

Научная статья

УДК 551.799 (261.24) + 502.656

DOI 10.46845/1997-3071-2023-69-44-56

Новая карта донных осадков Калининградского залива Балтийского моря

Владимир Андреевич Чечко¹, Виктория Юрьевна Топчая², Александр Николаевич Бабаков³

^{1,2,3} Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Москва, Россия

¹ che-chko@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-3030-1165>

² piwis@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-9724-0013>

³ babakov_temp@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-8824-8929>

Аннотация. Калининградский залив занимает северо-восточную половину Вислинского залива – крупнейшего мелководного бассейна лагунного типа, расположенного в юго-восточной части Балтийского моря. Это трансграничный водный объект, испытывающий большую антропогенную нагрузку. Естественным индикатором состояния водных экосистем и уровня техногенного влияния являются, в частности, донные отложения. Наибольший интерес представляет поверхностный слой донных отложений, его динамика и пространственное распределение гранулометрических типов. В работе представлена подробная карта современных донных отложений, на которой выделены следующие литологические типы: валунно-галечные, пески, пески илистые, илы песчанистые, илы и глинистые илы. Реликтовые отложения в виде небольших площадей с валунами, скоплениями гальки и гравия имеют ограниченное распространение. Пески распространены на небольших глубинах вдоль берегов. Наибольшие площади дна покрыты средними и мелкими песками, крупные и очень мелкие пески не имеют широкого распространения. В центральных, углубленных, частях залива развиты осадки, состоящие из наиболее мелких частиц, – илы и глинистые илы. Глинистый ил имеет весьма ограниченное распространение, он покрывает небольшие площади дна юго-западной части Калининградского залива на глубинах 3,8–4,6 м. Значительные площади дна покрыты ракушечниками – танаценозами с преобладанием пресноводных моллюсков *Dreissena polymorpha*, гастропод *Bithynia tentaculata*, *Potamoryrgus jenkinsi* и остракод. Основными факторами, влияющими на распределение донных осадков в заливе, являются особенности гидродинамической активности и разнообразие вещественного состава осадочного материала, поступающего от основных источников питания (речной сток, береговая абразия и атмосферные выпадения).

Ключевые слова: Калининградский залив, осадконакопление, образцы донных отложений, литологические типы отложений, песок, глинистый ил.

Благодарности: авторы выражают благодарность Валентине Петровне Бобыкиной за ценные советы и замечания при подготовке статьи, а также Российскому фонду фундаментальных исследований в рамках проекта № 19-45-390013.

Финансирование: работа выполнена при поддержке госзадания ИОРАН (тема № FMWE-2021-0012).

Для цитирования: Чечко В. А., Топчая В. Ю., Бабаков А. Н. Новая карта донных осадков Калининградского залива Балтийского моря // Известия КГТУ. 2023. № 69. С. 44–56. DOI 10.46845/1997-3071-2023-69-44-56.

Original article

New map of bottom sediments in the Kaliningrad Bay of the Baltic Sea

Vladimir A. Chechko¹, Viktoriya Yu. Topchaya², Aleksandr N. Babakov³

^{1,2,3} Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

¹ che-chko@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-3030-1165>

² piwis@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-9724-0013>

³ babakov_temp@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-8824-8929>

Abstract. The Kaliningrad Bay occupies the northeastern half of the Vistula Lagoon, the largest shallow lagoon-type basin located in the southeastern part of the Baltic Sea. This is a transboundary water body with a large anthropogenic load. Bottom sediments serve as a natural state indicator of aquatic ecosystems and the level of anthropogenic influence. The surface layer of bottom sediments, its dynamics, and the spatial distribution of granulometric types are of the greatest interest for understanding modern sedimentation processes. The paper presents a detailed map of modern bottom sediments, where the following lithological types are identified: boulder-pebble, sand, silty sand, sandy silt, silt, and clayey silt. Relict deposits in the form of small areas with boulders, clusters of pebbles, and gravel are of limited distribution. Sands are distributed in shallow depths along the shores. The largest areas of the bottom are covered with medium and fine sands, large and very fine sands are not widely distributed. In the central most deeper parts of the bay sediments consisting of the finest particles – silt and clayey silt are developed. Clayey silt has a very limited distribution; it covers small areas of the bottom of the southwestern part of the Kaliningrad Bay at depths of 3.8–4.6 m. A significant part of the bottom is covered by shells – thanatocenosis with a predominance of freshwater mollusks *Dreissena polymorpha*, gastropods *Bithynia tentaculata*, *Potamoryrgus jenkinsi*, and ostracods. The main factors influencing the distribution of bottom sediments in the bay are the peculiarities of hydrodynamic activity and the diversity of the material composition of sediments coming from the main feeding sources (river runoff, coastal abrasion, and atmospheric deposition).

Keywords: Kaliningrad Bay, sedimentation, bottom sediment samples, lithologic sediment types, sand, clayey silt.

Acknowledgments: The authors are grateful to Valentina Bobykina for valuable advice and comments during the preparation of the article, as well as to the Russian Foundation for Basic Research under project Nr 19-45-390013.

Funding: The work was supported by the IORAN government assignment (subject Nr FMWE-2021-0012).

For citation: Chechko V. A., Topchaya V. Yu., Babakov A. N. New map of the bottom sediments in the Kaliningrad Bay of the Baltic Sea. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2023;(69):44–56.(In Russ.). DOI: 10.46845/1997-3071-2023-69-44-56.

ВВЕДЕНИЕ

Калининградский залив является частью Вислинского залива – второго по величине мелководного (максимальная глубина 5,2, средняя – 2,7 м) бассейна лагунного типа юго-восточной части Балтийского моря. Вислинский залив – трансграничный водный объект общей площадью 838 км², северо-восточная часть которого (510 км²) находится под юрисдикцией России (Калининградский залив), а юго-западная (328 км²) – под юрисдикцией Польши [1]. Вислинский залив относится к классу непривливаемых лагун, от моря он отделяется устойчивым песчаным барьером (Вислинской косой), а водообмен с ним осуществляется через узкий пролив возле г. Балтийск, именуемый Балтийским проливом (рис. 1).

Заливы считаются наиболее ценными компонентами экосистем прибрежных территорий, имеющих важное социально-экономическое значение [2]. Калининградский залив в этом отношении не исключение, он является объектом множественного хозяйственного использования. В акватории залива осуществляется активный рыбный промысел, ведется добыча нерудных полезных ископаемых, вдоль его северного берега проходит глубоководный канал с интенсивным круглогодичным судоходством. Береговая часть залива характеризуется высокой плотностью населения и развитой городской и промышленной инфраструктурой, в последние годы возрастает значение залива как объекта рекреации.

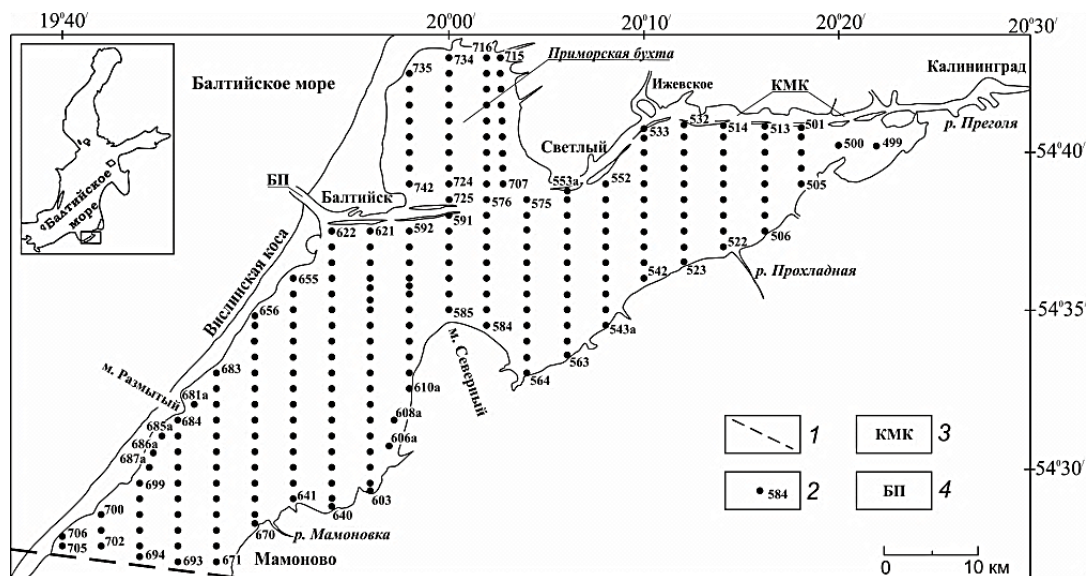


Рис. 1. Схема района исследований:

1 – государственная граница; 2 – точки отбора образцов донных отложений и их индекс; 3 – Калининградский морской канал; 4 – Балтийский пролив

Fig. 1. Sheme of the study area:

1 – state border; 2 – sampling points; 3 – Kaliningrad Seaway Canal;
4 – the Strait of Baltiysk

Литосистема залива находится под влиянием естественных и антропогенных факторов. Снабжение осадочным материалом регулируется речным стоком и береговой абразией, динамика верхнего слоя осадков – ветро-волновым воздействием [3], а роль приливов и отливов выполняют сгонно-нагонные явления [4]. В последние годы все возрастающее влияние на состояние литосистемы залива оказывает антропогенный фактор – интенсификация судоходства, проведение дноуглубительных работ, укрепление берегов.

Естественным индикатором состояния водных экосистем и уровня техногенного влияния на них могут служить донные отложения [5, 6]. Как продукт источников сноса и обстановки осадконакопления, в своих литологических характеристиках они способны фиксировать природно-антропогенные изменения, происходящие в водоемах и их водосборных бассейнах за всю историю накопления осадочной толщи.

Для понимания современных процессов седиментации наибольший интерес представляет поверхностный слой донных отложений, его динамика и пространственное распределение гранулометрических типов. Известно [7], что между распределением химических элементов и соединений в осадках и их гранулометрическими фракциями существует прямая зависимость.

Небольшие глубины и активная динамика вод в заливе обуславливают систематическое взмучивание поверхностного слоя донных отложений [8–10]. Взмученный тонкодисперсный осадочный материал вместе с загрязняющими веществами может распространяться на значительные расстояния, оказывая прямое влияние на мутность воды, перераспределение донных отложений, биохимические процессы и, в целом, на экологическое состояние залива.

Современные процессы седиментации, основные характеристики седиментационной обстановки, закономерности состава и распределения донных отложений в Калининградском и Вислинском заливах были описаны в работах [11–14].

В настоящее время не существует единой карты донных осадков для всей акватории Вислинского залива, опубликованы карты для двух его частей. Одна из них [15] отражает распределение основных типов донных отложений, выделенных по [16] в юго-западной (польской) части залива. Другая [17] представляет распределение донных отложений в Калининградском заливе, типизация которых основана на десятичной системе классификации [18]. Созданные по разным методикам, эти карты мало сопоставимы. К тому же, точки отбора образцов в Калининградском заливе располагались несколько хаотично, а сам процесс их отбора был растянут во времени (с 1992 по 1999 гг.).

Отношение к естественному потенциалу Вислинского залива как к единому целому обуславливает наличие современного представления о распределении основных типов донных осадков на всей его территории, исходя из их одинаковой классификации. В этом заключалась цель данной работы – выявить типы донных осадков и особенности их пространственного распределения в Калининградском заливе на основании методов, применяемых при изучении донных отложений в юго-западной половине Вислинского залива.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Образцы донных осадков были отобраны в Калининградском заливе в 2020–2021 гг. в точках, равномерно охватывающих всю акваторию. Локализация точек отбора донных отложений полностью соответствовала схеме получения образцов в юго-западной (польской) половине залива – они располагались через 2 географические минуты по параллели и через 30 секунд по меридиану (рис. 1). Географические координаты точек пробоотбора определялись с использованием GPS Navigation. Для отбора материала использовался ковш Ван Вина объемом 6 литров, позволявший получать представительную пробу с поверхностного (0–7 см) слоя донных отложений. Всего, таким образом, было получено и изучено 252 образца донных отложений.

Гранулометрический состав донных отложений определялся по массовому содержанию частиц различной крупности в процентах от массы исследуемого образца. Перед началом выполнения гранулометрического анализа механически удалялись остатки раковин моллюсков, органическое вещество удаляли с помощью водного раствора перекиси водорода (пергидроля). Анализ песчаных отложений выполнялся сухим просеиванием через сита, размер ячеек которых (0,062; 0,125; 0,250; 0,5; 1,0; 2,0 и 4,0 мм) соответствовал шкале Вентворта [16]. Илистые отложения с выделением фракций 0,062–0,04; 0,04–0,016; 0,016–0,004 были проанализированы с использованием лазерного анализатора размера частиц «Микросайзер-201». С помощью шкалы оценки классов обломочных отложений Вентворта выделены следующие типы донных отложений: песок, илистый песок, песчаный ил, ил и глинистый ил. Графическим способом [19] были рассчитаны медианный диаметр частиц (M_d) и коэффициент сортировки (So). Хорошо сортированными считались осадки, коэффициент сортировки которых не превышал 2 ($So < 2$), к средне сортированным относились осадки с коэффициентом от 2 до 3, а плохо сортированными считались осадки с коэффициентом сортировки более 3 ($So > 3$).

Анализ результатов исследований показал, что почти все дно Калининградского залива покрыто современными отложениями (в данном случае под современными мы подразумеваем отложения, накопившиеся в заливе за последние 100 лет, т. е. после зарегулирования стока р. Вислы). Реликтовые отложения в виде небольших площадей с валунами, скоплениями гальки и гравия имеют ограниченное распространение. В северо-восточной части залива ранее они были выявлены на небольших (0,5–1,5 м) глубинах вблизи береговых абразионных уступов, сложенных моренными образованиями последнего оледенения [20]. Характерным примером проявлений реликтовых отложений является мелководный прибрежный участок, огибающий мыс Северный. Во время последней съемки валунно-галечный материал был также обнаружен у дамб, отделяющих акваторию залива от судоходного канала. По-видимому, его появление здесь обусловлено проведением регулярных берегоукрепительных инженерных мероприятий.

Современные отложения Калининградского залива относятся к пяти гранулометрическим типам: песок, песок илистый, ил песчанистый, ил и ил глинистый. В пространственном распределении поверхностного (0–7 см) слоя донных осадков выявлена характерная для подобных водоемов закономерность: у берегов раз-

виты пески, а в углубленных центральных частях котловины – более тонкие илистые отложения.

Пески широкой полосой окаймляют мелководную прибрежную часть залива. Нижняя граница их распространения определяется гидродинамической обстановкой на конкретных участках, морфологией дна, источниками поступления песчаного материала и варьирует в диапазоне глубин от 0,8 до 2,5 м. (рис. 2). Пески характеризуются серыми цветовыми оттенками, значительным содержанием раковинного детрита и повсеместно развитой тонкой окисленной пленкой на поверхности, свидетельствующей о хорошем перемешивании вод в местах их распространения.

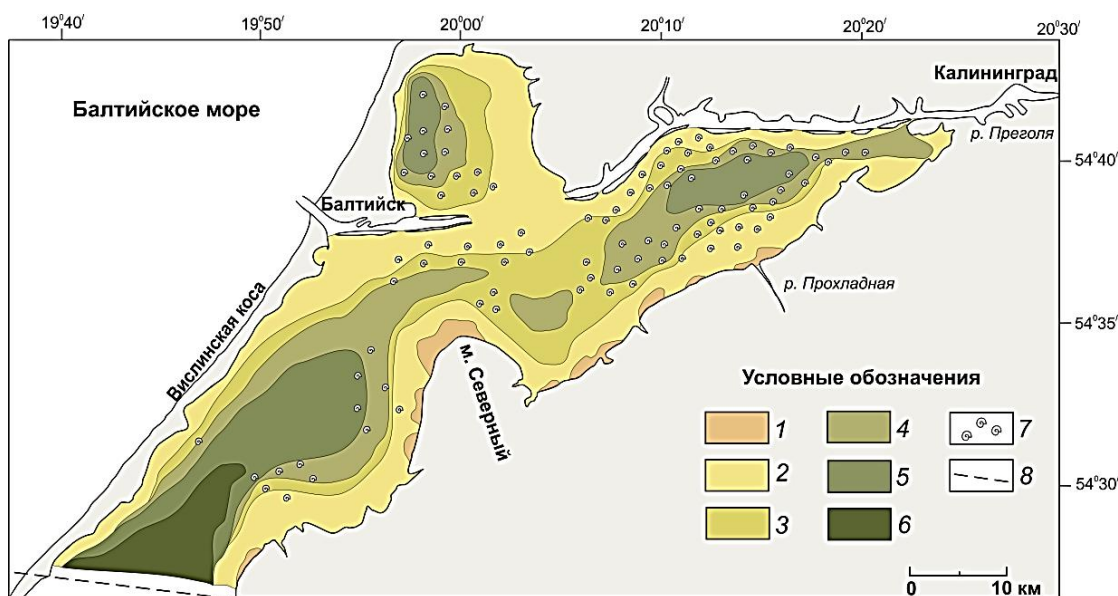


Рис. 2. Карта поверхностного (0–7 см) слоя донных отложений Калининградского залива:

1 – валунно-галечный материал; 2 – песок; 3 – песок илистый; 4 – ил песчанистый; 5 – ил; 6 – ил глинистый; 7 – ракушечник; 8 – государственная граница

Fig. 2. Map of the surface layer (0–7 cm) of the bottom sediments of the Kaliningrad Bay:

1 – pebble-gravel; 2 – sand; 3 – silty sand; 4 – sandy silt; 5 – silt; 6 – clayey silt; 7 – shells; 8 – state border

Очень крупный (2,0–1,0 мм) и крупный (1,0–0,5 мм) песок в заливе не имеет широкого распространения. Наибольший участок дна, где он доминирует в составе отложений, расположен у мыса Северный и напрямую связан с береговым моренным суглинком – основным источником крупного песка. Небольшие по площади скопления крупного песка периодически встречаются вдоль южного побережья залива, а напротив устья р. Прохладной пятно такого песка выявлено на глубинах 2,0–2,5 м. Крупный песок встречается также вдоль дамб, отделяющих

акваторию залива от судоходного канала, его нахождение здесь обусловлено, по-видимому, техногенным фактором.

Значительные площади дна юго-восточного мелководья покрыты средним (0,5–0,25 мм) песком, источником которого являются зандровые поля прилегающей суши. Широкий участок средних песков, вытянутый с севера на юг, выявлен на дне восточной половины Приморской бухты, наиболее активной в гидродинамическом отношении, а также напротив Балтийского пролива. Узкая полоса средних песков тянется вдоль дамб, отделяющих морской канал от акватории залива и вдоль Вислинской косы, песчаные дюны которой являются основным поставщиком песка в этом районе. Средние пески отличаются светло-серыми оттенками, очень хорошей сортированностью (S_o в среднем составляет 1,47), высоким содержанием преобладающей фракции (до 92 %) и незначительным количеством илистых частиц в своем составе.

Широко распространен в заливе мелкий (0,25 – 0,125 мм) песок. Как правило, его ареалы отделены от берега более крупным песчаным материалом, у береговой линии частицы мелкого песка встречаются лишь в качестве примеси в составе донных отложений. Наибольшее развитие он имеет в восточной половине Приморской бухты, напротив Балтийского пролива и на дне юго-восточной прибрежной зоны. Отдельные пятна мелкого песка встречаются на глубинах 0,9–1,3 м на подводном береговом склоне Вислинской косы.

Мелкий песок представляет собой хорошо отмытые полевошпатово-кварцевые образования светло-серых оттенков, характеризующиеся хорошей сортированностью (S_o в среднем составляет 1,6) и незначительным содержанием илистых частиц, преобладающая фракция составляет от 48 до 71 %.

Очень мелкий песок (0,125–0,063 мм) не имеет большого распространения. Незначительные ареалы мелкого песка выявлены на глубине 1,2–1,6 м у побережья Вислинской косы, а также в восточной половине Приморской бухты. Они характеризуются, в целом, хорошей сортированностью (S_o в среднем составляет 1,62), высоким содержанием преобладающей фракции (достигающей 80 %) и увеличенным, по сравнению с другими песками, содержанием (7–12%) в своем составе илистых частиц.

Пески илистые по своим физико-механическим характеристикам очень близки к мелким и очень мелким пескам. Основная примесь в их составе – илистые частицы, доля которых может достигать более 30 %. В юго-западном направлении (от условной линии «мыс Северный – Балтийский пролив») пески илистые распространяются в виде двух узких полос, вытянутых вдоль внешней границы залегания песков и повторяющих, в целом, конфигурацию береговой линии. Одна из них расположена вблизи берега Вислинской косы, в то время как другая полоса песков илистых, пролегающая вдоль южного берега, находится на значительном удалении от него (рис. 2).

К востоку от Балтийского пролива площади, занятые илистыми песками, значительно расширяются. Напротив Приморской бухты они покрывают практически все дно центральной части котловины залива на глубинах, превышающих 3,5–4,0 м. Напротив г. Светлый ареал илистых песков разделяется, и далее, в восточном направлении, они залегают в виде двух узких полос, вытянутых вдоль внешнего края песчаных отложений. Следует отметить единственный выявлен-

ный в Приморской бухте участок илистых песков, вытянутый в меридиональном направлении восточнее зоны распространения песков (рис. 2).

Илы песчанистые распространены в срединных местах залива на глубинах, превышающих 3 м. Небольшое пятно с илами песчанистыми, со всех сторон ограниченное песками илистыми, расположено вблизи восточного подводного берегового склона м. Северный. Вблизи него находится более крупный участок дна с илами песчанистыми. Начинается он напротив г. Светлый, где илы песчанистые занимают все дно углубленной осевой части котловины. Однако на траверсе пос. Ижевское целостность участка нарушается ареалом илистых отложений, а илы песчанистые распространяются в виде двух нешироких полос, смыкающихся в восточной оконечности залива.

Напротив Балтийского пролива илы песчанистые покрывают небольшой срединный участок дна, который несколько расширяется в юго-западном направлении. Затем зона их распространения разделяется на две узкие полосы, которые тянутся между полем илистых отложений в срединной части залива и внешней границей распространения илистых песков (рис. 2). Примерно на траверсе г. Мамоново они постепенно замещаются другими типами осадков. Кроме того, две узкие, вытянутые в меридиональном направлении полосы выявлены в западной половине Приморской бухты на глубинах 3–4 м.

Илы песчанистые характеризуются средней сортированностью (S_0 колеблется в пределах 1,3–2,8, в среднем составляя 1,9). Во влажном состоянии они напоминают очень мелкие пески, после высыхания это слабо сцементированный осадок серых тонов, рассыпающийся при незначительном усилии. Основными примесями в их составе являются мелкие и очень мелкие пески, доля которых колеблется в пределах 25–40 %.

Небольшие, овальной формы ареалы ила, оконтуренные со всех сторон илом песчанистым, выявлены в восточной части залива и в западной половине Приморской бухты на глубинах более 3 м (рис. 2). В юго-западной половине залива илистые отложения занимают обширный участок дна, вытянутый вдоль центральной части котловины на глубинах, превышающих в основном 3,0–3,5 м. Во влажном состоянии ил имеет жидкую и текуче-жидкую консистенцию и отличается темно-серыми и темными оттенками. Он характеризуется средней сортированностью (S_0 составляет в среднем 2,1) и преобладанием фракции крупных илов (0,062–0,04 мм).

Глинистый ил в пределах Калининградского залива имеет весьма ограниченное распространение. Он покрывает небольшие площади дна на глубинах 3,8 – 4,6 м к юго-западу от условной линии «мыс Размытый (Вислинская коса) – устье реки Мамоновки (южное побережье залива)». Узкий вблизи данной линии участок с глинистым илом впоследствии значительно расширяется и около российско-польской границы уже занимает более половины площади дна залива (рис. 2). Глинистый ил также, как и ил, характеризуется текуче-жидкой консистенцией, черными и темно-серыми цветовыми оттенками и преобладанием в своем составе (52–64 %) глинистых частиц. Он сортирован несколько лучше (в среднем $S_0 = 1,92$), количество более грубого материала (крупноалевритового или песчаного) в составе глинистого ила незначительно и в целом не превышает 7 %.

Значительная часть дна покрыта ракушечниками – танаценозами с преобладанием пресноводных моллюсков *Dreissena polymorpha*, гастропод *Bithynia ten-*

taculata, *Potamoryrgus jenkinsi* и остракод. Согласно гипотезе [20], возникновение ракушечных отложений связано с увеличением солености вод залива после искусственного зарегулирования в 1916 г. стока р. Висла.

В качестве минеральной примеси в ракушечниках присутствуют песчаные и алевроитовые частицы, окраска минеральной компоненты меняется от серой до темно-серой. При высыхании ракушечник становится слабосцементированным и легко разрушается при небольшом усилии. Мощность слоя ракушечника обычно составляет 20–40 см, иногда он выходит на поверхность дна, но чаще прикрыт сравнительно тонким (до 10–15 см) слоем осадков. Особенно большие площади ракушечник занимает в восточной части залива и у входа в Приморскую бухту. В юго-западной половине залива отдельные скопления ракушек также встречаются, однако они не имеют сплошного пространственного распространения (рис. 2).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Новая карта донных отложений Калининградского залива значительно точнее отражает закономерности локализации и распределения литологических типов отложений, обусловленные сложными условиями, при которых происходит современная седиментация.

В заливе накапливаются преимущественно терригенные отложения, среди которых выделены следующие литологические типы: валунно-галечные, пески, пески илистые, илы песчанистые, илы и глинистые илы. Широкое развитие в заливе имеет выделенный подтип отложений – ракушечник.

В распределении литологических типов донных отложений обнаруживается характерный для подобных водоемов тип зональности. В прибрежной полосе развиты хорошо сортированные пески, в глубоководных, защищенных от волнения частях водоема основная составляющая донных осадков – илистый материал. Исключением является район напротив Балтийского пролива, где пески распространяются намного шире и глубже, а илистый материал играет второстепенную роль, включая глубокие места.

Основные закономерности распределения обломочного вещества в заливе регулируются гидродинамикой и вещественным составом материала, поставляемого главными источниками питания. Именно гидродинамика формирует грубую гранулометрическую отсортированность прибрежных отложений и тонкозернистость осадков в наиболее углубленных участках залива.

Список источников

1. Лазаренко Н. Н., Маевский А. Гидрометеорологический режим Вислинского залива. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1971. 279 с.
2. Потенциал природно-экономического экосистемного учета для поддержки управления прибрежными и морскими территориями на примере Калининградской области / Г. А. Фоменко, М. А. Фоменко, К. А. Лошадкин, В. Д. Панов // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. 2021. № 4. С. 45–69.
3. Чечко В. А. Особенности современных процессов осадкообразования в Вислинском и Куршском заливах // Система Балтийского моря / под ред. А. П. Лисицына. Москва: Научный мир, 2017. С. 373–380
4. The physio-geographical background and ecology of the Vistula Lagoon / Rozynski G. et al. // London. IWA Publishing. 2016. P. 57–66.
5. Даувальтер В. А. Геоэкология донных отложений озер. Мурманск: МГТУ, 2012. 242 с.
6. Forstner U. Metal Pollution in the Aquatic Environment. Berlin: Springer. 1979. 210 p.
7. Windom H. L., Schropp S. J., Calder F. D. Natural trace metal concentrations in estuarine and coastal marine sediments of the southeastern United States // Environmental Sciences and Technology. 1989. V. 23. P. 314–320.
8. О волновом движении воды в придонном слое мелководных акваторий на примере Вислинского залива Балтийского моря / А. К. Амбросимов, Ш. Х. Якубов, А. Н. Бабаков, Б. В. Чубаренко // Метеорология и гидрология. 2015. № 4. С. 53–67.
9. Gic-Grusza G., Dudkowska A. Wind waving. Vistula Lagoon // PWN Warszawa. 2018. P. 86–89.
10. Burska D., Szymczak E. Suspensions in the waters of the Vistula Lagoon // PWN Warszawa. 2018. P. 115–128.
11. Szymczak E. Characteristics of Sediments in a Changing Environmental Conditions in Vistula Lagoon (Poland) // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2019. 012048. P. 1–10.
12. Witak M., Pędziński J. The Middle and Late Holocene. Vistula Lagoon // PWN Warsza. 2018. P. 26–34.
13. Chubarenko B., Chechko V., Kilesa A., Krek E., Topchaya V. Hydrological and sedimentation conditions in a non-tidal lagoon during ice coverage – the example of Vistula Lagoon in the Baltic Sea // Estuarine, Coastal and Shelf Science. 2018. P. 1–16.
14. Чечко В. А., Топчая В. Ю. Многолетние данные гранулометрических параметров донных осадков как индикатор устойчивости обстановки осадконакопления // Успехи современного естествознания. 2021. № 3. С. 86–91.
15. Uścinowicz Sz., Zachowicz J. Geochemical atlas of the Vistula Lagoon. Polish Geological Institute, Warszawa. 1996. 94 P.
16. Wentworth C. K. A scale of grade and class terms for clastic sediments // Journal of Geology. 1922. V. 30 P. 377–392.
17. Chechko V. A., Blazchishin A. I. Bottom deposits of the Vistula Lagoon of the Baltic Sea // Baltica. 2002. V. 15. P. 13–22.

18. Алексеева Т. Н., Политова Н. В., Козина Н. В. Гранулометрический состав поверхностного слоя донных осадков Баренцева моря // Океанология. 2020. Т. 60. № 6. С. 915–929.
19. Мясникова Н. А., Потахин М. С. Гранулометрический состав донных отложений озера Торосьярви (бассейн Белого моря) // Вестник ВГУ. Серия: География. Геоэкология. 2021. № 1. С. 45–56.
20. Blazchishin A. I. Zur Geoekologie des Kurischen und des Frischen Haffs // Schriftenr. f. Geowiss. 1998. N 7. P. 39–57.

References

1. Lazarenko N. N., Maevskiy A. *Gidrometeorologicheskiy rezhim Vislinskogo zaliva* [Hydrometeorological conditions of the Vistula lagoon]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1971, 279 p.
2. Fomenko G. A., Fomenko M. A., Loshadkin K. A., Panov V. D. Potentsial prirodno-ekonomicheskogo ekosistemnogo ucheta dlya podderzhki upravleniya pribrezhnymi i morskimi territoriyami na primere Kaliningradskoy oblasti [The Potential of Natural-Economic Ecosystem Accounting to Support the Management of Coastal and Marine Territories on the Example of the Kaliningrad Region]. *Vestnik Baltiyskogo federal'nogo universiteta im. I. Kanta*, 2021, no. 4, pp. 45–69.
3. Chechko V. A. Osobennosti sovremennykh processov osadkoobrazovaniya v Vislinskom i Kurshskom zalivakh [Features of modern processes of sedimentation in the Vistula and Curonian lagoons]. *Sistema Baltiyskogo morya* [Baltic Sea System]. Moscow, Nauchnyy mir Publ., 2017, pp. 373–380.
4. Rozynski G. [et al.]. The physio-geographical background and ecology of the Vistula Lagoon. London. IWA Publishing. 2016, pp. 57–66.
5. Dauval'ter V. A. *Geoekologiya donnykh otlozheniy ozer* [Geoecology of bottom sediments of lakes]. Murmansk, MGTU, 2012, 242 p.
6. Forstner U. Metal Pollution in the Aquatic Environment. Berlin, Springer, 1979, 210 p.
7. Windom H. L., Schropp S. J., Calder F. D. Natural trace metal concentrations in estuarine and coastal marine sediments of the southeastern United States. *Environmental Sciences and Technology*, 1989, vol. 23, pp. 314–320.
8. Ambrosimov A. K., Yakubov Sh. H., Babakov A. N., Chubarenko B. V. O volnovom dvizhenii vody v pridonnom sloe melkovodnykh akvatoriy na primere Vislinskogo zaliva Baltiyskogo morya [Water wave motions in the bottom layer of shallow water areas (on the example of the Vistula Lagoon in the Baltic Sea)]. *Meteorologiya i gidrologiya*, 2015, no. 4, pp. 53–67.
9. Gic-Grusza G., Dudkowska A. Wind waving. Vistula Lagoon. PWN Warszawa, 2018, pp. 86–89.
10. Burska D., Szymczak E. Suspensions in the waters of the Vistula Lagoon. PWN Warszawa, 2018, pp. 115–128.

11. Szymczak E. Characteristics of Sediments in a Changing Environmental Conditions in Vistula Lagoon (Poland). IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci, 2019, 012048, pp. 1–10.
12. Witak M., Pędziński J. The Middle and Late Holocene. Vistula Lagoon. PWN Warszawa, 2018, pp. 26–34.
13. Chubarenko B., Chechko V., Kilesa A., Krek E., Topchaya V. Hydrological and sedimentation conditions in a non-tidal lagoon during ice coverage – the example of Vistula Lagoon in the Baltic Sea. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2018, pp. 1–16.
14. Chechko V. A., Topchaya V. Yu. Mnogoletnie dannye granulometricheskikh parametrov donnykh osadkov kak indikator ustoychivosti obstanovki osadkonakopleniya [Long-term data on granulometric parameters of bottom sediments as an indicator of the stability of the sedimentation environment]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*, 2021, no. 3, pp. 86–91.
15. Uścińowicz Sz., Zachowicz J. Geochemical atlas of the Vistula Lagoon. Polish Geological Institute, Warszawa, 1996, 94 p.
16. Wentworth C. K. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, 1922, no. 30, pp. 377–392.
17. Chechko V. A., Blazchishin A. I. Bottom deposits of the Vistula Lagoon of the Baltic Sea. *Baltica*, 2002, no. 15, pp. 13–22.
18. Alekseeva T. N., Politova N. V., Kozina N. V. Granulometricheskii sostav poverkhnostnogo sloya donnykh osadkov Barentseva morya [Granulometric composition of the surface layer of bottom sediments in the Barents Sea]. *Okeanologiya*, 2020, vol. 60, no. 6, pp. 915–929.
19. Myasnikova N. A., Potahin M. S. Granulometricheskii sostav donnykh otlozheniy ozera Toros'yarvi (basseyн Belogo morya) [Granulometric composition of bottom sediments of Lake Torosyarvi (White Sea basin)]. *Vestnik VGU*, 2021, no. 1, pp. 39–57.
20. Blazchishin A. I. Zur Geoekologie des Kurischen und des Frischen Haffs. *Schriftenr. f. Geowiss*, 1998, no. 7, pp. 39–57.

Информация об авторах

В. А. Чечко – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник
В. Ю. Топчая – научный сотрудник
А. Н. Бабаков – кандидат географических наук, старший научный сотрудник

Information about the authors

V. A. Chechko – PhD in Geology and Mineralogy, Senior Researcher

V. Yu. Topchaya – Researcher

A. N. Babakov – PhD of Geography, Senior Researcher

Статья поступила в редакцию 03.04.2023; одобрена после рецензирования 07.04.2023; принята к публикации 12.04.2023.

The article was submitted 03.04.2023; approved after reviewing 07.04.2023; accepted for publication 12.04.2023.