

## Гидравлика и инженерная гидрология

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-4-75-82>

УДК 626.01: 504.45:627.142.2

**ИСТОЧНИКИ ПЕСЧАНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ БЕРЕГОЗАЩИТЫ  
МОРСКОГО БЕРЕГА БАЛТИЙСКОЙ КОСЫ**Р.Б. Закиров<sup>1✉</sup>, Б.В. Чубаренко<sup>1</sup>, Е.М. Бурнашов<sup>2</sup><sup>1</sup> Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН; 117997, г. Москва, Нахимовский проспект, 36, Россия<sup>2</sup> ГБУ КО «Балтберегозащита»; 238560, г. Светлогорск, ул. Хуторская, 1, Россия

**Аннотация.** Цель исследования – выполнить расчет объема песчаного материала для укрепления размываемого участка берега Балтийской косы (Юго-Восточная Балтика, Калининградская область), обсудить возможные источники песчаного материала и сравнить положительные и отрицательные стороны их использования. В работе представлена схема планируемого берегоукрепления размываемого участка морского берега Балтийской косы и текущее состояние уже установленных фрагментов берегозащиты. Площадь и объем намыва оценивались с помощью ГИС-инструментов. Установлено, что для реализации комплексного берегозащитного проекта требуется от 100 до 200 тыс. м<sup>3</sup> песчаного материала. В качестве источников материала рассмотрены вдольпляжевый байпасинг, а также использование дополнительного материала: либо материала дноуглубления Калининградского морского канала, либо запасов морских донных отложений нагонной дельты в Калининградском заливе. Вдольпляжевый байпасинг и использование запасов нагонной дельты являются наиболее дешевыми и дорогими способами (соответственно), и оба требуют специальной оценки последствий своего применения. Использование материала дноуглубления (вернее изменение района его сброса) может оказаться наиболее оптимальным, так как весь процесс по его изъятию и дампингу в морскую среду уже налажен, но потребуются серьезные вложения из организации рефулерной станции. В принципе любой подход с добавлением песчаного материала из внешних источников в систему вдольберегового переноса является наиболее привлекательным для аварийного участка морского берега Балтийской косы с точки зрения устойчивости берегозащитного решения.

**Работа выполнена при поддержке темы № FMWE-2024-0025 государственного задания ИО РАН. Авторы выражают благодарность коллегам из ГБУ КО «Балтберегозащита» за предоставленные данные.**

**Ключевые слова:** береговая абразия, берегоукрепление, песчаный материал, байпасинг, Балтийское море, Балтийская коса

**Формат цитирования:** Закиров Р.Б., Чубаренко Б.В., Бурнашов Е.М. Источники песчаного материала для берегозащиты морского берега Балтийской косы // Природообустройство. 2024. № 4. С. 75-82. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-4-75-82>

Original article

**SOURCES OF SAND MATERIAL FOR COASTAL PROTECTION  
OF THE BALTIC SPIT SEASHORE**R.B. Zakirov<sup>1✉</sup>, B.V. Chubarenko<sup>1</sup>, E.M. Burnashov<sup>2</sup><sup>1</sup> P.P. Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences; 117997, Moscow, Nakhimovsky Prospekt, 36, Russian Federation<sup>2</sup> State Budgetary Organization of Kaliningrad Oblast "Baltberegozashchita"; 238560, Svetlogorsk, Khutorskaya str., 1, Russia

**Abstract.** The purpose of the article is to calculate the volume of sand material required for coastal protection of the eroded section of the shore of the Baltic Spit (South-Eastern Baltic, Kaliningrad Oblast), discuss possible sources of sand material and compare the positive and negative aspects of their use. A scheme of the best effective planned protection structure and the current state of the already installed coast

protection fragments are presented. The area and volume of alluvium needed to complete the protection were assessed using GIS tools. It was found that the implementation of a comprehensive coastal protection project requires from 100 thousand to 200 thousand m<sup>3</sup> of sand material. As sources of material, the along-beach bypassing was considered, as well as the use of extra material – either material from dredging the Kaliningrad Sea Canal, or the sea bottom sediments of the near-inlet surge delta in the Vistula Lagoon. Along-beach bypass and the use of surge delta material are the cheapest and most expensive methods, respectively, and both require a special assessment of the consequences of their use. The use of dredging material (or rather, the changing the area of its discharge) may turn out to be the most optimal, because the entire process for dredging and dumping of the material into the marine environment has already been established technically and legally, but it will require serious investments in organizing a refill station. In principle, any approach with the addition of sandy material from external sources to the alongshore transport system is most attractive due to the sustainability of this coastal protection solution.

The work was carried out with the support of the topic no. FM-2024-0025 of the state assignment of the Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences. The authors express their gratitude to colleagues from SBO KO “Baltbergozashchita” for the data provided.

**Keywords:** coastal abrasion, shore protection, sandy material, bypass, Baltic Sea, Baltic spit

**Format of citation:** Zakirov R.B., Chubarenko B.V., Burnashov E.M. Sources of sand material for coastal protection of the Baltic Spit seashore // Prirodoobustrojstvo. 2024. № 4. P. 75-82. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-4-75-82>

**Введение.** Дефицит песчаных наносов в прибрежной морской зоне юго-восточной Балтики приводит к постоянной береговой абразии [1, 2]. Штормовая обстановка в юго-восточной Балтике характерна для осенне-зимнего периода, а весной и летом, когда море спокойно, пляж формируется снова [3], что служит индикатором механизма накопления песчаных наносов и эолового материала вдоль уреза.

Активному размыву подвергается 3-километровый сегмент морского побережья Балтийской косы (рис. 1) [4], примыкающий к оградительным молам входного участка Калининградского морского канала. Средняя за последние 100 лет скорость отступления берега составляет до 1 м/год [5]. Из исторических данных известно, что на данном участке берега предпринимались попытки замедлить абразию, но берегозащитные сооружения до наших дней не уцелели, и берег продолжает размываться [6]. В последние десятилетия данная тенденция только усиливается, что обостряет угрозу окончательного разрушения исторического форта «Западный», расположенного вблизи уреза воды, и подтопления расположенного на берегу поселка Коса [7, 8].

Основной причиной размыва служит нарушение естественного хода гидро-литодинамических процессов в результате строительства в 1768-1840 гг. оградительных молов Калининградского морского канала, выдвинутых в море фактически на 1 км [9]. Под воздействием преобладающих сильных ветров юго-западных и западных румбов происходит локальный нагон воды в образованный между береговой линией и южным оградительным молом угол. При оттоке

воды формируются компенсационные придонные течения, которые уносят песчаный материал и препятствуют образованию пляжей – естественной защиты от прямого воздействия волн.

В рамках концепции развития комплексной системы защиты побережья Калининградской области до 2025 года на аварийных участках морского побережья предусмотрено строительство пляжеудерживающих сооружений в сочетании с искусственным поддержанием состояния пляжей путем механического перемещения песчаного материала (механический вдольбереговой байпассинг) [10]. Данный подход в совокупности со строительством пляжеудерживающих сооружений планируется для реализации в том числе на морском побережье Балтийской косы.

#### **Материалы и методы исследований.**

В качестве исходных материалов использованы архивные батиметрические данные подводного берегового склона морского берега Балтийской косы, фрагмент спутникового снимка и современная схема берегоукрепления. Батиметрические данные получены в 2018-2020 гг. в ходе полевых экспедиций лаборатории прибрежных систем Атлантического отделения Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН и в ходе изыскательных работ ГБУ КО «Балтбергозащита». Фрагмент спутникового снимка получен в программе QGIS с использованием модуля «QuickMapServices», схема берегозащиты (рис. 2) предоставлена ГБУ КО «Балтбергозащита».

В программе QGIS схема берегозащиты была привязана к фрагменту спутникового снимка, затем на их основе оцифрованы элементы берегозащитных сооружений, оценена площадь

гидротехнических работ. По батиметрическим данным и положению линии уреза воды построена цифровая модель рельефа (ЦМР) с размером сетки  $10 \times 10$  м. Объем подсыпки песчаного материала рассчитывался в границах расчетной области от поверхности ЦМР к референтным значениям высоты от относительного уровня моря с шагом 1 м.

Сравнение источников песчаного материала проводилось с учетом расстояния до района берегоукрепления, доступности необходимого объема материала, наличия механизма естественного восполнения после изъятия, степени антропогенного воздействия во время изъятия, методов транспортировки, критерия гранулометрического соответствия с материалом окружающих пляжей.

*Проект комплексного берегоукрепления и современное состояние сооружения.* Проект

берегозащиты рассматриваемого участка побережья предусматривает строительство пляжеудерживающих сооружений в сочетании с искусственным намывом берега (рис. 2). Основание разрушенной авандоны планируется укрепить заполненными песком мешками (биг-бегами).

Между корнем южного мола и прилегающим берегом планируется возвести непроницаемую шпунтовую стенку с внешней каменной отсыпкой. Конфигурация шпунтовой стенки будет сглаживать существующий угол между берегом и молом, а область между шпунтом и линией уреза планируется заполнить песчаным материалом (область намыва). Южнее намывной области планируется установить несколько рядов свайных бун, а мористее (на 5-метровой глубине) установить 3 секции подводных волноломов параллельно берегу.

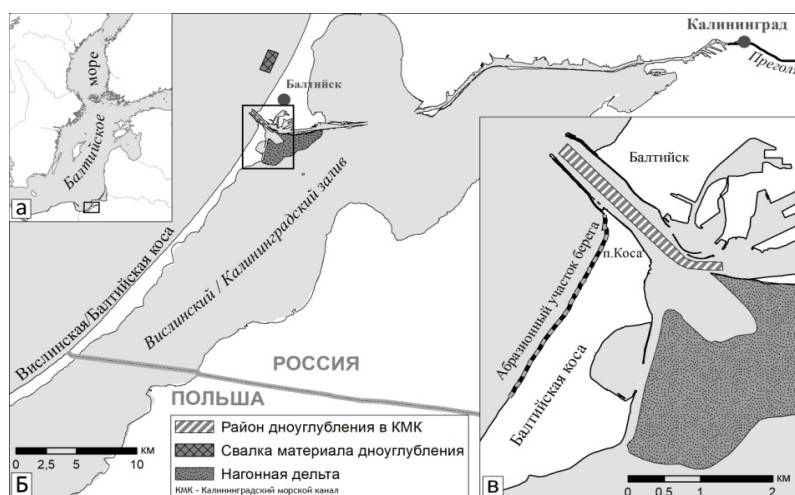


Рис. 1. Район исследования:

а – юго-восточная часть Балтийского моря;

б – Балтийская коса, входные ворота Калининградского морского канала;

в – абразионный участок Балтийской косы с указанием возможных источников песчаного материала

Fig. 1. Study area: a – the south-eastern part of the Baltic Sea and the Baltiysk Spit;

б – the inlet gates of the Kaliningrad Sea Canal;

с – the eroded shore segment of the Baltic Spit with indication of potential sources of sand material

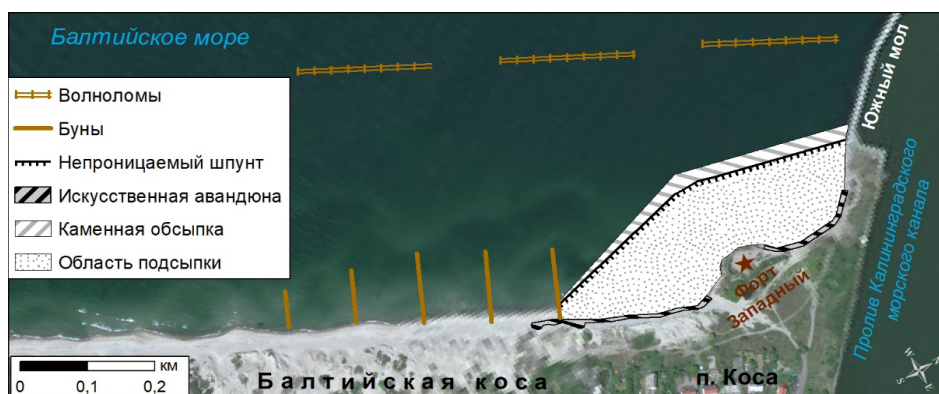


Рис. 2. Схема планируемого берегоукрепления (источник – ГБУ КО «Балтберегозащита»)

Fig. 2. Scheme of the planned sea shore protection (source: State Budgetary Organisation of Kaliningrad Oblast «Baltberegozaschita»)



Биг-бэги для сооружения искусственной авандюны и область намыва планируется заполнить отложениями надводной части пляжа: с применением экскаваторов и грузовиков на стабильных участках пляжа планируется изъять 0,5-метровый слой пляжных отложений. Предполагается, что изъятый песок будет восполняться под воздействием эолового переноса и вдольбереговых течений. Такой метод механического перемещения наносов пляжа (вдольбереговой байпасинг) ранее успешно применялся на аварийных участках побережья Куршской косы, городов Зеленоградска и Балтийска, где уклоны подводного берегового склона составляют менее 0,015. В благоприятный летний период под действием умеренного волнения, вдольбереговых течений и эолового переноса через 2-3 недели после извлечения песка происходило восстановление морфологических характеристик пляжа.

ГБУ КО «Балтберегозащита» приступила к реализации первой очереди данного проекта берегоукрепления летом 2022 г. На участке берега между основанием южного мола и историческим фортом «Западный», а также далее по берегу южнее форта на длине 0,3 км были проведены временные ремонтно-восстановительные работы, сооружена искусственная авандюна (рис. 3). Данное сооружение состоит из четырех слоев (в каждом слое – 4 ряда) геосинтетических мешков (биг-бэгов), объем каждого мешка составляет 1 м<sup>3</sup>. Мешки в слоях и рядах не скреплены, но обернуты полотнами геосинтетического материала таким образом, что ряды консолидированы между собой. Эти полотна поддерживают мешки верхнего слоя двух первых рядов за счет того, что верхние слои третьего и четвертого рядов прижимают их концы своим весом. Для заполнения геосинтетических мешков использовался песчаный материал с надводной части пляжа, при этом профиль участка пляжа, с которого брался материал (в летний период 2022 г.), восстановился к зимнему штормовому сезону (2022-2023 гг.).

После штормового осенне-зимнего сезона 2023-24 гг. в центральной части северного сегмента искусственной авандюны (длина сегмента – 125 м) биг-бэги переднего ряда нижнего слоя порвались, а песок из них был вымыт. Биг-бэги верхних слоев (2 ряда) обрушились, и в искусственной авандюне образовался разрыв шириной более 30 м (рис. 3). Сложившаяся ситуация является неустойчивой, и ширина разрыва искусственной авандюны будет увеличиваться.

Причина повреждения мешков нижнего слоя заключается в том, что на мелководье перед

северным сегментом искусственной авандюны много гальки, кусков кирпича и обломков бетона, источником которых служат стены форта. Во время шторма обломочный материал подхватывается волнами и при ударе разрывает геотекстильную ткань. В результате повреждения нижнего слоя произошла частичная просадка конструкции с последующим обрушением верхних рядов. Однако южнее форта «Западный», где крупный обломочный материал не скапливается, конструкция искусственной авандюны находится в стабильном состоянии.

Искусственная авандюна – это сооружение, которое может быть подвержено повреждениям, и проект предусматривает достаточную толщину конструкции, чтобы штормовые волны не разрушили объект за несколько штормов. Тем не менее ядро искусственной авандюны из геосинтетического материала не предназначено для прямого контакта с крупными наносами во время воздействия прибоя, так как геотекстильная ткань не защищена от механического воздействия обломочного материала.

К настоящему времени угроза полного разрушения северного участка искусственной авандюны обостряется, поэтому необходимо ее либо регулярно восстанавливать, либо реализовать комплексный проект берегоукрепления путем намыва участка суши.

*Объем необходимого для проекта берегозащиты песчаного материала.* Исходя из схемы планируемого берегозащитного сооружения, область подсыпки песчаного материала со стороны моря будет ограничена непроницаемым шпунтом, а со стороны берега – искусственной авандюной, размеры планируемой области подсыпки составляют 500 × 100 м, площадь – 53 000 м<sup>2</sup>, глубины в ее пределах – до 3 м (рис. 4).

По результатам расчета установлено, что для заполнения области подсыпки до отметки уровня воды необходимо около 70 000 м<sup>3</sup> песчаного материала. Если затем поднимать уровень подсыпки с шагом 1 м, то необходимо добавлять примерно по 50 000 м<sup>3</sup> (табл. 1).

*Возможные источники песчаного материала.* Для реализации изложенного проекта берегозащиты главным на повестке дня остается вопрос об источнике необходимого объема песка для заполнения области подсыпки.

Следуя уже отработанной технологии ГБУ КО «Балтберегозащита» по изъятию отложений надводной части пляжей, можно оценить протяженность участка, который необходимо задействовать для получения требуемого объема песчаного материала. Исходя из данных спутниковых



а

б

в

Рис. 3. Повреждение искусственной авандюны из биг-бэгов (сегмент укрепления севернее исторического форта «Западный»):

а – снимок от 7 октября 2023 г.; б – снимок от 4 ноября 2023 г.; в – снимок от 28 января 2024 г.

Fig. 3. Damage of the foredune made from artificial bigbags (protection segment north of the historical fort “Zapadny”):

a – photo dated 10.07.2023; b – photo dated 04.11.2023; c – photo dated 01.28.2024

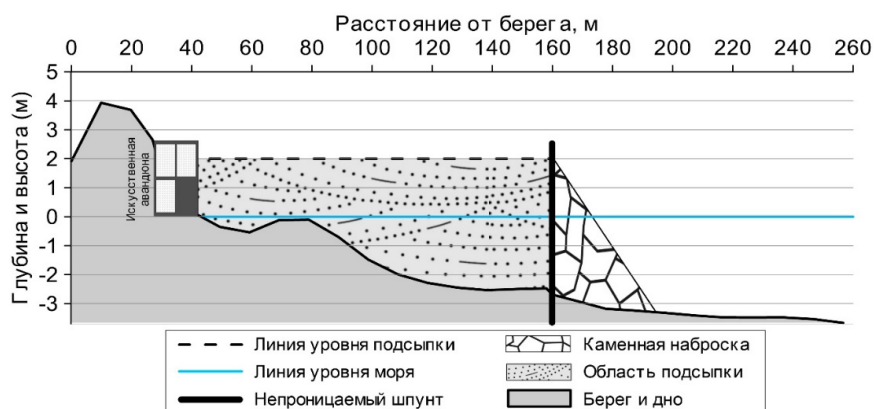


Рис. 4. Схематичный разрез области подсыпки планируемого берегозащитного сооружения

Fig. 4. Schematic section of backfilling area of the planned coast protection structure

Таблица 1. Объем песчаного материала до достижения референтной отметки уровня

Table 1. Volume of sand material until the reference level is reached

Мощность слоя подсыпки, м / Backfill layer thickness, m	1,0	2,7	3,7	4,7
Объем подсыпки, м <sup>3</sup> / Backfill volume, m <sup>3</sup>	70 000	110 000	160 000	210 000

снимков стабильные участки морского берега Балтийской косы расположены на удалении более 3 км от рассматриваемого района берегоукрепления, средняя ширина пляжей на этих участках составляет 21 м. Учитывая, как минимум, 3-метровый отступ от основания авандюны и уреза воды, для изъятия песка допустимо использовать участок пляжа шириной 15 м. Таким образом, при изъятии 0,5-метрового слоя песка для разового получения 70000 м<sup>3</sup> протяженность рабочего участка составит 9,3 км (табл. 2). Для разового получения каждой добавки в 50000 м<sup>3</sup> протяженность рабочего участка должна удлиниться еще на 6,6 км, или же для последующего изъятия очередных 50000 м<sup>3</sup> необходимо ожидать полного восстановления профиля пляжа в следующем сезоне либо еще дольше.

В качестве альтернативных источников песка могут быть использованы продукты дноуглубления морской части Калининградского

морского канала, которые в настоящее время сбрасываются на морском подводном отвале, расположенном в акватории Балтийского моря севернее входных молов на удалении 6 км от рассматриваемого района берегоукрепления (рис. 1). Ранее в [11] предлагалось использование этого материала для целей берегозащиты и отмечалась достаточная однородность и необходимая крупность песка, получаемого при дноуглублении. Суть данного предложения заключается в подаче материала дноуглубления с земснаряда через южный мол напрямик на пляж и в область подсыпки, при этом длина необходимого для рефулирования пульпопровода составит менее 300 м (табл. 2). По данным 2008-2016 гг., в районе входной части Калининградского морского канала ежегодно извлекается около 30000 м<sup>3</sup>/год [12]. Исходя из этого, для заполнения области подсыпки до отметки референтного значения высоты 1 м потребуется 4 года (табл. 2).

Еще одним источником песчаных отложений может служить нагонная дельта Калининградского залива (рис. 1), расстояние от которой до рассматриваемого района берегоукрепления составляет 4-5 км, кратчайшее расстояние до берега Балтийской косы – 2 км (табл. 2).

По последним оценкам, объем доступных отложений нагонной дельты составляет более 6,5 млн м<sup>3</sup>, и она подпитывается преимущественно мелкозернистым морским песком (0,1-0,25 мм), который квалифицируется как чистый, так как он (аналогично материалу, изымаемому при дноуглублении), заносится со стороны моря [13, 14]. Отложения нагонной дельты в достаточном количестве обеспечивают необходимый объем для области подсыпки, однако для его извлечения необходимо организовать полный комплекс изыскательных, дноуглубительных и транспортировочных работ.

**Результаты и их обсуждение.** Вдольбереговой и эоловый переносы песчаных наносов определяют общее состояние морского побережья Балтийской косы. Если во время работ по сбору песчаных наносов надводной части пляжа (для вдольберегового байпасинга) будет соблюден баланс между извлекаемым объемом и скоростью восполнения, то метод механического перемещения наносов пляжа не нарушит природного равновесия. Однако к настоящему времени для

побережья Балтийской косы отсутствуют количественные оценки эолового и подводного вдольберегового переносов, поэтому сейчас невозможно оценить, извлечение какого объема песка с надводной части пляжа не нарушит природного равновесия.

Использование материала донных наносов (либо материала дноуглубления, либо отложений нагонной дельты в Калининградском заливе) обеспечивает добавление в систему существующего вдоль берегового переноса материала извне, поэтому данный подход наиболее устойчив с точки зрения обеспечения устойчивости равновесного состояния побережья.

Использование материала нагонной дельты в силу большого объема запасов и возможности за один сезон обеспечить все потребности проекта берегоукрепления может показаться привлекательным, но для его реализации необходимы крупные капиталовложения и анализ оценки воздействия.

Работы по дноуглублению Калининградского морского канала осуществляются регулярно в течение многих лет, а изъятый материал сбрасывается на морской отвал севернее входных ворот канала. Использование материала дноуглубления для намыва берега будет сопровождаться изменением места дампинга. Конечно, для реализации этой схемы придется организовывать постоянно действующую рефулерную

**Таблица 2. Характеристика сравнения способов обеспечения необходимого песчаного материала**

**Table 2. Characteristics of comparison of methods for providing the required sand material**

Характеристика сравнения источников песчаного материала <i>Characteristics of comparison of sources of sand material</i>	Песчаные наносы пляжа <i>Beach sand deposits</i>	Отложения нагонной дельты <i>Sediments of the surge delta</i>	Материалы дноуглубления <i>Dredging materials</i>
<b>Критерий гранулометрического соответствия</b> <i>Granulometric compliance criterion</i>	Идентичны <i>Identical</i>	Среднезернистый, мелкозернистый <i>Medium and fine grain</i>	Крупнозернистый, среднезернистый <i>Coarse, medium grain</i>
<b>Расстояние до района берегоукрепления, км</b> <i>Distance to the sea shore protection area, km</i>	3-12	4-5	0,3
<b>Доступный объем для разового изъятия, м<sup>3</sup></b> <i>Available volume for one-time extraction, m<sup>3</sup></i>	Неизвестно <i>Unknown</i>	4,5 млн <i>4.5 million</i>	30 000
<b>Скорость восполняемости, м<sup>3</sup>/год</b> <i>Replenishment rate, m<sup>3</sup>/year</i>	Неизвестно <i>Unknown</i>	Неизвестно <i>Unknown</i>	30 тыс./год <i>30 thousand / year</i>
<b>Время заполнения области подсыпки</b> <i>Required time to fill the area</i>	Более одного сезона <i>More than one season</i>	Возможно за один сезон <i>Possibly in one season</i>	4 года <i>4 years</i>
<b>Степень загрязнения окружающей среды во время изъятия</b> <i>Degree of environmental contamination at the time of extraction</i>	Низкая <i>Low</i>	Высокая <i>High</i>	Средняя <i>Average</i>
<b>Вред биологическим сообществам во время изъятия</b> <i>Damage to biota during extraction</i>	Да <i>Yes</i>	Да <i>Yes</i>	Да <i>Yes</i>



станцию в основании южного мола и получать необходимые разрешения.

Следует отметить, что использование любых подводных запасов подразумевает работы с извлечением песчаного материала из моря или залива, и для реализации этого подхода необходимо пройти соответствующие экспертизы на федеральном уровне. К тому же, разработка донных отложений и выброс пульпы на берег требуют выплаты компенсации за ущерб биоресурсам.

### Выводы

Критическое состояние северного сегмента искусственной авандоны требует скорейшего обновления работ по берегоукреплению, так как при текущей скорости разрушения имеющееся сооружение утратит берегозащитную функцию уже через 1-2 штормовых сезона.

Реализация комплексного берегозащитного проекта (волноломы, буны, шпунтовая стенка с каменным укреплением, искусственная территория и пляж) дистальной 3-километровой части Балтийской косы требует от 100 до 200 тыс. м<sup>3</sup> песчаного материала.

В качестве источников материала возможен вдольпляжевый байпасинг (сбор,

перемещение и использование песчаного материала верхнего слоя пляжа на расстоянии до 9 км от объекта), а также использование дополнительного материала: либо материала дноуглубления Калининградского морского канала, либо запасов морских донных отложений нагонной дельты в Калининградском заливе.

В принципе любой подход с добавлением песчаного материала в систему вдольберегового переноса извне наиболее привлекателен с точки зрения устойчивости берегозащитного решения и поддержания равновесного состояния берега, но является заведомо более дорогим.

Вдольпляжевый байпасинг и использование запасов нагонной дельты являются наиболее дешевыми и дорогими способами соответственно, и оба требуют специальной оценки воздействия на окружающую среду и последствий своего применения.

Использование материала дноуглубления (вернее изменение района его сброса) может оказаться наиболее оптимальным, так как весь процесс по его изъятию и дамплингу в морскую среду уже налажен. Реализация этого подхода потребует капиталовложений по организации рефулерной станции.

### Список использованных источников

1. **Бабаков А.Н., Чубаренко Б.В.** Береговая абразия // В кн.: Система Балтийского моря / Под ред. А.П. Лисицына. М.: Научный мир, 2017. С. 122-178.
2. **Karmanov K., Burnashov E., Chubarenko B.** Contemporary dynamics of the sea shore of Kaliningrad Oblast // Archives of Hydro-Engineering and Environmental Mechanics. 2018. Т. 65, № 2. С. 143-159.
3. **Bobykina V., Chubarenko B., Karmanov K.** Morphodynamics of the shore of the Vistula Spit (the Baltic Sea) in a period of 2002-2015 by results of in-situ measurements // In: Managing risks to coastal regions and communities in a changing world. Proc. Int. Conf. EMECS'11-SeaCoasts XXVI, Saint-Petersburg, 22-27 August, 2016. Saint-Petersburg, RSHU, 2016. Pp. 130-140. DOI: 10.21610/conferencearticle\_58b4315ec153d.
4. **Бобыкина В.П., Карманов К.В.** Динамика берегов вершины Гданьского залива и связь с антропогенным воздействием // Создание искусственных пляжей, островов и других сооружений в береговой зоне морей, озер и водохранилищ: Труды Международной конференции «Создание и использование искусственных земельных участков на берегах и акватории водоемов» (Новосибирск, 20-25 июля 2009 г.). Новосибирск, 2009. С. 119-124.
5. **Закиров Р.Б., Чубаренко Б.В.** Входной участок Калининградского залива как природно-техническая система // Российский журнал прикладной экологии. 2022. № 1. С. 48-59. <https://doi.org/10.24852/2411-7374.2022.1.48.59>
6. **Басс О.В.** Эволюция взаимодействия природных и техногенных процессов в ходе строительства порта Балтийск // Вестник Российского государственного университета им. И. Канта. 2007. № 7. С. 35-43.

### References

1. **Babakov A.N., Chubarenko B.V.** Coastal abrasion. // System of the Baltic Sea. / Under. ed. Lisitsyn A.P. (scientific editor), Lukashin V.N., Nemirovkaya I.A., Starodymova D.P. (ed. coll.) M.: Scientific world, 2017. (608 p.). ISBN978-5-91522-445-1. P. 122-178.
2. **Karmanov K., Burnashov E., Chubarenko B.** Contemporary dynamics of the sea shore of Kaliningrad Oblast // Archives of Hydro-Engineering and Environmental Mechanics. 2018. V. 65. No. 2. P. 143-159.
3. **Bobykina V., Chubarenko B., Karmanov K.** Morphodynamics of the shore of the Vistula Spit (the Baltic Sea) in a period of 2002-2015 by results of in-situ measurements. [In] "Managing risks to coastal regions and communities in a changing world". Proc. Int. Conf. EMECS'11-SeaCoasts XXVI, Saint-Petersburg, 22-27 August, 2016. Saint-Petersburg, RSHU, 2016. ISBN978-5-369-00829-4. P. 130-140. DOI: 10.21610/conferencearticle\_58b4315ec153d.
4. **Bobykina V.P., Karmanov K.V.** Dynamics of the shores of the top of the Gulf of Gdansk and the connection with anthropogenic impact // Creation of artificial beaches, islands and other structures in the coastal zone of seas, lakes and reservoirs: tr. international conf. "Creation and use of artificial land plots on the banks and water areas of reservoirs" (Novosibirsk, July 20-25, 2009). Novosibirsk: 2009. P. 119-124.
5. **Zakirov R.B., Chubarenko B.V.** The entrance area of the Kaliningrad Bay as a natural-technical system // Russian Journal of Applied Ecology. 2022. No. 1. P. 48-59. – DOI: <https://doi.org/10.24852/2411-7374.2022.1.48.59>
6. **Bass O.V.** Evolution of the interaction of natural and man-made processes during the construction of the Baltiysk port // Bulletin of the Russian State University named after. I. Kant. 2007. No. 7. P. 35-43.

7. Соколов А.Н., Чубаренко Б.В., Карманов К.В. Гидродинамические условия в береговой зоне Балтийской, Вислинской косы и Самбийского полуострова: шторм января 2012 года // Известия КИТУ. 2016. № 43. С. 67-77.

8. Stont Zh.I., Bobykina V.P., Ulyanova M.O. «Diving» cyclones and consequences of their impact on the coasts of the South-Eastern Baltic Sea // Russian Journal of Earth Sciences. 2023. Vol. 23. ES2001. <https://doi.org/10.2205/2023ES000827>

9. Бабаков А.Н., Чубаренко Б.В. Структура результирующего вдольберегового транспорта наносов в восточной части Гданьского залива // Водные ресурсы. 2019. Т. 46, № 4. С. 370-384. <https://doi.org/10.1134/S0097807819040031>

10. Концепция развития комплексной системы защиты побережья Калининградской области до 2025 года. URL: <http://bbz39.ru/data/file/16f461c05535043566ee01510a006e38.doc> (дата обращения: 05.09.2023).

11. Чечко В.А. О динамике береговой зоны моря в районе оградительных молов Калининградского морского канала / Чубаренко Б.В., Болдырев В.Л., Бобыкина В.П. и др. // Водные ресурсы. 2008. Т. 35, № 6. С. 1-11.

12. Закиров Р.Б. Динамика эрозионной депрессии на входе в Калининградский залив / Чубаренко Б.В., Сологуб С.П., Шушарин А.В. // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле». 2018. Т. 26. С. 46-59. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2018.26.46>

13. Закиров Р.Б., Чубаренко Б.В., Чечко В.А. Гидролитодинамические условия движения наносов через Балтийский пролив (Калининградский залив, Балтийское море) // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2022. № 4. С. 52-68. DOI: 10.22449/2413-5577-2022-4-52-68. EDN: ZKQZYX.

14. Закиров Р.Б., Чубаренко Б.В., Чечко В.А. Геоэкологическая оценка песчаных отложений бара на входе в Калининградский-Вислинский залив // Международный научно-исследовательский журнал. 2021. № 8 (110). Ч. 1. С. 192-198. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.110.8.032>

#### Об авторах

**Закиров Руслан Баядитович**, канд. географ. наук; научный сотрудник; ORCID ID: 0000-0003-0125-374X, ResearcherID: AFB-2669-2022, Scopus Author ID: 57222497041, AuthorID: 1023893; [zakirov.ruslan.kaliningrad@yandex.ru](mailto:zakirov.ruslan.kaliningrad@yandex.ru)

**Чубаренко Борис Валентинович**, канд. физико-мат. наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией прибрежных систем; ORCID ID: 0000-0001-7988-1717, ResearcherID: I-6118-2016, Scopus Author ID: 6507102508, AuthorID: 61116; [chuboris@mail.ru](mailto:chuboris@mail.ru)

**Бурнашов Евгений Михайлович**, канд. географ. наук; директор ГБУ КО «Балтберегозащита», AuthorID: 1182251; [beregozaschita@mail.ru](mailto:beregozaschita@mail.ru)

#### Критерии авторства / Criteria of authorship

Закиров Р.Б. – формулировка задачи, сбор, обработка и анализ данных, подготовка схем, работа с текстом статьи.  
Чубаренко Б.В. – формулировка проблемы, стилистическое и содержательное редактирование текста статьи.  
Бурнашов Е.М. – научная и инженерная консультация в вопросах берегозащиты.

#### Конфликт интересов / Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests / Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

#### Вклад авторов

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации / All authors made an equal contribution to the preparation of the publication

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 26.04.2024

Поступила после рецензирования / Received after peer review 19.05.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 19.05.2024

7. Sokolov A.N., Chubarenko B.V., Karmannov K.V. Hydrodynamic conditions in the coastal zone of the Baltic/Vistula Spit and the Sambian Peninsula: storm of January 2012 // Izvestia KSTU. 2016. No. 43. P. 67-77.

8. Stont Zh.I., Bobykina V.P., Ulyanova M.O. «Diving» cyclones and consequences of their impact on the coasts of the South-Eastern Baltic Sea. Russian Journal of Earth Sciences, 2023. Vol. 23, ES2001. <https://doi.org/10.2205/2023ES000827>

9. Babakov A.N. Chubarenko, B.V. Structure of the resulting alongshore sediment transport in the eastern part of the Gulf of Gdansk // Water Resources. 2019. V. 46, no. 4. P. 370-384. <https://doi.org/10.1134/S0097807819040031>

10. Concept for the development of an integrated system for protecting the coast of the Kaliningrad region until 2025 [Electronic document]. – Access mode: <http://bbz39.ru/data/file/16f461c05535043566ee01510a006e38.doc>, free. – (date of access 09/05/2023)

11. Chechko V.A. On the dynamics of the coastal zone of the sea in the area of the protective piers of the Kaliningrad Sea Canal / Chubarenko B.V., Boldyrev V.L., Bobykina V.P. // Water resources. 2008. V. 35, No. 6. P. 1-11.

12. Zakirov R.B. Dynamics of erosion depression at the entrance to the Kaliningrad Bay / Chubarenko B.V., Sologub S.P., Shusharin A.V. // News of Irkutsk State University. Series: Earth Sciences. 2018. V. 26. P. 46-59.

13. Zakirov R.B., Chubarenko B.V., Chechko V.A. Hydrolithodynamic conditions of sediment movement through the Baltic Strait (Kaliningrad Bay, Baltic Sea) // Ecological safety of the coastal and shelf zones of the sea. 2022. No. 4. P. 52-68. EDN: ZKQZYX. doi: 10.22449/2413-5577-2022-4-52-68

14. Zakirov R.B., Chubarenko B.V., Chechko V.A. Geoecological assessment of sand bar deposits at the entrance to the Kaliningrad-Vistula Lagoon. / International scientific research journal. 2021.No. 8(110). Part 1. P. 192-198. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.110.8.032>

#### Author information

**Ruslan B. Zakirov**, CSc (Geography), PhD in Geography; Researcher; ORCID ID: 0000-0003-0125-374 X, ResearcherID: AFB-2669-2022, Scopus Author ID: 57222497041, AuthorID: 1023893; [zakirov.ruslan.kaliningrad@yandex.ru](mailto:zakirov.ruslan.kaliningrad@yandex.ru)

**Boris V. Chubarenko**, CSs (Phys-Math), PhD in Physics and Mathematics, Leading Researcher, Head of the Laboratory for Coastal Systems Study; ORCID ID: 0000-0001-7988-1717, ResearcherID: I-6118-2016, Scopus Author ID: 6507102508, AuthorID: 61116; [chuboris@mail.ru](mailto:chuboris@mail.ru)

**Evgeniy M. Burnashov**, CSc (Geography), deputy director for monitoring and safety of the state organization “Baltberegozastita”; AuthorID: 1182251; [beregozaschita@mail.ru](mailto:beregozaschita@mail.ru)

Zakirov R.B. – formulation of the problem, collection, processing and analysis of data, preparation of diagrams, work with the text of the article.

Chubarenko B.V. – principal problem statement, stylistic and content editing of the article text.

Burnashov E.M. – scientific and engineering consultation on coastal protection issues.