

Природные условия и антропогенное изменение береговой зоны в районе пос. Кача

Ю. Н. Горячкин*, А. П. Федоров, В. В. Долотов, В. Ф. Удовик

Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия

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

Поступила 10.08.2020; принята к публикации 11.11.2020 г.; опубликована 25.12.2020 г.

При освоении еще не используемых участков береговой зоны перед научным сообществом встает задача выработки руководящих принципов хозяйствования, основанных на научных представлениях о рациональном природопользовании и на прогнозировании. Цель работы – дать характеристику природных условий, особенностей литодинамики и антропогенного воздействия на участке побережья, примыкающего к пос. Кача (регион Севастополя), показать на примере этого участка проблемы, возникающие при хозяйственном освоении побережья, и дать рекомендации по рациональному природопользованию. Анализировались данные повторных геоморфологических обследований, наблюдений за динамикой береговой линии на створах, измерений профилей пляжа, привлекались результаты тахеометрических и фотogramметрических съемок, космические снимки и другие материалы. Подробно рассмотрены геолого-геоморфологические условия и литодинамика. На изучаемом участке наблюдается сложная картина перераспределения объемов наносов, для нее характерна значительная сезонная и межгодовая изменчивость вдольбереговых миграций наносов. Средняя скорость отступления кромки клифа составляет: в северной части участка 0.43 м/год, в центральной – 0.04 м/год и в южной – 0.10 м/год. При этом в центральной части разрушение клифа происходит в результате осыпания грунта при отсутствии обвалов. По спутниковым данным, с 2004 по 2016 г. на отрезке длиной 2 км с центром у Немецкой балки среднее смещение бровки клифа составило около 0.27 м/год. Наиболее вероятное среднесезонное поступление наносов в результате разрушения клифов составляет около 6 000 м³/год. Приведенные ранее в литературе значения скорости отступления клифа и поступления наносов вследствие его разрушения не подтверждаются данными длительных наблюдений и представляются авторам существенно завышенными. Рассмотрены конкретные случаи опасных экзогенных процессов (обвалов) и современное антропогенное воздействие на береговую зону. Даны рекомендации по дальнейшему более эффективному хозяйственному освоению береговой зоны.

Ключевые слова: береговая зона, литодинамические процессы, антропогенное воздействие, пос. Кача, регион Севастополя.

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2020-0004.

© Горячкин Ю. Н., Федоров А. П., Долотов В. В., Удовик В. Ф., 2020



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

Для цитирования: 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

Natural Conditions and Anthropogenic Change of the Coastal Zone in the Area of Kacha Village

Yu. N. Goryachkin*, A. P. Fedorov, V. V. Dolotov, V. F. Udovik

Marine Hydrophysical Institute of RAS, Sevastopol, Russia

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

Submitted 10.08.2020; revised 11.11.2020; published 25.12.2020

Development of not yet used parts of the coastal zone poses the task of developing appropriate management principles based on scientific ideas and forecast. The aim of the work is to characterize natural conditions, features of lithodynamics and anthropogenic impact on the coastal area adjacent to the village of Kacha (Sevastopol region); using this site as a case, to demonstrate the problems arising out of economic development; and to give recommendations for rational use of natural resources. The data of repeated geomorphological surveys, observations of the coastline dynamics at the controls, measurements of the beach profiles were analyzed using the results of tacheometric and photogrammetric surveys, satellite images, and other materials. Geological and geomorphological conditions and lithodynamics are considered in detail. In the area under study, a complex pattern of redistribution of sediment volumes is observed; it is characterized by a significant seasonal and interannual variability of alongshore sediment migrations. The average rate of the cliff edge retreat is 0.43 m/year in the northern part of the site, 0.04 m/year in the central part and 0.10 m/year in the southern part. At the same time, the central part of the cliff falls due to soil crumbling in the absence of landslides. According to satellite data, over a 2 km area centered at the Nemetskaya Clough, average displacement of the cliff edge was about 0.27 m/year in the period from 2004 to 2016. The most probable average annual value of sediment input due to destruction of cliffs is about 6,000 m³/year. Provided earlier in the literature, the values of the cliff retreat and sediment influx due to its destruction are not confirmed by the data of long-term observations and seem to the authors to be significantly overestimated. Specific cases of hazardous exogenous processes (landslides) and current anthropogenic impact on the coastal zone are considered. Specific recommendations are given for further economic development of the coastal zone.

Keywords: coastal zone, lithodynamic processes, anthropogenic impact, Kacha, Sevastopol region.

Acknowledgments: the research is performed under State Order no. 0827-2020-0004.

For citation: Goryachkin, Yu.N., Fedorov, A.P., Dolotov, V.V. and Udovik, V.F., 2020. Natural Conditions and Anthropogenic Change of the Coastal Zone in the Area of Kacha Village. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (4), pp. 5–21. doi:10.22449/2413-5577-2020-4-5-21 (in Russian).

Введение

Человеческая деятельность оказывала влияние на прибрежную среду с тех пор, как люди начали ее освоение, но в последнее столетие антропогенное воздействие стало носить деструктивный характер. В настоящее время около 40 % населения Земли проживает в береговой полосе шириной

100 км [1]. В Крыму в такой полосе живет почти 100 % постоянного населения (2.5 млн чел.), однако непосредственно на побережье проживает примерно половина от этого количества. Ежегодно (преимущественно в летний сезон) на берегах Крыма отдыхает около 6 млн человек. Поэтому антропогенное давление на живые и неживые ресурсы прибрежной зоны весьма ощутимо. При этом оно непрерывно увеличивается вследствие роста населения, промышленного и жилищного строительства, а также развития автомобильного транспорта. Вполне очевиден спрос на разработку руководящих принципов хозяйствования, которые будут способствовать решению возникающих проблем. Существует обширная библиография, посвященная вопросу антропогенного воздействия на береговую зону, в Черном море оно типично для всего побережья и наиболее полно рассмотрено в главах монографии [2], посвященным причерноморским государствам. Там же отмечается, что, к сожалению, административные органы не всегда прислушиваются к рекомендациям ученых. Так, например, пляжный туризм, являющийся основным источником дохода для многих прибрежных поселений, может оказать существенное влияние на прибрежную среду, если не контролировать его масштабы и способы благоустройства. В пляжном туризме существуют четкие механизмы обратной связи: красивые пляжи привлекают людей, но слишком большой туристический поток снижает эту привлекательность. Поэтому бездумное наращивание дорогостоящей рекреационной инфраструктуры может привести к обратному результату – снижению числа отдыхающих, что в реальности наблюдается в некоторых районах Южного берега Крыма. Это только один пример нерационального природопользования, а в целом растущая антропогенная нагрузка на береговую зону ставит перед научным сообществом серьезную задачу разработки прогнозов воздействия на береговую зону при принятии различных управленческих решений. При этом прогноз должен базироваться на анализе многолетних наблюдений за тем или иным участком побережья, следовательно, встает еще одна задача – мониторинга береговой зоны, поскольку далеко не все участки побережья Крыма охвачены регулярными наблюдениями. Обсуждаемый ниже участок изучен лучше других, однако публикаций по нему почти нет. Даже в такой широко известной работе, как монография В. П. Зенковича [3], ему посвящено только два абзаца; отдельные сведения из ведомственных отчетов содержатся в работах [4, 5]. В статье [6] рассматриваются некоторые закономерности морфологии и динамики западного берега Крыма, в том числе и изучаемого в данной работе участка побережья, но, на наш взгляд, в ней содержатся ошибочные суждения, о которых речь пойдет ниже.

Цель статьи – дать характеристику природных условий, особенностей литодинамики и антропогенного воздействия на участке побережья, примыкающем к пос. Кача (регион Севастополя), показать на примере этого участка, какие проблемы могут возникать при хозяйственном освоении, и дать рекомендации по рациональному природопользованию. В работе использовались полученные авторами в последние десятилетия данные, которые включали в себя повторные геоморфологические обследования, наблюдения за динамикой береговой линии на створах и измерения профилей пляжа, анализ космических, тахеометрических и фотограмметрических съемок и другие материалы, в том числе и литературные.

До недавнего времени рассматриваемый участок не испытывал значительной антропогенной нагрузки и не привлекал особого внимания. Однако с началом XXI в. он, как один из немногих ландшафтов в Севастопольском регионе, сохранивших первозданный вид, стал объектом интереса инвесторов. Начатые в 2018 г. работы по террасированию берегового склона южнее пос. Кача вызвали острую критику со стороны общественности и научных кругов и вал публикаций в местных СМИ.

Геолого-геоморфологические условия

Рассматриваемое побережье с протяженностью береговой линии около 7 км расположено между м. Маргопуло и долиной р. Качи (рис. 1). Тип берега – абразионный, обвально-оползневой. Плато за верхней границей береговой зоны (за бровкой клифа) – почти горизонтальная плейстоценово-голоценовая поверхность со слабым уклоном на юго-запад. Со стороны моря поверхность плато ограничена обрывом с вертикальным уступом до средней части и далее крутым (до 50–60°) склоном до подошвы, которая частично задернована. В основании склона имеются волноприбойные абразионные ниши. Береговая линия слабо изрезана и имеет субмеридиональное простирание. Образование небольших мысов связано с залеганием в их основании устойчивых



Рис. 1. Космические снимки района у пос. Кача: *a* – 2004 г., *b* – 2019 г. Стрелкой показана Немецкая балка. Цифрами обозначены места наблюдений за положением кромки клифа

Fig. 1. Space images of the area near the village of Kacha: *a* – 2004, *b* – 2019. The arrow shows the Nemetskaya Clough. The numbers are the places of observation of the cliff retreat

к абразии пород песчаников, гравелитов и конгломератов, которые прослеживаются и на дне на некотором расстоянии от берега. На спутниковых снимках эти породы хорошо маркируются (рис. 1) пятнами донной растительности, в которых доминируют виды трептуканты бородатой (*Treptacantha barbata* (Stackhouse) Orellana & Sansón (по более ранней классификации *Cystoseira barbata*)) и карподесмии косматой (*Carpodesmia crinita* (Duby) Orellana & Sansón (по более ранней классификации *Cystoseira crinita*)), предпочитающей скальный (твердый) субстрат [7, 8]. (Видовая принадлежность макрофитов указана в соответствии с современными номенклатурными изменениями [9]).

Отложения пляжей (ширина от 10 до 25 м) представлены песками и гравийно-галечными накоплениями мощностью до 1.0–1.5 м. Поскольку высота обрывистого склона почти везде превышает ширину пляжа, при значительных обвалах клифа пляжи полностью перекрываются породами обрушения. В 2003 г. на юге участка пляж был в основном песчаный (~ 80 %), в средней части в его составе было 20 % песка, до 80 % гравия и гальки, на северном конце – 60 % гравия и гальки и 40 % песка. В апреле 2018 г. на юге участка преобладал песок (до 60–65 %), гравия было 35–40 %; в центральной части преобладали галька и гравий (до 70–90 %), песок составлял 10–30 %, в северной части участка указанных фракций было поровну. Отмечено до 1–2 % битой ракушки, современной и древней, что может свидетельствовать о слабой донной подпитке ею современного пляжа. При этом указанные фракции пляжных накоплений в плане располагаются в виде полос: вдоль уреза – гравийно-галечная часть, далее до подошвы клифа – песчаная, состоящая в основном из средне- и крупнозернистого песка и гравия. Наблюдения показывают, что существенных изменений фракционного состава пляжных накоплений за 2003–2018 гг. не произошло. Песчаная часть пляжа содержит от 5 до 35 % кварца и доли процента минералов тяжелых фракций (гидроокислы железа, магнетита, альминита, арагонита). Гравийно-галечная часть состоит из мраморовидного известняка (60–90 %), песчаника (5–15 %), кварца и кремния (10–30 %).

Территория исследуемого участка сложена толщей континентальных отложений таврской свиты среднего и верхнего плиоцена, перекрытых четвертичными суглинками (почвенно-растительный слой) мощностью от 0.5 до 2 м. Отложения таврской свиты, мощность которых местами более 50 м, представлены алевролитами, гравийно-галечниковыми отложениями и красновато-коричневыми глинами разной мощности. В толще алевролитов имеются невыдержанные прослои и линзы мелкогалечниковых конгломератов и песчаников.

Гравийно-галечниковые отложения в верхней части разреза имеют мощность 3–10 м. Преобладающая часть гравия и гальки состоит из верхнеюрского известняка (до 60 %) и песчаника (до 40 %), которые являются источником формирования гравийно-галечно-песчаных пляжей. Пестрый литологический состав отложений затрудняет инфильтрацию атмосферных осадков и фильтрацию грунтовых вод. Разгрузка вод происходит в виде каплеобразных высачиваний и струйчатых выходов воды вдоль подошвы обрыва в тыльной части пляжа.

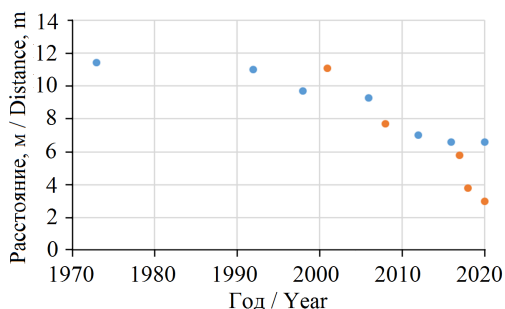
Южнее пос. Кача до 2018 г. располагалось естественное природное образование – эрозионная Немецкая балка. Ее название связано с существованием поблизости с XIX в. до 1941 г. поселения этнических немцев, которые занимались производством керамических изделий из высококачественной глины. Балка имела небольшую длину (до 30 м) с V-образным врезом, площадь ее водосбора составляла до 6000 м², при проведении сельскохозяйственных работ часть ее была выровнена. До настоящего времени сохранился водопропуск под шоссе с дорогой с. Орловка – пос. Кача, который ранее отводил ливневые стоки в балку.

У подошвы склона в районе Немецкой балки располагается прислоненный, неполного профиля односкатный пляж, ширина которого увеличивается с севера на юг от 10–12 м до 22–24 м при средней ширине 16 м с абсолютной отметкой поверхности у тыльной границы от 1.04 до 1.73 (среднее значение 1.4 м) и уклоне от 0.061 до 0.131 (при среднем значении 0.085), что соответствует приглубым берегам, подводная часть которых при таких уклонах надводного склона соответствует средним уклонам от 0.025 до 0.01 [3].

Литодинамические процессы

Динамика береговой линии (ширина пляжей) и изменения рельефа береговой зоны на рассматриваемом участке в значительной степени обусловлены вдольбереговым перемещением объемов прибрежно-морских наносов. Ранее в приходной части бюджета наносов заметную часть составляло поступление твердого стока р. Качи, но ввиду его зарегулированности подпитка пляжей за счет выноса из реки в настоящее время незначительна, а основным источником пополнения наносов являются продукты разрушения клифов и бенча.

С 1973 г. наблюдения за отступанием клифа нами проводятся в северной, центральной и южной частях изучаемой территории. Маяк на м. Маргопуло был построен в 1945 г., но впоследствии из-за отступления бровки клифа он был перенесен. В июле 2005 г. фундамент старого маяка оказался на бровке клифа, а в 2006 г. упал к его подножью. С 2001 г. замеры производятся



Р и с . 2 . Отметки расстояний от реперов до кромки клифа в северной (красные точки) и южной (синие точки) частях участка

F i g . 2 . Marks of distances from benchmarks to the cliff edge in the northern (red points) and southern (blue points) parts

от репера в створе с новым маяком (цифра 3 на рис. 1). По нашим данным, с 2001 по 2020 г. клиф отступил на 8.1 м со средней скоростью 0.43 м/год (рис. 2). Наблюдения, проводившиеся в 300 м южнее м. Маргопуло в 1998–2013 гг., показали среднюю скорость отступления клифа 0.16 м/год. В южной части участка, у навигационного знака (цифра 1 на рис. 1), за 1973–2020 гг. среднее отступление клифа составило 0.10 м/год (рис. 2). Из рисунка видно, что наибольшие скорости отмечались в 1992–2012 гг., когда они в среднем составили 0.21 м/год. Наблюдения в центральной части

участка (цифра 2 на рис. 1), на двух створах к югу и северу от кладбища, показали очень малые скорости отступания. Между 2001 и 2020 гг. они составили 0.03 и 0.05 м/год соответственно, причем в результате осыпания, а не обвалов. Дополнительно выполненная нами по спутниковым данным оценка суммарного отступания клифа на участке протяженностью 2 км с центром у Немецкой балки дала значение 0.27 м/год между 2004 и 2016 гг. В работе [6] для Качинского участка приводится значение отступания 1.2 м/год, которое нам представляется сильно завышенным. Здесь же приводится объем поступления пляжеобразующих фракций, равный 33 230 м³/год (в пересчете на длину участка). Наши оценки, сделанные исходя из скорости абразии и мощности галечникового слоя, дают существенно меньшие цифры. Нам представляется наиболее вероятным среднесуточный объем 6 000 м³/год с минимальным и максимальным значениями 3 000 и 9 000 м³/год соответственно (без учета уже не существующих клифов). Неопределенность этой оценки связана с двумя факторами: различной интенсивностью разрушения отдельных участков клифа и неравномерной толщиной слоев и линз галечников во вдольбереговом направлении.

Величина абразии бенча на сегодняшний день фактически не известна. Наблюдения за изменением мощности отложений придонного слоя по данным измерений на реперных полях, выполненные в 1986–1994 гг. МГИ АН УССР и Ялтинской партией «Крымморгеология», дали неоднозначные результаты. Ближайшее реперное поле располагалось у с. Андреевка и представляло из себя девять металлических стержней, вбитых в морское дно в шахматном порядке на площади 6 × 6 м². На фоне знакопеременных изменений мощности отложений среднесуточное уменьшение за этот период составило 2 см/год. Скорость донной абразии, определенная аналитическим методом [10] для Качинского участка, по мнению автора, составляет 2.48 см/год [6]. Такая точность сама по себе вызывает определенные сомнения. В этой же работе приводится объем поступающих от абразии бенча наносов – 13 500 м³/год.

Согласно существующим представлениям, рассматриваемое побережье находится в составе Качинского литодинамического участка ячейки второго уровня, который начинается у м. Коса Северная и заканчивается у мысов Лукулл и Керменчик [11]. Он приурочен к южному району единой аккумулятивно-абразионной литодинамической системы первого уровня Севастополь – Евпатория. Направление и интенсивность вдольбереговых потоков определяются характеристиками ветро-волнового режима на прилегающей акватории. Главными для движения наносов являются штормовые волнения от юго- и северо-запада.

Основные представления о движении наносов ранее были получены в работах [3, 6]. В [3] утверждается, что рассматриваемый участок относится к области зарождения вдольберегового потока наносов и к северу от устья р. Качи среднесуточный поток направлен на север. В [6], напротив, делается вывод, что к югу от м. Маргопуло на Качинском участке поток направлен на юг. Проведенные нами ранее исследования этого вопроса показали, что на рассматриваемом участке наблюдается более сложная картина перераспределения объемов наносов [12]. Сложность выражается в практически постоянном существовании нескольких ветвей различного направления

и переменной длины, а также возможности существования однонаправленных потоков как северного, так и южного направлений. За 1979–2008 гг. среднемноголетний поток наносов в северной части участка был направлен на север, в южной – на юг. Вместе с тем для района характерна значительная сезонная и межгодовая изменчивость направленности вдольбереговых потоков. Более подробно их особенности рассмотрены в работе [12]. Необходимо также отметить, что по косвенным геоморфологическим признакам вдольбереговой поток пляжевых наносов слабо насыщен.

Опасные экзогенные процессы

Наиболее активными процессами в естественных условиях для рассматриваемого района являются: береговая абразия (в том числе абразия бенча), обвалы и оползни в подошве клифа, а также вдольбереговой и поперечный перенос наносов. Первые три экзогенных процесса являются парагенетическими (взаимосвязанными и взаимно обусловленными), которые не только постоянно разрушают береговую полосу, но и представляют реальную опасность для жизни людей, как отдыхающих на пляже, так и находящихся в пределах прибрежной части обрыва.

Абразия является главным фактором, который определяет места, объемы и интенсивность обвальных процессов. Обвалы, приуроченные к активному клифу, формируются благодаря широкому развитию трещин бортового отпора, в результате чего на один погонный км побережья в период повышенной обвальной активности приходилось до двух и более обвалов в год, объемом в среднем до 1 000 м³ каждый, в результате чего бровка плато почти мгновенно отступает на 3–5 м. Ниже мы приводим примеры наиболее крупных обвалов в периоды купальных сезонов.

6 августа 1975 г. в южной части участка после ливневых осадков, выпавших накануне, произошел двойной обвал (с интервалом до 20 мин) блока длиной (вдоль бровки) 50 м и шириной до 5 м. Породы общим объемом около 3 000 м³ полностью перекрыли пляж, ширина которого составляла здесь около 15–20 м. В результате пригрузки старого оползня произошла его активизация в подошве склона. Старый оползень имел ширину в языковой части 150 м и длину по оси до 50 м. Оползень был активен на протяжении нескольких лет, в настоящее время он стабилен.

В сентябре 1977 г. в результате серии обвалов (общим объемом до 12 000 м³) возник небольшой оползень в 120 м к северу от Немецкой балки. Некоторые глыбы песчаника оказались в море, пляж был перекрыт на протяжении 30 м. Через 5–10 лет тело оползня почти полностью было размыто штормами. В июне 2005 г. в пос. Кача в результате обвала один человек погиб, еще один был травмирован.

В 2007 г. на участке мелкими обвалами было образовано два активных оползня площадью 250 и 600 м². Летом 2010 г. у северной границы участка произошел обвал объемом до 1000–1500 м³ (рис. 3). При этом никто не пострадал, так как отдыхающие обратили внимание на предвестников обвала – скатывание и осыпание мелких обломков. В августе 2012 г. здесь же произошел обвал объемом около 1000 м³, пострадавших не было.

Характерной особенностью многих крупных обвалов на этом участке побережья является то, что происходят они в два этапа: через несколько минут



Рис. 3. Последствия обвала в июле 2010 г.

Fig. 3. The aftermath of the July 2010 landfall

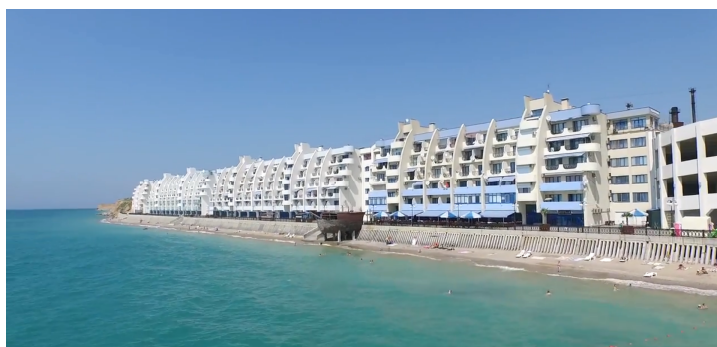
после первого обрушения происходит второй обвал, как правило, более крупный. Время между обвалами от нескольких до 20 мин.

Обвалам пород в значительной степени благоприятствуют трещины бортового отпора в прибровочной части обрыва, интенсивная инфильтрация ливневых атмосферных осадков, распашка территории под посадку сельскохозяйственных культур, а также несанкционированное складирование грунта в непосредственной близости от бровки. При наличии этих условий интенсивность разрушения клифа и, соответственно, скорость отступления бровки повышается в два раза и более по сравнению с участками, где подобные работы не производились.

Непосредственной причиной для обвалов может быть сильный ветер, штормовое волнение и ливневые осадки. Наблюдения показывают, что на рассматриваемом участке обычно присутствует до 15–20 отчлененных от плато и подготовленных к обрушению блоков длиной (вдоль бровки) от 3 до 47 м и шириной от 0.5 до 3 м. Суммарная длина всех блоков достигает 20 % от всей длины бровки обрыва. В среднем ежегодная подпитка пляжных и донных отложений на участке протяженностью 1.0 км в результате парагенетически действующих абразионных и обвально-оползневых процессов достигает 500–1500 м³ (глинистая фракция полностью уходит на глубину).

Антропогенное воздействие

Большая часть береговой линии рассматриваемого участка до настоящего времени не застроена. В северной части, южнее м. Маргопуло, располагается пос. Кача. В 2006–2014 гг. часть берега, примыкающего к пляжу, была закреплена сооружением апартаментов «Наш Парус» длиной 440 м (по проекту длина сооружения предполагалась 880 м). Поскольку по действующему на тот период законодательству любое строительство, кроме гидротехнического, в 100-метровой зоне от уреза запрещалось, официально это сооружение называется «Берегоукрепительные сооружения с помещениями для отдыха в пос. Кача» (рис. 4).



Р и с . 4 . Комплекс апартментов «Наш Парус» в пос. Кача

F i g . 4 . Recreation facilities *Nash Parus* in the village of Kacha

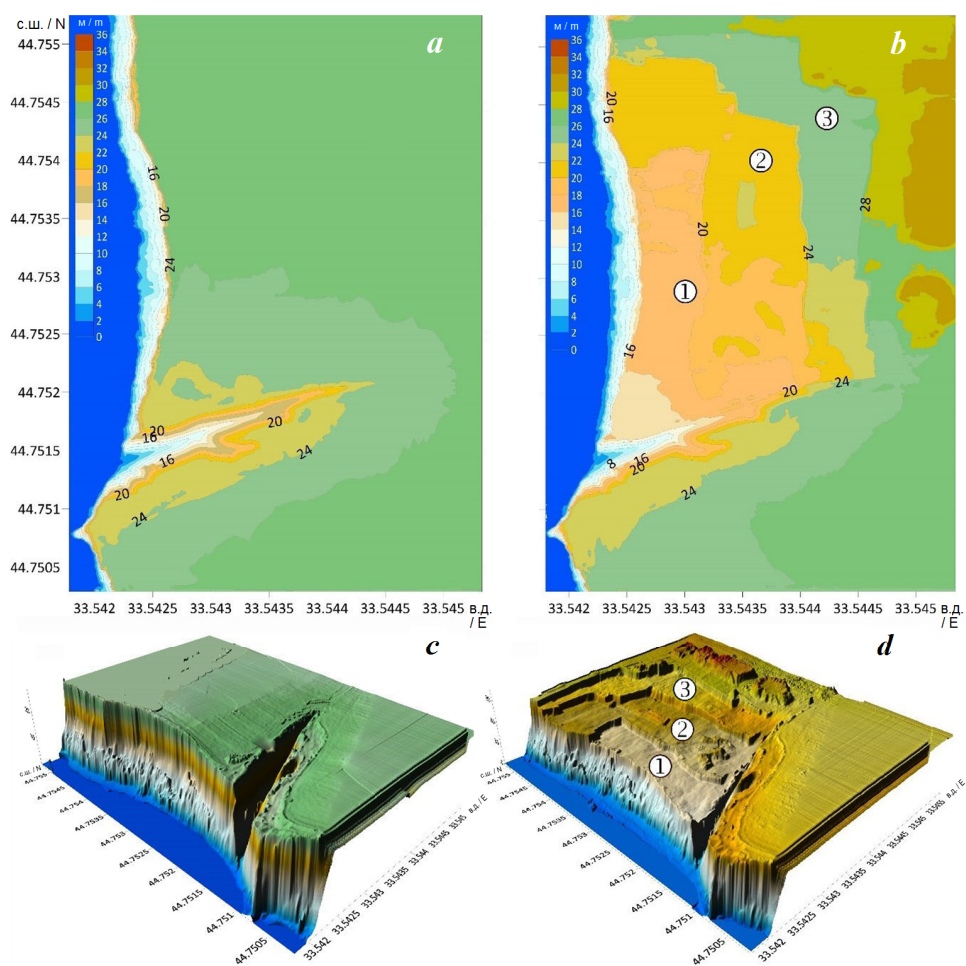
До начала строительства общая конфигурация береговой линии здесь имела незначительную вогнутость в центральной части, средняя ширина пляжа составляла около 15 м. В настоящее время ширина пляжа колеблется от 0 до 10 м, после завершения строительства береговой размыв к северу усилился.

Щелевые волногасящие камеры, лежащие в основе этого сооружения, в настоящее время находятся в относительно удовлетворительном состоянии, хотя в северной части уже начался процесс подмыва и истирания конструктивных элементов. Пока сохранности сооружения способствует обширная отмель, которая расположена непосредственно у фронта набережной, эффективно гасящая волновую энергию. Еще около 270 м берега блокировано частными дачными постройками, имеющими неэстетичный вид, законность которых много лет служит предметом судебных разбирательств. Таким образом, непосредственно в пос. Кача участок береговой линии длиной около 700 м не участвует в приходной части бюджета наносов. В южной части поселка на бровке клифа в обвалоопасной зоне располагаются жилые постройки, часть которых уже не эксплуатируется.

В январе 2018 г. по инициативе администрации пос. Кача под предлогом «предотвращения экзогенного процесса – обвалов» без достаточных законных оснований началось террасирование территории к северу от Немецкой балки, что вызвало многочисленные протесты общественности, обеспокоенной будущим пляжей, которые будут лишены естественной подпитки. К весне 2018 г. на плато фактически существовал карьер по добыче гравийно-галечного материала. По фронту клифа его длина составила немногим более 400 м, по тылу 300 м, ширина около 180 м.

Для определения объема вынутого грунта использовались данные двух натурных съемок, выполненных нами 14.09.2017 и 30.10.2018, при помощи геодезического GNSS-приемника *EFT M1*, работающего в режиме *RTK* [13–14], и беспилотного воздушного судна (дрона) *Phantom 3 Pro*, оснащенного камерой с разрешением 4000 × 3000 пикселей. Первый из них, оснащенный *GPS*-модулем, геодезически привязывался к наземной станции, расположенной в г. Бахчисарае, что позволило обеспечить точность определения положения точек на местности около 4 см по горизонтали и 10 см по вертикали (см. работу [15] и сайт Федеральной сети базовых станций (URL: <https://eft-cors.ru/index.php?id=83>)).

В обеих съемках, чтобы обеспечить точную привязку, по границам участка съемки и непосредственно по контуру балки устанавливались опознавательные знаки (*Ground Control Points, GCP*) для последующего использования в программе построения 3D-модели рельефа местности с использованием программы *PhotoScan* фирмы *Agisoft*. Фотоснимки с дрона, полученные с перекрытием 60 % как по направлению полетов, так и поперек, обрабатывались поэтапно с обеспечением их автоматического выравнивания, построения разреженного и плотного облаков точек, генерирования триангулярных сеток, карт высот и ортофотопланов. Предварительно в программе указывалось расположение опознавательных знаков и граница полигональной области, по которой вырезалась одна и та же пространственная область плотного облака. Полученные результаты представлены на рис. 5.



Р и с. 5. Модельные представления рельефа: ортогональные (*a, b*) и 3D (*c, d*); слева – 14.09.2017, справа – 30.10.2018. Цифрами в круге обозначены искусственные террасы

Fig. 5. Relief model representations: orthogonal (*a, b*) and 3D (*c, d*). Artificial terraces are marked with circled numbers. Left: 14.09.2017; right: 30.10.2018

На рисунке хорошо заметно совпадение изолиний для обеих съемок на южном, не затронутом террасированием участке. В карьере образованы три ступенчатые террасы с перепадом высот около 4 м (рис. 5, *b*, *d*). Отметки бровки клифа уменьшились с 24 до 16 м. Эта поверхность в основном совпадает с подошвой гравийно-галечниковых отложений, которые в результате отступления бровки питают окрестные пляжи. Поверхность пляжа и центральная часть подножья клифа приросли пляжным материалом, что объясняется осыпанием материала бровки клифа при производстве работ. Расчет общего изъятия материала показал, что оно составляет около 165 000 м³.

Возможно, это значение несколько занижено, так как максимальное изъятие грунта объемом 247 650 м³ выполнено на полигонах 1 и 2, при этом часть неуплотненного грунта складировалась на полигоне 3. Таким образом, из общей длины рассматриваемого участка побережья, равной 7 км, 1.1 км (или 16 %) навсегда выведены из приходной части бюджета наносов. Существуют планы расширить границы карьера еще на 800 м вплоть до южной границы пос. Кача. Они пока не реализуются, поскольку нет обоснованных планов дальнейшего использования этого побережья. С учетом перспективы продолжения строительства апартаментов «Наш Парус» общая длина берега, выводимого из приходной части бюджета наносов, может в будущем составить более 2.3 км или 33 %.

Интересно отметить и такой факт. С 2018 г. в районе Немецкой балки действует крупная (площадью 144 га) морская ферма по товарному выращиванию моллюсков, о чем предупреждают соответствующие надписи, запрещающие приближаться к урезу воды. Общеизвестно, что плантации для культивирования мидий оказывают влияние на гидробиологические и гидрохимические параметры морских экосистем в зоне их размещения, и оно не всегда положительное. Так, например, в Черном море под коллекторами и на прилегающей акватории накапливаются седиментационные материалы (около 12 т/га в год), состоящие из фекалий мидий (см. работу ¹⁾). Это еще раз свидетельствует об отсутствии комплексного плана дальнейшего использования береговой зоны на этом участке.

Необходимо отметить, что ранее в районах, примыкающих к рассматриваемому, в сходных геолого-геоморфологических условиях проводились работы по выполаживанию и террасированию берегового склона, которые подробно рассмотрены в [16]. Так, подобные работы проводились к югу от устья р. Бельбек с 1976 по 1978 г. К концу 1989 г. было закончено строительство набережной длиной 600 м и шести бун. Поскольку буны перехватывают поток наносов, пляж пос. Учкеевка, расположенный к югу, лишается в значительной степени подпитки пляжным материалом, и в настоящее время имеются признаки его деградации, пока еще не критичные. В 1982 г. такие же работы выполнялись на участке берега, выделенном под зону отдыха между м. Толстым (Бастионным) и Учкеевским оползнем, при этом было снято около 50 000 м³ грунта. К началу 90-х гг. были построены три буны и набережная длиной 250 м. Поставленная цель – создание зоны отдыха – была достигнута, негативное влияние на соседние участки берега

¹⁾ *Абаев В. Ю.* Влияние культивирования мидий на экосистемы Анапского шельфа Черного моря: дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16. Краснодар, 2001. 154 с.

незначительно, чему способствовала, видимо, малая мощность вдольберегового потока наносов. В 1979 г. такие же работы были проведены на пляже с. Андреевка. Позже, в 1992 г., здесь было закончено строительство трех бун. До 2000 г. наносами чаще заполнялись северные входящие углы бун, в последующие годы ситуация изменилась и начал заполняться входящий угол южной буны, что свидетельствует о значительной межгодовой изменчивости направления потока наносов, отмеченной выше. У северной буны пляж временами полностью отсутствует, в результате чего клиф здесь быстро отступает.

Полученный опыт выявил как положительные, так и отрицательные (в частности, неоправданно большую длину бун) стороны проведенных мероприятий. Однако во всех отмеченных случаях производству работ предшествовал анализ природных условий и проработка проектов. К сожалению, при террасировании в Немецкой балке конечная цель заявлена не была, плана дальнейших действий нет до сих пор, хотя после начала работ прошло три года.

Выводы и рекомендации

В настоящее время на отрезке побережья Севастопольского региона, простирающемся от м. Маргопуло до долины р. Качи, существуют протяженные участки природных пляжей, ограниченных в тыльной части клифом высотой порядка 20–30 м. Прислоненные пляжи имеют ширину от 10 до 25 м, сложены песками и гравийно-галечным материалом. Мощность слоя пляжевых наносов составляет до 1.0–1.5 м, и за 2003–2018 гг. существенных изменений фракционного состава не произошло.

Почти непрерывный слой гравийно-галечникового материала дислоцируется в верхней части клифа, имеет толщину от 3 до 10 м и является основным источником локальной подпитки пляжей, происходящей при разрушении клифа.

Динамика береговой черты, ширина пляжей и другие изменения рельефа береговой зоны в значительной степени обусловлены вдольбереговым перемещением объемов прибрежно-морских наносов. На рассматриваемом участке наблюдается сложная картина перераспределения объемов наносов, для которой характерна значительная сезонная и межгодовая изменчивость вдольбереговых миграций наносов.

После зарегулирования р. Качи подпитка пляжей за счет выноса терригенного материала с водами реки стала незначительной, и в настоящее время основным источником локального пополнения объемов пляжевых наносов являются продукты разрушения клифа. Средняя скорость отступления кромки клифа составляет: в северной части участка 0.43 м/год, в центральной – 0.04 м/год и в южной – 0.10 м/год. При этом в центральной части разрушение происходит в результате осыпания грунта при отсутствии обвалов. По спутниковым данным, на отрезке длиной 2 км с центром у Немецкой балки с 2004 по 2016 г. среднее смещение бровки клифа составило около 0.27 м/год. В связи с этим приводившееся ранее в литературе значение 1.2 м/год для Качинского участка представляется сильно завышенным.

Наиболее вероятное среднесуточное поступление наносов за счет разрушения клифов по нашим оценкам составляет порядка 6 000 м³/год и требует дальнейшего уточнения для более корректного расчета локального

бюджета прибрежно-морских наносов, определяющего состояние пляжей и их ширину. Приведенные ранее в литературе значения поступления наносов за счет разрушения клифов не подтверждаются данными длительных наблюдений и представляются авторам также существенно завышенными.

В настоящее время наблюдается тенденция увеличения антропогенной нагрузки на экосистему данного участка береговой зоны, активно разрабатываются и осуществляются проекты по освоению прибрежной полосы плато, развитию инфраструктуры, благоустройству береговой зоны и пляжей.

Закрепление берега в пос. Кача в результате строительства первой очереди набережной с берегозащитными сооружениями комплекса апартаментов «Наш Парус» и возведения примыкающих с юга эллингов с комнатами для отдыха привело к прекращению поступления обломочного материала с отрезка клифа длиной около 700 м. Это привело к сокращению приходной части бюджета наносов, в результате чего наблюдается устойчивая тенденция к сокращению средней ширины пляжей. При дальнейшем увеличении длины набережной до запланированных проектом значений еще больше сократится природное поступление пляжеобразующего материала, что приведет в ближайшее время к необходимости проведения как аварийных, так и регулярных искусственных подсыпок пляжевого материала.

Начатое в 2018 г. террасирование клифа, расположенного к северу от Немецкой балки, сейчас (2020 г.) временно остановлено. Оно сопровождалось вывозом галечно-гравийной смеси без ее резервирования, которое было крайне необходимо, чтобы компенсировать изъятие источника природного поступления пляжеобразующего материала. В случае продолжения террасирования следует учитывать большую вероятность быстрого сокращения ширины пляжей и интенсификации разрушения и отступления берегов на всем участке в районе пос. Кача.

В условиях отсутствия общей концепции защиты берегов в Севастопольском регионе необходимо расширить комплекс мониторинговых работ для оперативного контроля состояния прибрежной зоны. Это позволит также производить оценки эффективности проводимых берегозащитных мероприятий и их влияния на смежные отрезки береговой зоны, осуществлять обоснованную корректировку уже существующих проектных решений по благоустройству берегов, выработать научно обоснованную схему компенсационных мероприятий при работах по укреплению либо террасированию береговых склонов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Coastal Systems / T. Agardy [et al.] // *Ecosystems and Human Well-Being: Current State and Trends, Volume 1* / Eds R. Hassan, R. Scholes and N. Ash. Washington: Island Press, 2005. Chapter 19. P. 513–549. URL: https://www.researchgate.net/publication/292123520_Current_state_and_trends_assessment (date of access: 01.12.2020).
2. Coastal erosion and protection in Europe / Eds. E. Pranzini, A. Williams. London: Routledge, 2013. 488 p. <https://doi.org/10.4324/9780203128558>
3. *Зенкович В. П.* Морфология и динамика советских берегов Черного моря: в 2 т. Т. 2. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 216 с.
4. *Агаркова-Лях И. В.* Развитие экзогенных геологических процессов в береговой зоне Крыма от м. Лукулл до м. Константиновский // *Системы контроля окружающей среды*. 2017. Вып. 30. С. 58–67. doi:10.33075/2220-5861-2017-4-58-67

5. *Агаркова-Лях И. В.* Современное состояние береговой зоны Севастопольского региона и особенности ее антропогенного преобразования // *Культура народов Причерноморья*. 2007. № 118. С. 7–13.
6. *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.
7. *Pankeeva T. V., Mironova N. V.* Spatiotemporal changes in the macrophytobenthos of Laspi Bay (Crimea, Black Sea) // *Oceanology*. 2019. Vol. 59, no. 1. P. 86–98. doi:10.1134/S0001437019010168
8. *Панкеева Т. В., Миронова Н. В., Новиков Б. А.* Картографирование донной растительности бухты Круглая (г. Севастополь, Черное море) // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря*. 2019. Вып. 3. С. 61–71. doi:10.22449/2413-5577-2019-3-61-71
9. *Guiry M. D., Guiry G. M.* AlgaeBase : World-wide electronic publication. Galway : National University of Ireland, 2020. URL: <http://www.algaebase.org> (date of access: 15.04.2020).
10. *Шуйский Ю. Д.* Проблемы исследования баланса наносов в береговой зоне морей. Л. : Гидрометеиздат, 1986. 240 с. URL: http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/img-Z12093238.pdf (дата обращения: 07.11.2020).
11. *Горячкин Ю. Н., Долотов В. В.* Морские берега Крыма. Севастополь : Колорит, 2019. 256 с.
12. *Удовик В. Ф., Горячкин Ю. Н.* Оценки межгодовой изменчивости вдольберегового транспорта наносов на участке береговой зоны от Севастополя до Евпатории // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря*. 2015. № 1. С. 54–65.
13. GNSS RTK application to determine coastline case study at northern area of Sulawesi and Gorontalo / W. Nugraha [et al.] // *E3S Web of Conferences*. 2019. Vol. 94. 01016. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199401016>
14. Report on Surveying User. Needs and Requirements. EGSA, 2019, 66 p. URL: https://www.gsc-europa.eu/sites/default/files/sites/all/files/Report_on_User_Needs_and_Requirements_Mapping_Surveying.pdf (date of access: 01.12.2020).
15. *Taddia Y., Stecchi F., Pellegrinelli A.* Using DJI PHANTOM 4 RTK drone for topographic mapping of coastal areas // *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Enschede, the Netherlands, 2019. Vol. XLII-2/W13. P. 625–630. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W13-625-2019>
16. *Горячкин Ю. Н.* Берегозащитные сооружения Крыма: Западное побережье. Часть 2 // *Гидротехника*. 2016. № 2. С. 38–43. URL: <http://coast-crimea.ru/index.php/publications/send/7-publications/31-crimea-protection-facilities-western-coast-part-2> (дата обращения: 01.12.2020).

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**, yngor@mhi-ras.ru

Федоров Алексей Павлович, инженер, Морской гидрофизический институт РАН (299011, Россия, Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), fedia_39@mail.ru

Долотов Вячеслав Валентинович, старший научный сотрудник, Морской гидрофизический институт РАН (299011, Россия, Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), кандидат химических наук **ORCID ID: 0000-0002-1485-2883**, **ResearcherID: N-3047-2017**, dolotov_v_v@mhi-ras.ru

Удовик Владимир Федорович, младший научный сотрудник, Морской гидрофизический институт РАН (299011, Россия, Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), **ORCID ID:0000-0002-3832-2537**, **ResearcherID:AAV-7570-2020**, udovik_uvfv@mhi-ras.ru

Заявленный вклад авторов:

Горячкин Юрий Николаевич – постановка задачи, обработка и анализ материалов наблюдений, подготовка текста статьи

Федоров Алексей Павлович – обработка и анализ материалов наблюдений

Долотов Вячеслав Валентинович – обработка и анализ материалов наблюдений

Удовик Владимир Федорович – обработка и анализ материалов наблюдений

REFERENCES

1. Agardy, T., Alder, J., Dayton, P., Curran, S., Kitchingman, A., Wilson, M., Catenazzi, A., Restrepo, J., Birkeland, C. [et al.], 2005. Coastal Systems. In: R. Hasan, R. Scholes, A. Neville, eds., 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends*, Vol. 1. Washington : Islandpress, pp. 513–549. Available at: https://www.researchgate.net/publication/292123520_Current_state_and_trends_assessment [Accessed: 01 December 2020].
2. Pranzini, E. and Williams, A., eds., 2013. *Coastal Erosion and Protection in Europe*. London: Routledge, 488 p. <https://doi.org/10.4324/9780203128558>
3. Zenkovich, V.P., 1960. [*Morphology and Dynamics of the Soviet Black Sea Coast, Vol. 2*]. Moscow: AS USSR Publ., 216 p. (in Russian).
4. Agarkova-Lyakh, I.V., 2017. Development of Exogenous Geological Processes in Coastal Zone of Crimea from Cape Lukull to Cape Konstantinovskij. *Monitoring Systems of Environment*, 30, pp. 58–67. doi:10.33075/2220-5861-2017-4-58-67 (in Russian).
5. Agarkova-Lyakh, I.V., 2007. [Contemporary State in the Coastal Zone of Sevastopol region and Particularities of Anthropogenic Change]. *Culture of Black Sea People = Kultura Narodov Prichernomoria*, 118, pp. 7–13 (in Russian).
6. Shuisky, Yu.D., 2005. Basic Peculiarities of Morphology and Dynamic 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).
7. Pankeeva, T.V. and Mironova, N.V., 2019. Spatiotemporal Changes in the Macrophytobenthos of Laspi Bay (Crimea, Black Sea). *Oceanology*, 59(1), pp. 86–98. doi:10.1134/S0001437019010168
8. Pankeeva, T.V., Mironova, N.V. and Novikov, B.A., 2019. Mapping of Bottom Vegetation of Kruglaya Bay (the Black Sea, Sevastopol). *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (3), pp. 61–71. doi:10.22449/2413-5577-2019-3-61-71 (in Russian).
9. Guiry, M.D. and Guiry, G.M., 2020. *AlgaeBase. World-wide Electronic Publication*. Galway: National University of Ireland. Available at: <http://www.algaebase.org> [Accessed: 15 April 2020].

10. Shuisky, Yu.D., 1986. *Problems of Drifts Balance Investigation in Coastal Zone*. Leningrad: Gidrometeoizdat, 240 p. (in Russian).
11. Goryachkin, Yu.N. and Dolotov, V.V., 2019. *Sea Coasts of Crimea*. Sevastopol: Colorit, 256 p. (in Russian).
12. Udovik, V.F. and Goryachkin, Yu.N., 2015. Estimations of Interannual Variability of Longshore Sediment Transport on the Sector of Coastal Zone from Sevastopol to Yevpatoriya. In: MHI, 2015. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*. Sevastopol: ECOSI-Gidrofizika. Iss. 1, pp. 55–65 (in Russian).
13. Nugraha, W., Parapat, A.D., Arum, D.S. and Istighfarini, F., 2019. GNSS RTK Application to Determine Coastline Case Study at Northern Area of Sulawesi and Gorontalo. *E3S Web of Conferences*, 94, 01016. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199401016>
14. EGSA, 2019. *Report on Surveying User Needs and Requirements*. EGSA, pp. 66. Available at: https://www.gsc-europa.eu/sites/default/files/sites/all/files/Report_on_User_Needs_and_Requirements_Mapping_Surveying.pdf [Accessed: 01 December 2020].
15. Taddia, Y., Stecchi, F. and Pellegrinelli, A., 2019. Using DJI PHANTOM 4 RTK Drone for Topographic Mapping of Coastal Areas. In: G. Vosselman, S.J. Oude Elberink and M.Y. Yang, eds., 2019. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Enschede, the Netherlands. Vol. XLII-2/W13, pp. 625–630. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W13-625-2019>
16. Goryachkin, Yu.N., 2016. Coast Protections of Crimea: West Coast. Part 2. *Hydrotehnika*, (2), pp. 38–43. Available at: <http://coast-crimea.ru/index.php/publications/send/7-publications/31-crimea-protection-facilities-western-coast-part-2> [Accessed: 01 December 2020] (in Russian).

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**, yngor@mhi-ras.ru

Alexey P. Fyodorov, engineer, Marine Hydrophysical Institute of RAS (2 Kapitanskaya St., Sevastopol, 299011, Russian Federation), fedia_39@mail.ru

Vyacheslav V. Dolotov, Senior Research Associate, Marine Hydrophysical Institute of RAS (2 Kapitanskaya St., Sevastopol, 299011, Russian Federation), Ph.D. (Chem.) **ORCID ID: 0000-0002-1485-2883**, **ResearcherID: N-3047-2017**, dolotov_v_v@mhi-ras.ru

Vladimir F. Udovik, Junior Research Associate, Marine Hydrophysical Institute of RAS (2 Kapitanskaya St., Sevastopol, 299011, Russian Federation), **ORCID ID: 0000-0002-3832-2537**, **ResearcherID: AAV-7570-2020**, udovik_uvfv@mhi-ras.ru

Contribution of the authors:

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

Alexey P. Fyodorov – processing and analysis of the observation materials

Vyacheslav V. Dolotov – processing and analysis of the observation materials

Vladimir F. Udovik – processing and analysis of the observation materials

All the authors have read and approved the final manuscript.