

УДК 551.435.3 : (528.9+528.8)

<https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-1-51-61>

Исследование динамики береговой линии Бакальской косы (Северо-Западный Крым) на основе исторических карт и данных дистанционного зондирования

В. В. Крыленко¹✉, М. В. Крыленко¹

¹Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, г. Москва, Российская Федерация

e-mail: krylenko.slava@gmail.com

Аннотация. Мониторинг динамики аккумулятивных форм является необходимой составляющей управления береговой зоной. Статья посвящена определению долговременной динамики береговой линии Бакальской косы, расположенной на северо-западном побережье Крымского п-ова (Черное море). Основным методом изучения динамики береговой линии стал анализ исторических карт, архивных и современных космических снимков. Характерная черта динамики аккумулятивной формы в многолетнем режиме – постепенное смещение аккумулятивного тела на восток, величина этого смещения существенно превысила величину отступления прилегающих коренных берегов. Скорость смещения дистальной части за почти 6 тыс. лет составила около 3 м/год, а за 126 лет – около 10 м/год. После отделения в 2010 г. фрагмента дистальной части и образования острова возросла скорость смещения оконечности косы на восток, сопровождающаяся потерей материала на подводном склоне.

Ключевые слова: Черное море, полуостров Крым, береговая аккумулятивная форма, Бакальская коса, береговая линия, исторические карты, космические снимки

Для цитирования:

Крыленко В. В., Крыленко М. В. Исследование динамики береговой линии Бакальской косы (Северо-Западный Крым) на основе исторических карт и данных дистанционного зондирования. *Вестник СГУГиТ*. 2026. Т. 31, № 1. С. 51–61. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-1-51-61>

Analysis of Bakalskaya Spit dynamics (Northwestern Crimea) using historical maps and remote sensing data

V. V. Krylenko¹✉, M. V. Krylenko¹

¹ Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow, Russian Federation

e-mail: krylenko.slava@gmail.com

Abstract. Monitoring the dynamics of accumulative coastal forms is essential for effective coastal zone management. The study investigates the long-term shoreline dynamics of Bakalskaya Spit, located on the northwestern coast of the Crimean Peninsula (Black Sea). Shoreline changes were analyzed primarily through historical maps, archival imagery, and contemporary satellite data. A defining feature of the spit's long-term dynamics is its gradual progradational shift eastward, with displacement magnitudes far exceeding the erosion rates of adjacent native shores. The distal section migrated at an average rate of approximately 3 m/year over nearly 6,000 years and 10 m/year over the past 126 years. Following partial detachment of the distal zone in 2010, which formed an offshore island, the

eastward migration of the spit tip accelerated, accompanied by increased sediment loss along the subaqueous slope.

Keywords: Black Sea, Crimean peninsula, coastal accumulative form, Bakalakyaya Spit, coastline, historical maps, satellite images

For citation:

Krylenko V. V., Krylenko M. V. (2026). Analysis of Bakalskaya Spit dynamics (Northwestern Crimea) using historical maps and remote sensing data. *Vestnik SSUGiT [Vestnik SSUGT]* Vol. 31, No. 1. pp. 51–61. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-1-51-61>

Введение

Бакальская коса расположена на северо-западном побережье Крымского п-ова (рис. 1) и представляет собой свободную двойную аккумулятивную форму длиной до 8 км [1], выдвинутую в Каркинитский залив Черного моря. Корневая часть западной ветви косы примыкает к активному клифу и на протяжении 4 км образует узкую (60–100 м) пересыпь, отделяющую от моря Бакальское озеро. Корневая часть восточной ветви представляет собой расширяющуюся к северу аккумулятивную террасу протяженностью около 4 км вдоль отмершего клифа выступа коренного берега, отделяющего ее от Бакальского озера. К востоку от косы коренной берег представлен сложенными глинами активным клифом и широким бенчем [1–3].

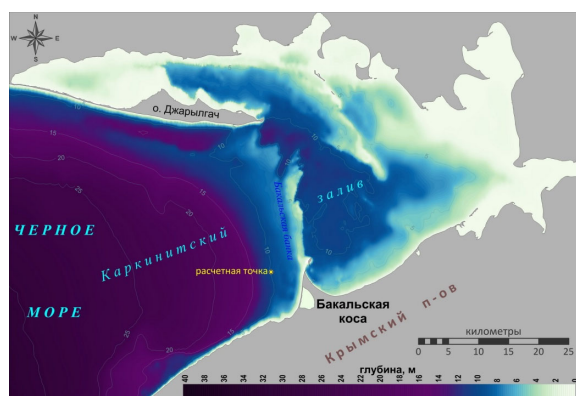


Рис. 1. Карта-схема Каркинитского залива Черного моря (подводный рельеф показан на основе данных SonarChart, <https://webapp.navionics.com>)

В работах В. П. Зенковича [4, 5] отражены этапы развития Бакальской косы до середины

XX в. В работах [6, 7] рассмотрены особенности надводного рельефа Бакальской косы. Показано, что кардинальное различие строения и динамики рельефа обусловлено волновым режимом: в многолетнем режиме проявляется доминирующая роль волнения, направленного на восток. Рельеф подводного склона рассмотрен в [6–8]. Подводный склон к западу от Бакальской косы представляет собой понижающуюся к западу мелководную равнину, осложненную вблизи берега системой изменчивых подводных валов. Подводный склон восточной ветви косы чрезвычайно крут. К северу от оконечности косы почти через весь Каркинитский залив простирается Бакальская банка протяженностью около 26 км. По топографическим условиям и гидрометеорологическому режиму Каркинитского залива можно полагать, что причиной образования Бакальской косы является внешняя блокировка берега, происходящая вследствие сужения Каркинитского залива и уменьшения его глубин в восточном направлении [4].

В работах [9–11] рассмотрены особенности распределения и состава донных и пляжевых отложений. Закономерности формирования потоков наносов рассмотрены в работах [12, 13].

Работы [14, 15] посвящены изучению ветроволнового режима Бакальской косы, в частности, в работе [15] на основе данных реанализа изучена изменчивость параметров ветрового волнения и течений в период 1979–2017 гг. В перечисленных работах показано, что волновой режим для западной и восточной сторон косы различен. Преобладающими являются ветры северных и западных румбов, но западные генерируют высокую длинную волну из открытого моря, а северные – низкую короткую волну из залива. Со-

ответственно, волнение западных – юго-западных направлений значительно превосходит по мощности волнение восточных – северо-восточных направлений.

Анализ накопленных к настоящему времени данных показал, что многие современные характеристики геосистемы Бакальской косы и Бакальской банки предопределены предшествующей эволюцией аккумулятивной формы и прилегающих берегов. Цель настоящей статьи – определение путем анализа картографических источников и данных дистанционного зондирования долговременной динамики береговой линии Бакальской косы.

Материалы и методы исследования

Исторических карт, достоверно отображающих конфигурацию берегов на определенный момент времени, немного. Из них можно получить информацию об общей изменчивости берегов, но не количественные данные [16, 17]. Космическая съемка позволяет получить комплексную пространственную информацию [18–20] для конкретного момента времени. Первыми материалами дистанционного зондирования являются космические снимки 1960–80-х гг. [21] разрешением 4–10 м. С 2016 г. использованы мультиспектральные данные с космических аппаратов Sentinel-2 [22, 23] разрешением 10–20 м.

Для исторических карт и космических снимков с использованием ПО Global Mapper была проведена геометрическая коррекция на основе базовых снимков с известными параметрами съемки [24] разрешением 1–2 м. Геометрическая трансформация проводилась по полиномиальной модели третьей степени, точность привязки 5–10 м, что достаточно для оценки величин долгопериодной динамики берега. Выполнена оцифровка линии уреза моря и озера, берегового вала, бровки клифа, получена информация об их динамике в разные временные периоды.

Интерпретация и анализ картографических материалов и данных дистанционного

зондирования выполнялась с привлечением собственных натуральных данных, полученных в ходе экспедиционных работ. Кроме того, были использованы архивные материалы, имеющиеся в фондах МГИ РАН и ИО РАН.

Развитие Бакальской косы в голоцене

Бакальская коса с 1311 г. отмечалась на картах-портоланах, созданных генуэзскими и венецианскими картографами в XIV–XVI вв. [25] как большой, немного изогнутый острый мыс (рис. 2, а). Первое изображение Бакальской косы российскими картографами имеется на «Карте Кубанской степи или земли Войска Донского и Черноморского» 1773–1774 гг. [26], где хорошо передана характерная треугольная конфигурация косы, выгнутая западная сторона и вогнутая восточная с озером между ними (рис. 2, б). На «Карте области Таврической» 1787 г. и «Подробной милитерной карте по границе России с Турциею» 1800 г. видны обе ветви Бакальской косы, Бакальское озеро и протяженная дистальная часть, загнутая к востоку (рис. 2, в, г). На «Военной топографической карте полуострова Крым» (1817 г.) и последующих картах 1842, 1847, 1862, 1865 гг. коса также показана с загнутой к востоку дистальной частью. На «Топографической карте полуострова Крым» (1842 г.) озеро впервые именовано Бакальским. На карте 1897 г. коса впервые названа Бакальской.

Наибольшую ценность представляет собой «Карта части северного берега Черного моря от Одессы до мыса Херсонеса» (рис. 3). Карта составлена капитан-лейтенантом Е. Манганари по съемке 1836 г. О точности отображения контуров берега и глубин на данной карте можно судить по тому факту, что она до конца XIX в. использовалась в качестве топографической основы для мореходных карт. Высокая достоверность передачи различных географических объектов позволила выполнить привязку карты 1836 г. к современной навигационной карте и космическим снимкам (рис. 4, 5).



Рис. 2. Бакальская коса на исторических картах:

а) карта-портолан Фредуччи Конте Хоктоманно 1538 г.; б) «Карта Кубанской степи...» 1773–74 гг.; в) «Карта области Таврической» 1787 г.; з) «Подробная милитерная карта по границе России с Турциею» 1800 г.

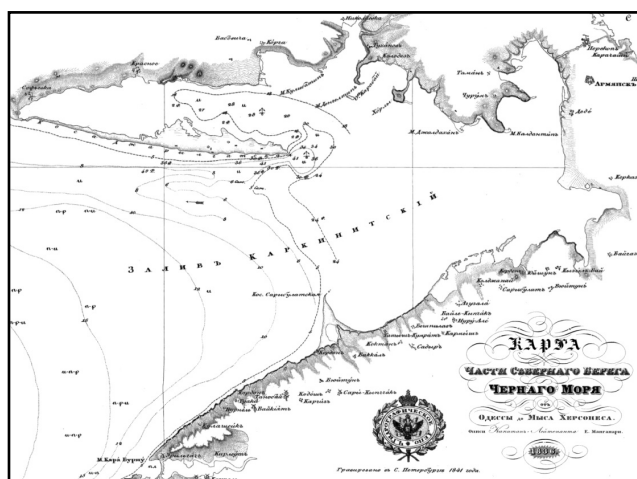


Рис. 3. «Карта северного берега Черного моря» Е. Манганари 1836 г.

Как видно на рис. 5, Бакальская коса с 1836 по 1962 гг. сместилась к востоку на 1,1–1,3 км,

т. е. около 10 м/год. Величина смещения наибольшая в дистальной части, но резко снижается вблизи примыкания к коренному берегу. Очевидно, что скорость смещения к востоку прикорневой части западной ветви косы определяется скоростью абразионного разрушения коренного берега, к которому она примыкает. Как указано в [27], к западу от Бакальской косы на подводном береговом склоне выработан бенч шириной до 150 м. Соответственно, за все время развития данного участка берега при уровне моря, близком к современному, коренной берег отступил не более чем на 150 м. Отсюда следует вывод, что пространственное положение корневой части косы относительно стабильно на протяжении долгого времени, и она не смещается вдоль берега на восток столь значительно, как это предполагается в реконструкции В. П. Зенковича [4].

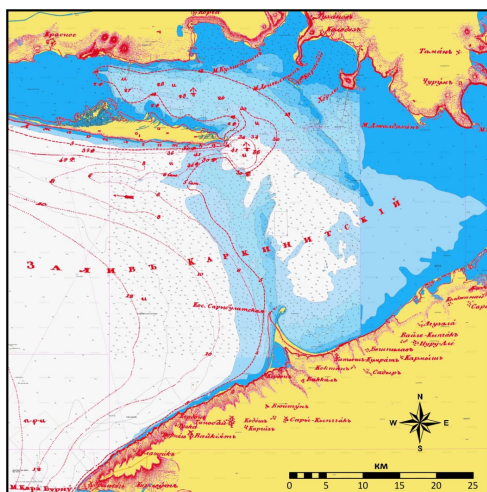


Рис. 4. Совмещение карты 1836 г. Е. Манганари (красный цвет) и современной навигационной карты (положение береговой линии до 2010 г.)

Наши выводы подтверждаются возрастом наиболее древних отложений восточной ветви косы, взятых вблизи лагуны. Калиброванный (календарный) возраст ракушки, определенный радиоуглеродным методом, составляет 5890 ± 130 календарных лет. (Примечание: значения календарного возраста приведены на основании калибровочной программы OxCal 4.4.4, калибровочная кривая IntCal 20.) Этот временной период соответствует завершению восходящей фазы голоценовой трансгрессии и стабилизации уровня Черного моря вблизи современных отметок [28].

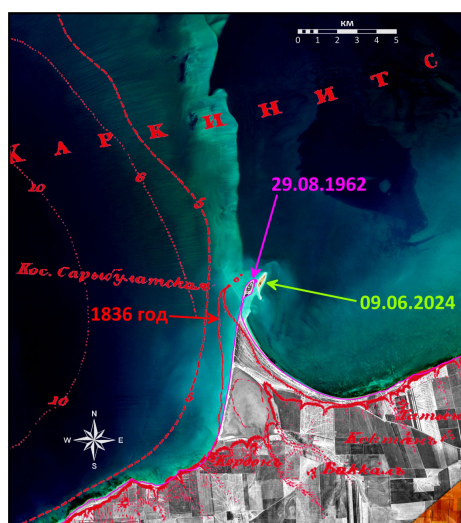


Рис. 5. Совмещение карты Е. Манганари (1836 г.) и космических снимков 29.08.1962 и 09.06.2024

Исходя из конфигурации берега, подводного рельефа у мыса Каменный, а также ориентации берегового вала, для которого определен возраст, можно выполнить реконструкцию вероятного положения западной ветви косы в этот период времени. Дистанция от реконструированного положения дистальной части западной ветви до современного составляет около 2 км, скорость смещения составляет примерно 3 м/год. Столь значительная разница смещения западной ветви за период 5 890 лет и за последние 126 лет (3 и 10 м/год) объясняется тем, что в Черном море неоднократно происходили регрессии, во время которых смещение косы шло гораздо медленнее либо вообще не происходило.

Особое место занимает наиболее близкая по времени (2,6–1,7 тыс. л. н.) фанагорийская регрессия. Большинство исследователей [29–32] указывают на понижение уровня моря в этот период на 5–6 м относительно предшествующего и современного уровня. Основываясь на современном подводном рельефе, такое понижение могло полностью вывести существовавшую к тому времени надводную аккумулятивную форму из зоны волнового воздействия. Одновременно линейные размеры и конфигурация морской акватории к западу от Бакальской косы практически не претерпели изменений. Соответственно, параметры приходящих с запада волн почти не изменились, но в зону их действия попадали наносы, ранее находившиеся на морском дне глубже зоны волнового воздействия. Произошла мобилизация большого объема материала, движимого волнами на восток и аккумулятовавшегося вблизи уреза в виде бара, субпараллельного современной Бакальской банке и косе. С началом нимфейской трансгрессии этот бар под действием волн начал смещаться на восток и в определенный момент достиг существовавшей ранее аккумулятивной формы. Вероятно, часть материала была вынесена на север вдоль оси Бакальской банки, но значительная часть наносов обогнула оконечность косы и сформировала вдоль восточной ветви косы береговой вал. Морфометрические параметры этого вала (высота над уровнем моря и прилегающей поверхностью косы, ширина) значительно отличаются от предыдущих генераций валов. Подобная ним-

фейская генерация береговых валов была сформирована на Анапской пересыпи [33]. Характерно, что возраст раковин моллюсков в отложениях этого вала значительно превышает возраст предшествующих генераций валов. Это связано с тем, что в масштабные миграции наносов, вызванных фанаторийской регрессией и последующей нимфейской трансгрессией, были вовлечены более древние отложения, ранее находившиеся на дне моря.

В настоящее время уровень моря приблизился либо достиг максимальных отметок за весь период голоценовой трансгрессии и продолжает повышаться, поэтому наблюдаются наиболее высокие скорости отступления западной ветви.

Динамика западной ветви Бакальской косы с середины XX века

На рис. 6 отмечены опорные профили, проведенные через каждые 200 м по нормали к урезу 29.08.1962. По каждому из профилей для каждого временного периода определена величина отступления берега. Наличие данных по положению уреза в последние 60 лет, а также материалов натурных исследований позволяет выявить пространственно-временные особенности развития различных участков косы в этот период.

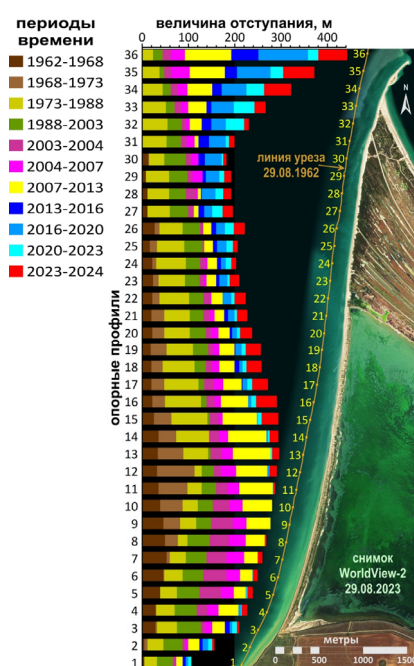


Рис. 6. Развитие западной ветви Бакальской косы в 1962–2024 гг.

Вдоль протяженности западной ветви косы выделяются участки, различающиеся по морфометрическим и геоморфологическим характеристикам. Самая низкая общая величина отступления (менее 120 м) отмечена для коренного берега к югу от косы. К северу величина отступления быстро нарастает, и в центральной части пересыпи оз. Бакальского достигает 300 м. Еще севернее величина отступления постепенно снижается до минимальных для всей аккумулятивной части косы значений (менее 200 м) в районе 30-го профиля. На этом участке к урезу выходят отложения восточной ветви косы, представленные валами из ракуши, разделенными понижениями с мощными зарослями околководных растений. Скорость размыва на участках с развитой корневой системой или цементированной ракушей значительно снижена. С приближением к дистали величина отступления западной ветви резко возрастает, достигая у современной оконечности косы 450 м.

На рис. 6 хорошо видно, что скорость отступления в пределах выделенных участков существенно изменяется с течением времени. В 1962–1973 гг. наибольшие величины отступления отмечались на пересыпи оз. Бакальского, коренной берег и дистальная часть практически не отступали. В период 1973–1988 гг. (15 лет) отступление отмечалось по всей протяженности косы и на прилегающем участке коренного берега. В последующие 15 лет (1988–2003 гг.) на большей части косы скорость отступления несколько снизилась, а в центральной части пересыпи оз. Бакальского около 0,5 км берега остались на прежнем месте. В 2003–2007 гг. отмечалась повышенная штормовая активность, и менее чем за 5 лет берег отступил на величины, сравнимые и даже превосходящие предшествующий 15-летний период. Наибольшая величина отступления была отмечена на южной части пересыпи оз. Бакальского.

С 2007 г. значительно возросла скорость отступления дистали, сопровождавшаяся в 2010 г. полным отрывом оконечности косы и образованием острова. Помимо отступления дистали, в период 2007–2013 гг. отмечены наивысшие за весь исследуемый период величины смещения пересыпи оз. Бакальского –

на протяжении более километра берег отступил на 80 м. Характерно, что зона наибольшего отступления затронула северную часть пересыпи, в отличие от предшествующего периода. Одновременно, в этот же период на участке основного тела косы к северу от пересыпи величины отступления были минимальны (0–20 м). В период 2013–2023 гг. отступление пересыпи оз. Бакальского практически прекратилось, хотя процесс отступления дистальной части продолжался, затронув и основную часть косы.

Изменения западной ветви Бакальской косы в 2023–2024 гг. преимущественно обусловлены штормом 26–27 ноября 2023 г. Детально последствия шторма рассмотрены в [6]. Следует отметить, что в пределах коренного берега и южной части пересыпи оз. Бакальского отступление берега не превысило 10 м, тогда как на северной части пересыпи размыв составил до 50 м.

Заключение

Основной причиной изменения конфигурации косы является перераспределение наносов под влиянием различных факторов, прежде всего действия волн. Несмотря на то что основной объем наносов в литодинамическую систему Бакальской косы поступает

с запада, западная ветвь смещается на восток. Соответственно, эту часть косы можно считать зоной транзита, поскольку аккумуляция материала носит временный характер. При поперечном берегу сильном волнении происходит вынос материала во внутреннюю часть косы. При волнении со значительной вдольбереговой составляющей наблюдается размыв морского склона берегового вала с выносом наносов в сторону дистали.

Неравномерный характер прохождения штормов и мозаичность распределения скопленных наносов являются причиной значительных колебаний в объеме поступающего материала. Происходит периодическое, но очень существенное изменение бюджета наносов вблизи оконечности косы. В результате дистальная часть испытывает периоды аккумуляции и стабилизации.

Благодарности

Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда, проект 25-17-00104 «Развитие крупных береговых аккумулятивных форм южных неприливных морей России в условиях изменения природных и антропогенных факторов», <https://rscf.ru/project/25-17-00104/>.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горячкин Ю. Н., Долотов В. В. Морские берега Крыма. Севастополь : Колорит, 2019. 256 с.
2. Горячкин Ю. Н., Косьян Р. Д. Бакальская коса – уникальный природный объект Крымского полуострова (обзор). Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2018. № 4. С. 5–14. DOI 10.22449/2413-5577-2018-4-5-14.
3. Зенкович В. П. Бакальская коса. Сборник трудов Института океанологии АН СССР. 1955. № 4. С. 86–101.
4. Зенкович В. П. Берега Черного и Азовского морей. М. : Географгиз, 1958. 371 с.
5. Руднев В. И., Дивинский Б. В., Косьян Р. Д. Изменения топографии прибрежной зоны Бакальской косы с 2018 по 2019 годы. Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2020. № 1. С. 22–35. DOI 10.22449/2413-5577-2020-1-22-35.
6. Крыленко В. В., Горячкин Ю. Н., Крыленко М. В., Дивинский Б. В. Трансформация западной ветви Бакальской косы (Северо-Западный Крым) в результате шторма 26–27 ноября 2023 г. Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2025. № 1. С. 51–71.
7. Руднев В. И. Особенности рельефа дна прибрежной зоны Бакальской косы. Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2018. № 4. С. 15–21. DOI 10.22449/2413-5577-2018-4-15-21.
8. Крыленко В. В., Крыленко М. В., Алейников А. А. Исследование подводного рельефа Бакальской банки по данным космических снимков SENTINEL-2. Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2019. № 2. С. 30–39. DOI 10.22449/2413-5577-2019-2-30-39.

9. Крыленко М. В., Крыленко В. В. Исследование гранулометрического состава пляжевых и донных отложений Бакальской косы. Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2018. № 4. С. 40–49. DOI 10.22449/2413-5577-2018-4-40-49.
10. Горячкин Ю. Н., Гуров К. И. Механический состав пляжевых наносов Бакальской косы. Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2017. № 3. С. 48–56.
11. Косьян А. Р. Роль прибрежных моллюсков в формировании карбонатных осадков Бакальской косы. Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2018. № 4. С. 81–91. DOI 10.22449/2413-5577-2018-4-81-91.
12. Горячкин Ю. Н., Удовик В. Ф., Харитоновна Л. В. Оценки параметров потока наносов у западного берега Бакальской косы при прохождении сильных штормов в 2007 году. Морской гидрофизический журнал. 2010. № 5. С. 42–51.
13. Харитоновна Л. В., Иванча Е. В., Алексеев Д. В. Влияние штормовых нагонов и ветровых волн на морфодинамические процессы в районе Бакальской косы. Морской гидрофизический журнал. 2015. № 1. С. 79–90. DOI 10.22449/0233-7584-2015-1-79-90.
14. Дивинский Б. В. Гидродинамические условия вод в районе Бакальской косы. Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2018. № 4. С. 31–39. DOI 10.22449/2413-5577-2018-4-31-39.
15. Горячкин Ю. Н., Репетин Л. Н. Штормовой ветро-волновой режим у черноморского побережья Крыма. Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. 2009. № 19. С. 56–69.
16. Старые карты России и зарубежья [Электронный ресурс]. URL: <https://retromap.ru>.
17. Georeferenced historical maps of the Soviet Union (EtoMesto) [Electronic resource]. – URL: <http://www.etomesto.com>.
18. Бямба О., Касьянова Е. Л. Использование ДЗЗ и ГИС при создании географических основ для тематических карт. Вестник СГУГиТ. 2021. Т. 26, № 5. С. 119–125. DOI 10.33764/2411-1759-2021-26-5-119-125.
19. Мустафин М. Г., Вальков В. А., Павлов Н. С., Виноградов К. П., Боголюбова А. А. Мониторинг водных объектов дистанционными методами. Вестник СГУГиТ. 2023. Т. 28, № 2. С. 67–75. DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-2-67-75.
20. Krylenko M., Krylenko V. Evolution of the Tuzla Spit from Natural Geosystem to Natural-Technogenic One. Recent Research on Environmental Earth Sciences, Geomorphology, Soil Science, Paleoclimate, and Karst. Proceedings of the 1st MedGU (Istanbul, 25-28 November 2021). Istanbul: Springer, 2023. – P. 143–146. – DOI 10.1007/978-3-031-42917-0_32.
21. U.S. Department of the Interior U.S. Geological Survey (USGS) [Electronic resource]. URL: <http://earthexplorer.usgs.gov>.
22. MultiSpectral Instrument (MSI) [Electronic resource]. URL: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2/instrument-payload>.
23. The operational Copernicus optical high resolution land mission [Electronic resource]. URL: http://esamultimedia.esa.int/docs/S2-Data_Sheet.pdf.
24. Крыленко В. В., Крыленко М. В., Алейников А. А. Возможности изучения рельефа и динамики береговой линии крупных морских аккумулятивных форм по данным дистанционного зондирования на примере косы Долгая. Вестник СГУГиТ. 2021. Т. 26, № 3. С. 58–70. DOI 10.33764/2411-1759-2021-26-3-58-70.
25. Гордеев А. Ю., Терещенко А. А. Топонимия побережья Черного и Азовского морей на картах-портоланах XIV-XVII веков. Том 2. Киев : Academia.edu., 2017. – 312 с.
26. Папакома (Карты) [Электронный ресурс]. URL: <http://papacoma.narod.ru/maps-index.htm>.
27. Орлова М. С. Геоморфологическая оценка рекреационного потенциала побережья Северо-Западного Крыма. Геоморфология. 2010. № 2. С. 102–107. DOI 10.15356/0435-4281-2010-2-102-107.

28. Измайлов Я. А. Эволюционная география побережий Азовского и Черного морей. Кн. 1. Анапская пересыпь. Сочи : Лазаревская полиграфия, 2005. 175 с.
29. Болиховская Н. С., Поротов А. В., Кайтамба М. Д., Фаустов С. С. Развитие природной среды и климата на территории Черноморской дельты Кубани в последние 7 тысяч лет. Вестник Московского университета. Сер. 5. География. 2014. № 1. С. 64–74.
30. Горлов Ю. В. Географическая ситуация на Таманском полуострове во второй половине голоцена. Проблемы истории, филологии, культуры. 2008. № 21. С. 415–437.
31. Поротов А. В. Изменения уровня Черного моря в голоцене на основе геоархеологических индикаторов. Вестник Московского университета. Сер. 5. География. 2013. № 1. С. 76–82.
32. Fouache E., Daniel K., Brückner H., Lericolais G., Porotov A., Dikarev V. The Late Holocene evolution of the Black Sea – a critical view on the so-called Phanagorian regression. Quaternary International. 2012. Vol. 266. P. 162–174.
33. Krylenko M. V., Krylenko V. V., Krylenko D. V. Lithodynamic aspects in the development of the Black Sea part of the Kuban River Delta coastline in the second half of the Holocene. Water Resources. 2025. Vol. 52 (1). P. 72–80. DOI 10.1134/S0097807824604047.

REFERENCES

1. Goryachkin, Yu. N., & Dolotov, V. V. (2019). *Morskije berega Kryma [Sea coasts of Crimea]*. Sevastopol: Kolorit, 256 p. [in Russian].
2. Goryachkin, Yu. N., & Kos'yan, R. D. (2018). The Bakalskaya Spit is a Unique Natural Object of the Crimean Peninsula (Review). *Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoy i shel'fovoy zon moray [Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea]*, (4), 5–14. DOI 10.22449/2413-5577-2018-4-5-14 [in Russian].
3. Zenkovich, V. P. (1955). The Bakalskaya Spit. *Sbornik trudov Instituta okeanologii AN SSSR [Proceedings of the Institute of Oceanology of the USSR Academy of Sciences]*, (4), 86–101 [in Russian].
4. Zenkovich, V. P. (1958). *Berega Chernogo i Azovskogo morey [The coast of the Black Sea and the Sea of Azov]*. Moscow: Geografiz, 371 p. [in Russian].
5. Rudnev, V. I., Divinskiy, & B. V., Kos'yan, R. D. (2020). Changes in Topography of the Coastal Zone of the Bakalskaya Spit from 2018 to 2019. *Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoy i shel'fovoy zon morya [Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea]*, (1), 22–35. DOI 10.22449/2413-5577-2020-1-22-35 [in Russian].
6. Krylenko, V. V., Goryachkin, Yu. N., Krylenko, M. V., & Divinskiy, B. V. (2025). Transformation of the Western Branch of the Bakalskaya Spit (Northwestern Crimea) as a Result of the Storm on 26-27 November 2023. *Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoy i shel'fo-voy zon morya [Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea]*, (1), 51–71 [in Russian].
7. Rudnev, V. I. (2018). Peculiarities of the Bottom Relief of the Bakalskaya Spit Foreshore. *Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoy i shel'fo-voy zon morya [Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea]*, (4), 15–21. DOI 10.22449/2413-5577-2018-4-15-21 [in Russian].
8. Krylenko, V. V., Krylenko, M. V., & Aleynikov, A. A. (2019). Research of the Bakalskaya Bank Underwater Relief by Sentinel-2 Satellite Images. *Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoy i shel'fo-voy zon morya [Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea]*, (2), 30–39. DOI 10.22449/2413-5577-2019-2-30-39 [in Russian].
9. Krylenko, M. V., & Krylenko, V. V. (2018). Study of the Granulometric Composition of Beach and Bottom Sediments of the Bakalskaya Spit. *Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoy i shel'fo-voy zon morya [Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea]*, (4), 40–49. DOI 10.22449/2413-5577-2018-4-40-49 [in Russian].
10. Goryachkin, Yu. N., & Gurov, K. I. (2017). Mechanical composition of Bakal Spit beach sediments. *Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoy i shel'fo-voy zon morya [Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea]*, (3), 48–56 [in Russian].

11. Kos'yan, A. R. (2018). Role of Coastal Shells in the Formation of Carbonate Sediments of the Bakalskaya Spit. *Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoy i shel'fo-voy zon morya [Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea]*, (4), 81–91. DOI 10.22449/2413-5577-2018-4-81-91 [in Russian].
12. Goryachkin, Yu. N., Udovik, V. F., & Kharitonova, L. V. (2010). Estimations of the parameters of the flux of sediments near the west coast of the Bakal'skaya Spit under the conditions of heavy storms in 2007. *Morskoy gidrofizicheskiy zhurnal [Physical Oceanography]*, 20(5), 356–365 [in Russian].
13. Kharitonova, L. V., Ivancha, E. V., & Alekseev, D. V. (2015). Effect of Storm Surges and Wind Waves on Morphodynamic Processes in the Bakalskaya Spit Region. *Morskoy gidrofizicheskiy zhurnal [Physical Oceanography]*, (1), 79–90. DOI 10.22449/0233-7584-2015-1-79-90 [in Russian].
14. Divinskiy, B. V. (2018). Hydrodynamic Water Conditions in the Bakalskaya Spit Area. *Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoy i shel'fo-voy zon morya [Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea]*, (4), 31–39. DOI 10.22449/2413-5577-2018-4-31-39 [in Russian].
15. Goryachkin, Yu. N., & Repetin, L. N. (2009). Storm wind-wave regime off the Black Sea coast of Crimea. *Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoy i shel'fo-voy zon morya [Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea]*, (19), 56–69 [in Russian].
16. Old maps of Russia and abroad Retrieved from <https://retromap.ru>. [in Russian].
17. Georeferenced historical maps of the Soviet Union (EtoMesto) Retrieved from <http://www.etomesto.com>.
18. Byamba, O., & Kas'yanova, E. L. (2021). Using remote sensing and GIS to create geographical bases for thematic maps. *Vestnik of the Siberian State University of Geosystems and Technologies [Vestnik SGUGiT]*, 26(5), 119–125. DOI 10.33764/2411-1759-2021-26-5-119-125 [in Russian].
19. Mustafin, M. G., Val'kov, V. A., Pavlov, N. S., Vinogradov, K. P., & Bogolyubova, A. A. (2023). Monitoring of water bodies by remote methods. *Vestnik of the Siberian State University of Geosystems and Technologies [Vestnik SGUGiT]*, 28(2), 67–75. DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-2-67-75 [in Russian].
20. Krylenko, M., & Krylenko, V. (2023). Evolution of the Tuzla Spit from Natural Geosystem to Natural-Technogenic One. *Recent Research on Environmental Earth Sciences, Geomorphology, Soil Science, Paleoclimate, and Karst. Proceedings of the 1st MedGU* (pp. 143–146). Istanbul: Springer. DOI 10.1007/978-3-031-42917-0_32.
21. U.S. Department of the Interior U.S. Geological Survey (USGS) Retrieved from <http://earthexplorer.usgs.gov>.
22. MultiSpectral Instrument (MSI) Retrieved from <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2/instrument-payload>.
23. The operational Copernicus optical high resolution land mission Retrieved from http://esamultimedia.esa.int/docs/S2-Data_Sheet.pdf.
24. Krylenko, V. V., Krylenko, M. V., & Aleynikov, A. A. (2021). Study of the relief and coast-line dynamics of large coastal accumulative forms according to remote sensing data. *Vestnik of the Siberian State University of Geosystems and Technologies [Vestnik SGUGiT]*, 26(3), 58–70. DOI 10.33764/2411-1759-2021-26-3-58-70 [in Russian].
25. Gordeev, A. Yu., & Tereshchenko, A. A. (2017). *Toponimiya poberezh'ya Chernogo i Azovskogo morey na kartakh-portolanakh XIV-XVII vekov. Tom 2. [Toponymy of the Black and Azov Sea coasts on portolan charts of the 14th-17th centuries]*. Kiev: Academia.edu., 312 p. [in Russian].
26. Papakoma (Maps) Retrieved from <http://papakoma.narod.ru/maps-index.htm> [in Russian].
27. Orlova, M. S. (2010). Geomorphologic evaluation of recreational potential of the Northwestern coast of the Crimea. *Geomorfologiya [Geomorphology]*, (2), 102–107. DOI 10.15356/0435-4281-2010-2-102-107 [in Russian].
28. Izmaylov, Ya. (2005). *Evolyutsionnaya geografiya poberezh'iy Azovskogo i Chernogo morey. Kn. 1. Anapskaya peresyp' [Evolutionary geography of the coasts of the Azov and Black Seas. Book 1. Anapa bay-bar]*. Sochi: Lazarevskaya poligrafiya, 175 p. [in Russian].

29. Bolikhovskaya, N. S., Porotov, A. V., Kaytamba, M. D., & Faustov, S. S. (2014). Reconstruction of the changes of sedimentation environments, vegetation and climate within the Black Sea part of the Kuban river delta area for the last 7000 years. *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seria 5, Geografia [Moscow University Bulletin. Series 5, Geography]*, (1), 64–74 [in Russian].

30. Gorlov, Yu. V. (2008). Geographical situation on Taman peninsula in second half of Holocen. *Problemy istorii, filologii, kul'tury [Journal of Historical, Philological and Cultural Studies]*, (21), 415–437 [in Russian].

31. Porotov, A. V. (2013). Changes of the Black sea level during the Holocene according to geoarcheological indicators. *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seria 5, Geografia [Moscow University Bulletin. Series 5, Geography]*, (1), 76–82 [in Russian].

32. Fouache, E., Daniel, K., Brückner, H., Lericolais, G., Porotov, A., & Dikarev, V. (2012). The Late Holocene evolution of the Black Sea – a critical view on the so-called Phanagorian regression. *Quaternary International*, 266, 162–174.

33. Krylenko, M. V., Krylenko, V. V., & Krylenko, D. V. (2025). Lithodynamic aspects in the development of the Black Sea part of the Kuban River Delta coastline in the second half of the Holocene. *Water Resources*, 52(1), 72–80. DOI 10.1134/S0097807824604047.

Об авторах

Вячеслав Владимирович Крыленко – кандидат географических наук, старший научный сотрудник лаборатории экологии.

Марина Владимировна Крыленко – кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории литодинамики и геологии.

Author details

Viacheslav V. Krylenko – Ph. D., Senior Researcher, Laboratory of Ecology.

Marina V. Krylenko – Ph. D., Leading Researcher, Laboratory of Lithodynamics and Geology.

Получено / Received 23.06.2025

Поступила после рецензирования / Revised 30.07.2025

Принята к публикации / Accepted 14.08.2025