

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ, ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ПРАВОВЫЕ АСПЕКТЫ

УДК 504.056:574;502.58:574

ОПАСНОСТИ И РИСКИ РЕКРЕАЦИОННОГО ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ: ВЕКТОРЫ МЕЖДУНАРОДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ. ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИРОДНЫХ СИЛ НА РЕКРЕАЦИОННЫЕ ПЛЯЖИ И ЗДОРОВЬЕ ЧЕЛОВЕКА¹

© 2023 г. И. В. Андреева*

Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, 656038 Россия

**e-mail: direction-altai@yandex.ru*

Поступила в редакцию 26.04.2022 г.

После доработки 26.04.2022 г.

Принята к публикации 24.10.2022 г.

В завершение серии обзоров зарубежных публикаций по проблемам опасностей на рекреационных пляжах обобщены цели, задачи, методы и выводы исследований угроз общественным пространствам, инфраструктуре и отдыхающим от волн, течений, эрозии и других природных явлений и процессов. На основе анализа подходов и результатов прикладных гидродинамических, геоморфологических, климатических и социологических исследований обозначены идеи, перспективные для развития отечественной теории и практики изучения опасностей на пляжах.

Ключевые слова: рекреационный пляж, опасность, обратные течения, эрозия, разрушение пляжа.

DOI: 10.31857/S0321059623030033, **EDN:** CXNJGZ

ВВЕДЕНИЕ

Прибрежные территории ценятся за существенные природные и экономические выгоды, поэтому побережья во всем мире наиболее освоены и заселены. Утилитарные блага (ресурсные, климатические, транспортные) на берегах удачно дополнены природными объектами — пляжами, дюнами, утесами, которые создают условия для реализации естественной потребности человека в отдыхе [7].

Помимо очевидных выгод, положение на контакте суши и гидросферы сопряжено с высокими рисками для социальных пространств, инфраструктуры и населения. Здесь обычны наводнения, штормы и течения, которые, усиливаясь антропогенной нагрузкой, вызывают эрозию, разрушают пляжи и объекты на них, препятствуют безопасному отдыху [9]. И если социальные структуры можно спланировать и построить за пределами опасных вдольбереговых зон, то сместить от воды рекреацию практически невозможно, поскольку концентрация ресурсов и потребительский эффект (полезность для отдыхающего, удовлетворенность от отдыха) ее максимальны именно на контакте природных сред [60].

В этой связи и научное сообщество, и практики озадачены изучением и прогнозом прибрежных опасностей для рекреации, поиском путей адаптации к ним. Путь адаптации здесь определяется как совокупность мер по зонированию побережий и противодействию их разрушению от наводнений и волн. Начиная с 1990-х гг. количество публикаций по этим вопросам неуклонно растет, а тематический спектр ширится и детализируется.

В рассматриваемой области отечественные исследования опираются на фундаментальные положения прикладной геоморфологии. В них физическая безопасность для пляжей как материальных объектов с определенной формой, массой, объемом и границами именуется геоморфологической безопасностью и увязана с опасными для инфраструктуры и населения свойствами рельефа (оползни, карст, суффозия, абразия), реагирующими на поведение уровня водного объекта [3–5]. Выводы этих исследований отражают превалирование геоморфологических угроз ввиду базового значения рельефа в рекреационной системе [3].

За рубежом геоморфологическое направление — одно из трех направлений исследований физической опасности, которая понимается как нежелательное механическое воздействие водных масс на физические тела пляжа, инфраструктуры и отдыхающих. Оно ограничивается изучением рисков, связанных с денудационными процессами

¹ Работа выполнена в рамках государственного задания ИВЭП СО РАН (проект № 0306-2021-0002).

Таблица 1. Востребованность тематических результатов исследования

Количество ссылок на статью	Источник	Год издания	Страна авторства	Область исследований
87	[75]	2011	Англия	Денудационные процессы на пляже
80	[18]	2016	Франция	Гидродинамические процессы на пляже
80	[47]	2003	Эстония	Денудационные процессы на пляже
52	[70]	1994	Англия	Гидродинамические процессы на пляже
46	[46]	2003	Бразилия	Гидродинамические процессы на пляже
45	[57]	2010	США	Гидродинамические процессы на пляже
41	[54]	2011	Испания	Управление рисками на пляже
29	[83]	2015	США	Гидродинамические процессы на пляже
28	[42]	2017	Испания	Денудационные процессы на пляже
27	[32]	2012	Австралия	Гидродинамические процессы на пляже
24	[71]	2015	Англия	Денудационные процессы на пляже
23	[58]	2011	США	Гидродинамические процессы на пляже
23	[45]	2013	Австралия	Денудационные процессы на пляже
22	[38]	2009	Англия, Австралия	Гидродинамические процессы на пляже
21	[76]	2009	Англия	Гидродинамические процессы на пляже

(эрозия, оползень, камнепад) и потерей территории, в том числе — обусловленных повышением уровня моря.

Два других направления следующие: 1) анализ рисков от гидродинамических процессов (волны, приливы, течения), в том числе — связанных с погодными явлениями и изменением климата; 2) оценка качества управления пляжами, в том числе — экспертиза причин и последствий ущерба и травм, результативности спасательных мер, эффективности управленческих решений, программ и действий.

Цель настоящего исследования — обобщение международных проектов в области изучения опасностей в рекреационном водопользовании, связанных с физическими опасностями для инфраструктуры и отдыхающих от течений, волн, эрозии и камнепадов. На основе анализа мирового опыта и его тенденций с учетом российских природных условий и рекреационных практик для отечественных исследователей предложены наиболее перспективные направления научного поиска.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

С помощью поисковых запросов Тема 1 = (“beach” and “hazard” and “recreation”); Тема 2 = (“recreational beach” and “risk”); Тема 3 = (“beach” and “damage” and “recreation”) в электронной научной библиотеке “Web of Science” [89] обнаруживается 95 статей, датированных 1992–2021 гг. и посвященных исследованию вопросов влияния природных процессов на рекреационные пляжи. Подробнее описание метода отбора публикаций приведено в [1].

Авторы опубликованных работ — 328 представителей 35 стран. В их число входят пять россиян — соавторы статьи [73]. Среди исследователей наиболее результативны Р.В. Брандер (R.W. Brander) (Австралия, 4 статьи с общим цитированием этих работ — 143), Дж.А. Хименес (J.A. Jimenez) (Испания, 4 и 86 соответственно), Т. Скотт (T. Scott) (Англия, 4 и 201), Г. Маслинк (G. Masselink) (Англия, 3 и 121), П. Рассел (P. Russell) (Англия, 3 и 121), А.Т. Вильямс (A.T. Williams) (Англия, 3 и 14).

Судя по цитируемости, характеризующей интерес к исследуемой области, а также востребованность результатов и перспективность их развития, — изучение опасных гидродинамических и денудационных процессов в зонах отдыха равнозначно актуально (табл. 1). Самая большая группа авторов, насчитывающая 67 человек (20%), равно как и в обобщениях, посвященных исследованиям пляжных сред [1] и воздействий рекреационной деятельности на экосистемы пляжей [2], объединяет граждан США. За лидером следуют Австралия (34 автора), Испания (29), Англия (23), Италия (20) — страны с традиционной пляжной культурой и развитым сектором въездного курортного туризма. Общая географическая черта объектов исследований — рекреационных пляжей — принадлежность к странам с протяженными и комфортными для круглогодичного пляжного отдыха побережьями, открытыми в сторону обширных водных масс — морей и океанов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБОБЩЕНИЕ

Пляжи постоянно эволюционируют из-за сочетания воздействий прибрежных течений, волн и приливов (наводнений). Множество наблюдений по всему миру фиксируют рост частоты этих природных явлений и увеличение масштабов их влияния на популярные места отдыха [7, 19]. Поэтому исследования динамических процессов на рекреационных пляжах актуализировались.

Гидродинамический блок связан с рассмотрением вопросов опасности как для территории пляжа и экосистем, так и для отдыхающих. Первые посвящены вертикальному разрушению пляжей и механическим повреждениям объектов инфраструктуры и отдыха. Вторые оценивают влияние волн и течений на жизнь и здоровье пловцов, серферов, ныряльщиков.

Береговые линии имеют разные происхождение и геоморфологические формы (песчаные пляжи, глинистые обрывы, скалистые мысы, отвесные утесы), которые по-разному реагируют на воздействие природных сил, поэтому стратегии изучения разных побережий и подходы к прогнозированию часто различаются. При этом тактика чаще остается общей и строится на тщательном геоморфологическом обследовании района и оценке местного климата, обуславливающего направление и силу ветров и волн [9].

Главный инструмент работ — традиционный в гидрологии метод численного моделирования, который в процессе совершенствования теоретико-технологической базы уточняется для целей пространственно-временного прогноза конкретных процессов: эрозии, аккреции и опасных прибрежных течений [18]. Например, для изучения динамики и циркуляции волн, влияющих как на стабильность территорий, так и на безопасность пловцов, вводные сведения о высоте и периоде волн дополняются деталями, характеризующими движение волны (тангаж, крен, крутизна). Основанный на обучаемой нейронной сети такой метод в сравнении с традиционным прогнозом более точен и краткосрочен — до 24 ч [65]. Рассматриваются возможности гибридизации систем фиксации данных и систем моделирования. Автоматизация обработки данных, например — методом анализа пикселей (фотограмметрическое преобразование пикселей в реальные координаты гребня волны и впадины), позволяет определять факторы опасности для посетителей на удаленных и спонтанно посещаемых берегах, чаще скалистых [44, 69, 78].

Посредством моделирования решаются задачи оценки опасности для объектов на пляже, связанные с переувлажнением, эрозией и обрушением берегов, отложением осадков в заливах и на пляжах. В них расчеты будущего положения береговой линии и уровня моря сопоставляются с ожи-

даемым сроком службы зданий и сооружений [36, 67, 81, 82]. Уровень опасности для пловцов и прогулочных лодок определяется из анализа реакции разных конфигураций береговой линии или погруженных конструкций (в том числе сооружений для дайвинга) на штормы, рассеивание отложений и физические параметры пляжей [8, 49, 51, 66, 70, 90]. Фактический материал таких исследований (период шторма, размер песчинок, ширина бермы, уровень воды) дополняет космические снимки и климатические данные.

Одна из новых тенденций в мире — гибридный подход к защите территорий от мощных природных угроз. Он основан на гипотезе о взаимоусиливающих ролях экосистемных (растительность) и техногенных (защитные сооружения, дамбы) элементов в берегозащитных системах. Пример подхода — парки, смягчающие последствия цунами и представляющие собой спроектированный холмистый ландшафт с растительностью, механизмы защиты которого предварительно смоделированы на основе топографических данных об уклоне берега, силе и форме волны. В этой связи изучаются функции и реакции элементов таких систем — растительности и рельефа, а также эффекты их влияния на скорость эрозии и течения вблизи берегов [56, 62]. На примере такого исследования показано, что инфраструктура парка и доступ посетителей к чувствительным системам пляжей усиливают изменения и ограничивают восстановление пляжа после штормов [41].

Численные модели перераспределения штормовых наносов используются в сравнительных исследованиях динамики пляжей естественных и тех, где люди — часть динамической системы, например удаляют избыточный песок и восстанавливают дюны. В модели вводят данные об уклоне, фронтальном профиле и высоте гребней дюн, периодах роста и стабильности дюн, типе погоды, штормовой активности. Результат состоит в знаниях об актуальных течениях, эрозионной активности, закономерностях распределения осадочного материала, наличии опасных микроформ рельефа дна, увеличивающих риск утопления пловцов [34, 58, 84].

Исследования угроз отдыхающим основаны на анализе демографических показателей, а также информации о распространенности, локализации, причинах и результатах спасательных мероприятий. Методами социальных наук изучаются человеческое понимание, восприятие и поведение в ситуации опасности на пляже. Развиваются обработка статистических данных и физические исследования, включающие в себя измерение или моделирование поведения пловцов в потоках.

Главная смертельная опасность для любителей пляжного отдыха во всем мире — разрывные (обратные) течения (“rip currents”) [17, 18, 46]. Они

представляют собой один из механизмов оттока от берега в море огромного количества воды в виде узких и концентрированных потоков, не зависящих от погоды и силы прилива. Основу знаний об их морфологии и гидродинамике, контролирующих возникновение и развитие, обеспечивают классификации, в частности — классификация по доминирующему управляющему механизму, которая выделяет течения гидродинамически и батиметрически управляемые, а также контролируемые границами естественных мысов или антропогенных сооружений [18]. Исследования обратных течений уточняют водообмен между шельфом и зоной прибоя, моделируют и оценивают пространственно и количественно волновые и внутриволновые процессы [83].

Задачи поиска связей между условиями на пляже и безопасностью отдыха решают классификации пляжей: по морфологическим критериям [79, 80], по наличию специального спасательного оборудования [95]. Типизации пляжей, разработанные в Англии [75–77] и Австралии [22, 92, 93] посредством кластерного анализа, служат основой национальных программ оценки пляжного риска. Они опираются на данные о морфологической (ширина, высота и уклон пляжа и отмели), седиментологической (скорость осаждения осадков, размер зерна, доля массы >2 мм) и гидродинамической (высота и период волны) обстановке. Помимо самостоятельной ценности, классификации служат целям оперативного выявления рисков и зонирования побережий по безопасности [23].

Для разных мест мира устанавливаются параметры волн и течений, наиболее опасные для отдыхающих. Такие исследования проведены на песчаных пляжах Амазонки (Бразилия) [16], Гвинейского залива (Бенин), где фиксируются самые высокие показатели утопления в мире [17], зал. Сантьяго (Мексика) [19], на 51 пляже Южного Китая [50] и выявили наиболее опасные высоты и частоты волн, скорости течения и сочетания факторов, чаще всего приводящих к утоплениям и травмам.

Несмотря на массовое интуитивное понимание взаимосвязи между погодой и безопасностью на побережье, объективный анализ этой зависимости отсутствует. Отдельные исследования связаны с разработкой классификаций рисков для разных прибрежных районов и видов деятельности. Они основаны на сравнении данных о несчастных случаях и случаях спасения с данными о погоде и волновых условиях. Их результаты — показатели степени чувствительности видов отдыха к прибрежным метеопараметрам, представленные в виде эмпирических коэффициентов риска, а также установленные для разных мест мира закономерности. Например, для плавания риск ин-

цидентов наиболее высок на малолюдных пляжах при хорошей погоде и умеренных волнах [11, 28], а для отдыха на рекреационных судах — в экстремальных погодных условиях [28]. Отдельно обсуждаются риски для отдыхающих, связанные с конкретными погодными явлениями, например метеоцунами и морскими грозами [38].

Изучается распределение типов травм, приведших к ним занятий, получивших их групп населения. На основе статистических данных травматологических центров выявляются соотношения между пострадавшими местными жителями и приезжими, лицами разного пола и возраста, а также наиболее травмоопасные виды отдыха [11, 31, 76, 77, 86, 91].

Изучение реакции людей, попавших в разрывные течения, позволяет дать рекомендации пловцам о мерах реагирования и самоспасения. На основе анкетирования по демографии выживших, их знаниях о безопасности на пляже, а также о реакциях на попадание в течение определяются наиболее успешные для выживания тактики поведения [32]. В исследованиях, связанных с оценкой роли осведомленности об опасности в обеспечении безопасности на пляже, анализируются влияние пропаганды (телевизионных шоу о спасателях [88]) или наличие у пользователей ключевых знаний о природной среде пляжа [24, 46]. В подобных случаях используют метод опросов и приходят к однозначным выводам о прямой зависимости числа несчастий от поведения на пляже.

Исследования геоморфологических проблем раскрывают причины и следствия разрушения и отступления берегов, анализируют динамику эрозии. Вместе с показателями эрозионной опасности междисциплинарные модели используют экономические данные о выгодах и затратах, потоках услуг, воздействиях на прибрежную среду и служат определению условий, при которых использование пляжей выгодно и подконтрольно [6, 10, 48]. С помощью ретроспективного анализа космоснимков, моделей изменения климата, региональных климатических и геоморфологических баз данных такие работы выполнены для побережий России [73], Эстонии [47], США [43], Испании [42], Тайваня [94]. Результаты представлены базами данных для географических информационных систем.

Поскольку постэрозионная реставрация пляжей (замена песка, устранение повреждений) высокочувствительна, то научный поиск уточняет технологии реставрации и параметры самих пляжей. Расчет оптимальной ширины пляжа методами вычислительного моделирования основан на геоморфологических, гидродинамических и геоботанических данных [68]. Уточнение технологий связано с поиском снижающих затраты проектов. Например, при отсутствии естественных ресур-

сов для подсыпки пляжа на мысе Кавра (Мальта) численно смоделировано поведение измельченной породы из местного карьера, оценена целесообразность ее применения вместо морского песка [35].

В специальный блок объединены исследования по разработке защитных проектов в разных частях мира. Их цель — поиск точечных мер защиты от эрозии в зависимости от целевого назначения побережья и задач управления. Такие выполнены, например, для пляжей Салерно в Италии (система защиты состоит из длинного ряда параллельных затопленных волнорезов) [14], Лос-Анджелеса в США (предусматривает питание пляжей, восстановление дюн, строительство защищенных сооружений) [7], Израиля [15], Кейптауна в ЮАР [33], Лайда в Испании в биосферном заповеднике Урдайбай (предусматривает мобилизацию и перераспределение песка между надводной и подводной частями пляжа) [64]. Часть работ развивает методологию анализа влияния эрозии на функции пляжей до регионального масштаба (побережье Маресме, Испания) [12].

Изменения климата, в том числе режима осадков, в пляжных регионах мира усиливают другие потенциально опасные для отдыха условия. В холмистых и горных местностях растут число оползней и нестабильность скалистых склонов. Для прогноза оползней используются данные об их отрыве, транзите и стоке. Особенности землепользования учитываются введением в расчет данных о хозяйстве. При моделировании ситуации в Чинкве-Терре (Италия) вместе с данными о литологии, крутизне и характере склонов и платформ использованы показатели степени заброшенности сельскохозяйственных земель и расстояния до дорог [29]. Для оценки опасности камнепадов на побережье Корнуола (Англия) использован метод, применяемый обычно на автомагистралях [25]. На Тенерифе (Испания) [27], в регионе Алгарве (Португалия) [87], в Колхью (Англия) [90] для оценки риска камнепадов разработаны специальные методы.

В разделе управления пляжами контекст опасности и оптимизации мероприятий по снижению рисков все чаще полагается на автоматизированное слежение за посещаемостью пляжей и поведением пользователей. Далее временные и пространственные закономерности анализируются вместе с экологическими, метеорологическими, социальными параметрами объекта. В работах такого рода обсуждается эффективность мер защиты, их экологические преимущества и ограничения. Например, оценивается скорость достижения рельефа или растительности после возмущающих воздействий при применении разных технологий: от отсыпки, берегоукрепления и перепрофи-

лирования пляжа [13, 20, 21, 30, 39] до внедрения специфичных рекреационных практик [85].

Анализ затрат и выгод — общий подход к оценке рисков, на котором основаны практически все исследования по управлению пляжами. Он состоит в расчете стоимости мер по защите побережий от опасных воздействий вод и по борьбе с последствиями береговой эрозии. Элементы подхода — метод “готовность платить” за защиту и восстановление пляжей [21, 52], а также экспертиза государственных программ защиты берегов [40].

Чаще всего результат исследований выражен в прогнозной стоимости потерь, определяющей выбор более выгодного и экономически обоснованного варианта борьбы с эрозией [15, 26, 61, 71]. Однако развиваются и немонетарные подходы. К таким относится, например, методика оценки множественных рисков, которая учитывает частоту опасностей и стоимость экосистемных услуг. С помощью нее на пляже Сант-Абanel (Испания) определены наиболее вероятные опасности (от загрязнения, штормовой эрозии и наводнения) и наиболее страдающие экосистемные услуги, в том числе поддержка экосистемных функций биосферы, биоремедиация отходов, досуг и отдых [54, 55]. Другой пример — методика цифрового анализа береговой линии, апробированная на Балеарских островах (Испания) для оценки нарушений дюнных систем пляжей [72]. Эти инструменты позволяют составить рейтинг опасностей для экосистемных услуг пляжей и выявить приоритеты защиты. Значимость этих аспектов увеличивается, поскольку выводы все большего числа исследований указывают на большие изменчивость и неопределенность последствий прибрежных опасностей из-за политических решений, чем даже из-за изменения климата [63].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ результатов изучения опасных проявлений природных сил на рекреационных пляжах показал равнозначность угроз гидродинамического и геоморфологического генезиса. Самые часто изучаемые проблемы следующие: 1) потеря площади пляжа и инфраструктуры из-за наводнений и вызванной ими эрозии; 2) гибель и травмирование пловцов в обратных течениях; 3) угроза здоровью отдыхающих от осыпания прибрежных скал. Эти аспекты представляют собой прикладные вариации классических гидро- и геоморфологических исследований, опирающихся на методы цифрового моделирования, и часто служат начальным этапом исследований, направленных на управление побережьями. Оценка риска камнепадов на пляжах — сравнительно новая задача, поэтому в режиме поиска она привлекает разнообразный инструментарий, в том числе геоин-

формационный. Исследования вреда здоровью отдыхающих и поведенческих особенностей, влияющих на безопасность на пляжах, опираются на традиционные социологические и статистические методы, а перспективное изучение климатозависимости рекреационного водопользования использует специфические методы климатологии в дополнение к междисциплинарным методам.

С учетом небольшого количества отечественных тематических исследований, растущего интереса к ним мирового научного сообщества и запроса практики внутреннего туризма следует ожидать в России всплеска изучения проблемы — развития прикладных геоморфологических работ и появления прикладных гидродинамических и социально-экономических проектов. Содержание их может быть связано как с выявлением конкретных природных рисков и их проявлений на конкретных пляжах и для конкретных видов отдыха, так и с поиском специфики опасностей на пляжах водных объектов разного типа (моря, реки, озера, природно-антропогенные водоемы) в разных природных зонах. Востребованность таких знаний будет обеспечена растущим спросом на внутренний летний туризм и отдых и послужит развитию отечественной теоретико-методической базы в области рекреационного водопользования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреева И.В. Опасности и риски рекреационного водопользования: векторы международных исследований. Качество рекреационных сред // Вод. ресурсы. 2021. № 3. С. 280–289.
2. Андреева И.В., Пузанов А.В. Опасности и риски рекреационного водопользования: векторы международных исследований. Воздействия рекреации на экосистемы и биоту // Вод. ресурсы. 2022. № 1. С. 112–120.
3. Бредихин А.В. Рекреационно-геоморфологические системы. Смоленск: Ойкумена, 2010. 328 с.
4. Мишурунский Д.В., Бредихин А.В. Комплексная оценка рекреационно-геоморфологического потенциала побережий Белого и Балтийского морей // Геоморфология. 2019. № 1. С. 38–47.
5. Санин А.Ю. Некоторые особенности неблагоприятных и опасных явлений в пределах береговых морфосистем Южного берега Крыма // Проблемы региональной экологии. 2013. № 3. С. 213–218.
6. Abbott T. Shifting shorelines and political winds — the complexities of implementing the simple idea of shoreline setbacks for oceanfront developments in Maui, Hawaii // Ocean Coast. Manage. 2013, V. 73. P. 13–21.
7. Aerts J.C.J.H., Barnard P.L., Botzen W. et al. Pathways to resilience: adapting to sea level rise in Los Angeles // Annals of the NY Acad. Sci. 2018. V. 1427. P. 1–90.
8. Aminti P.L., Bartoletti E., Berriolo G. et al. Marina di Cecina urban beach: a shore protection project // J. Coastal Res. 2011. V. 61. P. 282–289.
9. Anagnostou C., Antoniou P.F., Hatiris G.A. Erosion of a depositional coast in NE Rhodes island (SE Greece) and assessment of the best available measures for coast protection // J. Coastal Res. 2011. V. 64. P. 1316–1319.
10. Appendini C.M., Lizarraga-Arciniega R., Fischer D.W. Shoreline erosion management program for Rosarito Beach, Baja California, Mexico // Environmental coastal regions. 2nd Int. Conf. Environ. Problems Coastal Regions. 1998. P. 99–108.
11. Attard A., Brander R.W., Shaw W.S. Rescues conducted by surfers on Australian beaches // Accident analysis and prevention. 2015. V. 82. P. 70–78.
12. Ballesteros C., Jimenez J.A., Valdemoro H.I. et al. Erosion consequences on beach functions along the Maresme coast (NW Mediterranean, Spain) // Natural Hazards. 2018. V. 90. P. 173–195.
13. Bariteau L., Bouchard D., Gagnon G. et al. A riverbank erosion control method with environmental value // Ecol. Engineering. 2013. V. 58. P. 384–392.
14. Benassai G., Celentano P., Sessa F. Coastal storm damage reduction program in Salerno Province after the winter 2008 storms // Manage. Engineering. 2009. V. 126. P. 119.
15. Bitan M., Zviely D. Lost value assessment of bathing beaches due to sea level rise: a case study of the Mediterranean coast of Israel // J. Coastal Conservation. 2016. V. 23 (4). P. 773–783.
16. Brito W.C., Pereira L.C.C., Sousa R.C. et al. Beach hazard and risk perception of lifeguards working in a macrotidal Amazon beach // J. Coastal Res. 2016. V. 75 (2). P. 1217–1221.
17. Castelle B., Almar R., Dorel M. et al. Rip currents and circulation on a high-energy low-tide-terraced beach (Grand Popo, Benin, West Africa) // J. Coastal Res. 2014. V. 70. P. 633–638.
18. Castelle B., Scott T., Brander R.W. et al. Rip current types, circulation and hazard // Earth-Sci. Rev. 2016. V. 163. P. 1–21.
19. Cervantes O., Verduzco-Zapata G., Botero C. et al. Determination of risk to users by the spatial and temporal variation of rip currents on the beach of Santiago Bay, Manzanillo, Mexico: Beach hazards and safety strategy as tool for coastal zone management // Ocean Coastal Manage. 2015. V. 118 (B). P. 205–214.
20. Chang J.I., Yoon S. Assessing the economic value of beach restoration: case of song-do beach, Korea // J. Coastal Res. 2017. V. 79. P. 6–10.
21. Chang J.I., Yoon S. The economic benefit of coastal erosion control in Korea // J. Coastal Res. 2016. V. 75 (2). P. 1317–1321.
22. Chappell J., Eliot I. Surf-beach dynamics in time and space — an Australian case study, and elements of a predictive model // Marine Geol. 1979. 32 (3–4). P. 231–250.
23. Chen J.G., Zhong Y.Z., Chuang L.Z.H. et al. Risk management of coastal water safety for recreational activities: the case of Taoyuan coast // Applied Geogr. 2020. V. 117. № 102173.
24. Clifford K.M., Brander R.W., Trimble S. et al. Beach safety knowledge of visiting international study abroad students to Australia // Tourism Manage. 2018. V. 69. P. 487–497.

25. Coggan J.S., Pine R.J., Stead D. A proposed methodology for rockfall risk assessment along coastlines // *Geosci. South-West England*. 2001. V. 10 (2). P. 190–194.
26. Daniel H. Replenishment versus retreat: the cost of maintaining Delaware's beaches // *Ocean Coastal Manage.* 2001. V. 44. P. 87–104.
27. de Vallejo L.I.G., Hernandez-Gutierrez L.E., Miranda A. et al. Rockfall Hazard Assessment in Volcanic Regions Based on ISVS and IRVS Geomechanical Indices // *Geosci.* 2020. V. 10 (6). № 220.
28. de Vos M., Rautenbach C. Investigating the connection between metocean conditions and coastal user safety: An analysis of search and rescue data // *Safety Sci.* 2019. V. 117. P. 217–228.
29. Di Napoli M., Di Martire D., Bausilio G. et al. Rainfall-induced shallow landslide detachment, transit and runout susceptibility mapping by integrating machine learning techniques and GIS-based approaches // *Water*. 2021. V. 13 (4). № 488.
30. do Carmo J.S.A., Reis C.S., Freitas H. Successful rehabilitation of a sand dune system // *Environ. Problems Coastal Regions*. 2006. V. 88. P. 195.
31. Doelp M.B., Puleo J.A., Cowan P. et al. Delaware coast Delaware surf zone injury demographics // *American J. Emergency Medicine*. 2018. V. 36 (8). P. 1372–1379.
32. Drozdowski D., Shaw W., Dominey-Howes D. et al. Surveying rip current survivors: preliminary insights into the experiences of being caught in rip currents // *Natural Hazards Earth System Sci.* 2012. V. 12 (4). P. 1201–1211.
33. Dube K., Nhamo G., Chikodzi D. Rising sea level and its implications on coastal tourism development in Cape Town, South Africa // *J. Outdoor Recreation and Tourism-research Planning and Management*. 2021. V. 33. № 100346.
34. El-Asmar H.M., Taha M.M.N., El-Sorogy A.S. Morphodynamic changes as an impact of human intervention at the Ras El-Bar-Damietta Harbor coast, NW Damietta Promontory, Nile Delta, Egypt // *J. African Earth Sci.* 2016. V. 124. P. 323–339.
35. Firman K., Kemp J., Finch D. et al. Designing a sustainable beach replenishment scheme for a site in Malta // *J. Coastal Res.* 2011. V. 61. P. 36–43.
36. Goldstick J., Kealy M.J., Maxwell E.N. et al. Howard beach flood risk reduction study: valuing nature's role // *International conference on sustainable infrastructure: Methodology*. 2017. P. 161–170.
37. Gopalakrishnan S., Landry C.E., Smith M.D. et al. Economics of coastal erosion and adaptation to sea level rise // *Annual Rev. Res. Economics*. 2016. V. 8. P. 119–139.
38. Haslett S.K., Mellor H.E., Bryant E.A. Meteo-tsunami hazard associated with summer thunderstorms in the United Kingdom // *Physics Chem. Earth*. 2009. V. 17–18. P. 1016–1022.
39. Hesham M., Maysa M.N., Abdelbaset S. Morphodynamic changes as an impact of human intervention at the Ras El-Bar-Damietta Harbor coast, NW Damietta Promontory, Nile Delta, Egypt // *J. African Earth Sci.* 2016. V. 124. P. 323–339.
40. Hillyer T.M., Stakhiv E.Z., Sudar R.A. An evaluation of the economic performance of the US Army corps of engineers shore protection program // *J. Coastal Res.* 1997. V. 13 (1). P. 8–22.
41. Houser C. Response and recovery of the national seashores to extreme storms: Sensitivity to the frequency of storm events // *National Parks: Vegetation, Wildlife and Threats*. 2010. P. 105–129.
42. Jimenez J.A., Valdemoro H.I., Bosom E. et al. Impacts of sea-level rise-induced erosion on the Catalan coast // *Regional Environ. Change*. 2017. V. 17 (2). P. 593–603.
43. Keller E.A., Capelli M.N. Ventura river flood of February 1992 – a lesson ignored // *Water Res. Bull.* 1992. V. 28 (5). P. 813–832.
44. Kennedy D.M., Ierodiaconou D., Weir A. et al. Wave hazards on microtidal shore platform: testing the relationship between morphology and exposure // *Natural Hazards*. 2017. V. 86 (2). P. 741–755.
45. Kennedy D.M., Sherker S., Brighton B. et al. Rocky coast hazards and public safety: Moving beyond the beach in coastal risk management // *Ocean Coastal Manage.* 2013. V. 82. P. 85–94.
46. Klein A.H.D.F., Santana G.G., Diehl E.L. et al. Analysis of hazards associated with sea bathing: Results of five years work in oceanic beaches of Santa Catarina State, southern Brasil // *J. Coastal Res.* 2003. V. 35. P. 107–116.
47. Kont A., Jaagus J., Aunap R. Climate change scenarios and the effect of sea-level rise for Estonia // *Global and Planetary Change*. 2003. V. 36 (1–2). P. 1–15.
48. Landry C.E. Coastal erosion as a natural resource management problem: An economic perspective // *Coastal Manage.* 2011. V. 39 (3). P. 259–281.
49. Lee F.C., Hsu J.R.C., Lin W.H. Appraisal of storm beach buffer width for cyclonic waves // *Coastal Engineering*. 2011. V. 58 (11). P. 1049–1061.
50. Li Z.Q. Rip current hazards in South China headland beaches // *Ocean Coastal Manage.* 2016. V. 121. P. 23–32.
51. Liria P., Gyssels P., Galparsoro I. et al. Morphodynamic study of the Ondarreta Beach in San Sebastian (Spain) // *Wit Transactions on Ecol. Environ.* 2006. V. 88. P. 183–192.
52. Liu J., Liu N., Zhang Y.M. et al. Evaluation of the non-use value of beach tourism resources: A case study of Qingdao coastal scenic area, China // *Ocean Coastal Manage.* 2019. V. 168. P. 63–71.
53. Li Z.Q. Rip current hazards in South China headland beaches // *Ocean Coastal Manage.* 2016. V. 121. P. 23–32.
54. Lozoya J.P., Sarda R., Jimenez J.A. A methodological framework for multi-hazard risk assessment in beaches // *Environ. Sci. Policy*. 2011. V. 14 (6). P. 685–696.
55. Lozoya J.P., Sarda R., Jimenez J.A. Beach multi-risk assessment in the Costa Brava (Spain) // *J. Coastal Res.* 2011. V. 61. P. 408–414.
56. Lunghino B., Tate A.F.S., Mazereeuw M. et al. The protective benefits of tsunami mitigation parks and ramifications for their strategic design // *Proc. National Acad. Sci. USA*. 2020. V. 117 (20). P. 10740–10745.

57. Lynett P.J., Melby J.A., Kim D.H. An application of Boussinesq modeling to Hurricane wave overtopping and inundation // *Ocean Engineering*. 2010. V. 37 (1). P. 135–153.
58. Magliocca N.R., McNamara D.E., Murray A.B. Long-term, large-scale morphodynamic effects of artificial dune construction along a barrier Island coastline // *J. Coastal Res.* 2011. V. 27 (5). P. 918–930.
59. Martino S., Amos C.L. Valuation of the ecosystem services of beach nourishment in decision-making: The case study of Tarquinia Lido, Italy // *Ocean Coastal Manage.* 2015. V. 111. P. 82–91.
60. McGinlay J., Parsons D.J., Morris J. et al. Leisure activities and social factors influence the generation of cultural ecosystem service benefits // *Ecosystem Services*. 2018. 31. P. 468–480.
61. Mehvar S., Filatova T., Syukri I. et al. Developing a framework to quantify potential sea level rise-driven environmental losses: A case study in Semarang coastal area, Indonesia // *Environ. Sci. Policy*. 2018. V. 89. P. 216–230.
62. Mendoza E., Oderiz I., Martinez M.L. et al. Measurements and modelling of small scale processes of vegetation preventing dune erosion // *J. Coastal Res.* 2017. V. 77. P. 19–27.
63. Mills A.K., Ruggiero P., Bolte J.P. et al. Quantifying uncertainty in exposure to coastal hazards associated with both climate change and adaptation strategies: A US Pacific Northwest alternative coastal futures analysis // *Water*. 2021. V. 13 (4). № 545.
64. Monge-Ganuzas M., Gainza J., Liria P. et al. Morphodynamic evolution of Laida beach (Oka estuary, Urdaibai Biosphere Reserve, southeastern Bay of Biscay) in response to supratidal beach nourishment actions // *J. Coastal Res.* 2017. V. 130. P. 85–95.
65. Mooneyham J., Crosby S.C., Kumar N. et al. SWRL Net: A spectral, residual deep learning model for improving short-term wave forecasts // *Weather and Forecasting*. 2020. V. 35 (6). P. 2445–2460.
66. Nielsen A.F., Gordon A.D. Long term impacts of jetties and training walls on estuarine hydraulics and ecologies // *Coastal Wetlands: Alteration and Remediation*. 2017. V. 21. P. 317–355.
67. Oh H.M., Jeong K.Y., Kim H.K. et al. Wave risk assessment on coastal areas in Korea // *Proc. 10th int. conf. Asian Pacific Coasts*. 2020. P. 1351–1358.
68. Pattanapol W., Wakes S.J., Hilton M. Using computational fluid dynamics to determine suitable foredune morphologies in New Zealand // *J. Coastal Res.* 2011. V. 64 (1). P. 298–302.
69. Power H.E., Kinsela M.A., Stringari C.E. et al. Automated sensing of wave inundation across a rocky shore platform using a low-cost camera system // *Remote Sensing*. 2018. V. 10 (1). № 11.
70. Pye K., Neal A. Coastal dune erosion at Formby point, North Merseyside, England – Causes and mechanisms // *Mar. Geol.* 1994. V. 119 (1–2). P. 39–56.
71. Remoundou K., Diaz-Simal P., Koundouri P. et al. Valuing climate change mitigation: A choice experiment on a coastal and marine ecosystem // *Ecosystem Services*. 2015. V. 11. P. 87–94.
72. Roig-Munar F.X., Martin-Prieto J.A., Rodriguez-Perea A. et al. Risk assessment of beach-dune system erosion: beach management impacts on the Balearic Islands // *J. Coastal Res.* 2012. V. 28 (6). P. 1488–1499.
73. Ryabchuk D., Spiridonov M., Zhamoida V. et al. Long term and short term coastal line changes of the Eastern Gulf of Finland. Problems of coastal erosion // *J. Coastal Conserv.* 2012. V. 16 (3). P. 233–242.
74. Sayan M.S. Fragmented cityscapes and conflicting land uses by the Mediterranean sea: Experiences from Antalya // *Medcoast 07. Eight Int. Conf. Mediterranean Coastal Environ.* 2007. V. 1–2. P. 415–423.
75. Scott T., Masselink G., Russell P. Morphodynamic characteristics and classification of beaches in England and Wales // *Marine Geol.* 2011. V. 286 (1–4). P. 1–20.
76. Scott T., Russell P., Masselink G. et al. High volume sediment transport and implications for recreational beach risk // *Coastal Engineering*, 2009. V. 1–5. P. 4250.
77. Scott T., Russell P., Masselink G. et al. Rip current variability and hazard along a macro-tidal coast // *J. Coastal Res.* 2009. V. 56 (1). P. 895–899.
78. Shand T.D., Bailey D.G., Shand R.D. Automated detection of breaking wave height using an optical technique // *J. Coastal Res.* 2012. V. 28 (3). P. 671–682.
79. Short A.D. *Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics*. Wiley, New York, 1999. 392 p.
80. Short A.D., Hogan C. Rip currents and beach hazards: their impacts on public safety and implications for coastal management // *J. Coastal Res.* 1994. SI 12. P. 197–209.
81. Silveira T.M., Taborda R., Carapuco M.M. et al. Assessing the extreme overwash regime along an embayed urban beach // *Geomorphol.* 2016. V. 274. P. 64–77.
82. Slezinger M., Pelikan P., Gernesova L. Options of ensuring safe use of beach shores // *Public recreation and landscape protection – With man hand in hand*. 2015. V. 1–2. P. 175–177.
83. Suanda S.H., Feddersen F. A self-similar scaling for cross-shelf exchange driven by transient rip currents // *Geophys. Res. Lett.* 2015. V. 42 (13). P. 5427–5434.
84. Thomas T., Rangel-Buitrago N., Phillips M.R. et al. Mesoscale morphological change, beach rotation and storm climate influences along a Macrotidal Embayed Beach // *J. Marine Sci. Engineering*. 2015. V. 3 (3). P. 1006–1026.
85. Twrda M., Kolarcikova L., Perinkova M. Transformation of coastal area in a case of expand touristic industry // *8th architektura v perspektiv*. 2016. P. 121–122.
86. Tyebally A., Ang S.Y. Kids can't float: epidemiology of paediatric drowning and near-drowning in Singapore // *Singapore Medical J.* 2010. V. 51 (5). P. 429–433.
87. Viegas J., Goncalves J.P., Pais L.A. Rockfall risk assessment along cliffed coastlines of Algarve, Portugal // *Increase*. 2018. P. 32–46.
88. Warton N.M., Brander R.W. Improving tourist beach safety awareness: The benefits of watching Bondi Rescue // *Tourism Manage.* 2017. V. 63. P. 187–200.
89. Web of Science. <https://clarivate.ru/products/web-of-science> (дата обращения: 05.06.2021)
90. Williams A.T., Davies P., Ergin A. et al. Coastal recession and the reliability of planned responses: Colhuw

- Beach, the Glamorgan Heritage Coast, Wales, UK // J. Coastal Res. 1998. V. 26. P. 72–79.
91. *Wolf B.C., Harding B.E.* Parasailing fatalities in south-west Florida // Am. J. Forensic Medicine Pathol. 2009. V. 30 (4). P. 391–393.
92. *Wright L.D., Short A.D.* Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis // Marine Geol. 1984. V. 56 (1–4). P. 93–118.
93. *Wright L.D., Short A.D., Boon Iii J.D. et al.* The morphodynamic effects of incident wave groupiness and tide range on an energetic beach // Mar. Geol. 1987. V. 74 (1–2). P. 1–20.
94. *Yang R.Y., Wu Y.C., Hwung H.H. et al.* Current counter-measure of beach erosion control and its application in Taiwan // Ocean Coastal Manage. 2010. V. 53 (9). P. 552–561.
95. *Yoon I.J., Hong J.W.* Safety equipment for swimming beaches in Korea: Implications for management // J. Coastal Res. 2017. V. 79. P. 1–5.