

Антропогенное воздействие на литодинамику черноморского побережья Крымского полуострова

Ю. Н. Горячкин, Т. В. Ефремова*

Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия

**e-mail: efremova@mhi-ras.ru*

Аннотация

Динамика береговой зоны морей и океанов обусловлена сложным взаимодействием природных процессов, происходящих на стыке суши, моря и атмосферы, которое еще больше усложнилось из-за антропогенного фактора. Цель статьи – систематизация сведений об антропогенном воздействии на литодинамику черноморского побережья Крыма, классификация видов воздействий и их картографирование. Использовались материалы многолетних мониторинговых наблюдений, выполняемых Морским гидрофизическим институтом РАН. Показано, что наибольшее влияние на изменение литодинамики Западного Крыма оказывает гидротехническое строительство. Приводятся конкретные примеры с количественными характеристиками. Установлено, что строительство капитальных сооружений на пляжах ведет как минимум к сокращению пляжей, как максимум – к их полному исчезновению, что в дальнейшем приводит к увеличению затрат на защиту берега и снижению его рекреационных свойств. Отмечается, что уменьшение твердого стока рек из-за их зарегулирования повлияло в основном на пляжи Западного Крыма. Там же различными сооружениями закрыто 25 % общей протяженности клифов, что снизило поступление наносов от разрушения клифов на 16 000 м³ в год. Обсуждаются также проблемы, связанные с деградацией и исчезновением дюн, раскрытием пересыпей, сокращением количества донных моллюсков, створки которых служат исходным материалом для образования песков и др. Приводятся коэффициенты техногенной нагрузки на различные участки побережья и карты локализации отдельных видов антропогенного воздействия.

Ключевые слова: Черное море, береговая зона Крыма, антропогенное воздействие, литодинамика, берегозащитные сооружения

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ № 0555-2021-0005. Авторы благодарят В. В. Долотова за помощь в оформлении карт.

Для цитирования: Горячкин Ю. Н., Ефремова Т. В. Антропогенное воздействие на литодинамику черноморского побережья Крымского полуострова // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2022. № 1. С. 6–30. doi:10.22449/2413-5577-2022-1-6-30

© Горячкин Ю. Н., Ефремова Т. В., 2022



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0)

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License

Anthropogenic Impact on the Lithodynamics of the Black Sea Coastal Zone of the Crimean Peninsula

Yu. N. Goryachkin, T. V. Efremova*

Marine Hydrophysical Institute of RAS, Sevastopol, Russia

**e-mail: efremova@mhi-ras.ru*

Abstract

The dynamics of the coastal zone of seas and oceans is contingent on a complex interaction of natural processes occurring at the border of land, sea, and atmosphere. This interaction has become even more complicated due to the anthropogenic factor. The purpose of the article is to systematize information about the anthropogenic impact on the lithodynamics of the Crimean coastal zone, classify the types of impacts and map them. The authors used materials of long-term monitoring performed by Marine Hydrophysical Institute of RAS. It is shown that the greatest influence on the change in lithodynamics is exerted by hydraulic engineering. Specific examples with quantitative characteristics are given. It is found that construction of permanent facilities on the beaches leads at least to their reduction and at most to their complete disappearance, which then results in increase of coast protection costs and reduces recreational properties of the coast. It is noted that the decrease in the solid runoff of rivers due to their regulation have influenced mainly the beaches of the Western Crimea. In the same place, 25 % of the total length of the cliffs is covered with various structures, and this has reduced the flow of sediments due to cliff destruction by 16,000 m³ per year. The paper also discusses problems of degradation and disappearance of dunes, opening of bay-bars, reduction in the number of bottom mollusks, valves of which serve as a source material for the formation of sands, etc. The paper presents coefficients of anthropogenic load on various parts of the coast as well as maps localizing certain types of anthropogenic impact.

Keywords: Black Sea, coastal zone of Crimea, anthropogenic impact, lithodynamic, coast protection works

Acknowledgments: the work was carried out under state assignment no. 0555-2021-0005 of FSBSI FRC MHI RAS. The authors are grateful to V. V. Dolotov for his help with the map design.

For citation: Goryachkin, Yu.N. and Efremova, T.V., 2022. Anthropogenic Impact on the Lithodynamics of the Black Sea Coastal Zone of the Crimean Peninsula. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (1), pp. 6–30. doi:10.22449/2413-5577-2022-1-6-30

Введение

Все более очевидно, что вмешательство человека в окружающую среду, повышая комфортность его существования, параллельно приводит к значительным проблемам уже сейчас и создает предпосылки для их увеличения в будущем. Самая известная проблема – глобальное потепление вследствие быстрого увеличения выбросов CO₂ и других парниковых газов в атмосферу Земли, с которым связывают события участившихся в последнее время экстремальных погодных явлений [1]. Если ранее возможные последствия, такие как повышение уровня Мирового океана, затопление прибрежных районов, экстремальная жара, обильные осадки и т. п., влияющие на экосистемы и инфраструктуру по всему миру, были предметом многолетних

обсуждений в ученом сообществе, то сейчас многие страны перешли к практическим решениям, которые в будущем серьезно повлияют на их экономику и, возможно, образ жизни.

Многие участки акваторий и территорий на планете уже давно испытывают отрицательные последствия хозяйственной деятельности. В значительной мере это относится к береговой зоне морей и океанов, которая отличается сложным взаимодействием между природными процессами, происходящими на стыке суши, моря и атмосферы. В последнее время к этим процессам прибавилось и антропогенное воздействие. Деятельность человека в настоящее время сопоставима с геологическими силами, поскольку в отдельных районах она радикально преобразует естественное состояние среды [2]. Так, например, считается, что более 50 % береговой линии развитых стран (США, Австралия, Япония, Дания, Нидерланды и др.) изменено инженерными сооружениями [3].

Вмешательство человека в естественную среду с отрицательными последствиями имеет множество аспектов, таких как биологические (например, воздействие загрязнения на морские экосистемы и биоресурсы), экономические (выведение из оборота ценных земель, разрушение прибрежной инфраструктуры) и другие. В настоящей работе мы рассматриваем один из таких аспектов – антропогенное воздействие на литодинамику береговой зоны. Объект исследования – черноморское побережье Крымского п-ова. В статье сделан акцент на Западном Крыме, поскольку этот регион наиболее перспективен для рекреационного развития, но уже сейчас испытывает определенные проблемы, связанные с хозяйственной деятельностью. Южный берег Крыма (ЮБК) в настоящее время является почти полностью урбанизированной территорией с экстремальной антропогенной нагрузкой, а восточный берег, в силу природных и социальных причин, наоборот, почти не пострадал от хозяйственной деятельности.

Цель статьи – систематизация сведений об антропогенном воздействии на литодинамику береговой зоны Крымского п-ова в пределах Черного моря, классификация видов воздействия и их картографирование.

Анализ публикаций и состояние вопроса

В Черном море, в бассейне которого проживают более 300 млн человек, а на берегах расположено около 20 городов с населением более 50 000 человек в каждом, антропогенная нагрузка на береговую зону возрастает. Она обусловлена урбанизацией и расширением хозяйственной, особенно рекреационной деятельности. В [4] мы дали обзор литературы, посвященной антропогенному воздействию на литодинамику побережья Турции, Румынии и Болгарии. Было отмечено, что, несмотря на разницу природных условий, источники техногенного воздействия в этих странах одинаковые: гидротехническое строительство, зарегулирование рек водохранилищами, строительство капитальных сооружений на пляжах, незаконная добыча песка, дноуглубление и т. д. Это воздействие изменяет естественную динамику наносов, создает их дефицит и разрушает береговые экосистемы.

Влияние различных типов гидротехнических сооружений на береговую зону российского и грузинского побережий и отрицательные стороны этого влияния были рассмотрены в [5, 6]. В работах [7, 8] отмечалось, что

на побережье Грузии вмешательство человека в природные процессы (отбор пляжных отложений, строительство плотин, водохранилищ, портовых сооружений в прибрежной зоне) не только не улучшило экономическое состояние страны, но и вместе с текущими природными явлениями спровоцировало усиление тенденции к абразии берегов и активизации исчезновения пляжей, а также привело к угрозе разрушения расположенной там инфраструктуры, что повлекло за собой огромные материальные потери (несколько миллиардов долларов США).

Антропогенное воздействие на устойчивость морских берегов Краснодарского края и факторы, лимитирующие их хозяйственное освоение, приведены в [9]. Среди них выделяются сокращение твердого стока, разрушение песчаных дюн, отбор песка с пляжей, снижение объема поступающих на берега биогенных наносов (ракуши) и другие. Негативное влияние гидротехнических сооружений на сопредельные участки береговой зоны в украинском секторе Черного моря рассмотрено в [10]. Некоторые аспекты антропогенного воздействия на берега Украины приводятся в [11].

Библиография по антропогенному воздействию на береговую зону Крыма относительно невелика. В основном в статьях приводились отдельные факты такого воздействия без подробного анализа. Пожалуй, впервые на проблему антропогенного влияния на литодинамику в Крыму обратил внимание В. П. Зенкович. В статье, посвященной изъятию пляжевого материала на Кавказском побережье и вызванным этим изъятием отрицательным последствиям, он упомянул и Крым: «... такие разработки [песка] ведутся ... даже в Ялте, на подводном склоне Желтышевского (ныне Приморского. – *Авторы*) пляжа» [12, с. 54].

В ответ на эту публикацию вышла небольшая статья, в которой приводятся факты изъятия галечного материала из береговой зоны Ялты и его последствия [13]. Уменьшение ширины Ливадийского и Чукурларского пляжей за 5–7 лет определяется в 22 и 65 см соответственно, однако эти значения меньше типичной изменчивости в цикле штиль – шторм. Позже этот же автор отмечал, что в результате добычи 2 млн м³ песка и гравия со дна Ялтинской бухты ширина Чукурларского пляжа уменьшилась за 12 лет с 17.8 до 14.6 м, а объем галечникового пляжа снизился до 28 % [14]. Из текста не очень понятно, снизился на 28 % или до 28 % от первоначального, скорее первое.

В работе [15] анализировались изменения вещественного состава наносов на пляже в б. Тихой (Восточный Крым, район Коктебеля). По мнению автора, из-за внедрения в Черное море хищника рапаны резко сократилось количество донных моллюсков. Если ранее доля раковин моллюсков в составе наносов равнялась 8 %, то в 1974 г. она сократилась до нуля. Наблюдается также разрушение песчаных дюн из-за вывоза их материала для строительных нужд, при этом ширина пляжа сократилась с 20–25 до 10–17 м (в настоящее время его ширина составляет 8–13 м. – *Авторы*). Делается вывод (но без конкретных фактов), что «аналогичная картина изменения вещественного состава и динамики песчаных пляжей отмечена также западнее Карадага в бухте Чалки, в районе Евпатории и в некоторых других местах Крыма» [15, с. 103].

Величины отступления берега в результате функционирования карьера по добыче гравийно-песчаных смесей в районе Сакской пересыпи приводятся в ряде работ [16–18]. В цикле работ [19–21], которые, впрочем, мало отличаются друг от друга текстуально и по приводимым фактам, рассматривается изменение пляжей в районе Евпатории и с. Приветного (район Алушты), приводятся данные об изменениях ширины пляжей в Евпатории за 1995–1998 гг. Автор этих работ, не будучи специалистом по береговым процессам, о чем говорит сам, путает основные и второстепенные факторы, влияющие на литодинамику. Главный вывод из его работ: «...за последние полвека основным фактором, вызывающим сокращение пляжей является антропогенный фактор – отбор песка и гальки для строительных целей и несанкционированное строительство различных объектов в прибрежной зоне, а также создание водохранилищ, задерживающих наносы» [20, с. 63].

Подробный анализ антропогенного воздействия на пляжи пгт Коктебель и пгт Курортное (ЮБК, район Карадага) проведен в [22]. Автор доказывает, что «искусственное изъятие наносов из береговой зоны и частичное зарегулирование твердого стока привело к сокращению естественных и необходимости создания искусственных пляжей» [22, с. 86].

Отдельные факты антропогенного воздействия на берега Крымского п-ова содержатся в нашей работе [23]. В кратком обзоре литературы по вопросу антропогенного воздействия на литодинамику береговой зоны Крыма мы не упомянули работы, в которых приводятся общие рассуждения без фактического материала, например [24]. Таким образом, можно констатировать, что в настоящее время отсутствует работа, обобщающая данные о техногенной нагрузке на естественную литодинамику береговой зоны Крымского п-ова.

Материалы и методы исследования

Нами использовались материалы многолетних мониторинговых наблюдений, выполняемых Морским гидрофизическим институтом РАН (эхолотный промер, георадарные съемки, гранулометрический анализ наносов, тахеометрические *GPS*-съемки, измерения волновых течений и др.). Анализировались данные аэрофотоснимков и космических снимков сверхвысокого разрешения, литературные и архивные источники. Отклик береговой зоны на антропогенное воздействие идентифицировался как изменение конфигурации береговой линии, появление ранее не существовавших участков размыва или аккумуляции, изменение вещественного и гранулометрического состава наносов. В работе мы использовали классификацию видов антропогенного воздействия, разработанную нами с некоторыми изменениями и уточнениями [23, 25].

Результаты и обсуждение

По убыванию отрицательных последствий на береговую зону Крымского п-ова нами были выделены следующие основные виды антропогенного воздействия: эксплуатация гидротехнических сооружений; капитальное строительство на пляжах; отбор инертных материалов с пляжей и подводного берегового склона; уменьшение твердого стока рек; закрытие клифов,

уничтожение дон; искусственное раскрытие пересыпей; изменение количества моллюсков. Рассмотрим их подробнее.

Эксплуатация гидротехнических сооружений. Строительство и эксплуатация гидротехнических сооружений по своему предназначению должны изменять природные процессы. При этом положительные последствия должны превалировать над отрицательными, немаловажно и обоснование необходимости этих сооружений. Введенный в 2017 г. свод правил «Проектирование морских берегозащитных сооружений» (СП 277.1325800.2016) прямо говорит, что берегозащитные сооружения должны обеспечивать минимальные нарушения природных факторов в физическом и экологическом аспектах в настоящем и будущем времени и не снижать эстетическую ценность побережья. При этом должно учитываться не только достижение поставленной цели на защищаемом участке, но также влияние этих сооружений на примыкающие участки берега. Недопустимы типовые решения, не учитывающие конкретные природные условия побережья.

Выше уже отмечалась высокая степень антропогенной нагрузки на ЮБК. К настоящему времени почти весь берег, за исключением труднодоступных участков, заполнен бетонными сооружениями, одних бун построено более 600. Коэффициент техногенной нагрузки $K = l/L$ (где l – линейные размеры сооружений; L – длина побережья) на побережье между м. Сарыч и Алуштой (около 75 км) равен 1.2, что является экстремальным значением согласно классификации, приведенной в [26]. Несомненно, построенные в 1970–1980-х гг. прошлого века берегозащитные сооружения уменьшили опасность активизации оползней, расширили площади пляжей и прилегающих территорий, однако породили и проблемы [27].

Так, подвижный материал искусственных пляжей почти полностью

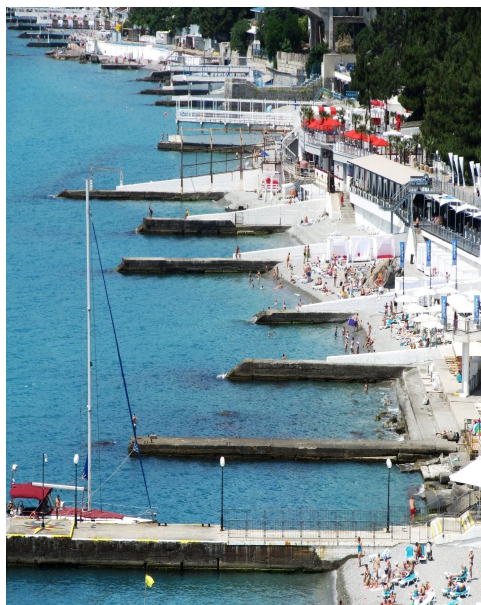


Рис. 1. Антропогенный берег на ЮБК
Fig. 1. Anthropogenic coast on the SCC

уничтожает придонный биоценоз, в межбунном пространстве возникают застойные явления и скапливаются загрязняющие вещества, продуктивная площадь частично восстанавливается только на бетонных поверхностях [28]. Как следствие, прибрежная акватория ЮБК потеряла ценные виды флоры и фауны. Существенно, что бетонный берег с типовыми бунами на протяжении многих километров ухудшил восприятие уникальной в прошлом природы ЮБК, тем более что значительная часть сооружений находится или в аварийном, или в предаварийном состоянии (рис. 1). Застройка любого свободного участка земли, непомерная антропогенная нагрузка уже сейчас приводят к утрате привлекательности ЮБК как курорта.

Неудивительно, что отдыхающие и инвесторы все чаще обращают внимание на побережье Западного Крыма, где антропогенная нагрузка пока еще не так велика (рис. 2). При этом важно не допустить тех ошибок, которые здесь были сделаны ранее, в 1970–1990-х гг. Они были вызваны желанием облагородить берег искусственными сооружениями с применением стандартных решений, уже апробированных на ЮБК, но не учитывающих принципиально другие особенности литодинамики береговой зоны Западного Крыма. Справедливости ради отметим, что свою роль сыграла и неполная реализация проектных решений.

До вмешательства человека особенностью литодинамики побережья от Евпатории до Севастополя был почти единый вдольбереговой поток наносов, направленный против часовой стрелки, о чем впервые указывалось в [29]. Основным источником наносов является абразия клифов и бенчей. Из-за зарегулированности рек (Бельбек, Кача, Альма) твердый сток крайне мал. В результате строительства поперечных пляжеудерживающих сооружений (бун) побережье в настоящее время оказалось фактически разбито на ряд отдельных литодинамических ячеек, почти не обменивающихся наносами.

Характерным примером является район пгт Николаевка. К концу 1970-х гг. в связи с почти полным прекращением твердого стока р. Альмы пляжи в северной части поселка стали уменьшаться, усилилась абразия клифа, угрожая строениям баз отдыха. Дважды строились вертикальные стенки, но обе были уничтожены штормами, позже в районе безымянного мыса были построены две буны. Они позволили нарастить пляж к югу до ширины 25–35 м (сейчас его ширина 10–15 м). Вместе с тем к северу от бун (у комплекса рекреационных объектов) пляж полностью исчез на протяжении около 700 м.

Параллельно в течение 1980-х гг. проводилось строительство откосно-ступенчатых набережных, захвативших и территорию естественного пляжа. Сразу после завершения строительства пляжи (ширина которых составляла 20 м) стали сокращаться, к 1999 г. их ширина была 2 м. В отсутствие пляжа набережная стала стремительно разрушаться.

В начале XXI в. на южном участке было построено шесть поперечных бун с целью защиты уцелевших к этому времени участков набережных. Реализация проекта вызвала существенную перестройку литодинамики, дальнейшую деградацию пляжей и разрушение берегозащиты. Не приводя все подробности деградации пляжей в пгт Николаевка, которые изложены нами в [30], отметим, что сейчас пляжи во многих местах представляют собой нагромождение остатков конструкций и закрыты. Официально из оборота выведено более 1 км пляжей. Существует проект их восстановления стоимостью более 10 млрд руб. Огромные затраты на различные берегозащитные мероприятия за минувшие годы во многом превышают стоимость малоценных построек на клифе, которые в свое время нужно было просто снести.

Аналогично развивалась ситуация и в курортном поселке Песчаное, находящемся в устье р. Альмы. Здесь строительство курортной зоны было начато в 1970-е гг. без учета состояния главного рекреационного фактора – пляжа, который к тому времени уже начал деградировать вследствие почти



Р и с . 2. Отрицательное воздействие антропогенной деятельности на литодинамику береговой зоны (мало преобразованные дюны – оранжевые линии, значительно преобразованные – фиолетовые, уничтоженные – красные); кружки – отбор песка в промышленных масштабах; черным цветом показаны капитальные сооружения на пляжах

Fig. 2. Negative effect on lithodynamics of the coastal zone (slightly transformed dunes – orange lines, significantly transformed dunes – purple lines, destroyed dunes – red lines); circles – sand extraction on an industrial scale; black spots denote permanent facilities on the beaches

полного прекращения твердого стока р. Альмы. Прекрасный песчаный пляж шириной более 30 м к 1982 г. исчез почти полностью, резко возросла абразия клифа, создавалась угроза прибрежным постройкам.

Берег сначала пытались успешно защищать вертикальными стенками, а в 1980-х гг. началось строительство откосно-ступенчатых набережных и 15 бун, которое было закончено к 1990 г. После этого пляжи начали сокращаться, и к 1997 г. пляж перед набережной полностью отсутствовал на протяжении 200 м.

С этого же времени начался процесс разрушения берегозащитных сооружений, который вскоре приобрел необратимый характер. Набережная длиной 1.3 км была полностью разрушена к 2010 г. Часть разрушенных конструкций была впоследствии разобрана (более подробно см. в [30]). В результате всех действий в настоящее время более 1 км бывшего пляжа не используется (рис. 3). На большей части остальных пляжей (около 2 км) естественные песчано-галечниковые пляжи замещены искусственными валунно-щебеночными.

Типичным примером непродуманного подхода к рекреационному освоению побережья является история строительства в 1985–1989 гг. откосно-ступенчатой набережной в с. Береговое в устье р. Западный Булганак, которое было вызвано желанием сделать берег цивилизованным (более подробно см. в [30]). Здесь же отметим, что до строительства ширина галечно-песчаного пляжа была от 20 до 25 м. После окончания строительства пляж начал уменьшаться, к 2006 г. его максимальная ширина перед набережной равнялась 5 м, после чего пляж шириной до 2 м то появлялся, то исчезал.

В 2011 г. начался процесс деформации набережной, которая постепенно разрушалась. В 2021 г. она была восстановлена по новому проекту, в результате которого здесь появился искусственный пляж длиной всего 90 м, отсыпанный щебнем фракции 60–80 мм, под прикрытием двух бун. На остальной части набережной (300 м) вместо пляжа отсыпана глыбовая наброска, сброс воды из реки при паводках предусмотрен прямо на набережную. К северу



Р и с . 3 . Часть набережной в поселке Песчаное

F i g . 3 . Part of the embankment in the village of Peschanoe

от этого сооружения ширина пляжа сократилась с 15–20 м до 10 м, почти в два раза увеличилась скорость абразии клифа.

Негативные последствия значительно меньших масштабов (в основном аккумуляция и низовой размыв на протяжении до 100 м) отмечены и в системе бун и бетонных набережных на территории Севастополя (пгт Андреевка, микрорайоны Любимовка, Учкучевка). Меньший масштаб можно объяснить особенностями литодинамики района, в частности относительно маломощными и разнонаправленными во времени вдольбереговыми потоками наносов. В целом указанные проекты можно признать удачными, они решили основную задачу – создание с минимальным ущербом новых пляжных зон в местах отступающих обвальнo-оползневых берегов [31].

Выше мы рассматривали гидротехнические сооружения, основное предназначение которых – защита берега в рекреационных районах. Другой тип – сооружения только технического назначения. Примером может служить оградительное сооружение водозабора для военного объекта на северной границе пересыпи оз. Кызыл-Яр, близ г. Саки, построенное в начале 1980-х гг. С южной стороны оно представляет собой выдвинутый в море, поперечный берегу сплошной железобетонный мол Г-образной формы, а с северной – прямолинейный мол. Это сооружение перехватило идущий с юга вдольбереговой поток наносов, в результате чего южнее сооружения наносы стали аккумулироваться и береговая линия с течением времени выдвинулась на всю его длину – 80 м. Севернее начался низовой размыв с интенсивным отступанием берега, пострадала значительная часть побережья, расположенного вниз по потоку наносов. В результате к концу 1980-х гг. участок берега длиной около 3 км был признан аварийным, за период 1983–2006 гг. среднее значение отступления берега на протяжении 3 км составило 24–33 м.

Для защиты от наступления моря расположенные здесь санатории строили берегозащитные сооружения, в том числе и поперечные сооружения (короткие буны), но результат был неизменным – наращивание пляжа на защищаемом участке и сокращение на соседних. Реализуемый здесь в настоящее время проект «Строительство пешеходной набережной вдоль улицы Морская г. Саки», первоначально предусматривал строительство двух бун длиной по 125 м, хотя авторы статьи предупреждали о возможных последствиях. Однако уже на этапе строительства бун начался низовой размыв и изменение вещественного состава пляжей, что заставило уже реализуемый проект отправить на доработку. Это привело к расходу значительных финансовых средств и отодвинуло реализацию проекта как минимум на два года.

На пересыпи оз. Сасык-Сиваш (между городами Евпатория и Саки) с середины 1960-х гг. существует ныне заброшенный водозабор для пополнения озера, воды которого ранее служили сырьем для закрытого на данный момент химического завода. По конфигурации и геометрическим размерам это сооружение аналогично описанному выше водозабору, однако его возведение не привело к значительным отрицательным последствиям. Продолжительные инструментальные наблюдения на двух противоположных сторонах водозабора и анализ космических снимков показывают, что однонаправленного потока здесь не существует в явном виде. В зависимости от направления штормов по обе стороны от сооружения в противофазе наблюдаются

аккумуляция или размыв с амплитудой изменения береговой линии до 10 м, которые распространяются, как правило, на расстояние до 50 м от сооружения.

При проектировании портовых гидротехнических сооружений, как наиболее дорогостоящих, учитывается действие целого комплекса факторов на много лет вперед. По генеральному плану развития г. Евпатории, принятому в 1948 г., предполагалось сделать единую набережную длиной около 4 км от парка им. Фрунзе до восточной окраины Евпатории путем освоения пустыющего на тот момент участка в районе м. Карантинного в центре города.

Вместо этого в 1978 г. здесь был построен порт. Песчаные пляжи были забетонированы, построен мол длиной 200 м в виде монолитного бетонного сооружения, оконечность которого (70 м) возведена на сваях. В результате наносы стали аккумулироваться у западной части мола, наращивая пляж. Когда пляж достиг конца бетонной части, при юго-западных штормах наносы стали огибать сплошную часть мола, создавая отмель с противоположной стороны. Это вызвало необходимость дноуглубительных работ, в ходе которых, по данным порта, ежегодно изымалось до 150 000 м³ песка. Пляжи к западу от мола, лишённые обратного по направлению потока, стали стремительно сокращаться. Сравнение аэрофотоснимков 1941 и 1947 гг. с современными спутниковыми снимками показало, что на участке длиной 2.5 км площадь пляжей сократилась на 52 000 м², а среднее отступление береговой линии составило 20.8 м [32]. Ранее пляжи здесь были сложены из чистого желтого песка с преобладающей крупностью частиц от 0.25 до 0.5 мм [33]. В настоящее время из-за сокращения вертикальной мощности песчаных отложений резко возросло содержание крупной гальки и валунов из известняка, особенно в приурезовой зоне. В отдельных местах после штормов обнажаются глинистые отложения.

Интересно, что в XX в. в Евпаторийской бухте в разное время строились поперечные сооружения, при этом характер накопления наносов однозначно свидетельствовал об их двухстороннем вдольбереговом движении с преобладанием направления движения по часовой стрелке, что не было принято во внимание при проектировании порта [32]. Заметим, что его строительство не было экономически оправданным ни во времена СССР, ни тем более сейчас. Основной деятельностью порта, занимающего ценную приморскую территорию площадью 6.4 га, была добыча песка в озерезаливе Донузлав (в 40 км от порта). Много лет Евпаторийский порт пытались перевести на Донузлав. В настоящее время существует план перефиллировать его на яхтенную стоянку. Здесь уместно отметить, что и строительство Ялтинского грузового порта экономически не оправдалось. Не законченный строительством и почти не используемый по назначению, вот уже 30 лет он находится в частично разрушенном состоянии после жестокого шторма осенью 1992 г.

Возвращаясь к Евпатории, можно отметить, что параллельно со строительством порта после разрушения штормами очередной набережной (в XX в. их было построено три) в центральной части города была возведена новая. Для защиты берега был возведен фасонный волноотбойник длиной 1.8 км, при этом фронт набережной был выдвинут на 30–50 м от бывшего

уреза воды. После окончания строительства существовавшие здесь до этого песчаные пляжи полностью исчезли. Если ранее дно западной части бухты было сложено желтым биогенным песком, то по данным обследования 2012 г. оно было покрыто серо-черным иловатым песком с густыми зарослями *Zostera marina*. В настоящее время проводится реконструкция обветшавшей набережной с созданием искусственного галечного пляжа. Таким образом, в Евпатории в результате строительства гидротехнических сооружений пляжи полностью исчезли на протяжении 3 км и существенно сократились на протяжении 2.5 км. Места расположения берегозащитных сооружений Крыма приведены на рис. 4.

Капитальное строительство на пляжах (преимущественно рекреационных объектов), несмотря на законодательные запреты в СССР, Украине и Российской Федерации и его очевидное отрицательное воздействие на береговую зону, было и остается обычной практикой. Объекты документально оформляются как берегоукрепительные сооружения с комнатами отдыха, рыболовные боксы, спасательные станции, читальни и т. п. Карта, где показано расположение наиболее крупных таких сооружений, приведена на рис. 5. Из нее видно, что большая часть их размещена на ЮБК, но их достаточно и в других курортных зонах. Приведем несколько примеров.

На восточной окраине Евпатории еще в начале 1960-х гг., по данным аэрофотосъемки, ширина песчаных пляжей составляла около 50 м. После завершения строительства упомянутого выше мола и бетонной набережной в Евпатории они стали сокращаться. Тем не менее частные лица, дома которых располагались за фронтом пляжа, постепенно возводили различные постройки на пляже, приближаясь к урезу. В результате изменения профиля и ширины пляжей усилилось волновое воздействие на берег с его размывом. Вскоре эта зона и прилегающие к ней участки берега были объявлены аварийными. Попытки городских властей отселить дома ни к чему не привели.



Р и с . 4 . Берегозащитные сооружения

F i g . 4 . Coast protection works



Рис. 5. Капитальные сооружения на пляжах

Fig. 5. Permanent facilities on beaches

Собственники строений начали самостоятельное укрепление берега набросками и стенками, при этом ситуация значительно ухудшилась. Пляж исчез полностью на протяжении около 1 км, а на берегу возник непривлекательный искусственный клиф из строительного мусора высотой до 2 м, представляющий опасность для отдыхающих.

В балке, врезанной в клиф севернее пгт Николаевка, в 1989 г. были возведены жилые строения кооператива «Якорь». Срезав часть клифа и зафиксировав бетоном береговую линию на пляже, строители не учли, что берег является отступающим. В результате этого непродуманного строительства в береговой зоне возникли серьезные проблемы на многие годы. Со временем на месте набережной образовался мыс, выступающий на 50 м от естественной конфигурации берега. Как результат, пляж к северу исчез, а клиф ускорил свое отступление. Так, только за 2004–2014 гг. береговая линия отступила здесь на 15 м. Известно, что на мысах волновая энергия возрастает, и этот факт еще больше усугубляет ситуацию. Постройки, которые располагались ранее в тыловой части пляжа, впоследствии оказались на урезе. Во время штормов волны забрасывают камни в окна апартаментов первой линии, разрушается набережная.

В пгт Кача в 2004–2012 гг. был построен шестиэтажный комплекс апартаментов «Наш парус» длиной 400 м с официальным названием «Берегоукрепительное сооружение с помещениями для отдыха». Часть его построена на пляже, часть – на месте срезанного клифа. До начала строительства средняя ширина песчано-галечного пляжа составляла 15–20 м. Уже в период строительства наблюдалось изменение конфигурации линии уреза воды и уменьшение ширины пляжа. В настоящее время его ширина составляет 2–4 м (иногда он вовсе отсутствует), что сопровождается резким уменьшением объемов пляжеобразующего материала и увеличением содержания крупных фракций наносов. При прохождении штормов даже средней

интенсивности пляж подвергается волновой переработке по всей ширине, в результате увеличивается волновая нагрузка на сооружение. Нами отмечен подмыв основания и разрушение лестничных спусков к морю, истирание элементов железобетонных конструкций и обнажение арматуры. Южнее апартamentов находится комплекс шестиэтажных построек, так называемых лодочных эллингов, длиной по фронту берега 270 м. Постройки, принадлежащие частным лицам, находятся сейчас почти на урезе (ширина пляжа сейчас составляет от 0 до 6 м, ранее – 20–30 м) и угрожают безопасности людей.

Кроме строительства на пляжах, существенную опасность представляет возведение построек на бровках клифов, что наиболее характерно для Севастопольского региона: его северные берега представляют собой глинистые, обвало- и оползнеопасные обрывы. В период СССР здесь разрешалось только размещение огородов. После распада СССР началось интенсивное освоение этих участков для строительства дач и минигостиниц. В результате сейчас застроено около шести погонных километров, что привело к активизации оползней и разрушению построек. Эта ситуация обусловлена увеличением нагрузки на оползни строениями, замачиванием и утяжелением склонов из-за полива, утечек воды и отсутствия канализации.

Уместно отметить и эстетическую сторону. Так, огромный отель «Бухта мечты», построенный на урезе в заповедном урочище б. Ласпи на ЮБК, навсегда изменил живописный ландшафт. Кроме этого, его строительство велось на территории развития оползней и тектонических разломов. Штормы неоднократно размывали каменную наброску перед фасадом отеля, разбивали на отдельные фрагменты железобетонную волноотбойную стенку, деформировали набережную и эллинги.

Отбор инертных материалов с пляжей и подводного берегового склона в небольших масштабах для местного строительства проводился всегда. Долгое время это не считалось чем-то предосудительным. Евпаторийская городская дума, обсуждая такой отбор на пляжах восточной окраины города, в постановлении 1887 г. разрешила такую деятельность, обложив ее налогом. Рост экономики, урбанизация в XX в. привели к потребности строительной отрасли в большом количестве инертных материалов (песка, гравия, гальки). В Крыму период их промышленного отбора из береговой зоны начался в 1930-е гг.: песок из района Сакской пересыпи использовался для строительства ДнепроГЭСа (песок отличался хорошим качеством), в день добывалось до 1000 м³ песка. Настоящего размаха добыча здесь достигла в послевоенное время. Песок не только использовался для строительства в Крыму, но и вывозился железнодорожным и морским транспортом в Одессу и другие порты. Перемычки, отделявшие карьеры от моря, сузились под действием штормов и выгнулись в сторону карьера. Тогда же было отмечено сокращение пляжей до 100 м в местах, прилегающих к карьерам. В обследовании, проведенном специальной комиссией в 1962 г., отмечалось, что дальнейшие разработки песка и гравия должны быть остановлены. В связи с реальной опасностью изменения солености рапы в лечебном озере и угрозой знаменитым грязям карьеры были закрыты, а добыча песка продолжена путем его рефулирования со дна моря. Однако ситуация

по-прежнему ухудшалась, после чего добыча песка вскоре была полностью прекращена. На месте разработок песка вместо дон образовались соленые озера и так называемые засухи (заболоченные участки), существующие и поныне.

Еще в середине XX в. в Коктебеле (Восточный Крым) был песчано-гравийно-галечный пляж шириной 20–30 м. Он отличался необычным цветом из-за включения гальки из пород Карадага. Полудрагоценные камни с пляжей были желанным сувениром отдыхающих. Пляжевые отложения разрабатывались кустарно для местных строительных нужд в относительно небольших объемах. Но в 1954 г. в центральной части бухты началась промышленная добыча песчано-гравийных смесей. Проводилась она и в соседних районах у пгт Курортное, пгт Орджоникидзе и б. Тихой. Вывозили большие объемы смесей, в том числе для строительства разных стратегических объектов. Данные о реальных объемах добычи отсутствуют, однако известно, что она продолжалась до 1967 г.

В результате пляжи стали быстро сокращаться, и к середине 1960-х гг. их ширина в западной части бухты уже составляла 5–10 м, что привело к разрушению набережной штормовыми волнами [35]. Стремительное сокращение пляжей заставило строить дорогостоящие берегозащитные сооружения, отсыпать искусственные пляжи с гораздо худшим вещественным составом, по сравнению с природным в Коктебеле и Курортном. Впоследствии строительство капитальных сооружений на пляжах в этих поселках привело ко второй волне исчезновения пляжей. В настоящее время разрабатывается проект их повторного восстановления.

Крупный район добычи песчано-гравийных смесей с подводного склона судами-рефулерами в 1950–1960-х гг. находился в северной части Севастополя, в устьевой части рек Бельбек и Кача, а также в районе пляжа «Учкуевка». В последнем районе добыча повлияла особенно сильно, в результате чего образовался оползень длиной по фронту 1.5 км. До сих пор он остается наиболее активным в регионе, периодически происходят его катастрофические подвижки, разрушающие постройки на бровке головного срыва. В районе устья р. Качи пляж в целом отступил на 20–30 м, на что повлияло и зарегулирование реки. На пляжи в районе устья р. Бельбек это повлияло в меньшей мере, поскольку твердый сток до настоящего времени сохранил до 80 % ранее существовавшего объема. Еще в конце 1950-х гг. В. П. Зенкович писал: «Аллювиальный и пляжевый материал выбирается в низовьях рек Бельбек и Кача, но эти изъятия восполняются в паводки и, по-видимому, не представляют опасности для устойчивости берега» [29, с. 199]. Однако в ту эпоху реки еще не были зарегулированы. До 1970-х гг. добыча инертных материалов проводилась почти везде, где это было возможно (рис. б.), что привело к тяжелым последствиям в береговой зоне. В связи с этим вышло постановление Совета министров СССР № 40 от 17.01.1969 г. «О неотложных мерах по защите берегов Черного моря от разрушения и рациональному использованию территорий курортов черноморского побережья», где в числе прочих мер по уменьшению антропогенной нагрузки на берега, предлагалось «...принять меры к прекращению использования для нужд строительства галечника и песка морской прибрежной полосы».



Рис. 6. Достоверно известные места добычи инертных материалов в промышленных масштабах

Fig. 6. Proved sites of extraction of inert materials on an industrial scale

В целом это постановление выполнялось. Нам известен только один пример незаконного забора песка со дна, который проводился южнее Севастополя и в районе Бакальской косы (северо-западное побережье) в 2011–2012 гг. В результате многочисленных протестов общественности добыча песка была запрещена. После вхождения Крыма в РФ этой же компании была выдана лицензия на добычу песка на Бакальской банке до 2019 г. Сейчас из-за протестов общественности добыча тоже прекращена. В 2019 г. на клiffe северной стороны Севастополя под видом создания рекреационной зоны была организована добыча гравийно-галечниковых смесей на двух карьерах, на одном из них (меньшем) добыто 165 000 м³ [36]. Решением городских властей эта работа сейчас приостановлена. В настоящее время действует только один официальный подводный карьер, во внутренней части оз. Донузлав, который оказывает минимальное воздействие на литодинамику береговой зоны соседних участков [37]. Нам известно о недавних попытках лицензировать добычу песка в Крыму на нескольких подводных месторождениях, однако неизвестно, какие решения приняты. Отметим, что только на отрезке Форос – Алушта на дне разведаны запасы в 88 млн т, которые отнесены к категории забалансовых и привлекают внимание строителей.

Уменьшение твердого стока рек и временных водотоков из-за зарегулирования рек в 1960–1970-х гг. повлияло в основном на районы Западного Крыма. В 1964 г. в верховьях р. Бельбек были построены три водохранилища – Ключевское, Счастливое-I и Счастливое-II, а в 1975 г. на р. Кача – Загорское водохранилище. Кроме этого, был построен целый каскад прудов-накопителей меньшего масштаба. Из-за увеличения площади застройки различными объектами и другой хозяйственной деятельности уменьшился и эрозионный смыв в бассейнах рек. Полностью прекратился сток р. Западный Булганак. Производится самовольный отбор материала непосредственно

из русла рек. В результате снизились объемы твердых наносов, особенно крупных фракций, формирующих пляжи. В наибольшей степени уменьшение твердого стока повлияло на аккумулятивные пляжи в устьях рек Качи и Альмы, о чем речь шла выше. На пляж в устье р. Бельбек оно, по-видимому, повлияло мало, поскольку это самая крупная река Крыма, к тому же сохранившая значительный объем стока. Следует отметить, что в 2021 г. в 15 км от ее устья был построен водозабор. Первые полгода его эксплуатации показали, что он в значительной мере аккумулирует твердые наносы. Дана рекомендация при его очистке полученный материал сбрасывать в устьевой зоне. В настоящее время считается, что объем твердого стока р. Качи составляет 6.72 тыс. м³/год, или 12.1 тыс. т/год, а р. Бельбек – 18.0 тыс. м³/год, или 32.4 тыс. т/год [38]. На эти сведения ссылаются и авторы более поздних работ, например [39]. Приведенные данные вызывают определенные сомнения, поскольку наблюдения в устье указанных рек давно не проводятся.

Закрытие клифов различными сооружениями приводит к уменьшению поступления наносов волнового поля в береговую зону и, как итог, к сокращению пляжей. Этот фактор наиболее важен в Западном Крыму. Существование пляжей зависит в первую очередь от запасов наносов на пляже и возможности их непрерывного поступления. Основным источником пополнения наносами береговой зоны района от устья р. Бельбек до оз. Кызыл-Яр протяженностью около 50 км являются продукты разрушения клифов в результате абразионных и обвально-оползневых процессов, а именно слои и линзы аллювиальной гальки и песка древней речной сети. В разное время часть клифов была выведена из баланса поступления наносов в береговую зону в результате строительства берегозащитных сооружений, создания карьеров и террасирования склонов. Протяженность активных клифов в пределах г. Севастополя от устья р. Бельбек до м. Тюбек составляет около 23 км. В настоящее время, по нашим подсчетам, протяженность берегов с закрытым или выведенным из поступления в береговую зону клифом составляет 4.3 км, или 19 % от общей длины. На участке м. Тюбек – оз. Кызыл-Яр (около 26 км) закрыто 8.5 км, или 32 % клифов. В целом в Западном Крыму 25 % от общей длины клифов не является источником наносов. Наши расчеты показали, что средний удельный снос с одного погонного метра в год в среднем составляет 1.27 м³, что означает, что из приходной части баланса наносов выведено около 16 000 м³ в год. Этот показатель в четыре раза меньше, чем приведенный в [40]. Наша оценка представляется более обоснованной, поскольку базируется на конкретных данных о скорости абразии за длительный период и данных о строении клифов, полученных на буровых скважинах и при геоморфологических обследованиях.

Уничтожение дюн – один из факторов негативного антропогенного воздействия на береговую зону. Известно, что прибрежные дюны являются природным аккумулятором песка, естественной преградой, защищающей песчаные берега от размыва. Кроме этого, песчаные дюны на морском побережье – это уникальные экосистемы с богатым разнообразием растительных сообществ, в ряде районов они играют существенную роль в балансе наносов. Еще недавно прибрежные дюнные ландшафты занимали достаточно большие участки берегов Крыма. Достаточно посмотреть на старинные

фотографии Евпатории и Феодосии, чтобы убедиться, что прибрежные части были заняты дюнами. Наиболее крупный их ареал находился в Западном Крыму.

Ранее дюны частично разрушались, изменяли конфигурацию в ходе экстремальных штормов, а затем постепенно восстанавливались. Однако в последние десятилетия наиболее разрушительным фактором стала человеческая деятельность. Антропогенное воздействие на дюны вызвано усилившейся прибрежной урбанизацией и выражается в строительстве на дюнах различных объектов рекреации, дорог, парковок, нерегулируемых кемпингов и «временных» построек, планировании естественного рельефа пляжей. Поскольку пляжи во многих местах слагаются, кроме песка, из обломков известнякового гравия и валунов, то выдувание песка довольно быстро приводит к появлению на поверхности пляжа гряд указанного материала (рис. 7). Изменяется вещественный состав пляжей, резко ухудшаются его рекреационные свойства.

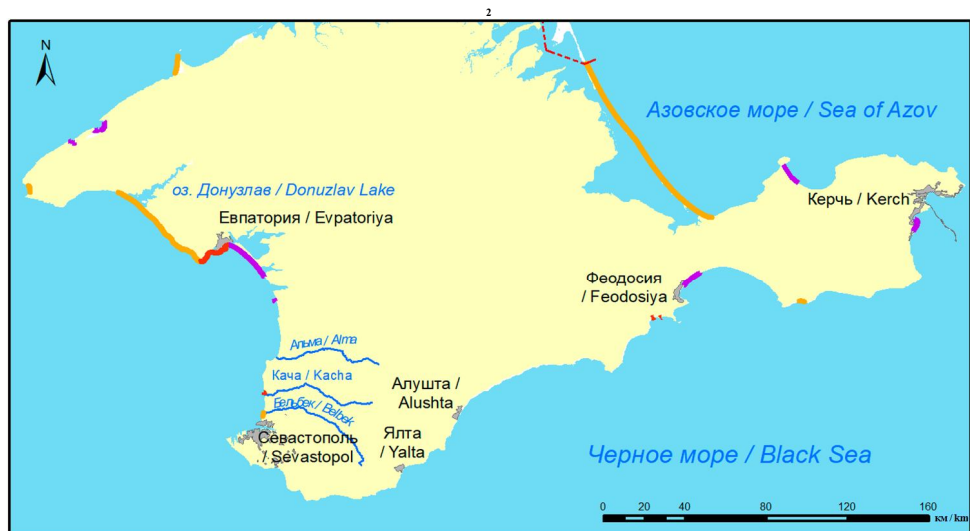
Кроме этого, дюны часто являются местом незаконной добычи песка. Разрушение растительного покрова, в том числе квадроциклами, которые все чаще используются как элемент отдыха, приводит к усилению эолового выноса песка с пляжа в море и на территорию рекреационных объектов. Следы таких выносов, например в пгт Заозерное, видны повсеместно. Возведение высоких зданий вблизи дюн препятствует возврату на пляж песка, вынесенного ветром из прибрежной зоны, что является еще одной причиной отступления берега.

До начала активного освоения черноморского побережья Крыма протяженность его берегов с дюнным ландшафтом, по нашей оценке, составляла 94 км. В настоящее время такие берега исчезли полностью на протяжении около 14 км, частично – на 33 км. Их площадь продолжает сокращаться (рис. 8). Из-за антропогенного воздействия дюнные ландшафты Крыма в настоящее время находятся под угрозой деградации или исчезновения. Их естественное восстановление либо происходит очень медленно, либо вообще



Р и с . 7 . Дюны до (а) и после (б) планирования пляжа в с. Штормовом

F i g . 7 . Dunes before (a) and after (b) planning of the beach in the vil. of Shtormovoe



Р и с . 8. Местоположение дюн (мало преобразованные дюны – оранжевые линии, значительно преобразованные дюны – фиолетовые линии, уничтоженные дюны – красные линии)

Fig. 8. Location of dunes (slightly transformed dunes – orange lines, considerably transformed dunes – purple lines, destroyed dunes – red lines)

невозможно, поэтому они нуждаются в защите и восстановлении. В декабре 2021 г. на пересыпи оз. Ойбурское, где находится крупный дюнный комплекс, благодаря многолетней борьбе местных жителей вместо креветочной фермы создана ООПТ.

Искусственное раскрытие пересыпей соленых озер имеет пока ограниченное распространение, хотя имеются планы использования озер Западного Крыма для устройства яхтенных стоянок, существовал план строительства порта в оз. Богайлы. Отрицательное воздействие раскрытия пересыпей заключается в уменьшении протяженности пляжей и изменении динамики наносов в прилегающих районах. В результате возникает необходимость возводить берегозащитные сооружения. В 1950–1960-х гг. в Западном Крыму были раскрыты пересыпи оз. Панского (Сасык) в Ярылгачской бухте, оз. Донузлав, оз. Ойбурского (в настоящее время пересыпь закрыта), а также в бухтах Круглой и Казачьей (Севастополь).

Сразу после прорытия канала в оз. Донузлав в 1962 г. для определения изменений литодинамического режима были организованы наблюдения за динамикой береговой линии. После завершения строительства канала в течение 1961–1966 гг. линия берега на участках, прилегающих к каналу, отступила на 25–60 м. В последующие годы наблюдались знакопеременные изменения береговой линии с ее постепенным выравниванием. После того как были построены две бетонные шпоры, к 1980-м гг. берег стабилизировался.

До 1960-х гг. в южной и западной частях б. Круглой (Севастополь) находились две песчаные пересыпи, отделявшие соленые озера. Здесь же до Крымской войны (1854–1856 гг.) была грязелечебница военного ведомства,

по некоторым данным, она существовала и в античное время. Как свидетельствует аэрофотосъемка 1941 г., песчаная пересыпь в южной части имела длину около 400 м, ширину – до 80 м. В послевоенное время пересыпь была почти полностью разобрана на строительный песок, а озеро превратилось в мелководную (около 0.5 м) кутовую часть бухты, заросшую морской растительностью. Еще в середине 1990-х гг. здесь сохранялась часть пересыпи с пляжем. В начале XXI в. пляж был уничтожен, прямо на урезе под видом рыболовных боксов были построены апартаменты. В настоящее время на урезе для защиты апартаментов выполнена каменная наброска из крупных валунов, покрытая сверху строительным мусором.

Изменение количества моллюсков в Черном море стали фиксировать уже с начала 1960-х гг. Этот факт обычно связывают с внедрением в Черное море из Тихого океана вселенца – хищного моллюска *Rapana venosa*, который успешно адаптировался к новым условиям и резко сократил популяции аборигенных моллюсков, став преобладающим видом донных сообществ. Вселенец нанес серьезный урон устричным и мидиевым биоценозам, но сейчас из-за подрыва собственной кормовой базы численность рапаны существенно сократилась [41]. Однако в некоторых работах по изучению пищевого рациона рапаны отмечалось, что устрица не является для нее предпочтительным объектом питания. Кроме того, на северо-западе Черного моря вспышка смертности среди устриц началась до массового появления рапаны, так что вопрос о влиянии последней на поселения устриц Черного моря до сих пор остается дискуссионным [42].

Кроме этого, на динамику количества моллюсков, очевидно, повлияло и антропогенное загрязнение акватории и донных осадков прибрежной зоны коммунальными и промышленными стоками. В совокупности эти факторы привели к уменьшению численности донных растительных сообществ, закрепляющих грунт, а также к сокращению количества моллюсков, створки которых служат исходным материалом для образования песков. У приглубых берегов это фактически не оказывает какого-либо заметного влияния на объем наносов.

Наблюдения за процессом изменения количества моллюсков в свое время не были организованы, поэтому публикаций на эту тему мало. В одной из них анализируются изменения таксономического состава донных биоценозов крымского побережья [43]. В другой отмечается, что по сравнению с 1940 гг. масса зообентоса снизилась более чем в восемь раз [44]. В целом этот фактор действует как фоновый и важен для мелководных районов Западного и отчасти Восточного Крыма.

Мы рассмотрели основные виды антропогенного воздействия на литодинамику береговой зоны Черного моря. Кроме отмеченных выше, можно указать и кустарную «берегозащиту» в виде отсыпки в приурезовую зону различного материала, вплоть до строительного мусора, разрытие параллельных берегу траншей на пляжах или собирание песка в валы на зимний период, установку бетонных плит на пляжах и т. д. Степень техногенной нагрузки для различных районов черноморского побережья Крыма показана в таблице. Из нее видно, что максимальная нагрузка характерна для Севастополя и ЮБК.

Техногенная нагрузка (K) для различных районов черноморского побережья Крыма
 Anthropogenic load (K) for various districts of the Black sea coast of Crimea

Участок побережья / Coastal area	K	Степень нагрузки по [26] / Load degree according to [26]
с. Портовое – г. Евпатория / vil. Portovoe – Evpatoriya	0.02	минимальная / minimal
г. Евпатория – г. Севастополь / Evpatoriya – Sevastopol	0.28	средняя / average
г. Севастополь / Sevastopol	1.18	экстремальная / extreme
м. Херсонес – м. Сарыч / Cape Chersonesos – Cape Sarych	0.02	минимальная / minimal
м. Сарыч – г. Алушта / Cape Sarych – Alushta	1.21	экстремальная / extreme
г. Алушта – с. Морское / Alushta – vil. Morskoye	0.60	максимальная / maximal
с. Морское – г. Феодосия / vil. Morskoye – Feodosiya	0.05	минимальная / minimal
г. Феодосия – м. Такиль / Feodosiya – Cape Takil	0.03	минимальная / minimal

Заключение

На основании изложенного выше можно сделать следующие выводы. Гидротехническое строительство оказывает наибольшее влияние на изменение литодинамики береговой зоны Крыма. Строительство поперечных гидротехнических сооружений (бун) на береговом склоне в Западном Крыму блокировало естественный вдольбереговой поток и разбило его на отдельные литодинамические ячейки. Последствия проявились в виде низового размыва, охватывающего значительные участки побережья.

Несмотря на ранее полученный отрицательный опыт, проектирование и возведение таких сооружений продолжается. Строительство капитальных сооружений на пляжах приводит как минимум к сокращению пляжей, как максимум – к их полному исчезновению, что в дальнейшем требует затрат на защиту берега и снижает его рекреационные свойства. Наибольший урон наносится в зоне, непосредственно примыкающей к капитальным сооружениям.

Ранее осуществлявшийся отбор инертных материалов с пляжей и подводного берегового склона побережья Крыма потребовал значительных материальных затрат для восстановления деградировавших или исчезнувших пляжей.

Уменьшение твердого стока рек и временных водотоков из-за зарегулирования повлияло в основном на районы Западного Крыма, при этом в наибольшей степени – на аккумулятивные пляжи в устьях рек Качи и Альмы.

Закрытие клифов различными сооружениями приводит к уменьшению поступления наносов волнового поля в береговую зону и, как итог, к сокращению пляжей. Этот фактор наиболее важен в Западном Крыму, где

25 % от общей длины клифов не является источником наносов, из приходной части баланса наносов выведено около 16 000 м³ в год.

На Крымском п-ове до начала его активного освоения протяженность берегов с дюнным ландшафтом составляла 94 км. Из-за антропогенного воздействия дюны находятся под угрозой деградации или исчезновения, на протяжении около половины длины они уже полностью исчезли или деградировали, их площадь продолжает сокращаться.

Отрицательное воздействие раскрытия пересыпей, которое сейчас носит ограниченный характер, заключается в уменьшении протяженности пляжей и изменении динамики наносов в прилегающих районах.

Сокращение количества донных моллюсков, створки которых служат исходным материалом для образования песков, действует как фоновый фактор и важно для мелководных районов Западного и отчасти Восточного Крыма. Экстремальная техногенная нагрузка отмечается в Севастополе и на Южном берегу, а минимальная – на восточном и северо-западном побережьях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Human influence on tropical cyclone intensity / A. H. Sobel [et al.] // *Science*. 2016. Vol. 353, iss. 6296. P. 242–246. doi:10.1126/science.aaf6574
2. The Anthropocene is functionally and stratigraphically distinct from the Holocene / C. N. Waters [et al.] // *Science*. 2016. Vol. 351, iss. 6269. P. 138–147. doi:10.1126/science.aad2622
3. Marine urbanization: an ecological framework for designing multifunctional artificial structures / K. A. Dafforn [et al.] // *Frontiers in Ecology and the Environment*. 2015. Vol. 13, iss. 2. P. 82–90. <https://doi.org/10.1890/140050>
4. *Ефремова Т. В., Горячкин Ю. Н.* Антропогенное воздействие на береговую зону южного и западного побережья Черного моря (обзор) // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря*. 2021. № 2. С. 5–29. doi:10.22449/2413-5577-2021-2-5-29
5. *Пешков В. М.* Береговая зона моря. Краснодар : Лаконт, 2003. 350 с.
6. *Пешков В. М.* Галечные пляжи неприливных морей. Основные проблемы теории и практики. Краснодар, 2005. 444 с.
7. Modern conceptual and technological approaches to the Georgia Black Sea coastline protection / N. Tsvitivadze [et al.] // *Earth Sciences*. 2015. Vol. 4, special issue 5-1 : Modern Problems of Geography and Anthropology. P. 46–53. doi:10.11648/j.earth.s.2015040501.19
8. Natural-geographical zoning and geo-ecological problems of Georgia's Black Sea Coast / M. Alpenidze [et al.] // *American Journal of Environmental Protection*. 2015. Vol. 4, № 3-1. P. 58–66. doi:10.11648/j.ajep.s.2015040301.20
9. *Косьян Р. Д., Крыленко В. В.* Современное состояние морских аккумулятивных берегов Краснодарского края и их использование. М. : Научный мир, 2014. 256 с.
10. *Шуїський Ю. Д.* Портове сооружения и их влияние на береговую зону Черного моря // *Вісник Одеського національного університету. Географічні та геологічні науки*. 2019. Т. 24, № 1. С. 53–82. doi:10.18524/2303-9914.2019.1(34).169712
11. *Goryachkin Yu. N.* Ukraine // *Coastal erosion and protection in Europe* / Ed. E. Pranzini and A. Williams. London : Earthscan, 2013. Chapter 21. P. 413–426. <https://doi.org/10.4324/9780203128558>

12. *Зенкович В. П., Жданов А. М.* Почему исчезают черноморские пляжи // Природа. 1960. № 10. С. 51–54.
13. *Корженевский И. Б., Лоенко А. А., Черевков В. А.* Судьба пляжей Южного берега Крыма // Природа. 1961. № 2. С. 60.
14. *Корженевский И. Б.* Об охране пляжей Южного берега Крыма // Материалы научной сессии Крымского отд. общества охраны природы. Симферополь : Крымиздат, 1962. С. 9–12.
15. *Захаржевский Я. В.* Об изменении вещественного состава и динамики песчаных пляжей Крыма // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 1977. № 1. С. 102–104.
16. Влияние промышленных разработок строительных песков на динамику берегов и состояние зообентоса Черного моря / Ю. Д. Шуйский [и др.] // Водные ресурсы. 1985. № 5. С. 142–156.
17. *Шуйский Ю. Д., Выхованец Г. В., Педан Г. С.* Основные результаты исследования влияния подводных карьеров по добыче песка на динамику берегов Черного моря // Природные основы берегозащиты / Отв. ред. В. П. Зенкович, Е. И. Игнатов, С. А. Лукьянова. М. : Наука, 1987. С. 68–82.
18. *Агаркова И. В.* Влияние хозяйственной деятельности на динамику Сакского побережья // Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Серия: География. 1999. Т. 12, № 1. С. 35–38.
19. *Олиферов А. Н.* Крымские пляжи и их охрана // Вестник физиотерапии и курортологии. 1997. № 2. С. 45–49.
20. *Олиферов А. Н.* Динамика Крымских пляжей // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2008. Вып. 1–2. С. 59–64.
21. *Олиферов А. Н.* Состояние крымских пляжей как рекреационного ресурса // Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Серия: География. 2011. Т. 24, № 2-2. С. 130–136.
22. *Клюкин А. А.* Баланс наносов в береговой зоне Черного моря у Карадага // Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Серия: География. 2004. Т. 17, № 3. С. 82–90.
23. *Горячкин Ю. Н., Долотов В. В.* Морские берега Крыма. Севастополь : Колорит, 2019. 256 с.
24. *Игнатов Е. И., Санин А. Ю.* Антропогенный фактор в функционировании береговых морфосистем побережья Крыма // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2013. Вып. 27. С. 353–357.
25. *Горячкин Ю. Н.* Антропогенное воздействие на черноморские берега Крыма // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь, 2010. Вып. 23. С. 193–198.
26. *Айбулатов Н. А., Артюхин Ю. В.* Геоэкология шельфа и берегов Мирового океана. СПб. : Гидрометеиздат, 1993. 304 с.
27. *Горячкин Ю. Н.* Берегозащитные сооружения Крыма: Южный берег // Гидротехника. 2016. № 3. С. 34–39.
28. *Rybalka A. T.* South coast of the Crimea: environmental specificity and coast protection problems // Coastlines of the Black Sea. New-York : American Society of Civil Engineers, 1993. P. 432–446.

29. *Зенкович В. П.* Морфология и динамика советских берегов Черного моря: в 2 т. М. : Изд-во АН СССР, 1960. Т. 2. 216 с.
30. *Горячкин Ю. Н.* Берегозащитные сооружения Крыма: Западное побережье. Часть 2 // Гидротехника. 2016. № 2. С. 38–43.
31. *Горячкин Ю. Н., Удовик В. Ф.* Берегозащитные сооружения региона Севастополь // Гидротехника. 2021. № 2. С. 30–35.
32. *Горячкин Ю. Н.* Изменения береговой зоны Евпатории за последние 100 лет // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2020. № 1. С. 5–21. doi:10.22449/2413-5577-2020-1-5-21
33. *Карбасников М. Н.* Результаты обследования донных пород Евпаторийской бухты // Известия Центрального гидрометеорологического бюро. 1927. № 7. С. 184–202.
34. *Зенкович В. П.* Берега Черного и Азовского морей. М. : Географгиз, 1958. 374 с.
35. *Клюкин А. А.* Экзогеодинамика Крыма. Симферополь, 2007. 320 с.
36. Природные условия и антропогенное изменение береговой зоны в районе пос. Кача / Ю. Н. Горячкин [и др.] // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2020. № 4. С. 5–21. doi:10.22449/2413-5577-2020-4-5-21
37. *Горячкин Ю. Н., Фомин В. В.* Волновой режим и литодинамика в районе аккумулятивных берегов Западного Крыма // Морской гидрофизический журнал. 2020. Т. 36, № 4. С. 451–466. doi:10.22449/0233-7584-2020-4-451-466
38. *Дедков А. П., Мозжерин В. И.* Эрозия и сток наносов на Земле. Казань : КГУ, 1984. 264 с.
39. *Фокина Н. А.* Уменьшение твердого стока в результате регулирования русел рек // Строительство и техногенная безопасность. Симферополь : Национальная академия природоохранного и курортного строительства, 2007. Вып. 18. С. 126–131.
40. *Шуйский Ю. Д.* Основные закономерности морфологии и динамики западного берега Крымского полуострова // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2005. Вып. 13. С. 62–72.
41. *Переладов М. В.* Современное состояние популяции и особенности биологии рапаны (*Rapana venosa*) в северо-восточной части Черного моря // Труды ВНИРО. М. : Изд-во ВНИРО, 2013. Т. 150. С. 8–20.
42. *Переладов М. В.* Современное состояние популяции черноморской устрицы // Труды ВНИРО. М. : Изд-во ВНИРО, 2005. Т. 144 : Прибрежные гидробиологические исследования. С. 254–274.
43. *Ревков Н. К.* Таксономический состав донной фауны Крымского побережья Черного моря // Современное состояние биоразнообразия прибрежных вод Крыма (Черноморский сектор). Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003. С. 209–218.
44. *Котий В. Г., Лисицкая Е. В.* Современное состояние популяции *Saccocirrus papillocercus* Bobretzky, 1872 (Polychaeta: Saccocirridae) прибрежной зоны Крыма (Чёрное море) // Морской экологический журнал. 2012. Т. 11, № 4. С. 39–44.

Поступила 20.12.2021 г.; одобрена после рецензирования 14.01.2022 г.; принята к публикации 4.02.2022 г.; опубликована 25.03.2022 г.

Об авторах:

Горячкин Юрий Николаевич, главный научный сотрудник, Морской гидрофизический институт РАН (299011, Россия, Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), доктор географических наук, **ORCID ID: 0000-0002-2807-201X**, **ResearcherID: I-3062-2015**, ynigor@mhi-ras.ru

Ефремова Татьяна Владимировна, инженер, Морской гидрофизический институт РАН (299011, Россия, Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), efremova@mhi-ras.ru

About the authors:

Yuri N. Goryachkin, Chief Research Associate, Marine Hydrophysical Institute of RAS (2 Kapitanskaya St., Sevastopol, 299011, Russian Federation), Dr.Sci. (Geogr.), **ORCID ID: 0000-0002-2807-201X**, **ResearcherID: I-3062-2015**, ynigor@mhi-ras.ru

Tatiana V. Efremova, Engineer, Marine Hydrophysical Institute of RAS (2 Kapitanskaya St., Sevastopol, 299011, Russian Federation), efremova@mhi-ras.ru

Заявленный вклад авторов:

Горячкин Юрий Николаевич – постановка проблемы, обработка и анализ данных, подготовка текста статьи

Ефремова Татьяна Владимировна – постановка проблемы, обработка и анализ данных, подготовка текста статьи и картографического материала

Contribution of the authors:

Yuri N. Goryachkin – problem statement, data processing and analysis, article text and map preparation

Tatiana V. Efremova – problem statement, data processing and analysis, article text preparation

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

All the authors have read and approved the final manuscript.