

Изменения топографии прибрежной зоны Бакальской косы с 2018 по 2019 годы

В. И. Руднев, Б. В. Дивинский, Р. Д. Косьян*

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

**e-mail: rkosyan@hotmail.com*

Поступила 12.11.2019 г.; принята к публикации 21.02.2020 г.; опубликована 25.03.2020 г.

Выполнен сравнительный анализ результатов эхолотных промеров и аэрофотосъемок 2018 и 2019 гг. с целью определить произошедшие за год изменения береговой линии и топографии морского дна прибрежной зоны Бакальской косы, а также оценить влияние гидродинамических факторов, приведших к этим трансформациям. Показана динамика изменения пространственного положения подводных валов. Построена дифференциальная карта глубин акватории на основе изменения батиметрических отметок расчетных сеток в 2018 и 2019 гг. Шаг и параметры сетки были приведены к одинаковым значениям, чтобы наиболее полно выявить произошедшие изменения. Произведены расчеты, позволяющие оценить количественные показатели как переноса песчано-ракушечного материала из западной в восточную часть региона, так и безвозвратной потери осадков из береговой зоны. Установлено, что количество осадочных материалов, поступивших за год в восточную часть косы, превышает объем грунта, размываемого в ее западной части. Определена роль поверхностного ветрового волнения как определяющего фактора гидродинамического воздействия на прибрежную зону исследуемого полигона. Отмечено, что неконтролируемая хозяйственная деятельность ведет к ускоренной деградации уникального природного объекта.

Ключевые слова: полигон, батиметрия, топография, профиль, подводный вал, Бакальская коса, морфометрия, размыв, ветровое волнение.

Благодарности: исследования проводились в рамках работ по программам № 0149-2019-0014. Морские работы, камеральная обработка полевых данных и анализ литературы поддержаны грантами РФФИ № 18-05-80035 и 19-05-00041.

Для цитирования: 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

© Руднев В. И., Дивинский Б. В., Косьян Р. Д., 2020



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0)
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License

Changes in Topography of the Coastal Zone of the Bakalskaya Spit from 2018 to 2019

V. I. Rudnev, B. V. Divinskiy, R. D. Kosyan*

Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

**e-mail: rkosyan@hotmail.com*

Submitted 12.11.2019; revised 21.02.2020; published 25.03.2020

A comparative analysis is performed for the results of echo-sounding and aerial surveys of 2018 and 2019 in order to determine changes in the coastline and topography of the coastal zone of the Bakalskaya Spit that occurred during the year and also to assess the influence of hydrodynamic factors led to these transformations. The dynamics of changes in the spatial position of underwaterbars is shown. A differential bathymetry map of the water area was constructed. Calculations were made to evaluate the quantitative indicators of the sand and shell material transfer from the western to eastern part of the region as well as to assess permanent loss of precipitation from the coastal zone. It is established that the amount of sedimentary material released into the eastern part of the spit during the year exceeds that of soil eroded in its western part. The role of wind waves as a determining factor of hydrodynamic impact on the coastal zone of the test site is defined. It is noted that uncontrolled anthropogenic activity leads to accelerated degradation of a unique natural object.

Keywords: polygon, bathymetry, topography, profile, underwater bar, morphometry, Bakalskaya spit, erosion, wind waves.

Acknowledgments: the research is performed under programme no. 0149-2019-0014. Marine exploration, office analysis of field data and references analysis are supported by grants no. 18-05-80035 and 19-05-00041 of the Russian Foundation for Basic Research.

For citation: Rudnev, V.I., Divinskiy, B.V. and Kosyan, R.D., 2020. Changes in Topography of the Coastal Zone of the Bakalskaya Spit from 2018 to 2019. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (1), pp. 22–35. doi:10.22449/2413-5577-2020-1-22-35 (in Russian).

Введение. Совокупность природных ресурсов прибрежных акваторий и приморских территорий делает морское побережье весьма перспективным местом для хозяйственного использования. Азово-Черноморское побережье страны является одним из наиболее населенных и интенсивно развивающихся регионов и обладает, помимо прочего, высочайшим рекреационным потенциалом [1, 2]. Это побережье имеет огромное геополитическое, транспортное, экономическое, природоохранное значение для страны. В его пределах имеются уникальные природные резерваты биоразнообразия мирового масштаба.

Бакальская коса, расположенная на северо-западном побережье Крымского п-ова в Каркинитском заливе, относится к таким природным объектам, имея статус ландшафтно-рекреационного парка местного значения. Пограничное (суша – море) расположение Бакальской косы обуславливает ее высокую чувствительность к внешним воздействиям (природным и антропогенным), что, в свою очередь, определяет активную динамику береговых геосистем.

Прибрежная зона Бакальской косы подвержена значительным литодинамическим изменениям под действием гидрометеорологических факторов даже за сравнительно небольшой временной промежуток. Происходящие при этом процессы представляют несомненный научный интерес как для прогноза развития этого природного образования, так и для изучения общих закономерностей возникновения и эволюции подобных природных морфосистем.

Отмечено [3–5], что в последнее десятилетие деградация косы ускорилась. В связи с этим мониторинг ее состояния стал особенно актуальным.

В июне 2018 г. группой исследователей Южного отделения Института океанологии РАН совместно с сотрудниками Морского гидрофизического института РАН проведена комплексная геолого-геофизическая экспедиция. Краткая характеристика изучаемого района, цели и задачи выполненных исследований приведены в обзорной статье [3]. Для наблюдения за временными изменениями, происходящими на данном участке в течение года, в июне 2019 г. была проведена повторная прибрежная эхолотная съемка на том же полигоне. Обе съемки – 2018 и 2019 гг. – выполнялись в один и тот же месяц (июнь) с использованием одного и того же оборудования.

Основной задачей настоящей работы является анализ результатов эхолотных промеров 2018 и 2019 гг. с целью определения произошедших изменений в рельефе подводных участков, прилегающих к Бакальской косе и к отделившемуся от нее острову, а также оценка влияния гидродинамических факторов, приведших к этим трансформациям.

Методика и объемы работ. Для проведения промеров акватории был использован хорошо зарекомендовавший себя мобильный комплекс, состоящий из картплоттера *Humminbird 898cx SI Combo* и двухлучевого сонара *DualBeam PLUS™*, установленных на мотолодке «Кайман 300». Два излучателя сонара с частотами 50 и 200 кГц обеспечивают измерение глубин в диапазоне от 1.0 до 450.0 м. Точность позиционирования модуля *GPSAS-GR50* в установившемся режиме составляет ± 2.5 м.

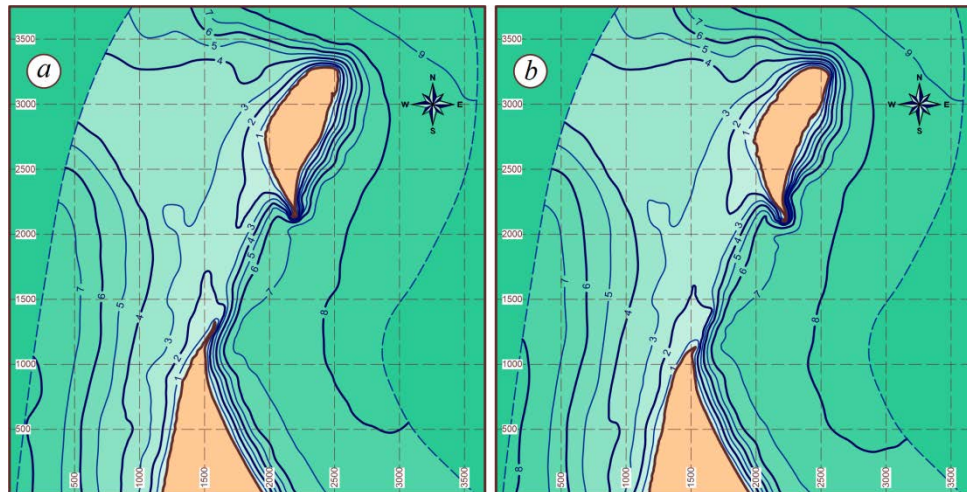
Промерные галсы в июне 2019 г. в основном осуществлялись по тем же маршрутам, что и в июне 2018 г. Полная схема основных промерных галсов приведена в статье [6]. Межгалсовые расстояния в районе пролива, разъединяющего Бакальскую косу и остров, составляли 150 м, на остальных участках – 300 м. Всего в 2019 г. выполнено 56 основных галсов общей протяженностью 79.3 км. Дополнительно к основным галсам, направленным по нормали к береговой линии, производились промеры вокруг острова, вокруг оконечности дистальной части косы и на участке между островом и косой. Выполнено четыре таких галса суммарной протяженностью 7.8 км.

Чтобы определить изменения линий уреза материковой части косы и острова, одновременно с эхолотными промерами проводилась аэрофотосъемка с помощью квадрокоптера *Phantom 4 Pro*. Первоначальные данные геопозиционирования, полученные встроенным в коптер устройством *GPS*, уточнялись с помощью опорных точек. Географическая привязка осуществлялась геодезическим полевым контроллером фирмы *Leica Geosystems*. Применение такого подхода позволяет получить координаты контура береговой линии с высокой степенью точности [7].

Результаты и обсуждение. По результатам эхолотного промера построена батиметрическая карта полигона в масштабе 1 : 20000 (универсальная поперечная проекция Меркатора, зона 36 N) и обзорные профили рельефа дна. Ранее была представлена батиметрическая карта того же участка по состоянию на июнь 2018 г. [6]. На рис. 1 показаны фрагменты карт 2018 и 2019 гг. Границы фрагментов выбраны так, чтобы максимально наглядно представить произошедшие топографические преобразования.

Наблюдаются хорошо выраженные изменения в конфигурации острова и дистальной части косы. В табл. 1 представлены некоторые данные, позволяющие судить о количественных показателях произошедших преобразований рельефа надводной части полигона.

Остров. Выявлены заметные трансформации отделившейся части косы (рис. 2, а). Наибольший размыв ракушечно-песчаного грунта произошел в западной части острова. Берег отступил в среднем на 23–28 м, на некоторых



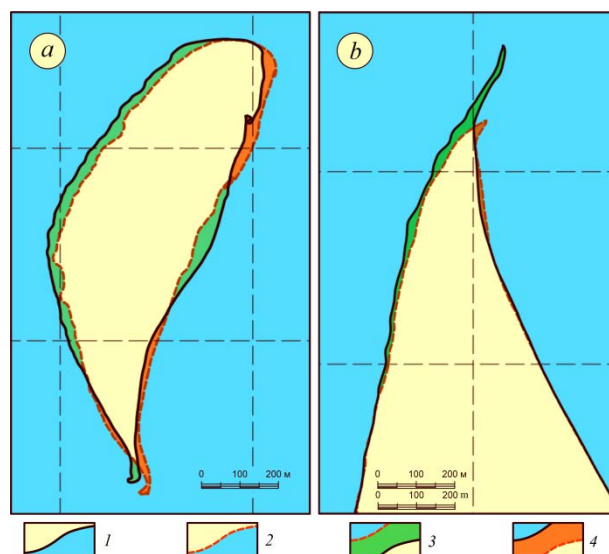
Р и с . 1. Фрагменты схем рельефа дна прибрежной зоны Бакальской косы в 2018 г. (а); 2019 г. (б)

Fig . 1. Fragments of bottom configuration scheme of the Bakalskaya Spit coastal zone in 2018 (a); 2019 (b)

Т а б л и ц а 1. Изменения морфометрических характеристик выделенного на рис. 1 фрагмента Бакальской косы за 2018–2019 гг.

Table 1. Changes of morphometric parameters of the Bakalskaya Spit fragment that is marked in Fig. 1 for 2018–2019

Год / Year	Бакальская коса / Bakalskaya Spit		Остров / Island	
	Длина береговой линии, км / Coastline length, km	Площадь, км ² / Area, km ²	Длина береговой линии, км / Coastline length, km	Площадь, км ² / Area, km ²
2018	2.866	0.433	2.814	0.306
2019	2.461	0.421	2.970	0.288



Р и с . 2. Изменения рельефа суши в районе Бакальской косы: отделившийся остров (a); дистальная часть (b) (1 – береговая линия 2018 г.; 2 – береговая линия 2019 г.; 3 – зоны размыва; 4 – зоны аккумуляции)

Fig. 2. Land relief changes in the Bakalskaya Spit area: separated island (a); distal part (b) (1 – coastline in 2018; 2 – coastline in 2019; 3 – erosion zones; 4 – accumulation zones)

участках до 35 м. Северный выступ сохранил свою конфигурацию, однако сдвинулся на 46 м в юго-восточном направлении.

С восточной стороны изменения носят более сложный характер. В центральной части линия уреза сдвинулась на 43 м к центру острова, в то время как в юго-восточной части произошел намыв грунта, достигающий максимальной ширины 13 м. С северо-восточной стороны этот процесс выражен более ярко. Здесь береговая линия выступила в море на расстояние до 25–30 м, а на отдельных участках это расстояние достигло 34 м. Непосредственно на северной стороне острова изменений не обнаружено. Площадь острова уменьшилась на 5.9 %.

Коса. Отмечены значительные изменения оконечности дистальной части косы (рис. 2, b). Северная точка сместилась в южном направлении на 200 м, что привело к значительному сокращению длины береговой линии. С западной стороны на расстоянии около 450 м от северной оконечности косы вдоль побережья отступление береговой линии достигает 26 м, в дальнейшем на расстоянии от 450 до 800 м интенсивность размыва уменьшается и составляет в среднем 9–11 м. Затем, по мере продвижения к корневой части косы, изменения становятся незначительными или вообще отсутствуют.

Восточная сторона была подвержена трансформациям в существенно меньшей степени. На расстоянии около 80 м от северной оконечности косы начинается участок длиной 260 м, в центре которого линия уреза сместилась на максимальное значение 11 м по направлению к осевой линии косы. По мере продвижения в северном и южном направлениях от центра участка величина размыва плавно уменьшается, а затем различия береговых линий 2018 и 2019 гг. становятся крайне незначительными. Площадь косы на рассматриваемом участке уменьшилась на 2.8 %.

Подводный рельеф. Изменения в надводной части исследуемого полигона неизбежно отразились и на топографии морского рельефа. Произошло ожидаемое и закономерное изменение батиметрических отметок вблизи

острова и дистальной части косы. На северо-западе от острова выявлен участок морской акватории, на котором заметно изменился рисунок изобат, что свидетельствует о локальных довольно значительных изменениях рельефа дна. Другая привлекающая внимание морфологическая особенность топографии полигона – конфигурация подводных валов на отмели Бакальской банки. В статье [6] подробно описаны их линейные размеры и пространственное положение в 2018 г. Промеры 2019 г. позволили выявить изменения в их конфигурации, произошедшие за исследуемый период.

Наиболее достоверным методом изучения трансформации валов и более мелких деталей топографии морского дна является анализ эхограмм промера и обзорных профилей рельефа, так как при построении батиметрической карты происходит неизбежное осреднение данных и, как следствие, упрощение и потеря информации об относительно малоразмерных элементах рельефа. На рис. 3 приведено несколько характерных обзорных профилей.

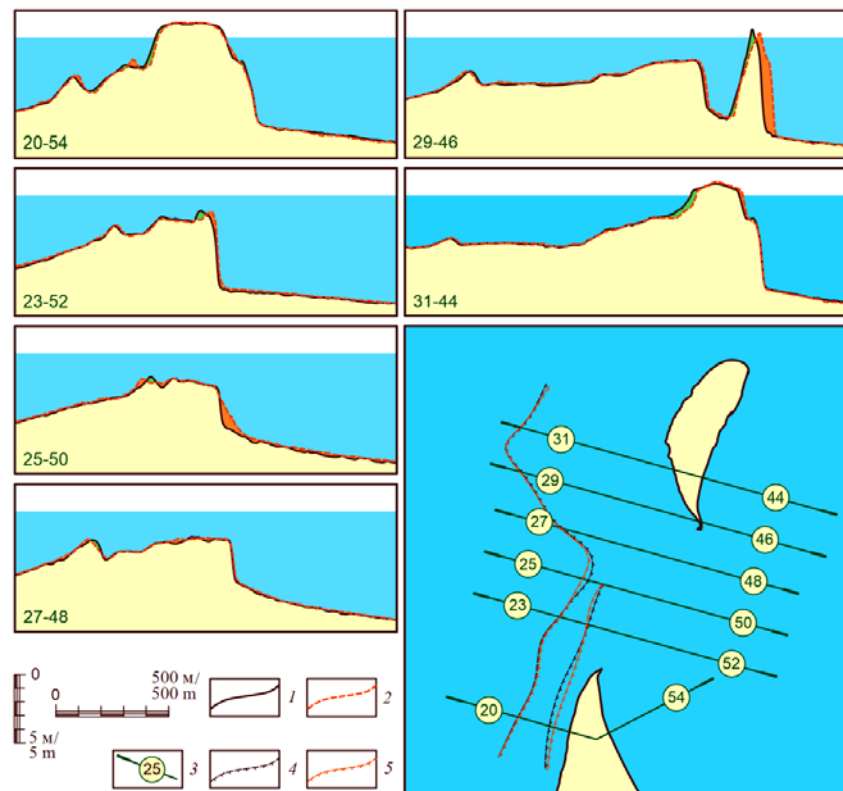


Рис. 3. Обзорные профили рельефа дна в районе Бакальской косы: 1 – контур дна, 2018 г.; 2 – контур дна, 2019 г.; 3 – линия профиля и номер соответствующего промерного галса; 4 – положение гребней валов, 2018 г.; 5 – положение гребней валов, 2019 г.

Fig. 3. Review bottom relief profiles in the Bakalskaya Spit area: 1 – bottom contour, 2018; 2 – bottom contour, 2019; 3 – profile line and number of respective sounding lines; 4 – position of bar crests, 2018; 5 – position of bar crests, 2019

Интерпретация эхолотных записей, полученных в 2018–2019 гг., показывает, что геометрические характеристики валов (ширина подошвы, высота) изменились незначительно. Произшедшие за год изменения высот почти на всем протяжении валов составляют ± 0.1 м и лишь в некоторых случаях превышают это значение.

Что касается пространственного положения, то выявлена тенденция смещения гребней валов в восточном направлении на участках дистальной части косы и острова, т. е. гребни перемещаются в том же направлении, что и урез воды, причем перемещение гребня прибрежного вала происходит более выразительно (рис. 3). Максимальное смещение составило 46 м в районе промерных галсов 20–22. Для глубоководного вала выявлено смещение 26 м в районе галсов 32–33.

На участке акватории между косой и островом, наоборот, имеется некоторое смещение гребней в западном направлении. Его величина для прибрежного вала находится в пределах 24 м (галсы 23–25), для глубоководного – до 34 м (галсы 24–26).

На основе данных 2018–2019 гг. построена дифференциальная карта глубин, которая дает возможность оценить произошедшие на полигоне изменения за год в количественных показателях (рис. 4).

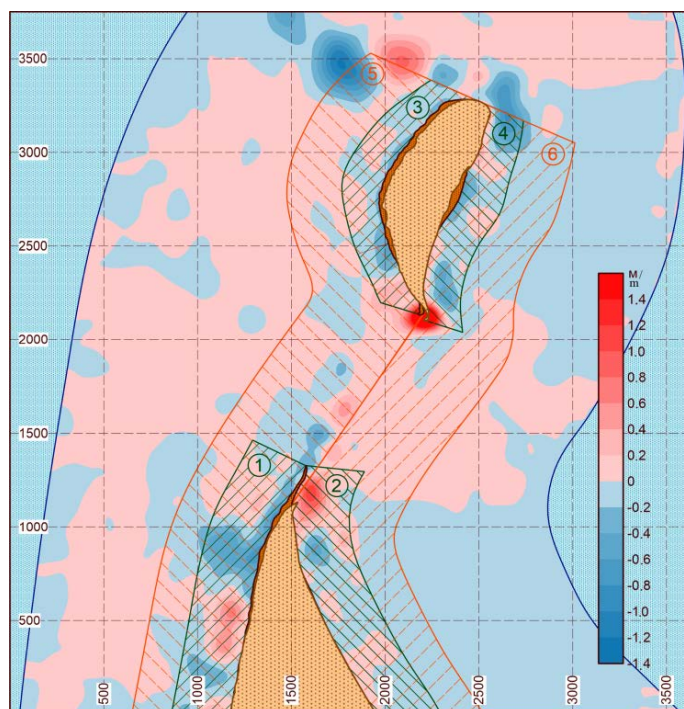


Рис. 4. Фрагмент дифференциальной карты глубин прибрежной зоны Бакальской косы, цифрами обозначены выделенные для расчета полигоны

Fig. 4. Fragment of the depth differential map of the Bakalskaya Spit coast area, numerals stand for test sites selected for calculations

Общий анализ карты позволяет сделать вывод о том, что непосредственно на прибрежном участке дистальной части косы шириной 200–300 м с западной стороны происходит углубление акватории, в то время как с восточной она становится более мелководной. Для острова этот процесс выражен неявно – на небольшом участке имеются как зоны размыва, так и зоны аккумуляции осадков.

Для оценки количества переносимого грунта выделено несколько условных полигонов в местах наиболее интенсивных деформаций (рис. 4). Ширина полигонов 1 и 2 составляет около 300 м (примерное положение изобаты 4 м в центральной части западного побережья косы), ширина полигонов 3 и 4 у острова – 200 м. Для этих участков выполнен расчет изменения объема донных отложений за исследуемый интервал времени. Результаты представлены в табл. 2.

Данные табл. 2 показывают, что объем донных осадков, размываемых с западной части косы, меньше объема аккумуляции осадков в восточной ее части. Соответственно, северная оконечность косы будет перемещаться в восточном – северо-восточном направлении, что и подтверждается многолетними наблюдениями [4]. У острова процессы размыва отмечены с обеих сторон (за исключением южной оконечности). Этим, возможно, объясняется то обстоятельство, что за прошедший год он почти не изменил своего положения, уменьшилась лишь его площадь.

Для грубой оценки изменения объема осадков прибрежной зоны Бакальской косы выделены два полигона шириной 500 м (примерное положение изобаты 5 м в центральной части западного побережья косы) по всей длине фрагмента (полигоны 5 и 6 на рис. 4). Расчеты, выполненные по методике [8], по данным повторных батиметрических съемок показывают, что общие потери донного грунта на этом участке за исследуемый период составляют около 15000 м³. Если говорить об объеме материала, безвозвратно ушедшего за год непосредственно из тела косы, то его можно оценить значением в пределах 16000–18000 м³, для острова это значение составляет 10000–12000 м³.

Т а б л и ц а 2. Оценочный расчет изменения объема донных отложений на выделенных полигонах за 2018–2019 гг.

T a b l e 2. Estimate of change of the bottom sediment volume at the selected test sites for the period 2018–2019

Номер полигона / Test site number	Площадь полигона, км ² / Test site area, km ²	Изменение объема донных отложений, м ³ / Change of bottom sediment volume, m ³	Относительное изменение объема донных отложений на 1 м ² , см / Relative change of bottom sediment volume per 1 m ² , cm
1	0.455	–32582.3	–7.16
2	0.417	+25113.0	+6.02
3	0.259	–10809.5	–4.17
4	0.253	–10354.2	–4.09
5	1.972	–20303.6	–1.03
6	1.755	+5613.6	+0.32

Протекающие на Бакальской косе процессы являются результатом гидродинамического воздействия на прибрежную зону, одним из основных факторов которого выступает поверхностное ветровое волнение. Ранее в работе [9] был выполнен анализ изменчивости параметров ветрового волнения и морских течений в районе Бакальской косы. Отметим, что предыдущие исследования ветрового волнения, близкие к нам по тематике [10–14], ограничены рассмотрением только конкретных штормовых ситуаций, оперируют данными визуальных наблюдений или же отнесены к достаточно отдаленным от косы точкам западного побережья.

Для настоящей работы проанализирована изменчивость волнового поля за последний год. Для моделирования трансформации волнового поля используется спектральная модель *DHIMIKE SW*, которая с успехом применялась при исследованиях волновых процессов разных пространственно-временных масштабов, от локальных до глобальных [15–20]. Она воспроизводит основные физические механизмы зарождения, трансформации и затухания ветрового волнения. Описание модели и этапы ее верификации подробнейшим образом изложены в работе [10]. Отметим лишь основные моменты:

- неравномерная расчетная сетка покрывает всю акваторию Черного и Азовского морей и состоит из 20 тыс. расчетных элементов;

- в качестве исходных полей ветра используются данные глобального атмосферного реанализа *ERA-Interim*, представленного Европейским центром среднесрочных прогнозов (<http://apps.ecmwf.int>). Рассматриваемая область ограничена координатами: по широте – 40° и 47° с. ш., по долготе – 27° и 42° в. д. Пространственное разрешение полей ветра по широте и долготе составляет 0.25°, шаг по времени – 3 ч.

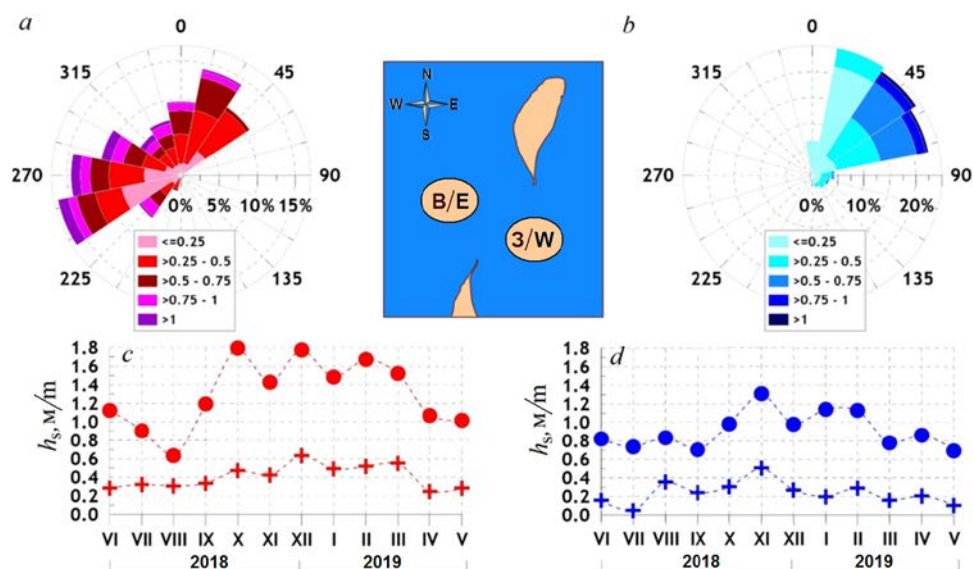
Для дальнейшего анализа сформирована выборка, состоящая из основных параметров ветрового волнения за период с июня 2018 г. по май 2019 г. включительно. Расчеты приведены для двух точек с западной и восточной стороны пролива, расположенных на глубинах в 5 м.

На рис. 5 представлены розы ветрового волнения (в терминах значительных высот волн) для западной и восточной части акватории вод, омывающих Бакальскую косу, а также среднемесячные и максимальные величины значительных высот волн за указанный период.

Как следует из рис. 5, в районе пролива, разделяющего материковую часть косы и остров, повторяемости ветрового волнения по юго-западным и северо-восточным направлениям распространения, определяющие направление выноса песка через пролив, приблизительно одинаковы. В то же время значительные высоты волн юго-западного направления превышают высоты волн северо-восточного направления в два раза по средним показателям и в полтора – по максимальным. Таким образом, за исследуемый период волновое воздействие на прибрежную зону западной части косы значительно превосходило воздействие ветрового волнения на ее восточную часть.

Выводы. Представленные в статье материалы позволяют сделать следующие заключения:

- Бакальская коса – регион, в котором динамика береговой линии и прилегающих участков морского дна является чрезвычайно активной и хорошо выраженной даже в течение небольшого промежутка времени.



Р и с. 5. Розы ветрового волнения в указанных точках акватории (a, b); среднемесячные (+) и максимальные (●) величины значительных высот волн (c, d) за период с июня 2018 по май 2019 гг.

Fig. 5. Wind wave patterns in the specified points of water area (a, b); monthly mean (+) and maximum (●) values of significant wave heights (c, d) for the period from June 2018 to May 2019

– Гребни подводных валов имеют тенденцию перемещаться вслед за отступающей береговой линией косы и острова.

– Наблюдается ярко выраженный процесс размыва западной части оголовка косы и острова и перемещение песчано-ракушечного материала в их восточную часть.

– Определяющим фактором в процессе преобразований рельефа Бакальской косы является различное волновое воздействие на ее западную и восточную части.

– За год из тела Бакальской косы, прилегающего острова и подводного берегового склона безвозвратно ушло на большие глубины от 42000 до 45000 м³ песка. Весьма вероятно, что эти потери связаны с выборкой песка, ведущейся в районе Бакальской косы с 2015 г. для целей гражданского строительства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Косьян Р. Д., Крыленко В. В. Современное состояние морских аккумулятивных берегов Краснодарского края и их использование. М. : Научный мир, 2014. 256 с.
2. Crimea and Caucasus accumulative coasts dynamics estimation using satellite pictures / R. D. Kosyan [et al.] // Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 2012. Vol. 12, no. 2. P. 385–390. doi:10.4194/1303-2712-v12_2_26
3. Горячкин Ю. Н., Косьян Р. Д. Бакальская коса – уникальный природный объект Крымского полуострова (обзор) // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2018. Вып. 4. С. 5–14. doi:10.22449/2413-5577-2018-4-5-14

4. *Горячкин Ю. Н., Харитонова Л. В.* Динамика береговой линии в районе Бакальской косы // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2018. Вып. 4. С. 22–30. doi:10.22449/2413-5577-2018-4-22-30
5. *Крыленко С. В., Крыленко В. В.* Влияние трансформации дистальной части Бакальской косы на орнитофауну // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2018. Вып. 4. С. 73–80. doi: 10.22449/2413-5577-2018-4-73-80
6. *Руднев В. И.* Особенности рельефа дна прибрежной зоны Бакальской косы // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2018. Вып. 4. С. 15–21. doi:10.22449/2413-5577-2018-4-15-21
7. *Крыленко В. В., Руднев В. И.* Методика аэрофотосъемки Бакальской косы // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2018. Вып. 4. С. 59–64. doi:10.22449/2413-5577-2018-4-59-64
8. *Косьян Р. Д., Федорова Е. А.* Деформации подводного берегового склона Анапской пересыпи с 2012 по 2018 г. // Океанология. 2019. Т. 59, № 5. С. 844–851. doi:10.31857/S0030-1574595844-851
9. *Дивинский Б. В.* Гидродинамические условия вод в районе Бакальской косы // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2018. Вып. 4. С. 31–39. doi:10.22449/2413-5577-2018-4-31-39
10. *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. Севастополь : МГИ, 2009. Вып. 19. С. 56–69.
11. *Горячкин Ю. Н., Удовик В. Ф., Харитонова 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.
12. Ветро-волновые условия Азово-Черноморского побережья Украины / В. А. Наумова [и др.] // Труды Украинского научно-исследовательского гидрометеорологического института. Киев, 2010. Вып. 259. С. 263–283.
13. *Фомин В. В., Алексеев Д. В., Харитонова Л. В.* Моделирование морфодинамики Бакальской косы // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь : МГИ, 2013. Вып. 27. С. 374–380.
14. *Харитонова Л. В., Фомин В. В.* Статистические характеристики ветрового волнения в прибрежной зоне Западного Крыма по данным ретроспективных расчетов за 1979 – 2010 гг. // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь : МГИ, 2012. Вып. 26, т. 1. С. 24–33.
15. *Venugopal V., Nemalidinne R., Vögler A.* Numerical modelling of wave energy resources and assessment of wave energy extraction by large scale wave farms // Ocean & Coastal Management. 2017. Vol. 147. P. 37–48. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.03.012>
16. *Lisboa R. C., Teixeira P. R. F., Fortes C. J.* Numerical evaluation of wave energy potential in the south of Brazil // Energy. 2017. Vol. 121. P. 176–184. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.01.001>
17. *Jadidoleslam N., Özger M., Ağralioğlu N.* Wave power potential assessment of Aegean Sea with an integrated 15-year data // Renewable Energy. 2015. Vol. 86. P. 1045–1059. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.09.022>

18. *Hoque M., Perrie W., Solomon S. M.* Evaluation of two spectral wave models for wave hindcasting in the Mackenzie Delta // *Applied Ocean Research*. 2017. Vol. 62. P. 169–180. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2016.11.009>
19. *Gurumoorthi K., Venkatachalapathy R.* Hydrodynamic modeling along the southern tip of India: A special emphasis on Kanyakumari coast // *Journal of Ocean Engineering and Science*. 2017. Vol. 2, iss. 4. P. 229–244. <https://doi.org/10.1016/j.joes.2017.08.004>
20. *Jahangir M. H., Mazinani M.* Evaluation of the convertible offshore wave energy capacity of the southern strip of the Caspian Sea // *Renewable Energy*. 2020. Vol. 152. P. 331–346. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.01.012>
21. *Divinsky B. V., Kosyan R. D.* Spatiotemporal variability of the Black Sea wave climate in the last 37 years // *Continental Shelf Research*. 2017. Vol. 136. P. 1–19. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2017.01.008>

Об авторах:

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

Дивинский Борис Васильевич, ведущий научный сотрудник, Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН (117997, Россия, г. Москва, Нахимовский проспект, д. 36), кандидат географических наук, **ORCID ID: 0000-0002-2452-1922**, **ResearcherID: C-7262-2014**, divin@ocean.ru

Руднев Валерий Иванович, младший научный сотрудник, Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН (117997, Россия, г. Москва, Нахимовский проспект, д. 36), **ORCID ID: 0000-0003-2805-1478**, evsgeol@rambler.ru

Заявленный вклад авторов:

Косьян Рубен Дереникович – постановка задачи исследования, руководство полевыми работами, формирование статьи

Дивинский Борис Васильевич – анализ изменчивости волнового поля за последний год, оценка влияния гидродинамических факторов на трансформацию береговой линии и топографию морского дна прибрежной зоны Бакальской косы

Руднев Валерий Иванович – выполнение эхолотных промеров, анализ результатов промеров и аэрофотосъемок, построение дифференциальной карты глубин

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Kosyan, R.D. and Krylenko, V.V., 2014. *The Current State of Marine Accumulative Shores of Krasnodar Region and their Use*. Moscow: Nauchnyy Mir, 256 p. (in Russian).
2. Kosyan, R.D., Goryachkin, Yu.N., Krylenko, V.V., Dolotov, V.V., Krylenko, M.V. and Godin, E.A., 2012. Crimea and Caucasus Accumulative Coasts Dynamics Estimation Using Satellite Pictures. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 12(2), pp. 385–390. doi:10.4194/1303-2712-v12_2_26
3. Goryachkin, Yu.N. and Kosyan, R.D., 2018. The Bakalskaya Spit is a Unique Natural Object of the Crimean Peninsula (Review). *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (4), pp. 5–14. doi:10.22449/2413-5577-2018-4-5-14 (in Russian).

4. Goryachkin, Yu.N. and Kharitonova, L.V., 2018. Dynamics of the Shoreline in the Area of the Bakalskaya Spit. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (4), pp. 22–30. doi:10.22449/2413-5577-2018-4-22-30 (in Russian).
5. Krylenko, S.V. and Krylenko, V.V., 2018. Impact of Transformation of the Bakalskaya Spit to Avifaunas. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (4), pp. 73–80. doi:10.22449/2413-5577-2018-4-73-80 (in Russian).
6. Rudnev, V.I., 2018. Peculiarities of the Bottom Relief of the Bakalskaya Spit Foreshore. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (4), pp. 15–21. doi:10.22449/2413-5577-2018-4-15-21 (in Russian).
7. Krylenko, V.V. and Rudnev, V.I., 2018. Technique of Photographic Aerial Survey of the Bakalskaya Spit. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (4), pp. 59–64. doi:10.22449/2413-5577-2018-4-59-64 (in Russian).
8. Kosyan, R.D. and Fedorova, E.A., 2019. Deformation of the Submerged Slope of the Anapa Bay-Bar from 2012 to 2018. *Oceanology*, 59(5), pp. 764–770. <https://doi.org/10.1134/S0001437019050096>
9. Divinsky, B.V., 2018. Hydrodynamic Water Conditions in the Bakalskaya Spit Area. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (4), pp. 31–39. doi:10.22449/2413-5577-2018-4-31-39 (in Russian).
10. Goryashkin, Yu.N. and Repetin, L.N., 2009. Storm Wind and Wave Regime near the Black Sea Coast of Crimea. In: MHI, 2009. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones and Comprehensive Use of Shelf Resources*. Sevastopol, MHI. Iss. 19, pp. 56–69 (in Russian).
11. Goryachkin, Y.N., Udovik, V.F. and Kharitonova, L.V., 2011. 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. *Physical Oceanography*, 20(5), article 356. <https://doi.org/10.1007/s11110-011-9091-9>
12. Naumova, V.A., Evstigneev, M.P., Evstigneev, V.P. and Lyubarets, E.P., 2010. Wind and Wave Forming Conditions in Azov-Black Sea Coast Region. In: UHMI, 2010. *Scientific Works of the Ukrainian Research Hydrometeorological Institute*. Iss. 259, pp. 263–283 (in Russian).
13. Fomin V.V., Alekseev D.V. and Kharitonova L.V., 2013. Modeling of Morphodynamics of the Bakalskaya Spit. In: MHI, 2013. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones and Comprehensive Use of Shelf Resources*. Sevastopol, MHI. Iss. 27, pp. 374–380 (in Russian).
14. Kharitonova, L.V. and Fomin, V.V., 2012. Statistical Characteristics of Wind Waves in the Coastal Area of the Western Crimea According to Retrospective Estimation during 1979 – 2010. In: MHI, 2012. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones and Comprehensive Use of Shelf Resources*. Sevastopol, MHI. Iss. 26(1), pp. 24–33 (in Russian).
15. Venugopal, V., Nimalidinne, R. and Vögler, A., 2017. Numerical Modelling of Wave Energy Resources and Assessment of Wave Energy Extraction by Large Scale Wave Farms. *Ocean & Coastal Management*, 147, pp. 37–48. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.03.012>
16. Lisboa, R.C., Teixeira, P.R.F. and Fortes, C.J., 2017. Numerical Evaluation of Wave Energy Potential in the South of Brazil. *Energy*, 121, pp. 176–184. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.01.001>
17. Jadidoleslam, N., Özger, M. and Ağralioğlu, N., 2015. Wave Power Potential Assessment of Aegean Sea with an Integrated 15-year Data. *Renewable Energy*, 86, pp. 1045–1059. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.09.022>

18. Hoque, M., Perrie, W. and Solomon, S.M., 2017. Evaluation of Two Spectral Wave Models for Wave Hindcasting in the Mackenzie Delta. *Applied Ocean Research*, 62, pp. 169–180. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2016.11.009>
19. Gurumoorthi, K. and Venkatachalapathy, R., 2017. Hydrodynamic Modeling along the Southern Tip of India: A Special Emphasis on Kanyakumari Coast. *Journal of Ocean Engineering and Science*, 2(4), pp. 229–244. <https://doi.org/10.1016/j.joes.2017.08.004>
20. Jahangir, M.H. and Mazinani, M., 2020. Evaluation of the Convertible Offshore Wave Energy Capacity of the Southern Strip of the Caspian Sea. *Renewable Energy*, 152, pp. 331–346. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.01.012>
21. Divinsky, B.V. and Kosyan, R.D., 2017. Spatiotemporal Variability of the Black Sea Wave Climate in the Last 37 Years. *Continental Shelf Research*, 136, pp. 1–19. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2017.01.008>

About the authors:

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

Boris V. Divinsky, Senior Researcher, Shirshov Institute of Oceanology, RAS (36 Nakhimov Avenue, Moscow, 117997, Russian Federation), Ph.D. (Geogr.), **ORCID ID: 0000-0002-2452-1922**, **ResearcherID: C-7262-2014**, divin@ocean.ru

Valeriy I. Rudnev, Junior Researcher, Shirshov Institute of Oceanology, RAS (36 Nakhimov Avenue, Moscow, 117997, Russian Federation), **ORCID ID: 0000-0003-2805-1478**, evsgeol@rambler.ru

Contribution of the authors:

Ruben D. Kosyan – statement of the study objectives, fieldwork management, composition of the article

Boris V. Divinsky – analysis of the wave field variability over the past year, assessment of the influence of hydrodynamic factors on transformation of the shoreline and seabed topography of the Bakalskaya Spit coastal zone

Valeriy I. Rudnev – sonar measurements, analysis of the measurement results and aerial photography, construction of the depth differential map

All the authors have read and approved the final manuscript.