

ПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ДИНАМИКА ГЕОСИСТЕМ

УДК 624.131.1(478.9)

DOI: 10.18384/2712-7621-2022-3-6-23

ОЦЕНКА АБРАЗИОННОЙ ОПАСНОСТИ БЕРЕГОВ ЮГО-ЗАПАДНОГО КРЫМА

Новиков А. А.^{1,3}, Каширина Е. С.^{1,4}, Голубева Е. И.², Тикунов В. С.²

¹ *Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, филиал в г. Севастополе
229001, г. Севастополь, ул. Героев Севастополя, д. 7, Российская Федерация*

² *Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова
119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, Российская Федерация*

³ *Институт природно-технических систем
299011, г. Севастополь, ул. Ленина, д. 28, Российская Федерация*

⁴ *Севастопольский государственный университет
299053, г. Севастополь, ул. Университетская, д. 33, Российская Федерация*

Аннотация

Цель. Оценка рисков, связанных с абразионными процессами побережья юго-западного Крыма на основе материалов наземных и разновременных дистанционных данных.

Процедура и методы. Анализ динамики линий уреза воды и кромки береговых уступов за период 2009–2019 гг. проведён на основе данных космических и аэрофотоснимков. Оценка физического риска потери земель осуществлена на основе данных о скорости отступления линии уреза и изрезанности береговой линии. Показатель удельного риска учитывает не только скорость развития процесса, но и ширину пляжа и протяжённость сектора.

Результаты. Представлены результаты оценки абразионной опасности юго-западного Крыма. Рассмотрена береговая зона юго-западного Крыма от м. Сарыч до м. Тюбек протяжённостью 92 км. Получены данные о гранулометрическом составе пляжевых отложений, ширине пляжа и абразионного уступа и их динамике за период 2009–2019 гг. По гранулометрическому составу преобладают пляжи, сложенные песчано-галечными отложениями (40%), меньше приходится на галечно-валунные пляжи (35%). Минимальная (менее 0,5 м) ширина пляжа характерна для абразионных берегов на участке от м. Херсонес до м. Айя, максимальная (до 110 м) – в устьевой зоне рек Кача и Бельбек. Оценка физического и удельного риска потери земель рассчитана на основании средних скоростей отступления берега, положения береговой линии (экспозиция, изрезанность), геолого-гео-

© СС ВУ Новиков А. А., Каширина Е. С., Голубева Е. И., Белоусов С. К., 2022.

морфологических особенностей и степени освоенности побережья. Участки со значимыми показателями ($>0,1 \text{ м}^2/\text{год}$) физического риска абразии занимают 29% всей береговой линии г. Севастополя.

Теоретическая и/или практическая значимость. Применён дифференцированный подход к управлению прибрежной зоной с учётом степени рисков, разработкой планов территориального развития.

Ключевые слова: абразия, берег, геоэкологический риск, космоснимки, Крым

Благодарности. Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда «Разработка концепции, технологий и сервисов атласной информационной системы нового поколения для мониторинга характеристик экологического состояния регионов и городов Европы и России» (проект № 20-47-01001).

ASSESSMENT OF THE ABRASION HAZARD OF THE COAST OF THE SOUTH-WESTERN CRIMEA

A. Novikov^{1,3}, E. Kashirina^{1,4}, E. Golubeva², V. Tikunov²

¹ *Lomonosov Moscow State University (Branch in Sevastopol)
ul. Geroev Sevastopolya 7, Sevastopol 229001, Russian Federation*

² *Lomonosov Moscow State University
Leninskie gory 1, Moscow 119991, Russian Federation*

³ *Institute of Natural and Technical Systems
ul. Lenina 28, Sevastopol 299011, Russian Federation*

⁴ *Sevastopol State University
ul. Universitetskaya 33, Sevastopol 299053, Russian Federation*

Abstract

Aim. We assess the risks associated with abrasion processes on the coast of the South-Western Crimea on the basis of ground-based and multi-temporal remote data.

Methodology. The dynamics of the water's edge lines and the edge of the coastal ledges for the period from 2009 to 2019 is analyzed using the data from space and aerial photographs. The physical risk of land loss is assessed on the basis of data on the rate of retreat of the coastline and its indentation. The specific risk indicator takes into account not only the speed of the process development, but also the width of the beach and the length of the sector.

Results. The paper presents the results of the assessment of the abrasion hazard of the South-Western Crimea. The coastal zone of the South-Western Crimea from Cape Sarych to Cape Tyubek with a length of 92 km is considered. Data are obtained on the granulometric composition of beach sediments, the width of the beach and abrasion scarp, and their dynamics for the period from 2009 to 2019. The granulometric composition is dominated by beaches composed of sand and pebble deposits (40%), and less accounted for by pebble and boulder beaches (35%). The minimum (less than 0.5 m) width of the beach is characteristic of abrasion coasts in the area from Cape Khersones to Cape Aya, while the maximum (up to 110 m) width is in the estuarine zone of the Kacha and Belbek rivers. The assessment of the physical and specific risk of land loss is calculated based on the average rates of coastal retreat, the position of the coastline (exposure, indentation), geological and geomorphological features, and the degree of

development of the coast. Areas with significant indicators ($>0.1 \text{ m}^2/\text{year}$) of the physical risk of abrasion occupy 29% of the entire coastline of the city of Sevastopol.

Research implications. The theoretical and/or practical significance of the obtained results lies in a differentiated approach to coastal zone management, taking into account the degree of risk and the development of territorial development plans.

Keywords: coastal erosion, coast, geocological risk, satellite imagery, Crimea

Acknowledgments. The work was supported by the Russian Science Foundation (Grant No. 20-47-01001).

*Посвящается памяти профессора Евгения Ивановича Игнатова –
Учителя, коллеги и друга*

Введение

Природные условия побережья юго-западного Крыма способствуют активизации морской абразии. Неоднородность геолого-геоморфологического строения побережья и вынос взвешенного материала самыми полноводными реками полуострова (Чёрная, Бельбек, Кача) приводят к увеличению скорости абразии.

Проблеме оценки морской абразии юго-западного Крыма уделяется большое внимание, что связано, в первую очередь, с высоким экономическим потенциалом береговой зоны: вдоль побережья сосредоточена большая часть населения Крымского полуострова, и потеря части земельных ресурсов провоцирует социальную напряжённость. В последнее десятилетие опубликован ряд работ [1–3, 5–7; 9; 12], посвящённых оценке состояния береговой зоны Севастопольского региона и скорости абразии. Однако недостаточно внимания уделено проблеме оценки рисков для побережья Севастополя – города федерального значения и самого крупного населённого пункта Крыма.

Цель настоящего исследования – оценка рисков, связанных с абразион-

ными процессами побережья юго-западного Крыма на основе материалов наземных и разновременных дистанционных данных.

Оценка береговой зоны юго-западного Крыма

Объект исследования – береговая зона юго-западного Крыма от м. Сарыч до м. Тюбек протяжённостью 92 км за исключением Севастопольской бухты, отличающейся незначительной скоростью абразии из-за изолированности акватории и высокой степени антропогенной преобразованности берегов – причалов, городских набережных и других урбанизированных объектов.

В основу работы положены картографические источники и данные дистанционного зондирования Земли: архивы немецкой аэрофотосъёмки Севастополя 1942 г., космические снимки высокого разрешения (1–2,5 м на пиксель) в видимом диапазоне за 2009 и 2019 гг., мультиспектральные снимки среднего разрешения (10 м на пиксель) с космического аппарата Sentinel-2 за период 2016–2020 гг., а также авторские тематические цифровые карты г. Севастополя – карты

риска развития оползней, развития карста и суффозии, оценки геозологических рисков г. Севастополя [10].

Наземные материалы включают результаты полевых наблюдений авторов в экспедициях 2017–2019 гг., проведённых на ключевых участках в районе Немецкой балки и пляжа Учкучевка для определения тенденций развития абразионно-гравитационных процессов. Фиксировался гранулометрический состав пляжевого материала (песчано-галечный, галечно-валунный, коренной), тип грунтов, формирующих абразионные уступы (рыхлые, скальные выветрелые, скальные монолитные), а также происхождение пляжей и клифов (естественное или искусственное).

На первом этапе по аэро- и космоснимкам оцифрованы линии уреза моря, тыловой зоны заплеска и бровки абразионных клифов. Для обработки материалов использован программный продукт QGIS 3.10.4. В результате получены данные о состоянии береговой зоны за 1942, 2009, 2019 гг.

На втором этапе оценены морфометрические характеристики берега: ширина пляжа от уреза моря до линии заплеска, расстояние от линии заплеска до кромки берегового уступа, высота клифа.

На третьем этапе проведён анализ динамики линий уреза воды и кромки береговых уступов за 2009–2019 гг. Дальнейшие расчёты проведены для участков, на которых диапазон значений поперечных смещений линий превышал 2 м. При этом необходимо отметить, что большая часть побережья Севастополя (от м. Константиновский до м. Коса Северная и от м. Херсонес до м. Сарыч) отличается крайне низ-

кой степенью изменчивости: максимальные значения отступления береговой линии за весь период наблюдений не превышали 1 м.

Оценка рисков рассчитана на основании средних скоростей динамики береговой линии, её положения (экспозиции, изрезанности), геолого-геоморфологических особенностей и степени освоённости побережья [4; 8; 11; 14].

Оценка физического риска потери земель проведена на основе данных о скорости отступления линии уреза и изрезанности береговой линии [13]:

$$R_f(H) = V_n \cdot P(V_n) \cdot k_t \cdot P(L) \cdot L_t \quad (1)$$

где:

V_n – средняя скорость абразии сектора (м/год);

$P(V_n)$ – вероятность реализации этой скорости (принята за 1, т. к. в расчёт принимается среднегодовая скорость абразии, полученная за период 10 лет);

$P(L)$ – геометрическая вероятность линейного поражения участка побережья (сектора);

L_t – общая протяжённость сектора (м).

В связи с неоднородностью береговой линии введён дополнительный коэффициент изрезанности (k_t), учитывающий степень вогнутости/выпуклости береговой черты (2, 3):

$$k_t = 2 - L_{min}/L_t \quad (2)$$

$$k_t = L_{min}/L_t \quad (3),$$

где:

L_{min} – минимальное расстояние (по прямой) между границами сектора.

Уравнение (2) применимо для мысов, где происходит конвергенция волноприбойной силы, усиливающей процессы абразии, (3) – для заливов, в

которых абразия ослабляется из-за дивергенции фронта волны.

Для оценки устойчивости территории к воздействию абразионной опасности рассчитан показатель удельного риска, учитывающий не только скорость развития процесса, но и ширину пляжа и протяжённость сектора. Удельное значение риска вычисляется по формуле (4):

$$R_{sf}(H) = R_f(H) / S_n, \quad (4)$$

где:

S_n – площадь пляжа каждого сектора (m^2).

Общепринятой классификации степени абразионной опасности не существует, в связи с этим авторами предложена своя классификация, основанная на 5 диапазонах значений удельного риска, сгруппированных по принципу наименьшего разброса значений внутри класса. На основе метода оптимизации Дженкса [15] береговая линия по величине удельного риска ранжирована на 5 классов:

- с нулевым ($<0,001 m^2/m^2 \cdot год$);
- низким ($0,001-0,005 m^2/m^2 \cdot год$);
- средним ($0,005-0,012 m^2/m^2 \cdot год$);
- высоким ($0,012-0,025 m^2/m^2 \cdot год$);
- крайне высоким ($>0,025 m^2/m^2 \cdot год$) риском.

По величине физического риска выделены участки с нулевым ($<0,1 m^2/год$); низким ($0,1-78 m^2/год$); средним ($78-212 m^2/год$); высоким ($212-424 m^2/год$); крайне высоким ($>424 m^2/год$) риском.

Гранулометрический состав и ширина пляжей. По гранулометрическому составу (рис. 1) преобладают пляжи, сложенные песчано-галечными отложениями (40%), меньше приходится

на галечно-валунные пляжи (35%). Побережье, сформированное коренными породами (в т. ч. гравитационно-оползневыми валунно-глыбовыми отложениями), занимает оставшиеся 25% береговой линии (рис. 1).

Наиболее протяжёнными оказались участки побережья с шириной пляжа от 5 до 15 м. Ширина пляжей Севастополя колеблется от 0,5 м до 110 м, причём наибольшая их варибельность, как пространственная, так и временная (в первую очередь, сезонная), отмечается к северу от Севастопольской бухты (рис. 2).

Минимальная ($<0,5 м$) ширина пляжа характерна для абразионных берегов на участке Гераклеяского полуострова от м. Херсонес до м. Айя и мысов Северной стороны (рис. 1). Максимальная ширина пляжа (до 110 м) отмечается в устьевой зоне рек Кача и Бельбек.

Динамика уреза. Анализ современной динамики уреза показал, что его большая часть слабо подвержена изменениям. Около 75% протяжённости линии уреза моря характеризуется незначительными изменениями ($\pm 1 м$ от линии 2009 г.). Протяжённость участков, на которых были зафиксированы значительные изменения в береговой линии ($>2 м$ по нормали), составила 23,2 км, причём области аккумуляции и абразии занимают приблизительно одинаковую протяжённость (11% и 14% всей длины побережья соответственно).

Важно отметить, что максимальные значения сдвига уреза отмечаются севернее м. Константиновский и достигают 14 м за 10 лет. Побережье южнее отличается относительной устойчивостью со средней скоростью отступления до 0,01 м/год. Это связано, в первую очередь, с гео-

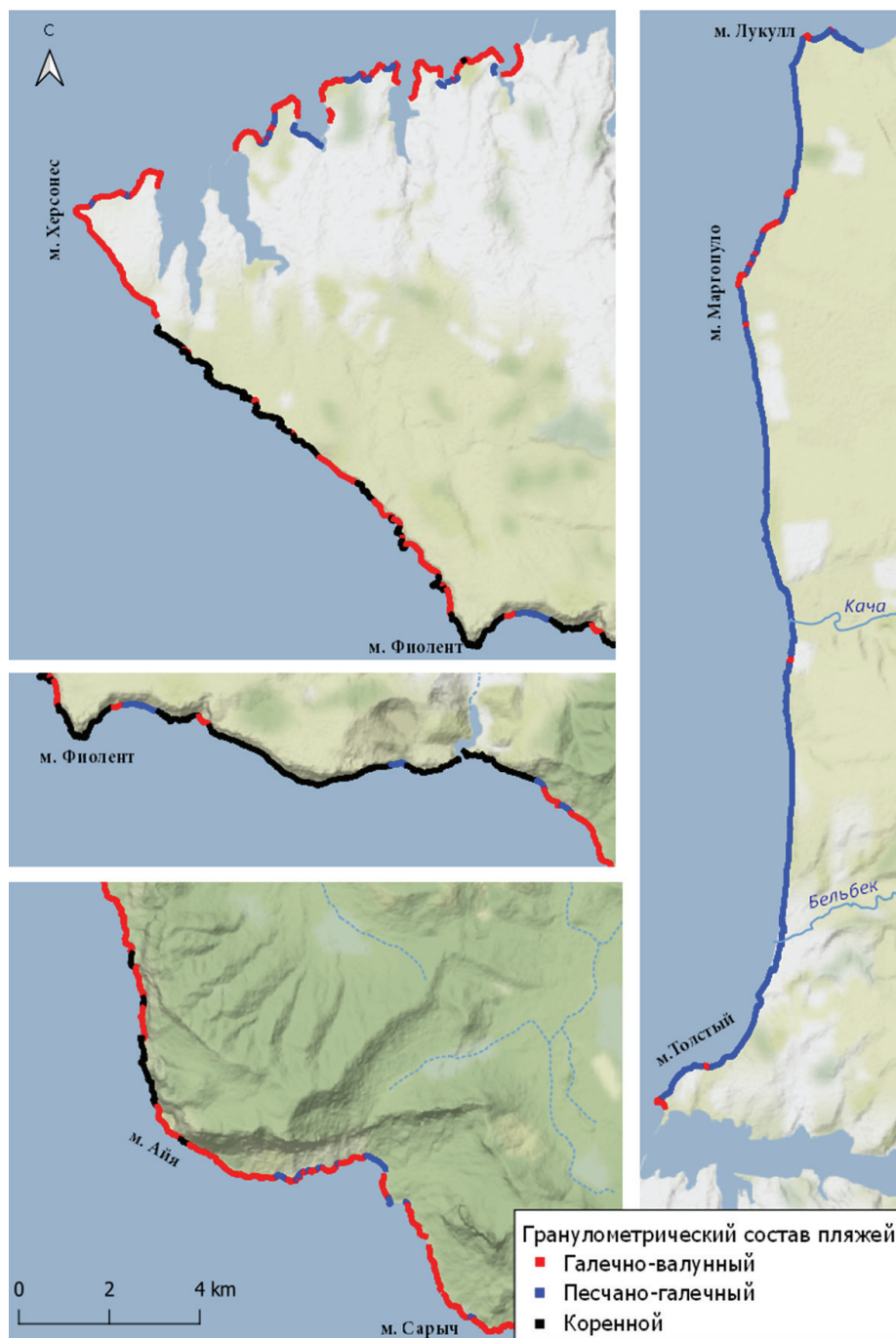


Рис. 1 / Fig. 1. Гранулометрический состав пляжей / Granulometric composition of beaches

Источник: составлено авторами

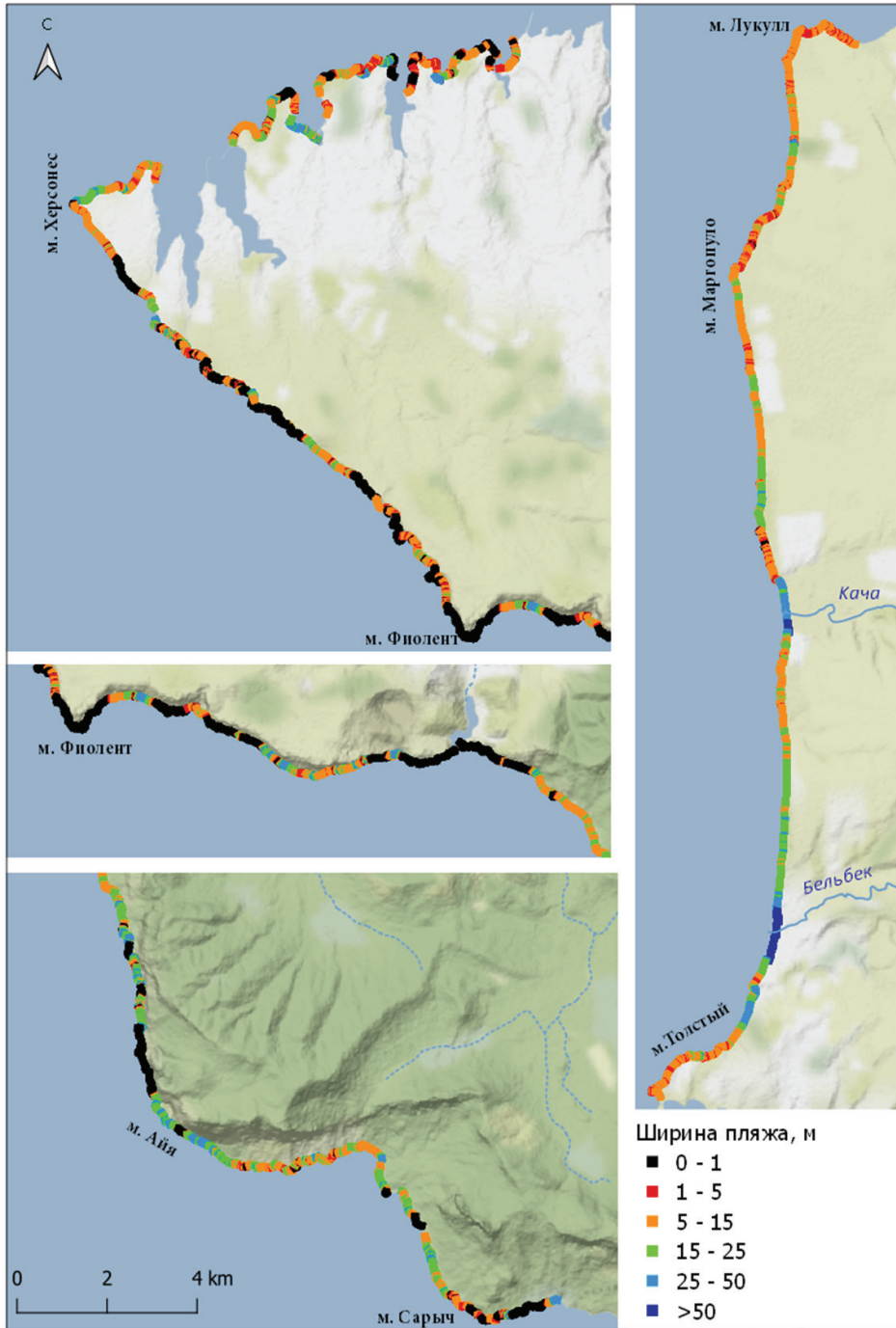


Рис. 2 / Fig. 2. Средняя ширина пляжей / Average width of beaches

Источник: составлено авторами

логическим строением берега. В отличие от берегов северной части Севастополя, сложенных рыхлыми грунтами, берега Гераклеяского полуострова и побережье от Балаклавы до Сарыча представлены, в основном, известняками, песчаниками и конгломератами.

Динамика береговых уступов. Береговые абразионные уступы формируют тыловую часть пляжа на 80% всей изучаемой береговой линии. Они отсутствуют только в устьевых областях речных долин, а также на преобразованных террасированных склонах Гераклеяского полуострова и Северной стороны г. Севастополя. Временной анализ показал, что суммарная протяжённость линии активного сдвига (более 1 м за 10 лет) составила 4,3 км

(почти 6% от всей протяжённости уступов), средняя скорость – 0,4 м/год. Однако необходимо учесть, что обвально-оползневые процессы, вызывающие смещение бровки уступа, протекают локально и мгновенно, охватывая участки побережья протяжённостью не более 50 м, при этом остальная часть клифа может оставаться в устойчивом состоянии в течение длительного срока. Наиболее активно линия бровки уступа смещается на участке побережья от м. Толстый до м. Тюбек, сложенного рыхлыми осадочными породами.

Оценка рисков. На основе геологического строения и литодинамических процессов выделено 12 секторов, для которых проведён расчёт абразионного риска (табл. 1).

Таблица 1 / Table 1

Литодинамическая характеристика исследуемых секторов / Lithodynamic characteristics of the studied sectors

№	Местоположение сектора	Тип отложения*	Длина сектора, км	Доля участков абразии, %	Средняя ширина пляжа, м	Ср. скорость абразии, м/год	Максимальная скорость абразии, м/год
1	м. Херсонес – м. Сарыч м. Коса Северная – м. Константиновский	3	63,57	0,2	9	<0,01	<0,01
2	м. Константиновский – пляж турбазы «Севастополь» у м. Толстый («Толстяк»)	3	0,64	31,3	7	0,30	0,45
3	Пляж турбазы «Севастополь» у м. Толстый («Толстяк») – урочище Учкучевка	1	2,29	12,3	9	0,31	1,13
4	Пляж Учкучевка – юг пляжа Любимовка	1	1,59	29,0	23	0,44	0,85
5	Пляж Любимовка	1	1,49	0	71	-	-
6	Север пляжа Любимовка – устье р. Кача	1	5,42	47,4	17	0,80	2,20
7	Устье р. Кача – пляж Орловка	1	1,75	15,0	33	0,55	1,03
8	Север пляжа Орловка – юг пгт Кача	1	5,04	13,6	13	0,39	0,63
9	пгт Кача – м. Маргопуло	1	1,74	32,6	11	0,37	0,62
10	м. Маргопуло – юг пляжа Андреевка	3	1,93	30,6	7	0,39	0,96
11	Пляж Андреевка – м. Лукулл	1	3,52	13,3	12	0,32	0,73
12	м. Лукулл – м. Тюбек	2	2,52	38,7	7	0,368	0,83

*1 – песчано-галечный, 2 – песчано-галечно-валунный, 3 – смешанный

Источник: составлено авторами

Как видно, абразионные участки занимают 7,86% протяжённости берега, на отдельных участках достигая 39–47%.

Участки со значимыми показателями ($>0,1 \text{ м}^2/\text{год}$) физического риска абразии занимают 29% всей береговой линии г. Севастополя (табл. 2).

Физический риск. Минимальные значения физического риска абразии

(71,1% береговой линии) получены для юго-западного побережья от м. Сарыч до м. Константиновский, представляющего собой абразионно-денудационные или абразионно-оползневые участки берега с узкой полосой галечно-валунных пляжей (1-й сектор), а также аккумулятивной устьевой зоны р. Бельбек (5-й сектор) (рис. 3). Общая

Таблица 2 / Table 2

Оценка природного риска абразии и степени абразионной опасности / Assessment of the natural risk of abrasion and the degree of abrasion hazard

№ сектора	Местоположение сектора	Геометрическая вероятность $P(L)$	Кэф. извилистости k_t	Физ. риск $R_f(H)$ $\text{м}^2/\text{год}$	Уд. риск $R_s(H)$, $\text{м}^2/\text{м}^2 \cdot \text{год}$	Степень абразионной опасности
1	м. Херсонес – м. Сарыч м. Коса Северная – м. Константиновский	0,002	1,49	$<0,1$	$<0,0001$	незначительная
2	м. Константиновский – пляж турбазы «Севастополь» у м. Толстый («Толстяк»)	0,313	0,59	35,4	0,0080	средняя
3	Пляж турбазы «Севастополь» у м. Толстый («Толстяк») – урочище Учкучевка	0,123	0,89	78,2	0,0038	низкая
4	Пляж Учкучевка – юг пляжа Любимовка	0,290	0,97	198,4	0,0054	средняя
5	Пляж Любимовка	0,000	1,00	0,0	0,0000	незначительная
6	Север пляжа Любимовка – устье р. Кача	0,474	0,98	2014,5	0,0219	высокая
7	устье р. Кача – пляж Орловка	0,151	0,94	135,4	0,0024	низкая
8	север пляжа Орловка – юг пгт Кача	0,136	1,03	277,1	0,0042	низкая
9	пгт Кача – м. Маргопуло	0,326	1,02	211,8	0,0110	средняя
10	м. Маргопуло – юг пляжа Андреевка	0,306	1,12	261,3	0,0193	высокая
11	Пляж Андреевка – м. Лукулл	0,134	0,96	144,1	0,0034	низкая
12	м. Лукулл – м. Тюбек	0,387	1,32	471,7	0,0268	крайне высокая

Источник: составлено авторами

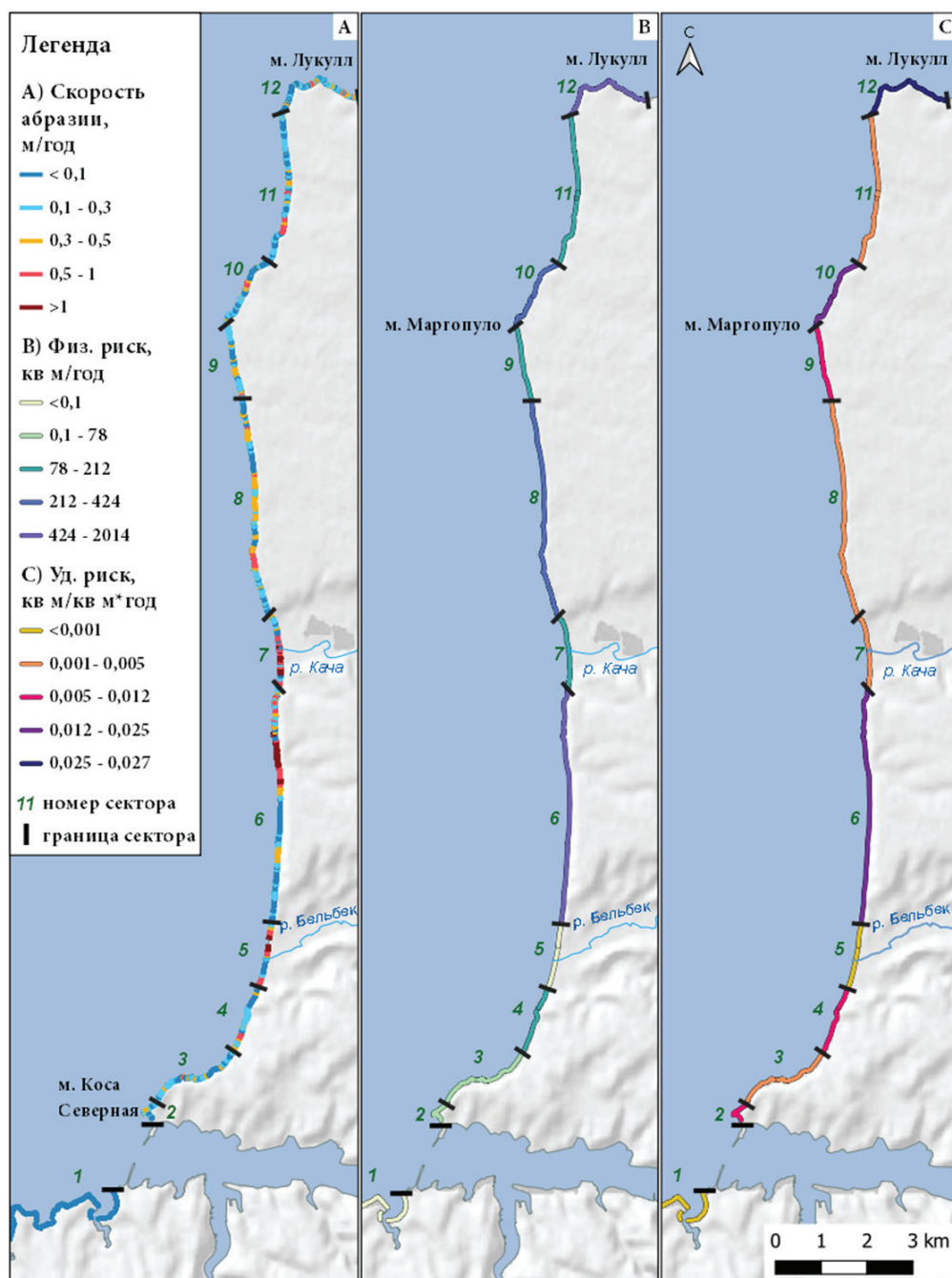


Рис. 3 / Fig. 3. Скорость абразии (А), удельного (В) и физического (С) рисков абразии Севастополя (фрагмент) / Rate of abrasion (A), and specific (B) and physical (C) risks of abrasion of Sevastopol (fragment)

Источник: составлено авторами

протяжённость участков абразии в 1-м секторе составляет 0,2% от всей длины, на 5-м секторе отрицательные смещения уреза отсутствуют.

Низкие показатели физического риска (3,2% береговой линии) характерны для 2-го и 3-го секторов – участки побережья от м. Константиновский до пляжа Учкueвка (рис. 4). Здесь отмече-

но чередование участков аккумуляции и абразии. Протяжённость абразионных участков – 31% и 12% длины соответствующих секторов. Необходимо отметить тенденцию к выдвигению береговой линии во 2-ом секторе (м. Толстый – Учкueвка) за счёт «выдавливания» подножия оползневого склона.



Рис. 4 / Fig. 4. Берег с низкой степенью абразионной опасности / Low Abrasion Hazard Coast

Источник: фото Е. С. Кашириной

Средние значения физического риска (9,4% береговой линии) отмечаются в районе пляжей Учкueвки и Андреевки (4-й и 11-й сектора соответственно), а также устьевой зоны р. Кача (7-ой сектор) (рис. 5). В пределах 4-го и 11-го секторов вогнутая береговая линия приводит к дивергенции волноприбойной энергии, уменьшая тем самым силу воздействия на побережье; кроме того, абразия частично компенсирует-

ся вдольбереговым потоком наносов с соседних секторов. Относительно высокие скорости смещения береговой линии (до 10 м за 10 лет) 7-го сектора объясняются локальными геодинамическими процессами устьевой зоны и имеют временный характер. Сравнение летних снимков 2019 и 2020 гг. подтверждают это – отрицательное смещение (отступление) береговой линии сменилось на положительное.



Рис. 5 / Fig. 5. Абразионный берег со средними значениями физического риска /
Abrasion coast with average physical risk values

Источник: фото Д. В. Шамрея

К берегам с высокими показателями физического риска (7,6% береговой линии) относится участок побережья от с. Осипенко до Андреевки (8–10 сектора) и самый северный (12-й) сектор побережья в районе м. Лукулл (рис. 6). Несмотря на высокие скорости смещения, на отрезке 8–10 секторов за счёт разрушения обвальнo-абразионного клифа в тыловой части пляжа формируются участки аккумуляции, разрушаемые в период осенне-зимних штормов. Для 12-го сектора характерна большая протяжённость абразионных участков (39%) при средних скоростях смещения линии уреза (0,37 м/год); рефракция волн вокруг мыса, усиливающая волноприбойный эффект, а также дивергенция потока наносов приводят к формированию узкого (до 7 м ширины) песчано-галечно-валунного пляжа.

Максимальные значения (8,7% береговой линии) приходится на 6-й сектор (рис. 7). Аккумуляция здесь практически отсутствует, а абразионные участки занимают 48% всей длины сектора. Высокие скорости смещения линии уреза, вероятно, связаны с отсутствием пляжеобразующего материала – из-за широкого пляжа (от 4 до 27 м) подпитка пляжа материалом из абразионного клифа возможна только в сильные шторма.

Удельный риск. Степень абразионной опасности, выраженная не через средние скорости отступления береговой линии, а через показатель удельного риска (с учётом скорости развития процесса, но и ширину пляжа и протяжённость сектора), позволяет определить наиболее уязвимые участки побережья, отличающиеся друг от друга как очертаниями, так и протяжённостью.



Рис. 6 / Fig. 6. Берег с высокими показателями физического риска / Coast with high physical risk values

Источник: фото Е. С. Кашириной



Рис. 7 / Fig. 7. Берег с максимальными значениями физического риска / Coast with maximum physical risk values

Источник: фото С. А. Свирина

Сектора с незначительной степенью опасности представляют собой либо устойчивые к абразии коренные берега (1-й сектор), либо устьевые области рек, абразия в пределах которых компенсируется аккумуляцией речных наносов (5-й сектор). В первом случае формируются обрывистые берега с узкими валунно-галечными пляжами, во втором – широкие песчаные пляжи полного профиля.

Низкая степень абразионной опасности характерна для секторов со слабоогнутой конфигурацией берега, сложенных слоистыми отложениями глин и песчаников, бронированными в основании более прочными конгломератами (3-м, 8-м, 11-м). Эти сектора отличаются относительно широкими пляжами неполного профиля с обвально-оползевым клифом в тыловой части, являющимся основным источником пляжевого материала. К этому же классу опасности относится устьевая зона р. Кача. Причины относительно высоких значений удельного риска на этом участке указаны выше.

Средняя степень риска абразионной опасности отмечается во 2-м, 4-м и 9-х секторах. Второй сектор представляет собой мыс, сильно выступающий в сторону моря, узкий галечно-валунный пляж находится под воздействием волноприбойных сил сразу с нескольких направлений, подпитка пляжевым материалом практически отсутствует. 4-й сектор кардинально отличается от 2-го: пляж сложен песчано-галечными отложениями, имеет прямой профиль с неглубокой бухтой в центральной части. К северу от неё участок берега укреплен берегозащитными сооружениями (поперечные буны и волноотбойные стенки), клиф террасирован и залесён.

По факту эта часть берега стабилизирована, и расчёт рисков проведён для оставшегося участка. Южная часть сектора представляет собой широкий (до 35 м) пляж неполного профиля, прислонённого к уступу низкой террасы, выполняющей днище широкой ложбинообразной балки. Уступ террасы и верхняя часть пляжа «стихийно» застроены вереницей разнородных рекреационных объектов, нарушающих морфолитодинамическое равновесие пляжа и регулярно разрушаемых штормами [9]. Побережье 9-го сектора также сильно преобразовано. В южной части естественный обвально-оползневой клиф был скрыт, а его подножие было укреплено. Незащищённый пляж, в условиях отсутствия подпитки материалом со склонов абразионного уступа, быстро деградировал. К северу от освоенного участка обвально-оползневые процессы сохранили свою активность, и подпитка пляжа продолжается, а смещение береговой линии не столь интенсивно.

Высокая степень абразионной опасности наблюдается в 6-м и 10-м секторах. Именно в 6-м секторе отмечаются самые высокие для всего побережья г. Севастополя скорости абразии (0,8 м/год – средняя, 2,2 м/год – максимальная). Однако из-за большой протяжённости и прямолинейной формы береговой линии, а также относительно широкого пляжа (более 10 м) удельные величины риска здесь сопоставимы с 10 сектором, узкий (<10 м), извилистый пляж которого отступает со значительно меньшими скоростями (0,35–0,4 м/год). Оба сектора характеризуются большой протяжённостью участков размыва (47% и 31% длины соответствующего сектора).

Крайне высокая степень абразионной опасности отмечается на м. Лукулл. Несмотря на то, что коренной берег сложен песчаниками, а карманные пляжи, тянущиеся вдоль всего побережья, сложены глыбами, галькой и крупным песком, волноприбойная сила активно разрушает как сам пляж, так и абразионно-обвальнй клиф, служащий основным источником пляжевого материала. Ширина пляжа колеблется от 2 до 11 м, максимальная скорость абразии – 0,83 м/год.

Выводы

Проведённые исследования позволили выявить следующие особенности побережья юго-западного Крыма и оценить абразионную опасность:

1. около 75% побережья г. Севастополя находится в относительно стабильном состоянии, межгодовая динамика смещения береговой линии не превышает 0,05 м/год, однако этот процесс, как правило, однонаправлен и приводит к отступанию берегов;

2. наиболее динамически неустойчивые участки береговой линии локализованы к северу от Севастопольской бухты. Сложенные слабосцементированными галечниками, суглинками и глинами, они слабо противостоят волновой деятельности и активно размываются в период зимних штормов. Твёрдый сток 3 самых полноводных

рек Крыма, впадающих в Чёрное море на этом участке берега, не может компенсировать отток наносов вниз по подводному склону. Процессы стабильной аккумуляции наблюдаются только в пределах устьевых зон рек;

3. наиболее уязвимые для абразии берега – вдоль мысов Коса Северная, Маргопуло, Лукулл, а также побережье между устьевыми зонами рек Кача и Бельбек. Именно на этом отрезке абсолютные значения потерь от абразии максимальны – более 2000 м²/год;

4. влияние антропогенной деятельности на динамику береговой зоны не всегда однозначно – наиболее освоенные участки селитебных зон (например, мкр-н Радиогорка, мкр-н Учкеевка, пгт Кача) имеют средние показатели риска, однако потенциальный экономический ущерб для этих районов может быть значительно выше, чем для всей остальной территории.

Необходим дифференцированный подход к управлению прибрежной зоной с учётом степени рисков: размещение берегоукрепительных сооружений на участках высокого и максимального риска.

Полученные данные позволят учесть показатели риска при разработке схем генерального планирования и территориального развития города.

Статья поступила в редакцию 01.09.2022

ЛИТЕРАТУРА

1. Агаркова-Лях И. В. Многолетняя динамика берегов Севастополя между м. Лукулл и м. Сарыч (по материалам разновременных исследований) // Закономерности формирования и воздействия морских, атмосферных опасных явлений и катастроф на прибрежную зону РФ в условиях глобальных климатических и промышленных вызовов («Опасные явления»): материалы Международной научной конференции (г. Ростов-на-Дону, 13–23 июня 2019 г.). Ростов н/Д: Изд-во ЮНЦ РАН, 2019. С. 148–150.
2. Агаркова-Лях И. В. Развитие экзогенных геологических процессов в береговой зоне Крыма от м. Лукулл до м. Константиновский // Системы контроля окружающей среды. 2017. № 10. С. 58–67.

3. Горячкин Ю. Н., Долотов В. В. Морские берега Крыма. Севастополь: ООО «КОЛОРИТ», 2019. 256 с.
4. Донцова О. Л., Панина О. В., Николашин Н. В. Основные аспекты прогноза динамики изменения инженерно-геологических условий Краснодарского водохранилища // Сергеевские чтения: геоэкологические аспекты реализации национального проекта «экология». Диалог поколений: сборник трудов конференции / отв. ред. В. И. Осипов. М., 2020. С. 227–232.
5. Игнатов Е. И., Орлова М. С., Санин А. Ю. Береговые морфосистемы Крыма. Севастополь: НПЦ ЭКОСИ-Гидрофизика, 2014. 266 с.
6. Игнатов Е. И., Лукьянова С. А., Соловьева Г. Д. Морские берега Крыма // Геоморфология. 2016. № 1. С. 55–63.
7. Использование лазерного сканирования для оценки динамики абразионно-оползневых процессов в прибрежной зоне Севастополя / В. С. Исаев, Е. И. Игнатов, А. А. Новиков, Е. С. Каширина, В. Трачук, Р. М. Аманжуров, Е. И. Горшков, Вербовский В. В. // Интеркарто. Интергис. 2020. Т. 26. № 2. С. 322–334. DOI: 10.35595/2414-9179-2020-2-26-322-334
8. Луговой Н. Н. Типизация, районирование и состояние морских берегов Севастополя // Геоморфологи: К юбилейному XXXV Пленуму Геоморфологической комиссии РАН в Симферополе. Т. 7. / отв. ред. Э. А. Лихачёва, М. Е. Кладовщикова. М.: Медиа-ПРЕСС, 2016. С. 131–139.
9. Мысливец В. И. Взаимоотношения природы и человека на побережье юго-западного Крыма // Электронное научное издание Альманах Пространство и Время. Вып. 1: Крымоведение: пространство и время Крыма. 2017. Т. 14. URL: http://www.j-space-time.com/actual%20content/t14v1/PDF/2227-9490e-aprov_r_e-ast14-1.2017.14.pdf (дата обращения: 06.10.2022).
10. Новиков А. А., Игнатов Е. И., Каширина Е. С. Оценка скорости отступления берегов юго-западного Крыма по данным дистанционного зондирования Земли // Естественные и технические науки. 2021. № 2. С. 116–119.
11. Панина О. В., Донцова О. Л., Кириллюк Д. А. Оценка геоэкологического риска оползневых процессов на территории Таманского полуострова // Геология, география и глобальная энергия. 2020. № 1. С. 172–177.
12. Садыкова Г. Э., Иваненко Т. А. Оценка экологического риска прибрежных территорий от процесса абразии // Строительство и техногенная безопасность. 2016. № 2. С. 92–97.
13. Оценка и управление природными рисками. Тематический том / под ред. А. Л. Рагозина. М.: Издательская фирма «КРУК», 2003. 320 с.
14. DaSilva M., DaSilva G. M., Hesp P. A., et al. Assessing Shoreline Change using Historical Aerial and RapidEye Satellite Imagery (Cape Jaffa, South Australia) // Journal of Coastal Research. 2021. № 37-3. P. 468–483.
15. Jenks G. F. The Data Model Concept in Statistical Mapping // International Yearbook of Cartography. 1967. № 7. P. 186–190.

REFERENCES

1. Agarkova-Lyakh I. V. [Long-term dynamics of the coast of Sevastopol between Cape Lukull and Cape Sarych (based on studies of different times)]. In: *Zakonomernosti formirovaniya i vozdeistviya morskikh, atmosferynykh opasnykh yavlenii i katastrof na pribrezhnuyu zonu RF v usloviyakh globalnykh klimaticheskikh i industrialnykh vyzovov* (“Opasnye yavleniya”): *materialy Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii (g. Rostov-na-Donu, 13–23 iyunya 2019 g.)* [Regularities of the formation and impact of marine, atmospheric hazards and disasters on the coastal zone of the Russian Federation in the context of global climatic and industrial

- challenges (“Dangerous phenomena”): materials of the International Scientific Conference (Rostov-on-Don, June 13-23, 2019)]. Rostov n/D, Izdatelstvo UNC RAN, 2019, pp. 148–150.
2. Agarkova-Lyakh I. V. [Development of exogenous geological processes in the coastal zone of Crimea from cape Lukull to cape Konstantinovskiy]. In: *Sistemy kontrolya okruzhayushchei sredy* [Environmental control systems], 2017, no. 10, pp. 58–67.
 3. Goryachkin Yu. N., Dolotov V. V. *Morskie berega Kryma* [Sea coast of Crimea]. Sevastopol, OOO «COLORIT», 2019. 256 p.
 4. Dontsova O. L., Panina O. V., Nikolashin N. V. [Main aspects of forecasting the dynamics of changes in engineering-geological conditions of the Krasnodar reservoir]. In: Osipov V. I., ed. *Sergeevskie chteniya: geokologicheskie aspekty realizatsii natsionalnogo proyekta “ekologiya”*. *Dialog pokolenii: sbornik trudov konferentsii* [Sergeev readings: geocological aspects of the implementation of the National Project “Ecology”. Dialogue of Generations: Proceedings of the Conference]. Moscow, RUDN Publ., 2020, pp. 227–232.
 5. Ignatov E. I., Orlova M. S., Sanin A. Yu. *Beregovye morfosistemy Kryma* [Coastal morpho-systems of Crimea]. Sevastopol, SPC ECOSI-Hydrophysics Publ., 2014. 266 p.
 6. Ignatov E. I., Lukyanova S. A., Solov'eva G. D. [Sea coasts of Crimea]. In: *Geomorfologiya* [Geomorfologiya], 2016, no. 1, pp. 55–63.
 7. Isaev V. S., Ignatov E. I., Novikov A. A., Kashirina E. S., Trachuk V., Amanzhurov R. M., Gorshkov E. I., Verbovskiy V. V. [Use of laser scanning to evaluate the dynamics abrasion-landslide processes in the coastal zone of Sevastopol]. In: *Interkarto. Intergis* [Intercarto. Intergis], 2020, vol. 26, no. 2, pp. 322–334. DOI: 10.35595/2414-9179-2020-2-26-322-334
 8. Lugovoi N. N. [Typification, regionalization and state of the sea coasts of Sevastopol]. In: Likhacheva E. A., Kladovshchikova M. E., eds. *Geomorfologi: K yubileinomu XXXV Plenumu Geomorfologicheskoi komissii RAN v Simferopole. T. 7* [Geomorphologists: To the Jubilee 35th Plenum of the Geomorphological Commission of the Russian Academy of Sciences in Simferopol. Vol. 7] Moscow, Media-PRESS Publ., 2016, pp. 131–139.
 9. Myslivets V. I. [The relationship between nature and man on the coast of the Southwestern Crimea]. In: *Elektronnoe nauchnoe izdanie Almanakh Prostranstvo i Vremya. Vyp. 1: Krymovedenie: prostranstvo i vremya Kryma* [Electronic scientific publication Almanac Space and Time. Iss. 1: Crimean studies: space and time of Crimea], 2017. vol. 14. Available at: http://www.j-spacetime.com/actual%20content/t14v1/PDF/2227-9490e-aprov_r_e-ast14-1.2017.14.pdf (accessed: 06.10.2022).
 10. Novikov A. A., Ignatov E. I., Kashirina E. S. [Assessment of geocological risks of urbanized coastal territories]. In: *Estestvennye i tekhnicheskie nauki* [Geopolitics and ecogeodynamics of regions], 2018, no. 4, pp. 100–108.
 11. Panina O. V., Dontsova O. L., Kirilyuk D. A. [Assessment of the geocological risk of landslide processes on the territory of the Taman Peninsula]. In: *Geologiya, geografiya i global'naya energiya* [Geology, geography and global energy], 2020, no. 1, pp. 172–177.
 12. Sadykova G. E., Ivanenko T. A. [Assessment of the ecological risk of coastal areas from the abrasion process]. In: *Stroitelstvo i tekhnogennaya bezopasnost* [Construction and technogenic safety], 2016, no. 2, pp. 92–97.
 13. Ragozin A. L., ed. *Otsenka i upravlenie prirodnyimi riskami. Tematicheskii tom* [Assessment and management of natural risks. Thematic volume]. Moscow, Izdatelskaya firma “KRUK”, 2003. 320 p.
 14. DaSilva M., DaSilva G. M., Hesp P. A., et al. Assessing Shoreline Change using Historical Aerial and RapidEye Satellite Imagery (Cape Jaffa, South Australia). In: *Journal of Coastal Research*, 2021, no. 37-3, pp. 468–483.
 15. Jenks G. F. The Data Model Concept in Statistical Mapping. In: *International Yearbook of Cartography*, 1967, no. 7, pp. 186–190.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Новиков Антон Алексеевич – старший преподаватель кафедры геоэкологии и природопользования факультета естественных наук Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова (филиал МГУ в г. Севастополе);
e-mail: a_novik@bk.ru

Каширина Екатерина Сергеевна – кандидат географических наук, старший преподаватель кафедры геоэкологии и природопользования факультета естественных наук Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова (филиал МГУ в г. Севастополе); доцент Института развития города Севастопольского государственного университета;
e-mail: e_katerina.05@mail.ru

Голубева Елена Ильинична – доктор биологических наук, профессор кафедры рационального природопользования географического факультета Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова;
e-mail: egolubeva@gmail.com

Тикунов Владимир Сергеевич – доктор географических наук, профессор кафедры географии мирового хозяйства и заведующий научно-исследовательской лабораторией комплексного картографирования географического факультета Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова;
e-mail: tikunov@geogr.msu.su

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Anton A. Novikov – Senior Lecturer, Department of Geocology and Nature Management, Faculty of Natural Sciences, Lomonosov Moscow State University, Branch in Sevastopol;
e-mail: a_novik@bk.ru

Ekaterina S. Kashirina – Cand. Sci. (Geography), Senior Lecturer, Department of Geocology and Nature Management, Faculty of Natural Sciences, Lomonosov Moscow State University, Branch in Sevastopol; Assoc. Prof., City Development Institute, Sevastopol State University;
e-mail: e_katerina.05@mail.ru

Elena I. Golubeva – Dr. Sci. (Biology), Prof., Department of Environmental Management, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University;
e-mail: egolubeva@gmail.com

Vladimir S. Tikunov – Dr. Sci. (Geography), Prof., Department of Geography of the World Economy and Head of the Research Laboratory for Integrated Mapping, Geography Faculty, Lomonosov Moscow State University;
e-mail: tikunov@geogr.msu.su

ПРАВИЛЬНАЯ ССЫЛКА НА СТАТЬЮ

Новиков А. А., Каширина Е. С., Голубева Е. И., Тикунов В. С. Оценка абразионной опасности берегов юго-западного Крыма // Географическая среда и живые системы. 2022. № 3. С. 6–23.

DOI: 10.18384/2712-7621-2022-3-6-23

FOR CITATION

Novikov A. A., Kashirina E. S., Golubeva E. I., Tikunov V. S. Assessment of the abrasion hazard of the coast of the South-Western Crimea. In: *Geographical Environment and Living Systems*, 2022, no. 3, pp. 6–23.

DOI: 10.18384/2712-7621-2022-3-6-23