ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ, ФОТОГРАММЕТРИЯ

УДК 528.8 (470.620) DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-3-60-68

Исследования строения и динамики косы Камышеватской (Азовское море) по материалам дистанционного зондирования

В. В. Крыленко^{1 Д}, М. В. Крыленко¹

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

e-mail: krylenko.slava@gmail.com

Аннотация. Мониторинг динамики береговых геосистем, в том числе изменений рельефа и положения береговой линии, является необходимой составляющей комплексного управления береговой зоной. Цель исследования – охарактеризовать строение косы Камышеватской (Азовское море), определить величины современной динамики береговой линии. Анализ строения и динамики косы Камышеватской выполнен с использованием картографических и литературных источников, данных дистанционного зондирования (в том числе материалов аэрофотосъемки с БПЛА), результатов натурных исследований. Основным методом изучения динамики береговой линии стал анализ исторических карт, архивных и современных космических снимков. Установлено, что коса Камышеватская состоит из надводной и подводной части. Динамика конфигурации и рельефа надводной части отличается высокой пространственно-временной изменчивостью, обусловленной многообразием действующих факторов. Конфигурация и структура рельефа аккумулятивной формы указывают на наличие в прошлом неоднократных резких изменений гидролитодинамических условий. Анализ имеющихся материалов показал, что подобные явления имеют место и в настоящее время. Полученная информация о современной динамике косы Камышеватской должна быть учтена при прогнозировании опасных природных явлений и планировании хозяйственной деятельности.

Ключевые слова: Азовское море, аккумулятивная форма, дистанционные методы, динамика берега, мониторинг

Для цитирования:

Крыленко В. В., Крыленко М. В. Исследования строения и динамики косы Камышеватской (Азовское море) по материалам дистанционного зондирования // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 3. – С. 60–68. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-3-60-68

Введение

В настоящее время морские берега испытывают повышенную нагрузку, обусловленную климатическими изменениями и антропогенным воздействием. К опасным природным процессам, развивающимся в береговой зоне Азовского моря, относятся оползневые и абразионные разрушения коренных берегов, размывы аккумулятивных тел [1–3]. Повышение уровня моря, рост повторяемости и высоты штормовых нагонов, сокращение твердого стока рек, изъятие наносов, строительство гидротехнических сооружений привели к тому, что отступание берегов интенсифицируется, в том числе в пределах крупных аккумулятивных береговых форм.

Крупные аккумулятивные береговые формы являются результатом динамического равновесия между различными природными и антропогенными процессами. Обилие действующих факторов обуславливает высокую изменчивость данных природных объектов [2]. Исследование строения и динамики крупных аккумулятивных форм позволяет выявить механизмы их образования и эволюции, оценить состав и значимость действующих факторов, предсказать возможные реакции на изменение внешних условий. Прогноз динамики крупных береговых аккумулятивных форм, в первую очередь изменений положения береговой линии, невозможен без достоверной информации о предшествующей эволюции берега.

Коса Камышеватская – крупная морская береговая аккумулятивная форма, расположенная в восточной части Азовского моря (рис. 1). Коса примыкает с юга к Ейскому полуострову, где конфигурация линии берега и наличие однонаправленного вдольберегового потока наносов способствуют образованию аккумулятивной формы свободного типа. Коса Камышеватская имеет статус природного парка регионального значения. Основными видами хозяйственного использования являются неорганизованная рекреация, выпас скота и рыболовство. Ранее в пределах косы производилась добыча ракуши, незаконные изъятия ракуши отмечаются и в настоящее время.

Цель представленного исследования – на основе анализа натурных данных, материалов дистанционного зондирования, картографических и литературных источников изучить строение косы Камышеватской, выявить направление и величины современной динамики ее береговой линии.



Рис. 1. Географическое положение косы Камышеватской (подводный рельеф показан на основе данных SonarChart^{тм}, https://webapp.navionics.com)

Материалы и методы

Аккумулятивные берега постоянно изменяются, и для выявления тенденций их развития следует анализировать данные за максимально возможный срок. Анализ динамики косы Камышеватской основан на изучении исторических и современных географических карт, данных дистанционного зондирования (архивных и современных космических снимков).

До середины XX в. основным источником данных о положении береговой линии служили географические карты. Для берегов Азовского моря набор карт, достоверно отображающих конфигурацию аккумулятивных форм на определенный момент времени, невелик. К сожалению, была широко распространена практика издания карт (в том числе навигационных) без проведения новой актуальной съемки реального положения берегов, в качестве картографической основы в таких случаях использовались предшествующие карты. Кроме того, наносимая на карты информация по объективным и субъективным причинам зачастую искажалась. Поэтому большая часть имеющихся исторических карт является источником информации только о наличии или взаимном расположении тех или иных объектов. Некоторые карты позволяют получить относительно достоверные количественные данные. Для таких карт с использованием ПО Global Mapper была проведена геометрическая коррекция. В качестве базовых снимков, к которым производилась использовались космические привязка, снимки с известными параметрами. В качестве контрольных точек были использованы сохранившиеся до настоящего времени здания, линейные объекты [4]. Привязки по формам рельефа не было, так как за прошедшее время они могли трансформироваться.

Материалы космической съемки являются ценным источником информации о динамике быстро изменяющихся природных объектов, поскольку снимок является фактографической моделью местности в конкретный момент времени [5]. На сегодняшний день спутниковые снимки разнообразны по разрешению, спектральному диапазону, технологии получения и другим свойствам. Нами были

использованы космические снимки 1960-1980 гг. [6], а также снимки с известной датой съемки, размещенные на открытых картографических сервисах. В большинстве случаев с использованием ПО Scanex Image Processor геометрическая делалась корректировка снимков, поскольку точные параметры съемочной аппаратуры неизвестны. Геометрическая трансформация проводилась по полиноминальной модели третьей степени. Оцениваемая точность плановой привязки космических снимков лежит в пределах 5-10 м, этого достаточно для оценки величин долгопериодной динамики морского берега [7]. После привязки карт, снимков и векторных данных снималась количественная информация. Дальнейшая обработка и визуализация данных осуществлялась в ПО Microsoft Excel и Golden Software.

Для изучения геосистемы косы Камышеватской, включающей разномасштабные и различные по своей природе компоненты, использовался комплекс методов исследования. С учетом большой площади и наличия труднодоступных участков приоритет отдавался дистанционным методам. Анализ строения косы выполнен с использованием данных дистанционного зондирования (в том числе материалов аэрофотосъемки с БПЛА), результатов натурных и камеральных исследований. Для изучения ландшафтно-морфологической структуры объекта и оценки ее изменчивости использовались серии снимков со спутников Sentinel-2 [7, 8].

Результаты и обсуждение

Первое графическое изображение косы имеется на карте Питера Бергмана 1702 г. (рис. 2, *a*) [9]. На «Карте Кубанской степи или земли Войска Донскаго и Черноморскаго», созданной в 1773–1774 гг. [9] впервые передана характерная конфигурация косы, в пределах аккумулятивного тела обозначены лагуны (рис. 2, δ). Первые гидрографические сведения о косе Камышеватской приведены в Лоции И. М. Будищева (1808 г.) [10], иллюстрированной картой 1803 г. (рис. 2, ϵ). В Лоции 1854 г. А. М. Сухомлина [11], иллюстрированной картой 1833 г. Е. П. Манганари (рис. 2, ϵ) уточнены контуры и размеры косы:

в сравнении с 1808 г. ее длина увеличилась. На карте Черномории 1857 г. [12] (рис. 2, *д*) детально отражено строение косы, в том числе характерный дистальный вал, хорошо различимый на современных топографических картах (рис. 2, *e*), что позволило оценить масштаб произошедших с того времени изменений.



Рис. 2. Коса Камышеватская: *а*) карта П. Бергмана (1702 г.); *б*) «Карта Кубанской степи... » (1773–1774 гг.); *в*) Гидрографическая карта 1803 г.; *г*) карта Е. П. Манганари (1833 г.); *д*) карта Черномории (1857 г.); *е*) современная топографическая карта

Современная длина косы Камышеватской около 7 км, ширина в корневой части 4 км. Коса примыкает к коренным берегам абразионно-обвального типа, сложенным лессовидными суглинками, местами подстилаемыми скифскими глинами [13]. Высота берегового обрыва к северо-западу от косы составляет 7–11 м, к юго-востоку – 8–18 м. Подводный склон отмелый, с уклонами в пределах 0,001–0,1 м. Глубже 0,5 м изобаты появляется маломощный (0,1–0,2 м) слой мелкоалевритовых и глинистых илов.

Коса Камышеватская – сравнительно молодое (большая часть ее отложений имеет возраст не более 1 500 лет) аккумулятивное тело, включающее в себя надводную и подводную части. Ракуша (преимущественно створки отмерших двустворчатых моллюсков Cerastoderma glauсит) составляет 80-95 % объема слагающих надводную часть косы наносов. Минеральная часть отложений представлена кварцевым песком, гравием и небольшим количеством гальки [14, 15]. Мощность вдольберегового потока наносов составляет 12–13 тыс. м³/год [13]. Динамика аккумулятивной формы определяется сочетанием двух основных факторов: объемом поступающих наносов и интенсивностью гидродинамических процессов. В некоторые годы на развитие косы оказывает влияние дрейфующий лед.

Коса Камышеватская состоит из прикорневой реликтовой аккумулятивной террасы, активного морского берегового вала, активной дистальной нарастающей части, а также сложной системы вытянутых полуостровов, островов и отмелей на месте отмерших дистальных частей разного возраста. Полузамкнутая мелководная акватория к северу от косы и отчлененные от моря лагуны постепенно заиливаются и зарастают водной растительностью. Внутренний рельеф косы представлен реликтовыми береговыми валами, образующими сложную систему более или менее обособленных от моря лагун или заболоченных понижений.

Прикорневая северо-западная часть косы является преимущественно зоной транзита поступающих с северо-запада наносов, но строение аккумулятивного тела на этом участке указывает на наличие поперечного движения наносов. На этом участке основой рельефа является мощный, ориентированный параллельно морскому урезу береговой вал (рис. 3), поперечный разрез которого близок к строению пляжа полного профиля. При преобладании волн западного и северо-западного направления на этих участках наблюдается вдольбереговое движение наносов на юго-восток, в сторону дистали. Однако при наиболее сильных штормах юго-западного направления, сопровождающихся нагоном, наблюдается отступание морского уреза и поперечное перемещение наносов в сторону лагуны с образованием эрозионных ложбин и соответствующих им конусов на тыльной стороне берегового вала (см. рис. 3).



Рис. 3. Прикорневая часть косы Камышеватской: вверху – космический снимок 23.06.2020, внизу – цифровая модель на 14.05.2021 (по съемке с БПЛА)

Многолетняя динамика прикорневой части определяется скоростью размыва коренного берега, зависящей от интенсивности и направления волнового воздействия. В работах [1, 16, 17] показано, что периоды 1980-2002 и 2006-2010 гг. характеризуются снижением темпов абразии, 2003-2006 и 2010-2014 гг. отличаются ее интенсификацией. По нашим данным, к северо-западу от косы Камышеватской коренной берег за 55 лет отступил на 145 м (средняя скорость 2,6 м/год), к востоку от косы, в Ясенском заливе – на 80 м (1,45 м/год). Следует отметить, что средние скорости не отражают реальную динамику развития берега. Активное разрушение берега происходит преимущественно во время сильных штормов. К примеру, во время штормов 1992 и 2007, 2013–2014 гг. [1, 16] абразионные берега отступали на 3-6 м, на отдельных участках отмечались еще большие величины. При этом в межштормовой период берег может быть стабилен несколько лет. По мере абразионного разрушения вдоль коренных берегов образовались широкие (до 400 м) полосы глинистого бенча, в пределах которого из алевритов и мелких песков формируются маломощные подводные валы с быстро меняющейся конфигурацией (рис. 4).



Рис. 4. Подводные формы рельефа вблизи косы Камышеватской

Рельеф дистальной части представлен системой береговых валов и понижений, ориентированных вблизи моря с юго-запада на северо-восток, а глубже в залив – с юга на север. Абсолютные отметки гряд 0,5-1,5 м, ложбин от -0,2 до 0,5 м. Образующиеся на этой части косы аккумулятивные формы имеют сложную и быстро изменяющуюся конфигурацию, что объясняется мелководностью акватории, в которой под действием волн и течений по устойчивым к размыву подстилающим породам перераспределяется сравнительно небольшой объем наносов (ракуша). В течение года здесь наблюдается образование, трансформация или размыв разнообразных по форме и размерам (рис. 5) аккумулятивных выступов.

Как показывает математическое моделирование на основе данных глобального атмосферного реанализа ERA-Interim [18], к востоку от Камышеватской косы часто образуется течение, направленное из Ясенского залива (с северо-востока) и огибающее южную оконечность косы. Оно формирует подводную аккумулятивную форму, ориентированную противоположно надводной косе (см. рис. 4). Поскольку в Ясенском заливе отсутствуют источники пляжеобразующих наносов, подводная коса сложена мелкими фракциями, выносимыми течением с абрадируемых коренных берегов. Подводная коса частично обнажается при сильных сгонах (см. рис. 4). При взаимодействии упомянутого выше течения с направленным с северо-запада вдольбереговым потоком наносов у южного края Камышеватской косы образуются формы рельефа сложной конфигурации, с чередованием зон размыва и аккумуляции (см. рис. 5).



Рис. 5. Надводные береговые формы рельефа дистальной части косы Камышеватской: слева – ортофотоплан, справа – цифровая модель

Не менее сложна многолетняя динамика дистальной части. Наиболее характерны изменения протяженности и ширины активной дистальной части, происходящие в результате флуктуаций объема и направления вдольберегового перемещения наносов. Изменения интенсивности или направлений преобладающих в тот или иной период времени волн или течений приводят к изменению скорости поступления ракуши со дна моря к берегу или же ее перемещение вдоль берега. В ходе сильных штормов отмечаются эпизоды сокращения длины или образование разрывов дистальной оконечности.

Наиболее интригующим является периодическое резкое изменение направления роста дистали. В 2015 г. начала формироваться новая дистальная оконечность, длина которой к настоящему времени превысила 2 км (рис. 6). Моменты, когда направление роста дистали резко менялось, подобно показанному на рис. 6, в истории косы Камышеватской отмечались неоднократно (рис. 7). Предыдущие генерации дистальных валов заметны в структуре косы в виде протяженных валов, полуостровов и островов в центральной и северной частях косы. Характерный раздвоенный дистальный вал, различимый на карте Черномории 1857 г. (см. рис. 2, ∂), позволил оценить периодичность образования новых дистальных оконечностей в последние два столетия (рис. 8).

На рис. 8 заметно, что развитие дистали косы Камышеватской носит циклический характер, указывающий на периодическое изменение одного или нескольких действующих факторов. Также следует отметить, что частота повторения указанных циклов возрастает.



Рис. 6. Изменение направления роста дистальной части косы Камышеватской



Рис. 7. Динамика дистальной части косы Камышеватской в 1971–2024 гг.



Рис. 8. Динамика дистальной части косы Камышеватской с 1857 г.

Заключение

Конфигурация косы Камышеватской и коренных абразионных берегов, структура рельефа аккумулятивной формы, состав отложений указывают на наличие в прошлом природных событий, приводивших к кардинальной смене гидролитодинамических условий ее формирования. Анализ исторических карт, архивных и современных космических снимков показал, что подобные явления имеют место и в настоящее время, их частота увеличивается. Данное обстоятельство необходимо учитывать при планировании хозяйственной деятельности, прогнозировании опасных

природных явлений и разработке природоохранных и берегоукрепительных мероприятий.

Благодарности

Работа выполнена в рамках темы Госзадания № FMWE-2024-0027.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Матишов Г. Г., Беспалова Л. А., Ивлиева О. В. Азовское море: современные абразионные процессы и проблемы берегозащиты // Доклады Академии наук. – 2016. – Т. 47, № 4. – С. 483–486. – DOI 10.7868/S086956521634020Х. – EDN XGWGOX.

2. Косьян Р. Д., Крыленко В. В., Крыленко М. В. Разработка прогноза развития аккумулятивных берегов бесприливных морей России // Вестник Краснодарского регионального отделения РГО. – 2020. – Вып. 10. – С. 104–109. – EDN WKTVIB.

3. Хорошев О. А., Меринова Ю., Хаванский А. Д., Латун В. В. Оценка социально-экономического ущерба проявления абразионных и оползневых процессов в береговой зоне Азовского моря // Труды Южного научного центра Российской академии наук. – 2020. – Т. 8. – С. 300–311. – DOI 10.23885/1993-6621-2020-8-300-311. – EDN CODGCS.

4. 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. – EDN FIDMQL.

5. 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. – EDN BRFBYM.

6. U. S. Department of the Interior U. S. Geological Survey (USGS) [Электронный ресурс]. – URL: http://earthexplorer.usgs.gov (дата обращения: 01.02.2024).

7. Sentinel Online technical website [Электронный ресурс]. – URL: https://sentinel.esa.int/ web/ sentinel/technical-guides/sentinel-2-msi/level-1c/product-formatting (дата обращения: 12.12.2023).

8. MultiSpectral Instrument (MSI) [Электронный ресурс]. – URL: https://sentinel.esa.int/ web/sentinel/missions/sentinel-2/instrument-payload (дата обращения: 12.12.2023).

9. Папакома (Карты) [Электронный ресурс]. – URL: http://papacoma.narod.ru/maps-index.htm (дата обращения: 13.11.2023).

10. Будищев И. М. Лоция и морской путеводитель по Азовскому морю. Санкт-Петербург. – 1808. – 78 с.

11. Сухомлин А. М. Лоция Азовского моря и Керченского пролива. – Николаев : Черноморское гидрографическое депо, 1854. – 96 с.

12. Etomesto (Карты) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.etomesto.com/ map-kuban 1857-1858/ (дата обращения: 12.12.2023).

13. Мамыкина В. А., Хрусталев Ю. П. Береговая зона Азовского моря. – Ростов н/Д : РГУ, 1980. – 176 с.

14. Паспорт памятника природы регионального значения «Коса Камышеватская», 2023 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://admkrai.krasnodar.ru/upload/iblock/ff8/ m0pz3oqd06yikvsoorn1trrdaxi7xw4e.pdf (дата обращения: 15.05.2024).

15. Kosyan R. D., Krylenko M. V. Modern state and dynamics of the Sea of Azov coasts // Estuarine, Coastal and Shelf Science. – 2019. – V. 224. – P. 314–323. – DOI 10.1016/j.ecss.2019.05.008/. – EDN ALPBKS.

16. Скрипка Г. И., Косолапов А. Е., Беспалова Л. А., Ивлиева О. В. Мониторинг опасных экзогенных процессов в береговой зоне Азовского моря с применением данных дистанционного зондирования и ГИС-технологий // Водные ресурсы: новые вызовы и пути решения. – 2017. – С. 531–536. – EDN ZRZJJT.

17. Беспалова Л. А., Цыганкова А. Е. Абразионные процессы и их последствия // Труды Южного научного центра Российской академии наук. – 2020. – Т. 8. – С. 97–110. – DOI 10.23885/1993-6621-2020-8-97-110. – EDN VZXXIV.

18. Divinsky B., Kosyan R. Conditions of sand spits formation at the Northern Sea of Azov coast // Regional Studies in Marine Science. – 2022. – V. 52. – P. 102373. – DOI 10.1016/j.rsma.2022.102373. – EDN WZHHJH.

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.

Получено 24.09.2024

© В. В. Крыленко, М. В. Крыленко, 2025

Research of the structure and dynamics of the Kamyshevatskaya spit (Sea of Azov) based on remote sensing data

V. V. Krylenko $^{\bowtie}$, M. V. Krylenko

Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow, Russian Federation

e-mail: krylenko.slava@gmail.com

Abstract. Monitoring the dynamics of coastal geosystems, including changes in the position of the coastline and relief is a necessary component of integrated coastal zone management. The aim of the study is to characterize the structure of the Kamyshevatskaya Spit (Sea of Azov) and determine the magnitude of modern dynamics of the coastline. The study was carried out on the basis of literary sources, remote sensing data (including aerial photography materials from UAV) and the results of field studies. The main method for studying the coastline dynamics has become the analysis of historical maps, archival and modern space images. It has been established that the dynamics of the configuration and relief of the above-water part are characterized by high spatio-temporal variability, caused by a variety of acting factors. The configuration and structure of the accumulative relief indicate the presence of repeated abrupt changes in hydro-lithodynamic conditions in the past. Analysis of maps and space images has shown that similar phenomena are occurring at present. The information obtained about the current dynamics of the Kamyshevatskaya spit should be taken into account when forecasting dangerous natural phenomena and planning economic activities.

Keywords: Sea of Azov, accumulative form, remote methods, coastal dynamics, monitoring

REFERENCE

1. Matishov, G. G., Bespalova, L. A., Ivlieva, O. V. (2016). The Sea of Azov: modern abrasion processes and problems of coastal protection. *Doklady Akademii nauk [Reports of the Academy of Sciences]*, 471(4), 483–486 DOI 10.7868/S086956521634020X EDN XGWGOX [in Russian].

2. Kosyan, R. D., Krylenko, V. V., Krylenko, M. V. (2020). Development of a forecast for the development of accumulative shores of Russian tidal seas. *Vestnik Krasnodarskogo regional'nogo otdeleniya RGO [Bulletin of the Krasnodar Regional Branch of the Russian Geographical Society]*, 10, 104–109 EDN WKTVIB [in Russian].

3. Horoshev, O. A., Merinova, Yu. Havanskij A. D., Latun, V. V. (2020). Assessment of the socioeconomic impact of abrasion and landslide processes in the coastal zone of the Azov Sea. *Trudy Yuzhnogo* nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk [Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences], 8, 300–311 DOI 10.23885/1993-6621-2020-8-300-311. EDN CODGCS [in Russian].

4. Krylenko, V. V., Krylenko, M. V., Alejnikov, A. A. (2021). Possibilities of studying the relief and dynamics of the coastline of large marine accumulative forms using remote sensing data using the example of the Dolgaya Spit. *Vestnik SGUGiT [Vestnik of the Siberian State University of Geosystems and Technologies (SSUGT)]*, 3, 58–70 DOI 10.33764/2411-1759-2021-26-3-58-70. EDN FIDMQL [in Russian].

5. Byamba, O., Kas'yanova, E. L. (2021). Use of Remote Sensing and GIS in the construction of geographic bases for thematic maps. *Vestnik SGUGiT [Vestnik of the Siberian State University of Geosystems and Technologies (SSUGT)], 26(5),* 119–125 DOI 10.33764/2411-1759-2021-26-5-119-125. EDN BRFBYM [in Russian].

6. U. S. Department of the Interior U. S. Geological Survey (USGS) Retrieved from http://earthexplorer.usgs.gov (date of the application: 01.02.2024).

7. Sentinel Online technical website Retrieved from http://sentinel.esa.int/web/sentinel/technical-guides/sentinel-2-msi/level-1c/product-formatting (date of the application: 12.12.2023).

8. MultiSpectral Instrument (MSI) Retrieved from https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2/instrument-payload (date of the application: 12.12.2023).

9. Papakoma (Maps) Retrieved from http://papacoma.narod.ru/maps-index.htm (date of the application: 13.11.2023).

10. Budishchev I. M. (1808) Locija i morskoy putevoditel po Azovskomu morju [Sailing directions and sea guide to the Sea of Azov]. St. Petersburg, 78 p. [in Russian].

11. Suhomlin A. M. (1854). Locija Azovskogo morja i Kerchenskogo proliva [Sailing Directions of the Sea of Azov and the Kerch Strait]. Mykolaiv: Chernomorskoe gidrograficheskoe depo [Black Sea Hydrographic Depot], 96 p. [in Russian].

12. Etomesto (Maps) Retrieved from http://www.etomesto.com/map-kuban_1857-1858/ (date of the application: 12.12.2023).

13. Mamykina V. A., Hrustalev Ju. P. (1980). *Beregovaja zona Azovskogo morja [Coastal zone of the Azov Sea]*. Rostov-on-Don: ID RFU [in Russian]. DOI 10.31857/S0030157420010165.

14. Passport of the natural monument of regional significance "Kamyshevatskaya Spit", 2023. Retrieved from https://admkrai.krasnodar.ru/upload/iblock/ff8/m0pz3oqd06yikvsoorn1trrdaxi7xw4e.pdf (date of application: 05/15/2024).

15. Kosyan R. D., Krylenko M. V. (2019). Modern state and dynamics of the Sea of Azov coasts. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 224, 314–323. DOI 10.1016/j.ecss.2019.05.008 EDN ALPBKS.

16. Skripka G. I., Kosolapov A. E., Bespalova L. A., Ivlieva O. V. (2017). Monitoring of dangerous exogenous processes in the coastal zone of the Azov Sea using remote sensing data and GIS technologies. *Vodnye resursy: novye vyzovy i puti reshenija [Water resources: new challenges and solutions]*, pp. 531–536 EDN ZRZJJT [in Russian].

17. Bespalova L. A., Cygankova A. E. (2020). Abrasion processes and their consequences. *Trudy Juzhnogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk [Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences]*, 8, 97–110 DOI 10.23885/1993-6621-2020-8-97-110. EDN VZXXIV [in Russian].

18. Divinsky B. V., Kosyan R. D. (2022). Conditions of sand spits formation at the Northern Sea of Azov coast. *Regional Studies in Marine Science*, 52. 102373. DOI 10.1016/j.rsma.2022.102373 EDN WZHHJH.

Author details

Viacheslav V. Krylenko – Ph. D., Senior Researcher of the Laboratory of Ecology. *Marina V. Krylenko* – Ph. D., Leading Researcher of the Laboratory of Lithodynamics and Geology.

Received 24.09.2024

© V. V. Krylenko, M. V. Krylenko, 2025