактных зон Азовского моря // Доклады РАН. Науки о Земле. 2022. Т. 502, № 2. С. 107–114. doi:10.31857/S2686739722020116.
- [3] Федоров С.В. Программный модуль прогноза ударных нагрузок от действия волн на берега Азовского моря // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2016. № 2. С. 75–80.
- [4] Яицкая Н.А., Магаева А.А. Климатический сдвиг гидрометеорологического режима Азовского и Каспийского морей // География и природные ресурсы. 2025. Т. 46, № 1. С. 105–113. doi:10.15372/GIPR20250110.
- [5] Korshenko E., Panasenkova I., Fomin V. The Sea of Azov's Hydrodynamic Response to Different Atmospheric Forcing Resolutions // Water. 2024. V. 16. 3493. doi:10.3390/w16233493.
- [6] Yaitskaya N., Magaeva A. Wind, Wave, and Ice Impacts on the Coastal Zone of the Sea of Azov // Water. 2025. V. 17, № 1. P. 36. doi:10.3390/w17010036.

Научное издание

БЕРЕГОВЫЕ СИСТЕМЫ ЕСТЕСТВЕННЫХ И ИСКУССТВЕННЫХ ВОДОЕМОВ

Труды XXXI Международной конференции

Иркутск, 1–7 июня 2026 г.

Редактор-составитель *А.В. Кадетова*

Литературный редактор *Е.А. Балукова*

Верстка оригинал-макета *М.И. Чернышова*

Дизайн обложки *А.А. Юрьев*

Оформление авторское

Подписано в печать 13.05.2026 г. Формат 60×84 1/8

Уч.-изд. л. 18,62. усл. печ. л. 17,38. Тираж 20 экз. Заказ 481.

Отпечатано в Институте земной коры СО РАН

664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128