

Сходство и различия малых пересыпей северо-восточной части Черного моря

В. В. Крыленко^{1*}, Ю. Н. Горячкин², Р. Д. Косьян¹,
М. В. Крыленко¹, Л. В. Харитонова²

¹ Институт океанологии им. П.П. Ширинова РАН, Москва, Россия

² Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия

*e-mail: krylenko.slava@gmail.com

Поступила 23.10.2020 г.; принята к публикации 17.02.2021 г.; опубликована 25.03.2021 г.

Аккумулятивные береговые формы Азово-Черноморского региона являются ценным рекреационным ресурсом, испытывающим возрастающую антропогенную нагрузку. В статье приведен анализ современного состояния двух однотипных природных объектов – малых пересыпей оз. Богайлы (Крымский п-ов) и оз. Соленого (Таманский п-ов). Используются материалы многолетних мониторинговых наблюдений (эхолотные промеры, геодезические и аэрофотосъемки, воздушное лазерное сканирование, гранулометрический анализ наносов и др.). Привлекались данные спутниковых съемок, материалы математического моделирования гидрологических и литодинамических процессов, литературные и архивные источники. Выявлены общие черты в развитии и строении аккумулятивных форм, так и региональные особенности. К общим чертам относятся сходные поперечные надводные профили (без учета антропогенного преобразования) и набор действующих природных факторов. Важнейшими различиями являются генезис и состав коренных пород и аккумулятивных отложений. Эти параметры определяют современный литодинамический бюджет, конфигурацию пляжа и подводного склона, динамику рельефа. Наблюдается смещение аккумулятивных тел вглубь лагун, скорость этого смещения равна скорости отступления прилегающих коренных берегов. Морфологические и динамические особенности указанных пересыпей также не претерпели принципиальных изменений за последние десятилетия. Пересыпь оз. Соленого подверглась значительно большему, по сравнению с пересыпью оз. Богайлы, техногенному преобразованию. Тем не менее на ней хорошо прослеживаются процессы самовосстановления, подтверждающие, что геосистема в целом не была выведена из состояния динамического равновесия. Сделан вывод, что в отношении рассматриваемых природных объектов нет необходимости в проведении берегозащитных мероприятий.

Ключевые слова: Черное море, береговая геосистема, малые пересыпи, динамика береговой зоны, дистанционные методы, антропогенное воздействие.

Благодарности: обработка данных воздушного лазерного сканирования и их геодезическая привязка выполнены при финансовой поддержке РФФИ (проекты 18-05-00333, 18-05-80035, 19-45-230004, 20-05-00009). Сбор и анализ литературных

© Крыленко В. В., Горячкин Ю. Н., Косьян Р. Д., Крыленко М. В., Харитонова Л. В., 2021



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

и архивных материалов по литодинамическим процессам и динамике берегов выполнен при финансовой поддержке РФФ (проект 20-17-00060). Используются материалы по гидродинамическому режиму, полученные в ходе выполнения тем государственного задания № 0128-2021-0013 и 0827-2020-0004.

Для цитирования: Сходство и различия малых пересыпей северо-восточной части Черного моря / В. В. Крыленко [и др.] // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2021. № 1. С. 63–83. doi:10.22449/2413-5577-2021-1-63-83

Similarities and Differences of Small Bay-Bars of the North-Eastern Part of the Black Sea

V. V. Krylenko^{1*}, Yu. N. Goryachkin², R. D. Kosyan¹,
M. V. Krylenko¹, L. V. Kharitonova²

¹ P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow, Russia

² Marine Hydrophysical Institute of RAS, Sevastopol, Russia
*e-mail: krylenko.slava@gmail.com

Submitted 23.10.2020; revised 17.02.2021; published 25.03.2021

The accumulative coastal forms of the Azov-Black Sea region are a valuable recreational resource experiencing an increasing anthropogenic impact. The paper analyzes the current state of two similar natural objects: small bay-bars of the Lake Bogailly (Crimean Peninsula) and the Lake Solenoe (Taman Peninsula). The materials of long-term monitoring observations were used (echo-sounding measurements, geodetic and aerial photography, air laser scanning, particle size analysis of sediments, etc.). The data of satellite imagery, materials of mathematical modeling of hydrological and lithodynamics processes, literary and archival sources were used. Both common and regional features of the development and structure of accumulative forms have been identified. The common features include similar transverse surface profiles (excluding anthropogenic transformation) and a set of natural factors. The most important differences are the genesis and composition of the bedrocks and accumulative deposits. These parameters determine the current sediment budget, configuration of the beach and underwater slope, and the relief dynamics. Displacement of accumulative bodies toward the lagoons is observed, the rate of this displacement depends on retreat of the adjacent bedrock coasts. The morphological and dynamical features of these bay-bars have not changed fundamentally over the past decades. The bay-bar of the Lake Solenoe has undergone a greater technogenic transformation in comparison with the bay-bar of the Lake Bogailly. However, the self-healing processes confirming that the geosystem has not been brought out of the dynamic equilibrium are clearly in evidence. It is concluded that the considered natural objects do not require construction of coast protection structures.

Keywords: Black Sea, coastal geosystem, bay-bar, coastal zone dynamics, remote sensing method, anthropogenic impact.

Acknowledgments: processing of air laser scanning data and their georeferencing were funded by the RFBR (18-05-00333, 18-05-80035, 19-45-230004, 20-05-00009). The collection and analysis of literary and archival materials on lithodynamics processes and coastal dynamics were funded by the Russian Science Foundation (20-17-00060). The authors used materials on the hydrodynamic regime obtained during implementation of state order topics no. 0128-2021-0013 and 0827-2019-0004.

For citation: Krylenko, V.V., Goryachkin, Yu.N., Kosyan, R.D., Krylenko, M.V. and Kharitonova, L.V., 2021. Similarities and Differences of Small Bay-Bars of the North-Eastern Part of the Black Sea. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (1), pp. 63–83. doi:10.22449/2413-5577-2021-1-63-83 (in Russian).

Введение

В Азово-Черноморском регионе аккумулятивные береговые формы являются ценнейшим хозяйственным ресурсом, в первую очередь – рекреационным. Массовое строительство рекреационных и гидротехнических объектов значительно увеличило антропогенную нагрузку на береговые геосистемы. Кроме того, не вызывает сомнения наличие глобальных и региональных природных угроз, в числе которых подъем уровня моря и усиление волнового воздействия. Совместное влияние природных и антропогенных процессов приводит к изменению береговых аккумулятивных форм, зачастую – к их деградации [1]. В этих условиях назрела острая необходимость изучения современного состояния береговых аккумулятивных геосистем региона, механизмов их пространственно-временной изменчивости. Наиболее актуальной задачей является получение информации о перспективах развития аккумулятивных геосистем, необходимой для разработки мероприятий по защите (если они требуются).

В последние годы на Черноморском побережье техногенному преобразованию наиболее часто подвергаются малые пересыпи, отделяющие от моря небольшие лагуны. В качестве аргумента в пользу такого преобразования обычно декларируется необходимость «защиты» пересыпи от волн, а также «облагораживание» ее поверхности для рекреационного использования. Целью настоящей работы является анализ современного состояния и тенденций трансформации малых пересыпей.

Материалы и методы исследования

В 2012–2020 гг. при финансовой поддержке РНФ и РФФИ ученые из Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН и Морского гидрофизического института РАН провели полевые исследования и дистанционное зондирование ключевых участков побережья Крыма и Краснодарского края. Особое внимание было уделено изучению процессов формирования и анализу современной динамики береговых аккумулятивных форм – кос и пересыпей. В числе прочего были исследованы две близкие по своим характеристикам малые аккумулятивные формы Черного моря (рис. 1) – пересыпь оз. Соленого (северный участок геосистемы Анапской пересыпи) и пересыпь оз. Богайлы (часть береговой геосистемы Каламитского залива). На обоих участках были проведены комплексные полевые исследования. Новые данные по строению, развитию и динамике исследованных аккумулятивных форм позволили выявить общие закономерности и региональные различия.

При изучении обоих участков использовались материалы натурных и дистанционных исследований. Первичной составляющей для анализа динамики берега стали спутниковые снимки из открытых источников (*Google Earth*, Яндекс, *Bing* и т. п.) [2, 3]. По разновременным снимкам, представленным на данных ресурсах, выполнена оцифровка линии уреза моря и (при возможности) лагуны, бровки клифа. Для полученных векторных



Р и с . 1. Расположение изучаемых объектов: 1 – пересыпь озера Богайлы; 2 – пересыпь озера Соленого

Fig. 1. Location of the studied objects: 1 – Lake Bogailys bay-bar; 2 – Lake Solenoe bay-bar

данных была проведена геометрическая коррекция и получена информация о динамике уреза и бровки клифа в разные временные периоды [4].

Для изучения рельефа и его динамики потребовалось создание детальных цифровых моделей рельефа (ЦМР), позволяющих получать не только линейные, но и объемные морфометрические характеристики. Для выполнения этой задачи были использованы материалы воздушной лазерной съемки (ВЛС) и аэрофотосъемки (АФС).

По всей длине Анапской пересыпи 21 ноября 2013 г. и 9 октября 2015 г. были выполнены ВЛС и АФС. Целью повторной съемки было исследование динамики рельефа с высоким пространственным разрешением. Съемка была выполнена комплексом для воздушного картографирования производства *Leica Geosystems* (воздушный лазерный сканер *ALS-70CM* и аэрофотокамера *RCD-30*), установленным на самолет-носитель [5, 6]. Средняя плотность точек лазерного отражения (ТЛО) составила более 20 точек/м² с точностью 10–15 см в плане и по высоте. После получения облаков ТЛО была выполнена их классификация в программе *TerraScan*. Классификация проводилась по следующей схеме: фильтрация ложных отражений; присвоение класса «земля»; присвоение прочих классов техногенным объектам (строениям), растительности и водным объектам. Для моделирования рельефа, построения регулярных ЦМР и последующих аналитических операций использовались ТЛО класса «земля». Для контроля качества классификации, а также для дешифровки границ природных и антропогенных объектов с использованием программы *TerraPhoto* были составлены ортофотопланы [6].

К сожалению, данные ВЛС для территории пересыпи Богайлы отсутствовали, а выполнение новых ВЛС для обоих участков было невозможно. Для получения актуальных данных по строению рельефа с 2017 г. применяется методика АФС интеллектуальной камерой, установленной на квадрокоптере

Fantom 4Pro [7]. Съемка выполнялась с высоты 100–120 м. Производилась как плановая, так и панорамная съемка (для участков с клифами) [8, 9]. Для дальнейшей обработки полученных данных было использовано программное обеспечение *Agisoft Metashape*, позволяющее создавать высококачественные 3D-модели объектов и ортофотопланы на основе цифровых фотографий. Программа вычисляет карты глубины для каждой камеры и на их основе строит плотное облако точек фотограмметрической обработки (ТФО) с плотностью, сравнимой с плотностью облаков ТЛО. Для классификации облаков ТФО использовался модуль *TerraScan Bentley MicroStation*.

В результате обработки данных ВЛС и АФС были получены ЦМР и ортофотопланы для всей площади пересыпей и прилегающих участков абразионного берега. ЦМР, построенная по ТФО, в отличие от ЦМР по ТЛО, имеет искажения по высоте при наличии густой растительности [10]. Тем не менее для открытых участков фотограмметрический метод показал достаточную для анализа морфометрических характеристик рельефа точность при значительно меньшей (в сравнении с ВЛС) стоимости исследований.

Изучение динамики рельефа предполагало использование регулярных ЦМР. В зависимости от размера изучаемого участка, нами были использованы ячейки размером от 0.1×0.1 до 1×1 м, позволяющие оценить строение и динамику нано- и микроформ рельефа. Вычитанием из значений высот разновременных съемок строилась разностная ЦМ, отражающая величину изменения поверхности за межсъемочный период [6].

Анапская пересыпь и пересыпь оз. Соленого

Анапская пересыпь – крупнейшая аккумулятивная береговая форма и одновременно один из немногих участков песчаных пляжей в пределах Черноморского побережья Кавказа [1, 6]. Литодинамическая система Анапской пересыпи, являющейся аккумулятивно-абразионной парой¹⁾, простирается от м. Железный Рог (Таманский п-ов) на севере до м. Анапского на юге (рис. 1). Гидрологический режим прилегающей акватории Черного моря отличается от режима остального Черноморского побережья Кавказа – амплитуда колебаний уровня моря здесь значительно больше, чем на других участках моря [11]. Величина отклонения среднегодового уровня от среднегодовой отметки около 0.2 м (max: +16 см, min: –24 см). Внутригодовой ход уровня зависит от периодических (сезонных) климатических факторов; на их фоне проявляются непериодические колебания уровня при прохождении штормов. Вдоль пересыпи преобладают вдольбереговые течения противоположных направлений: северо-западного и юго-восточного (средние скорости 24–28 см/с).

На северной части Анапской пересыпи преобладает волнение юго-западного и юго-восточного направлений [12], в районе пересыпи оз. Соленого влияние волнений западного и юго-западного направлений снижено за счет экранирующего влияния м. Железный Рог и подводных банок (рис. 2). В результате поток наносов, в целом направленный на юго-восток, в периоды преобладания восточной составляющей волнения может принимать обратное направление [13].

¹⁾ *Зенкович В. П.* Берега Черного и Азовского морей. М. : Географгиз, 1958. 373 с.

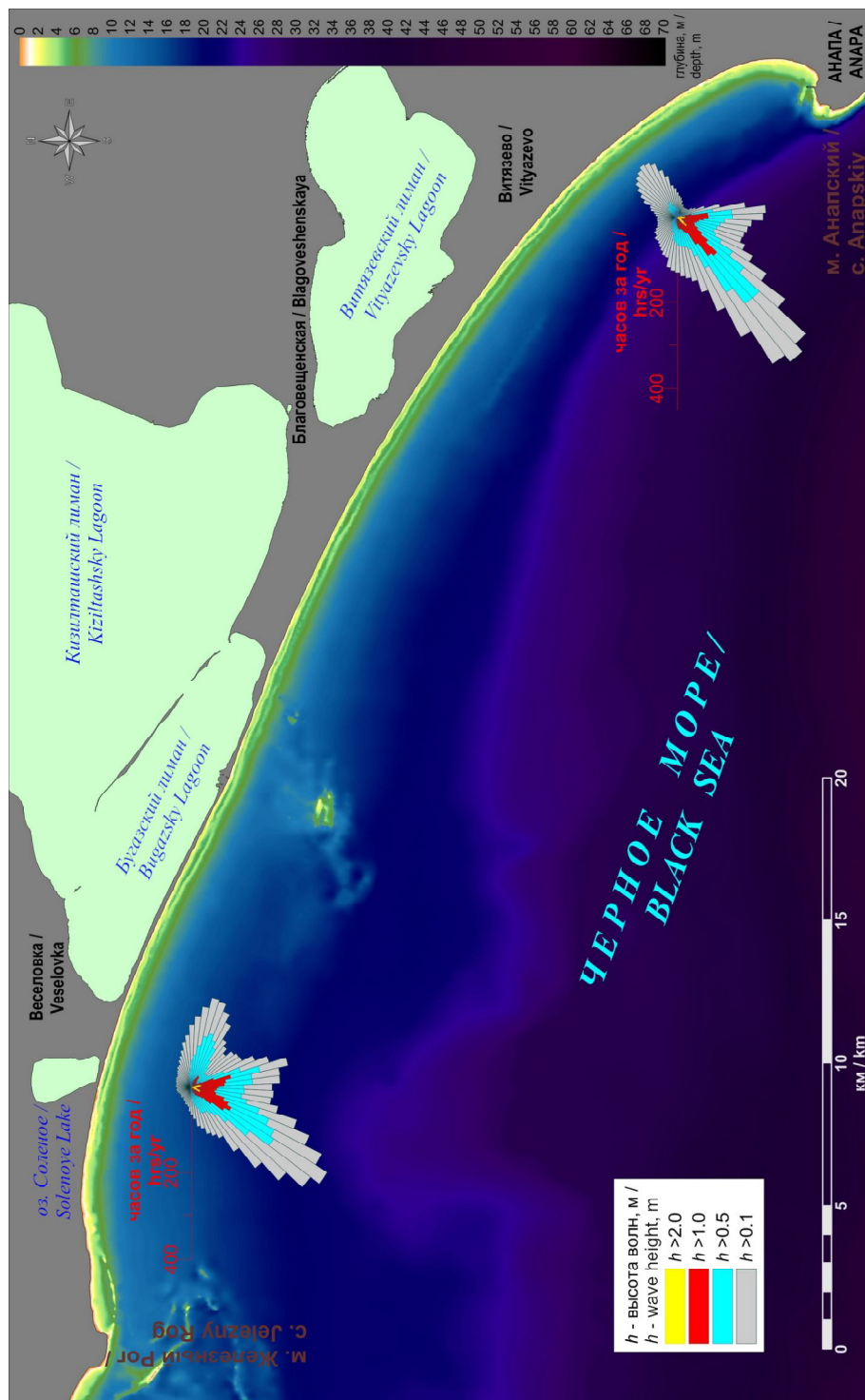


Рис. 2. Строение подводного склона и характеристика волнения (Анапская пересыпь)

Fig. 2. Structure of the underwater slope and wave characteristic (Anapa Bay-Bar)

Как упомянуто выше, крайний северо-западный участок литодинамической системы Анапской пересыпи к западу от оз. Соленого и до м. Железный Рог является абразионной частью аккумулятивно-абразионной пары. На морской берег выходят коренные отложения неогенового возраста, состоящие преимущественно из рыхлых пород: глин, суглинков, мелкозернистых песков. Берег здесь представлен активным обвальным оползневый клифом высотой до 60 м, наблюдается отступление береговой линии и бровки клифа со средней скоростью 0.5–1.0 м в год. Отступление происходит не равномерно, а в виде схождения крупных оползней и последующего размыва волнами образовавшихся оползневых конусов [1].

Генеральный уклон поверхности подводного склона направлен на юг, рельеф осложнен наличием восточнее и западнее подводных банок, сложенных из коренных относительно прочных пород (известняка). Кроме того, вдоль всей Анапской пересыпи протягивается система песчаных подводных валов. В районе оз. Соленого четко выражен один вал, расположенный на расстоянии 60–80 м от уреза, превышение гребня вала над прилегающим дном 1.5–1.8 м. Вблизи гребней подводных валов наблюдается увеличение скоростей вдольбереговых течений до 80 см/с [14].

Оз. Соленое расположено в водосборном понижении без выраженных водотоков, окруженном склонами Поливадинского поднятия Кизилташской антиклинальной зоны южной оконечности Таманского п-ова. От Черного моря оз. Соленое отделено пересыпью. Дно озера почти плоское, сложено илами. Максимальная глубина не более 0.5 м. Вследствие испарения летом озеро пересыхает. В осенне-зимний период происходит наполнение озера за счет атмосферных осадков и морской воды, перехлестывающей пересыпь во время штормов. До середины XX в. в юго-западной части озера располагались чеки для выпаривания соли, часть ограждений до сих пор выделяется в рельефе. В настоящее время илы стихийно используются отдыхающими для «грязелечения». Озеро окружают сельскохозяйственные угодья, рекреационная застройка. К пересыпи озера с двух сторон подходят грунтовые дороги [6].

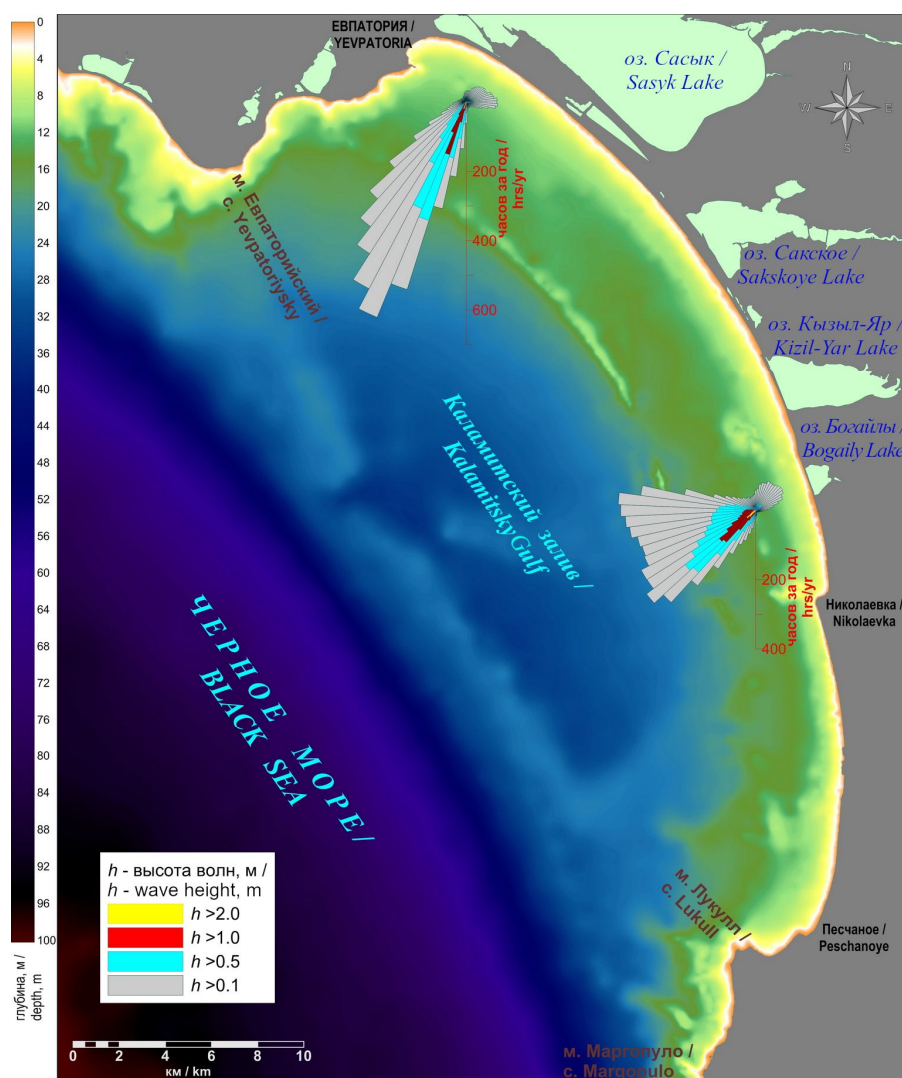
Короткая (1.3 км) пересыпь оз. Соленого в настоящее время на большем протяжении представляет собой широкий (до 150 м) песчаный с примесью гальки пляж полного профиля. Тыльная сторона пляжа плавно переходит в осушающее дно озера. На возвышенной части пересыпи фрагментарно присутствует травянистая растительность, над которой формируются дюны [6, 15]. Северо-западный край пересыпи оз. Соленого опирается на абразионный берег, представленный клифом. У основания клифа расположен прислоненный песчаный пляж с незначительной примесью гальки из ожелезненного известняка и ракуши [16, 17]. Ширина пляжа изменчива, в среднем она составляет 5–10 м [4]. В тыльной части пляжа и в нижней части клифа имеются прислоненные эоловые формы. Юго-восточный край пересыпи оз. Соленого переходит в аккумулятивную террасу, примыкающую к отмершему клифу высотой до 20 м. На аккумулятивной террасе (сложенной морскими, лиманными и техногенными отложениями) расположена рекреационная застройка пос. Веселовка.

Много лет на пересыпи оз. Соленого и прилегающих участках берега проводились различные массовые мероприятия: музыкальный фестиваль

«Кубана», байк-фестиваль «Тамань», фестиваль *SunArt*, кайт-фестивали, которые с 2009 по 2014 г. суммарно посетили не менее 400 000 человек. В летнее время на пересыпи скапливаются десятки автомобилей, особенно велика антропогенная нагрузка во время проведения массовых мероприятий.

Литодинамическая система Каламитского залива и пересыпь оз. Богайлы

У пересыпи оз. Богайлы преобладают волнения западных-юго-западных направлений (рис. 3). Согласно данным [18], наибольшие высоты волн в прилегающей акватории Черного моря могут достигать 5.5–6 м в осенне-зимний период; в апреле – сентябре среднемесячные высоты значительных



Р и с . 3 . Строение подводного склона и характеристика волнения в Каламитском заливе

F i g . 3 . Structure of the underwater slope and wave characteristic (Kalamitsky Gulf)

волн не превышают 4 м и соответствуют минимуму ветровой активности. Анализ распределения высот и периодов значительных волн за 30 лет показал, что на данном участке акватории могут наблюдаться волны высотой 5.5–5.75 м с периодом 6.5–7 с.

По данным работы В. П. Зенковича, поток наносов вдоль западного берега Крыма зарождается в районе устья р. Бельбек и направлен вдоль берега против часовой стрелки вплоть до Евпаторийской бухты, где происходит разгрузка потока и аккумуляция материала¹⁾. Там же отмечается, что пересыпь оз. Богайлы расположена в южной части литодинамической системы Каламитского залива Черного моря, представленной чередованием аккумулятивно-абразионных участков. Исходя из представлений, изложенных в работе [19], рассматриваемый район является частью замкнутой Каламитской литодинамической системы, простирающейся между мысами Лукулл и Евпаторийский.

Исследования межгодовой изменчивости вдольберегового потока наносов [20] на основе ветроэнергетического метода показали, что их направление и интенсивность в Каламитском заливе характеризуются значительной межсезонной и межгодовой изменчивостью. Здесь наиболее вероятно существование двух потоков наносов, направленных навстречу друг другу с образованием зоны конвергенции в летний период года у пересыпи оз. Богайлы, в зимний период – севернее, у пересыпи оз. Сакского.

Выполненное [21] математическое моделирование транспорта песчаного материала в штормовых ситуациях показало, что для района исследования характерны двусторонние вдольбереговые миграции наносов со значительной поперечной составляющей перемещения материала. Миграция материала, как правило, происходит в узкой приурезовой полосе, образование подводных валов не отмечено.

Оз. Богайлы является лиманом, образовавшимся в устьевой части сходящихся балок Сухая и Богайлы. От Черного моря оз. Богайлы отделено пересыпью. Площадь зеркала 0.95 км², водосборного бассейна 77 км²; длина 1.3 км; средняя ширина 0.7 км, наибольшая 1.3 км; средняя глубина 0.8 м, наибольшая 1.4 м; превышение уровня озера над уровнем моря 0.3 м (в среднем). Площадь водосборного бассейна озера техногенно преобразована. Озеро окружают сельскохозяйственные угодья, хозяйственная и жилая застройка. Ранее водоем использовался для добывания соли. Донные отложения водоема до распреснения были представлены темно-серыми, в верхних слоях черными иловыми глинами с тонкими прослоями мелкого песка. Запасы пелоидов оз. Богайлы составляли в 1970-х гг. около 120 тыс. м³. В 1996 г. озеро было отнесено к категории лечебных [22]. В 70-х гг. XX в. озеро распреснилось и стало круглогодично полноводным. В некоторые годы последнего десятилетия в результате активного водопользования озеро пересыхало. Резкие колебания солености привели к изменению свойств иловых глин и невозможности их использования в качестве лечебных гидроминеральных ресурсов. Тем не менее при благоустройстве берегов и организации надлежащей санитарной охраны озеро может стать привлекательным рекреационным объектом. В 2013 г. обсуждался проект строительства на акватории оз. Богайлы порта (финансирование Китайской Народной Республикой) с прорытием пересыпи, выемкой грунта со дна озера и созданием

на внешней стороне пересыпи подходного канала с бетонными ограждениями. Однако проект встретил резкое неприятие со стороны ученых и общественности, и после 2014 г. он больше не рассматривался.

Пересыпь оз. Богайлы, разделяющая два участка абразионного берега, представляет собой песчано-галечный пляж полного профиля с высотой гребня 1.2–1.5 м. Длина пересыпи оз. Богайлы 1.4 км, ширина 50–70 м. Питание пересыпи наносами осуществляется за счет продуктов разрушения прилегающих участков абразионных берегов. Ширина пляжа (до полосы растительности и дюн) около 30–40 м. Пляж от уреза на расстоянии 15 м сложен галькой, выше по склону – среднезернистым песком с примесью гальки. На урезе преобладает фракция мелкозернистого гравия (до 40 %) с включениями крупно- и среднезернистого песка (до 30 %). Наносы верхней части пляжей представлены преимущественно песком средней (55 %) и мелкой (28 %) зернистости. На морском подводном склоне пересыпи до глубин 12–15 м дно покрыто песками, глубже 10 м расположены алевриты и илы. Распределение наносов на подводном береговом склоне следующее: на глубине 1–1.5 м преобладает смесь песка мелкой и средней зернистости с мелким гравием; на глубине около 2 м гравийно-песчаный материал сменяется мелкозернистым илистым песком; глубже 2.5 м находятся преимущественно алевриты с примесью мелкого песка, появляется фракция пелитов. В диапазоне глубин от 2 до 4 м в пробах отсутствуют частицы размером более 0.25 мм. Таким образом, зона миграций пляжеобразующих наносов в районе пересыпи оз. Богайлы ограничивается изобатами 2–2.5 м, глубже накапливаются мелкозернистые илистые фракции [23]. Вдоль гребня пляжа имеются аккумулятивные эоловые формы высотой до 2–2.5 м, фрагментарно покрытые травянистой растительностью. Эоловые формы разделены понижениями – промоинами.

Оба края пересыпи оз. Богайлы примыкают к абразионному берегу. Клиф высотой до 8–10 м сложен красно-бурыми и желтовато-бурыми плиоцен-плейстоценовыми глинами с прослоями песчаников, гравелитов и конгломератов древнеаллювиального происхождения. Конгломераты представляют собой слои или линзы сцементированной гальки, обнажающиеся в обрыве на высотах от 2 до 6 м. В основании клифа местами выработаны волноприбойные ниши. Типичная ширина ниш составляет 5–7 м, высота 2–2.5 м, глубина 1–1.5 м. Выработка ниш приводит к нарушению равновесия склона и активизации обвальных процессов. У подножья клифа лежат коллювиальные массы, в том числе глыбы хорошо сцементированных конгломератов, достигающие 3 м в поперечнике. На клифе до высоты 2 м наблюдаются выходы грунтовых вод. У основания клифа расположен прислоненный пляж шириной 3–12 м из хорошо окатанной гальки диаметром 5–15 см с заполнителем из ракуши и песка. На подводном склоне вдоль абразионных участков вскрыт глинистый бенч, практически без наносов. В 5 м от уреза на дне наблюдаются выходы конгломератов, далее до 50–60 м (глубина 3 м) дно покрыто навалами глыб конгломерата, покрытых зарослями *Cystoseira barbata*.

Динамика береговой линии и рельефа пересыпи оз. Соленого

На космическом снимке 2005 г. на удалении 20–25 м от уреза моря прослеживалась полоса дюн средней шириной 50 м, закрепленных растительностью. Поверхность дюн пересекали поперечные промоины, расположенные

на расстоянии 30–50 м друг от друга. Солевой состав илов на дне озера указывает на постоянный характер поступления морской воды в озеро, вероятно, промоины имели естественное происхождение и существовали и до начала техногенного преобразования пересыпи.

В 2009–2011 гг. для защиты территории со стороны моря по линии морского края дюн была сформирована дамба из материала пересыпи и разрушенных дюн (рис. 4). С противоположной стороны, на осыхающем дне озера, вдоль всей пересыпи был сформирован неширокий вал высотой около метра. Пространство между валами было выровнено. В последующие годы защитная дамба постепенно разрушалась волнами. На месте смывтой дамбы к 2017 г. сформировался широкий штормовой песчано-галечниковый вал [6]. Далее от моря, вдоль продольной оси пересыпи, постепенно восстанавливается травянистая растительность. Наблюдается интенсивное эоловое накопление песка у куртин растительности (рис. 4). Формированию полноценных дюн

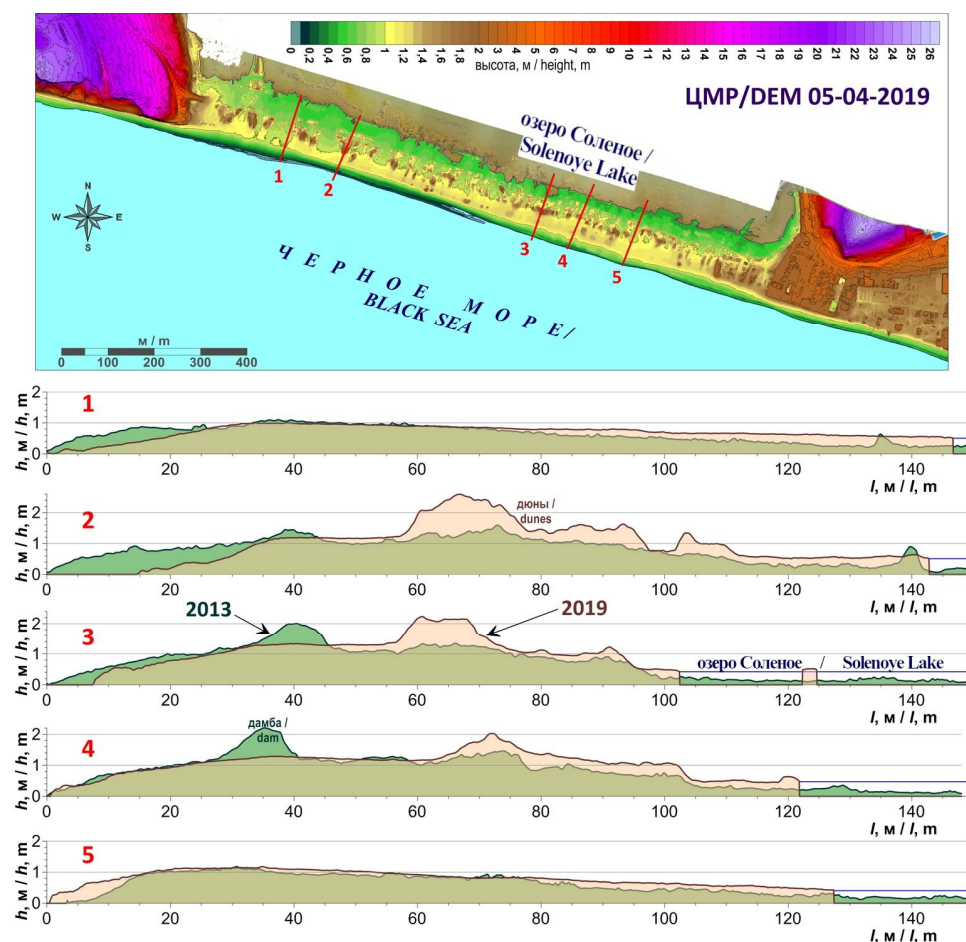


Рис. 4. Рельеф пересыпи оз. Соленого и его динамика по данным съемок 2013 и 2019 гг.

Fig. 4. Relief of the Lake Solenoe bay-bar and its dynamics according to the survey data of 2013 and 2019

вдоль всего гребня пересыпи препятствует штормовое и антропогенное воздействие. К настоящему времени сформировались невысокие (1.5–2 м) участки дна без четкой структуры, разделенные понижениями со следами течения воды в сторону озера.

Изменения высоты поверхности, зафиксированные разностными ЦМР, имеют как природный, так и антропогенный генезис [6, 16]. Преобладают изменения рельефа, вызванные гидрогенными процессами. Эти изменения отмечаются главным образом в пределах пляжа и в промоинах. Перестройки рельефа пляжей происходят почти при каждом сильном шторме. Для изменений рельефа в зоне пляжа характерно чередование участков повышения и понижения поверхности, а также изменения ширины пляжа за счет миграции линии уреза. В пределах дюнного пояса большая часть изменений вызвана техногенным воздействием – прокладкой проездов, разравниванием площадок. В целом наблюдаемые с 2013 г. изменения пересыпи оз. Соленого можно охарактеризовать как восстановление ее природной структуры в условиях продолжающегося антропогенного воздействия.

Участок берега к юго-западу от пересыпи оз. Соленого характеризуется наиболее высокими (до 1 м в год) скоростями отступления берега [4]. Здесь отмечен размыв бровки аккумулятивной террасы, сложенной лиманными отложениями и остатками защитных грунтовых валов [6]. На этом участке проводились защитные мероприятия – отсыпались грунтовые дамбы (из местного песка и лиманных илов, привозных суглинков, строительного мусора). На примыкающем к пересыпи участке протяженностью 160 м в 2012 г. была создана дамба из каменных набросков (крупные глыбы).

Динамика береговой линии и рельефа пересыпи оз. Богайлы

В целом положение морского берега пересыпи оз. Богайлы определяется положением абразионных берегов, на которые «опирается» пересыпь. Глинистый клиф, а вместе с тем и берег на всем протяжении активно отступают. Скорость этого процесса и межгодовые изменения до сих пор не вполне известны. По некоторым оценкам, отступление клифа между 1965–1990 гг. составило 26 м, т. е. 1 м/год²⁾. В ведомственном отчете объединения «Крымморгеология» приводится скорость отступления бровки клифов и пляжей: 2.4–2.8 м/год в период 1986–1994 гг.

Северо-западная оконечность пересыпи примыкает к клифу, высота которого увеличивается к северо-западу с 2–4 до 10–12 м. На выступе коренного берега расположена база отдыха «Волна». Бетонная набережная практически полностью разрушена, продолжается активный размыв клифа под ее плитами. С 1994 по 2007 г. берег отступил на 17 м, за 2010–2014 гг. еще на 4 м. Существовавшие здесь ранее элинг и ангар полностью уничтожены, их бетонные останки виднеются в воде. Плиты, составляющие покрытие набережной, нависают над пляжем, выдаваясь приблизительно на 2 м.

По данным 19 створов, находившихся между оз. Кызыл-Яр и оз. Богайлы в 1975–1992 гг., средняя скорость отступления клифа составила 1.1 м/год.

²⁾ Шуйский Ю. Д., Выхованец Г. Д. Карта средней скорости абразии и аккумуляции. 1960–1994 гг. Атлас охраны природы Черного и Азовского морей / ред. Л. И. Митин. СПб. : ГУНиО МО Российской Федерации, 2006. С. 44.

Часть реперов была уничтожена, и в дальнейшем наблюдения проводились меньшим количеством створов. Среднее отступление клифа, по данным всех створов за время наблюдений (1975–2014 гг.), составило 1.2 м/год, а общее – 45 м. Наибольшая скорость наблюдалась между 1980 и 1985 гг. (до 2.2 м/год). По спутниковым данным, между 1984 и 2016 гг. в среднем по участку отступление берега составило 42 м, это самый большой показатель для всего западного района Крыма. При длине участка между озерами Богайлы и Кызыл-Яр, равной 2.5 км, потери площади в результате абразии составили 11.5 га. По спутниковым данным за 1984–2018 гг., пересыпь отступила в сторону суши на 30–35 м. Спутниковые данные с большим разрешением показывают отступление на 8–10 м между 2005–2016 гг., при этом в месте примыкания северной пересыпи к клифу на протяжении 200 м отступление составляет до 15 м. Высокоточные геодезические измерения, выполненные в 2010–2014 гг., показали отступление на 2–4 м. Скорость отступления морского берега пересыпи близка к скорости отступления примыкающих к ней клифов.

По некоторым данным [25], до сравнительно недавнего времени сплошной пересыпи не существовало, озеро постоянно соединялось с морем проливом переменной ширины. На картах XIX в. на месте современной пересыпи оз. Богайлы обозначен о-в Кичик-Бель. На космическом снимке 19 сентября 1968 г. еще заметны остатки промоины между озером и морем в южной части пересыпи. Подтвердить или опровергнуть существование постоянного пролива сейчас сложно.

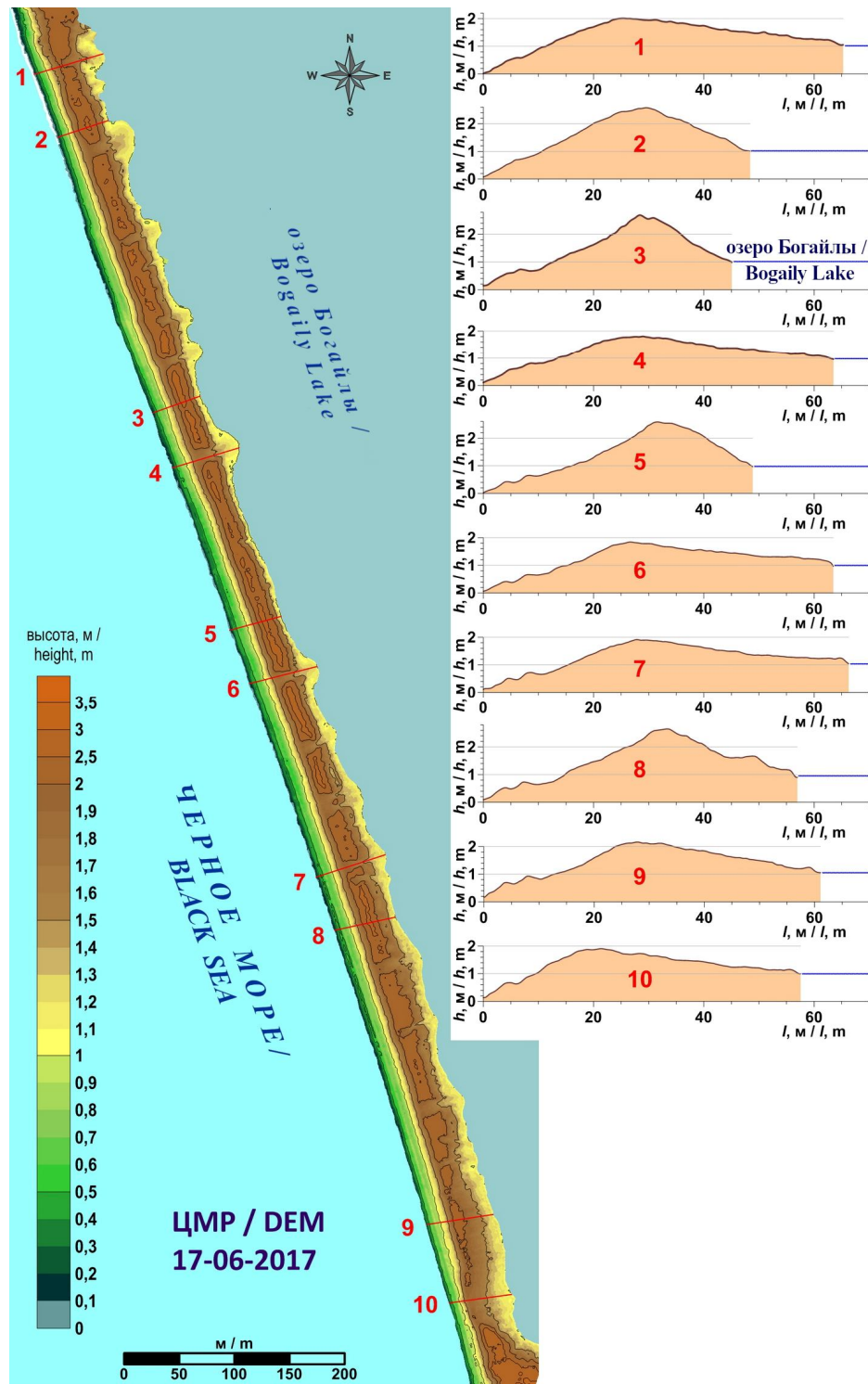
Однако более или менее постоянный поверхностный сток по балкам Сухая и Богайлы, особенно в зимний период, и повышенный, по сравнению с морем, уровень воды в озере указывают на возможность стока излишков воды из озера в море.

Наблюдается перенос галечно-песчаного материала на берег озера. В период наиболее сильных штормов волны перехлестывают через пляж, по понижениям наносы поступают в озеро и образуют конусы выноса, фиксируемые ежегодно (рис. 5). Это один из механизмов потери наносов в береговой зоне. Резкий рост количества конусов произошел после экстремального шторма 11 ноября 2007 г. Промоины и конусы выноса хорошо прослеживаются на современных спутниковых снимках, но при этом отсутствуют на космическом снимке 19 сентября 1968 г. Активного перераспределения поступившего материала вдоль уреза озера не наблюдается, что объясняется недостаточной интенсивностью волнения на озере.

Особенности развития пересыпей оз. Соленого и оз. Богайлы

Основное сходство двух рассмотренных участков состоит в том, что они представляют собой части крупных литодинамических систем, являющихся абразионно-аккумулятивными парами. Для обеих систем, расположенных в вогнутостях берега, характерна выработанная дуга равновесия, опирающаяся концами на крупные выступы коренного берега.

Волновой режим обеих литодинамических систем имеет по два преобладающих направления подхода значительных волн (см. рис. 2, 3). Наиболее сильно это выражено для Анапской пересыпи. Эта особенность определяет реверсивный характер движения наносов вдоль побережья. Бимодальное



Р и с . 5. Рельеф пересыпи оз. Богайлы по данным съемки 2017 г.

Fig . 5. Relief of the Lake Bogaily bay-bar according to the survey data of 2017

движение наносов способствует высокой изменчивости берега на отдельных участках, но повышает устойчивость аккумулятивного тела в целом.

Подводный склон обеих систем относительно пологий (см. рис. 2, 3). Однако в Каламитском заливе отчетливо выделяются несколько генераций затопленных морем реликтовых аккумулятивных форм – баров или пересыпей. Каждая из этих генераций приурочена к определенному временному периоду с относительно стабильным уровнем моря. На подводном склоне Анапской пересыпи подобных форм почти нет. Поскольку рассматриваемые участки расположены на открытом побережье Черного моря, на расстоянии всего около 250 км друг от друга, трудно предположить значительные различия в ходе уровня моря. Вероятно, отсутствие реликтовых аккумулятивных форм на подводном склоне Анапской пересыпи объясняется составом наносов, характерных для данной литодинамической системы. Бары или пересыпи, сформированные при низком уровне моря, здесь были сложены преимущественно мобильными мелко- и среднезернистыми песками аллювиального происхождения и ракушей. Такие аккумулятивные формы, вероятно, успевали сдвинуться вместе со смещением береговой линии в ходе подъема уровня моря. В Каламитском заливе, напротив, реликтовые аккумулятивные формы были сложены преимущественно галькой (можно обоснованно предположить, что поступление гальки с твердым стоком рек в тот период значительно превышало современные показатели). Эти отложения не могли быть перемещены или разрушены при относительно быстром повышении уровня моря, и древние пересыпи сохранились в почти неизменном виде.

Особенности механического состава наносов определили также современное строение и динамику рассматриваемых пересыпей. Мелко- и среднезернистые пески, характерные для пересыпи оз. Соленого, чрезвычайно легко перемещаются под действием гидрогенных и эоловых процессов. В результате высота гребня пляжа полного профиля, лежащего в основе поперечного профиля пересыпи, невысока (1.1–1.4 м), а профиль имеет распластанный вид с пологим морским и лиманным берегом (см. рис. 4). На пересыпи оз. Соленого отмечается активное выдувание песка с пляжа и его аккумуляция за неровностями рельефа и растительностью. Здесь значительно быстрее формируются (восстанавливаются) эоловые формы, высота их может достигать 2 м относительно исходной поверхности. При этом формированию сплошной авантюны здесь препятствует волновое воздействие и антропогенное разрушение. Дюны, расположенные относительно уровня моря значительно ниже, по сравнению с пересыпью оз. Богайлы, чаще и сильнее повреждаются волнами при штормах. Рельеф дюн, как и разделяющих их промоин, чрезвычайно изменчив.

На пересыпи оз. Богайлы, сложенной значительно более крупнозернистыми песками с высоким содержанием гальки, морской берег более крутой, а гребень пляжа полного профиля выше (1.8–1.9 м) и хорошо выражен по всей длине пересыпи (рис. 5). Кроме того, здесь вдоль уреза формируется хорошо выраженный в рельефе штормовой галечный вал или серия валов. На пересыпи оз. Богайлы отмечается эоловый перенос песка, но его интенсивность невысока, что объясняется малым количеством соответствующих фракций в составе наносов. При этом невысокие (до 0.5 м) эоловые формы расположены

выше относительно уровня моря и повреждаются лишь при экстремально сильных штормах. Как следствие, понижения (промоины), по которым происходит поступление морской воды в озера, имеются на обеих пересыпях, но на пересыпи Богайлы их значительно меньше. При этом промоины и связанные с ними конусы выноса на озерном берегу этой пересыпи имеют значительно более выраженную конфигурацию и постоянство.

На морском берегу пересыпи оз. Соленого отмечено [4] периодическое формирование фестончатых структур (с вдольбереговым размером ячеек около 50–100 м и глубиной выступов до 20 м). Как правило, образование фестонов наблюдается с одновременной трансформацией подводного вала. Для пересыпи оз. Богайлы формирование подводного вала или фестонобразных структур не характерно. Эти различия, вероятно, обусловлены механическим составом наносов (наличие либо отсутствие мелкого песка), конфигурацией береговой линии (вогнутость берега), более или менее выраженной бимодальностью в движении наносов.

Заключение

Высокоточные цифровые модели рельефа, построенные по данным воздушного лазерного сканирования и аэрофотосъемки, позволили выявить особенности строения или изменения рельефа морских береговых аккумулятивных форм. Анализ, проведенный на основе данных по гидродинамической обстановке, показал, что выявленные особенности обусловлены как природными процессами (морское волнение, эоловые процессы), так и антропогенными преобразованиями. Как в строении аккумулятивных тел, так и в их динамике отмечены общие закономерности и региональные отличия. К общим чертам можно отнести сходные поперечные надводные профили (без учета антропогенного преобразования) и состав действующих природных факторов. Важнейшими различиями является генезис и состав коренных пород и аккумулятивных отложений. Эти параметры определяют современный литодинамический бюджет, конфигурацию пляжа и подводного склона, динамику рельефа. Пересыпь оз. Соленого подверглась значительно большему, по сравнению с пересыпью оз. Богайлы, техногенному преобразованию. Тем не менее именно на этой пересыпи хорошо прослеживаются процессы самовосстановления, подтверждающие, что геосистема не была выведена из состояния динамического равновесия.

Следует отметить, что развитие изученных пересыпей в настоящее время продолжает предшествовать эволюционные изменения. Наблюдается смещение аккумулятивных тел вглубь лагун, скорость этого смещения зависит от величины отступления прилегающих коренных берегов. Морфологические и динамические особенности указанных пересыпей также не претерпели принципиальных изменений за последние десятилетия. Таким образом, нет никаких предпосылок для разработки и реализации «защитных» мероприятий в отношении как пересыпи оз. Богайлы, так и пересыпи оз. Соленого. Более того, искусственное закрепление береговой линии может вызвать постепенное выдвигание пересыпи на большие глубины относительно продолжающих отступать коренных берегов, что неизбежно приведет к выносу материала на подводный склон. В случае техногенного закрепления поверхности пересыпей природные процессы, способствующие самовосстановлению

естественного рельефа, не смогут действовать. Природная система полностью преобразуется в техногенную, способную противостоять природным угрозам лишь при постоянном выполнении дорогостоящих эксплуатационных мероприятий (восстановление рельефа, пополнение запаса наносов и т. д.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Косьян Р. Д., Крыленко В. В.* Современное состояние морских аккумулятивных берегов Краснодарского края и их использование. М. : Научный мир, 2014. 256 с.
2. Crimea and Caucasus accumulative coasts dynamics estimation using satellite pictures / R. D. Kosyan [et al.] // *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 2012. № 12. P. 385–390. doi:10.4194/1303-2712-v12_2_26
3. *Krylenko M., Krylenko V., Kosyan R.* Accumulative coast dynamics estimation by satellite camera records // *Proceedings of SPIE, Third international conference on remote sensing and geoinformation of the environment* / Edited by D. G. Hadjimitsis, K. Themistocleous, S. Michaelides, G. Papadavid. Paphos, 2015. Vol. 9535. 95351K. doi:10.1117/12.2192495
4. *Крыленко В. В.* Динамика морского берега Анапской пересыпи // *Океанология*. 2015. Т. 55, № 5. С. 821–828. doi:10.7868/S0030157415050081
5. *Boiko E., Krylenko V., Krylenko M.* LIDAR and airphoto technology in the study of the Black Sea accumulative coasts // *Proceedings of SPIE, Third international conference on remote sensing and geoinformation of the environment* / Edited by D. G. Hadjimitsis, K. Themistocleous, S. Michaelides, G. Papadavid. Paphos, 2015. Vol. 9535. 95351Q. doi:10.1117/12.2192577
6. Исследование динамики рельефа северо-западной части Анапской пересыпи по материалам воздушного лазерного сканирования / В. И. Кравцова [и др.] // *Геоинформатика*. 2017. № 4. С. 48–62.
7. *Крыленко В. В., Крыленко М. В.* Высокоточная съемка рельефа Бакальской косы // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря*. 2018. № 4. С. 65–72. <https://doi.org/10.22449/2413-5577-2018-4-65-72>
8. *Крыленко В. В., Руднев В. И.* Методика аэрофотосъемки Бакальской косы // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря*. 2018. № 4. С. 59–64. doi:10.22449/2413-5577-2018-4-59-64
9. *Крыленко М. В., Крыленко В. В.* Особенности выполнения высокоточной съемки рельефа абразионного берега с помощью БПЛА // *Бюллетень науки и практики*. 2020. Т. 6, № 2. С. 10–19. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/51/01>
10. *Krylenko M., Krylenko V.* Dynamics of eolian forms on Blagoveschensky butte // *Proceedings of the 14th MEDCOAST Congress on Coastal and Marine Sciences, Engineering, Management & Conservation*. Marmaris : Mediterranean Coastal Foundation, 2019. Vol. 2. P. 543–551.
11. *Горячкин Ю. Н., Иванов В. А.* Уровень Черного моря: прошлое, настоящее и будущее. Севастополь : МГИ НАНУ, 2006. 210 с.
12. *Дивинский Б. В., Косьян Р. Д.* Длиннопериодная изменчивость волновых условий в районе Анапской Пересыпи // *Вестник Краснодарского регионального отделения Русского географического общества*. Краснодар : Платонов, 2017. Вып. 9. С. 65–69.
13. *Divinsky B. V., Kosyan R. D.* Influence of the climatic variations in the wind waves parameters on the alongshore sediment transport // *Oceanologia*. 2020. Vol. 62, iss. 2. P. 190–199. doi:10.1016/j.oceano.2019.11.002

14. *Косьян Р. Д., Федорова Е. А.* Деформации подводного берегового склона Анапской пересыпи с 2012 по 2018 г. // *Океанология*. 2019. Т. 59, № 5. С. 844–851. doi:10.31857/S0030-1574595844-851
15. *Krylenko V., Krylenko M., Kravtsova V.* Using of remote sensing data to study transformation of the Solenoye lake bay-bar // *Proceedings of SPIE, Eighth International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2020)* / Edited by K. Themistocleous, G. Papadavid, S. Michaelides, V. Ambrosia, D. G. Hadjimitsis. Paphos, 2020. Vol. 11524. 115241L. <https://doi.org/10.1117/12.2569385>
16. *Крыленко В. В., Кочергин А. Д., Крыленко М. В.* Новые данные о гранулометрическом составе отложений Анапской пересыпи // *Океанология*. 2016. Т. 56, № 1. С. 154–158.
17. Состав и распределение осадков Анапской пересыпи / Р. Д. Косьян [и др.] // *Океанология*. 2020. Т. 60, № 2. С. 302–314. doi:10.31857/S0030157420020057
18. *Харитонова Л. В., Фомин В. В.* Статистические характеристики ветрового волнения в прибрежной зоне Западного Крыма по данным ретроспективных расчетов за 1979–2010 гг. // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа*. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2012. Вып. 26. С. 24–33.
19. *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.
20. *Удовик В. Ф., Горячкин Ю. Н.* Межгодовая изменчивость вдольберегового потока наносов в береговой зоне Западного Крыма // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа*. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2013. Вып. 27. С. 363–368.
21. *Харитонова Л. В., Фомин В. В.* Пространственная структура потока наносов в береговой зоне Западного побережья Крыма по результатам численного моделирования // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа*. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2017. Вып. 1. С. 48–58.
22. *Олиферов А. Н., Тимченко З. В.* Реки и озера Крыма. Симферополь : Доля, 2005. 216 с.
23. *Гуров К. И.* Результаты мониторинга гранулометрического состава наносов береговой зоны Каламитского залива // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря*. 2018. № 3. С. 56–63. doi:10.22449/2413-5577-2018-3-56-63
24. *Горячкин Ю. Н., Долотов В. В.* Морские берега Крыма. Севастополь : Колорит, 2019. 256 с.

Об авторах:

Крыленко Вячеслав Владимирович, старший научный сотрудник, Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН (117997, г. Москва, Нахимовский проспект, д. 36), кандидат географических наук, **ORCID ID: 0000-0001-8898-8479**, **ResearcherID: N-1754-2017**, krylenko.slava@gmail.com

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**, yngor@mhi-ras.ru

Косьян Рубен Дереникович, главный научный сотрудник, Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН (117997, г. Москва, Нахимовский проспект, д. 36), доктор географических наук, **ORCID ID: 0000-0003-0788-6644**, **ResearcherID: C-5154-2014**, *rkosyan@hotmail.com*

Крыленко Марина Владимировна, ведущий научный сотрудник, Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН (117997, г. Москва, Нахимовский проспект, д. 36), кандидат географических наук, **ORCID ID: 0000-0003-4407-0548**, **ResearcherID: R-2210-2016**, *krylenko@mail.ru*

Харитоновна Людмила Викторовна, старший научный сотрудник, Морской гидрофизический институт РАН (299011, г. Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), кандидат географических наук, **ORCID ID: 0000-0003-0705-0812**, **ResearcherID: Y-1780-2018**, *kharitonova.dntmm@gmail.com*

Заявленный вклад авторов:

Крыленко Вячеслав Владимирович – постановка проблемы, обработка, анализ и описание результатов исследования, подготовка текста статьи и графических материалов

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

Косьян Рубен Дереникович – руководство проведением натуральных исследований, организация сбора информации для исследования, обсуждение результатов

Крыленко Марина Владимировна – обработка и анализ результатов натуральных исследований, подготовка текста статьи и списка литературы

Харитоновна Людмила Викторовна – сбор, систематизация и анализ литературных источников, подготовка данных по гидро-литодинамическому режиму

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Kosyan, R.D. and Krylenko, V.V., 2014. *The Current State of Marine Accumulative Shores of Krasnodar Region and their Use*. Moscow: Nauchnyy Mir, 256 p. (in Russian).
2. Kosyan, R.D., Goryachkin, Yu.N., Krylenko, V.V., Dolotov, V.V., Krylenko, M.V. and Godin, E.A., 2012. Crimea and Caucasus Accumulative Coasts Dynamics Estimation using Satellite Pictures. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 12, pp. 385–390. doi:10.4194/1303-2712-v12_2_26
3. Krylenko, M., Krylenko, V. and Kosyan, R., 2015. Accumulative Coast Dynamics Estimation by Satellite Camera Records. In: D. G. Hadjimitsis, K. Themistocleous, S. Michaelides, G. Papadavid, eds., 2015. *Proceedings of SPIE, Third International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment*. Paphos, Cyprus. Vol. 9535, 95351K. doi:10.1117/12.2192495
4. Krylenko, V.V., 2015. Seashore Dynamics of the Anapa Bay-Bar. *Oceanology*, 55(5), pp. 742–749. doi:10.1134/S0001437015050070
5. Boyko, E., Krylenko, V. and Krylenko, M., 2015. LIDAR and Airphoto Technology in the Study of the Black Sea Accumulative Coasts. In: D. G. Hadjimitsis, K. Themistocleous, S. Michaelides, G. Papadavid, eds., 2015. *Proceedings of SPIE, Third International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment*. Paphos, Cyprus. Vol. 9535, 95351Q. doi:10.1117/12.2192577
6. Kravtsova, V.I., Krylenko, V.V., Drugov, M.N. and Boyko, E.S., 2017. Investigation of Relief Dynamics at the North-Western Part of Anapa Bay Bar by Aerial Laser Scanning. *Geoinformatika*, (4), pp. 48–62 (in Russian).

7. Krylenko, V.V. and Krylenko, M.V., 2018. Experience of High-Accuracy Survey of the Bakalskaya Spit Relief. *Ecological Safety of the Coastal and Shelf Zones of the Sea*, (4), pp. 65–72. <https://doi.org/10.22449/2413-5577-2018-4-65-72> (in Russian).
8. Krylenko, V.V. and Rudnev, V.I., 2018. Technique of Photographic Aerial Survey of the Bakalskaya Spit. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (4), pp. 59–64. doi:10.22449/2413-5577-2018-4-59-64 (in Russian).
9. Krylenko, M. and Krylenko, V., 2020. Features of Performing High-Precision Survey of the Abrasion Coast Relief by UAV. *Bulletin of Science and Practice*, 6(2), pp. 10–19. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/51/01> (in Russian).
10. Krylenko, M. and Krylenko, V., 2019. Dynamics of Eolian Forms on Blagoveschensky Butte. In: Mediterranean Coastal Foundation, 2019. *Proceedings of the 14th MEDCOAST Congress on Coastal and Marine Sciences, Engineering, Management & Conservation*. Marmaris: Mediterranean Coastal Foundation. Vol. 2, pp. 543–551.
11. Goryachkin, Yu.N. and Ivanov, V.A., 2006. [*Black Sea Level: Past, Present and Future*]. Sevastopol: MHI NAS of Ukraine, 210 p. (in Russian).
12. Divinsky, B.V. and Kosyan, R.D., 2017. Long-Period Variability of Wave Conditions by Anapa Barrier Beach. In: I. G. Chaika, Yu. V. Efremov, L. A. Moreva, eds., 2017. [*Bulletin of the Krasnodar Regional Branch of the Russian Geographical Society*]. Krasnodar: Platonov, 9, pp. 65–69 (in Russian).
13. Divinsky, B.V. and Kosyan, R.D., 2020. Influence of the Climatic Variations in the Wind Waves Parameters on the Alongshore Sediment Transport. *Oceanologia*, 62(2), pp. 190–199. doi:10.1016/j.oceano.2019.11.002
14. Kosyan, R.D. and Fedorova, E.A., 2019. Deformation of the Submerged Slope of the Anapa Bay-Bar from 2012 to 2018. *Oceanology*, 59(5), pp. 764–770. <https://doi.org/10.1134/S0001437019050096>
15. Krylenko, V., Krylenko, M. and Kravtsova, V., 2020. Using of Remote Sensing Data to Study Transformation of the Solenoye Lake Bay-Bar. In: K. Themistocleous, G. Papadavid, S. Michaelides, V. Ambrosia, D. G. Hadjimitsis, eds., 2020. *Proceedings of SPIE, Eighth International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2020)*. Pathos, Cyprus. Vol. 11524, 115241L. <https://doi.org/10.1117/12.2569385>
16. Krylenko, V.V., Kochergin, A.D. and Krylenko, M.V., 2016. New Data on the Granulometric Composition of Sediments of the Anapa Bay Bar. *Oceanology*, 56(1), pp. 145–149. <https://doi.org/10.1134/S0001437016010070>
17. Kosyan, R.D., Kosyan, A.R., Krylenko, V.V. and Fedorova, E.A., 2020. Distribution and Composition of the Anapa Bay-Bar Sediments. *Oceanology*, 60(2), pp. 267–278. <https://doi.org/10.1134/S0001437020020058>
18. Kharitonova, L.V. and Fomin, V.V., 2012. Statistical Characteristics of Wind Waves in the Coastal Zone of the Western Crimea according to Retrospective Calculations for 1979–2010. In: MHI, 2012. *Ekologicheskaya Bezopasnost' Pribrezhnykh i Shel'fovykh Zon i Kompleksnoe Ispol'zovanie Resursov Shel'fa* [Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones and Comprehensive Use of Shelf Resources]. Sevastopol: ECOSI-Gidrofizika. Iss. 26, pp. 24–33 (in Russian).
19. Shuisky, Yu.D., 2005. Basical Peculiarities of Morphology and Dynamics of the Western Crimea Peninsula Coast. In: MHI, 2005. *Ekologicheskaya Bezopasnost' Pribrezhnykh i Shel'fovykh Zon i Kompleksnoe Ispol'zovanie Resursov Shel'fa* [Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones and Comprehensive Use of Shelf Resources]. Sevastopol: ECOSI-Gidrofizika. Iss. 13, pp. 62–72 (in Russian).

20. Udovik, V.F. and Goryachkin, Yu.N., 2013. [Interannual Variability of the Alongshore Sediment Flow in the Coastal Zone of the Western Crimea]. In: MHI, 2013. *Ekologicheskaya Bezopasnost' Pribrezhnykh i Shel'fovykh Zon i Kompleksnoe Ispol'zovanie Resursov Shel'fa* [Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones and Comprehensive Use of Shelf Resources]. Sevastopol: ECOSI-Gidrofizika. Iss. 27, pp. 363–368 (in Russian).
21. Kharitonova, L.V. and Fomin, V.V., 2017. Spatial Structure of Sediment Flow in the Coastal Zone of the Western Crimea on according Numerical Simulation. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, 1, pp. 48–58 (in Russian).
22. Oliferov, A.N. and Timchenko, Z.V., 2005. [*Rivers and Lakes of Crimea*]. Simferopol: Dolya, 216 p. (in Russian).
23. Gurov, K.I., 2018. Results of Sediment Granulometric Composition Monitoring in Coastal Zone of the Kalamitsky Bay. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (3), pp. 56–63. doi:10.22449/2413-5577-2018-3-56-63 (in Russian).
24. Goryachkin, Yu.N. and Dolotov, V.V., 2019. *Sea Coasts of Crimea*. Sevastopol: Colorit, 256 p. (in Russian).

About the authors:

Viacheslav V. Krylenko, Senior Research Associate, Shirshov Institute of Oceanology, RAS (36 Nakhimov Avenue, Moscow, 117997, Russian Federation), Ph.D. (Geogr.), **ORCID ID: 0000-0001-8898-8479**, **ResearcherID: N-1754-2017**, *krylenko.slava@gmail.com*

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**, *yngor@mhi-ras.ru*

Ruben D. Kosyan, Chief Research Associate, Shirshov Institute of Oceanology, RAS (36 Nakhimov Avenue, Moscow, 117997, Russian Federation), Dr.Sci. (Geogr.), Professor, **ORCID ID: 0000-0003-0788-6644**, **ResearcherID: C-5154-2014**, *rkosyan@hotmail.com*

Marina V. Krylenko, Leading Research Associate, Shirshov Institute of Oceanology, RAS (36 Nakhimov Avenue, Moscow, 117997, Russian Federation), Ph.D. (Geogr.), **ORCID ID: 0000-0003-4407-0548**, **ResearcherID: R-2210-2016**, *krylenko@mail.ru*

Ludmila V. Kharitonova, Senior Research Associate, Marine Hydrophysical Institute of RAS (2 Kapitanskaya St., Sevastopol, 299011, Russian Federation), Ph.D. (Geogr.), **ORCID ID: 0000-0003-0705-0812**, **ResearcherID: Y-1780-2018**, *kharonova.dntmm@gmail.com*

Contribution of the authors:

Viacheslav V. Krylenko – task setting, processing, analysis and description of research results, preparation of the text and graphic materials

Yuri N. Goryachkin – task setting, processing and analysis of literary sources, preparation of the article text

Ruben D. Kosyan – management of field research, organization of information collection for research, discussion of results

Marina V. Krylenko – processing and analysis of the results of field research, preparation of the text of the article and list of references

Ludmila V. Kharitonova – collection, systematization and analysis of literature sources, preparation of data on the hydro-lithodynamic regime

All the authors have read and approved the final manuscript.