

Научная статья

УДК 551.799 (261.24) + 502.656

DOI 10.46845/1997-3071-2023-71-147-158

**Многолетняя динамика состава верхнего слоя донных отложений
в неглубоком водоеме лагунного типа (на примере Калининградского залива
Балтийского моря)**

Владимир Андреевич Чечко¹, Виктория Юрьевна Топчая²

^{1,2} 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>

Аннотация. Вислинский залив – второй по величине мелководный бассейн лагунного типа Балтийского моря, расположенный в его юго-восточной части. Это трансграничный водный объект общей площадью 838 км², северо-восточная часть которого (510 км²) находится под юрисдикцией России и именуется Калининградским заливом, а юго-западная (328 км²) – под юрисдикцией Польши. От моря он отделяется устойчивым песчаным барьером, водообмен с морем осуществляется через судоходный Балтийский пролив. Калининградский залив – объект множественного хозяйственного использования, который испытывает большую антропогенную нагрузку. В работе сопоставлены результаты granulometric parameters parameters донных осадков, отобранных в Калининградском заливе с поверхностного слоя (0–7 см) на одних и тех же точках с промежутком в 29 лет. Исследования показали, что донные отложения залива в 1993 г. были представлены песками, песками илистыми, илами песчанистыми, илами и глинистыми илами. К настоящему времени произошли изменения в составе фракций, но типы осадков на контрольных точках не изменились. В 1993 г. доля песчаных частиц в песчаных отложениях составляла в среднем 72 %, а в 2021 г. – 78 %. В илах содержание песка увеличилось с 17 до 23 %, а в глинистых илах – с 3 до 7 %. Что касается илистых частиц, то их доля в песчаной фракции за 29 лет снизилась в среднем на 6 %, в илах – на 2 %, а в глинистых илах – на 4 %. Величина изменений, произошедших в составе осадков за указанный период, неодинакова и зависит от типов осадков. Особенность современного осадконакопления в заливе – регулярное взмучивание верхнего слоя донных отложений, сопровождающееся переотложением осадочных компонентов и транспортировкой мелких частиц во взвешенном состоянии в акваторию моря.

Ключевые слова: Калининградский залив, осадконакопление, ветроволновое взмучивание, литологические типы отложений, песок, глинистый ил.

Благодарности: авторы выражают благодарность Бабакову Александру Николаевичу за помощь в сборе фактического материала и замечания при подготовке статьи.

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

Для цитирования: Чечко В. А., Топчая В. Ю. Многолетняя динамика состава верхнего слоя донных отложений в неглубоком водоеме лагунного типа (на примере Калининградского залива Балтийского моря) // Известия КГТУ. 2023. № 71. С. 147-158. DOI 10.46845/1997-3071-2023-71-147-158

Long-term dynamics of the composition of the upper layer of bottom sediments in a shallow lagoon-type basin (the example of Kaliningrad Bay in the Baltic Sea)

Vladimir A. Chechko¹, Viktoriya Yu. Topchaya²

^{1,2}, 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>

Abstract. The Vistula Lagoon is the second largest shallow lagoon-type basin of the Baltic Sea, located in its southeastern part. This is a transboundary water body with a total area of 838 km², the northeastern part of which (510 km²) is under the jurisdiction of Russia and is called the Kaliningrad Bay, and the southwestern part (328 km²) is under the jurisdiction of Poland. It is separated from the sea by a stable sand barrier, and water exchange with the sea is carried out through the navigable Baltic Strait. The Kaliningrad Bay is an object of plural economic use and is experiencing a large anthropogenic load. The article compares the results of grain size parameters of bottom sediments sampled in the Kaliningrad Bay from the surface layer (0–7 cm) at the same points with an interval of 29 years. Studies have shown that the bottom sediments of the bay in 1993 year were represented by sands, silty sands, sandy silts, silts and clayey silts. To date, there have been changes in the composition of the fractions, but the types of precipitation at the control points have not changed. In 1993 year the proportion of sand particles in sand deposits averaged 72% and in 2021 year – 78%. In the silts the sand content increased from 17 to 23%, and in clayey silts from 3 to 7%. As for silt particles their share in the sandy fraction over 28 years decreased by an average of 6%, in silts by 2%, and in clayey silts by 4%. The value of the changes that occurred in the composition of sediments over the specified period is not the same and depends on the types of sediments. A feature of modern sedimentation in the bay is regular resuspension of the upper layer of bottom sediments, accompanied by redeposition of sedimentary components and partial transportation of fine particles in suspension to the sea.

Keywords: Kaliningrad Bay, sedimentation, wind-wave resuspension, lithologic sediment types, sand, clayey silt.

Acknowledgments: The authors are grateful to Aleksander Babakov for his help in collecting the material and for comments during the preparation of the article.

Funding: The work has been supported by the IORAN government assignment (subject № FMWE-2021-0012).

For citation: Chechko V. A., Topchaya V. Yu. Long-term dynamics of the composition of the upper layer of bottom sediments in a shallow lagoon-type basin (the example of Kaliningrad Bay in the Baltic Sea) // *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2023;(71):147-158. (In Russ.). DOI 10.46845/1997-3071-2023-71-147-158

ВВЕДЕНИЕ

На состояние обстановки осадконакопления водных бассейнов лагунного типа оказывает влияние ряд естественных и антропогенных факторов. Речной сток, береговая абразия и эоловый перенос – основные источники седиментационных веществ [1]. В то же время, в формировании количественного и вещественного состава водной взвеси помимо природных факторов значительную роль играют и антропогенные – судоходство, дноуглубительные работы и разработка нерудных полезных ископаемых. В неглубоких водоемах состав и распределение донных осадков в поверхностном слое во многом регулируется ветро-волновой нагрузкой [2, 3] и периодическими сгонно-нагонными процессами [4]. Лагуны, расположенные в береговой зоне моря, испытывают возрастающее антропогенное воздействие в связи с их хозяйственной и рекреационной привлекательностью.

Вислинский залив (лагуна) находится в береговой зоне юго-восточной части Балтийского моря. Он характеризуется малыми глубинами (средняя глубина составляет 2,7 м), регулярными проникновениями морских вод через пролив возле г. Балтийска и серьезным вовлечением его акватории в различные виды хозяйственной деятельности. Специфика залива заключается в трансграничности – его северо-восточная часть относится к России (Калининградский залив), а юго-западная – к Польше [5]. Отношение к естественному потенциалу залива как к единому целому предполагает наличие общих проблем, обусловленных совместным использованием его акватории.

Активная компонента седиментационной системы – донные осадки (ДО), состояние которых является отражением изменений, происходящих в водной экосистеме и окружающей среде. Они являются источником информации об условиях и особенностях осадконакопления, существовавших в историческом прошлом [6]. Состав и физико-химические свойства обуславливают важнейшую экологическую функцию ДО в водоеме – участие в процессах загрязнения и очищения водной среды. При этом отдельного внимания заслуживают современные сведения о распределении основных типов ДО, динамике, гранулометрическом и химическом составе их верхнего слоя, играющего определяющую роль в протекании физико-химических процессов в контактной зоне «вода–дно». Осадочные частицы верхнего слоя, как правило, слабо уплотнены, поэтому легко переходят во взвешенное состояние и могут служить источником вторичного загрязнения водной среды [7].

Особый интерес представляет комплексное изучение ДО неглубоких водоемов (прибрежных заливов, лагун, эстуариев), испытывающих повышенную антропогенную нагрузку. На небольших глубинах под воздействием ветровых волн возникает регулярная дестабилизация верхнего слоя ДО и их взмучивание. Гидродинамическая активность водных масс приводит к удержанию их в толще воды и транспортировке. Учитывая, что осадочные частицы могут сорбировать разные

загрязнители, следствием такого процесса может быть вторичное загрязнение водной среды. Наибольшей сорбционной способностью и поглотительной емкостью обладают мелкодисперсные илистые частицы. Известно [8], что именно они интенсивно сорбируют и переносят тяжелые металлы, радионуклиды, продукты распада нефти и нефтепродуктов. В связи с этим актуальным становится выяснение особенностей пространственного распределения гранулометрических типов ДО и мест локализации илистых отложений, определение многолетних изменений в составе ДО с акцентом на динамике илистых частиц в составе ДО.

Цель работы – выявить многолетние изменения в гранулометрическом составе верхнего слоя ДО Калининградского залива Балтийского моря.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Фактический материал для изучения верхнего (0–7 см) слоя отложений был собран в 1993 и 2021 гг. на станциях, равномерно охватывающих всю акваторию залива (рис. 1). Для этого использовался известный пробоотборник ДО Петерсена. Первичная обработка полученных проб выполнялась непосредственно на борту экспедиционного судна по принятым в морских геологических исследованиях правилам. Гранулометрический состав ДО определялся по общему содержанию частиц различной крупности в процентах от массы исследуемой пробы. При этом для выделения фракций более 0,04 мм применялся ситовой метод, а для фракций менее 0,04 мм – водно-механический вид анализа [9].

Используя данные гранулометрического анализа, а также классификацию обломочных частиц Вентворта [10], для каждой из точек были выделены пять типов ДО – от песков до глинистых илов. Графическим методом [11] определены медианный диаметр частиц (M_d) и коэффициент сортировки (S_o). Если он не превышал 2 ($S_o < 2$), то осадки считались хорошо сортированными, при значении коэффициента от 2 до 3 – средне сортированными, а при коэффициенте более 3 ($S_o > 3$) осадки были отнесены к плохо сортированным.

Согласно [12], в акватории Калининградского залива по морфологическим, гидродинамическим и литологическим особенностям выделено несколько седиментационных районов. Исследования проводились в двух районах – эстуарии р. Преголи и юго-западном – как наиболее обширных по занимаемой территории и характеризующихся разнородным спектром гранулометрических типов осадков. К эстуарию р. Преголи относится восточная часть залива, находящаяся под воздействием стока одноименной реки. Это преимущественно аккумулятивная зона, в которой значительные площади дна заняты разнотернистыми и илистыми песками, а также ракушняками. Для выявления изменений в составе ДО, произошедших за 29 лет в этом седиментационном районе, были сопоставлены результаты гранулометрического анализа 20 проб, отобранных в одних и тех же точках в 1993 и 2021 гг. (рис. 1).

Некоторые из результатов гранулометрического анализа представлены в табл. 1. Осадки восточной части залива, изученные в 1993 г., состояли преимущественно из крупных илистых (0,063–0,04 мм) и очень мелких (0,125–0,063 мм) песчаных частиц. Основными примесями служили мелкие пески (0,25–0,125) и илистые частицы ($< 0,04$ мм). В осадках, отобранных в 2021 г., были выявлены изменения гранулометрических параметров.

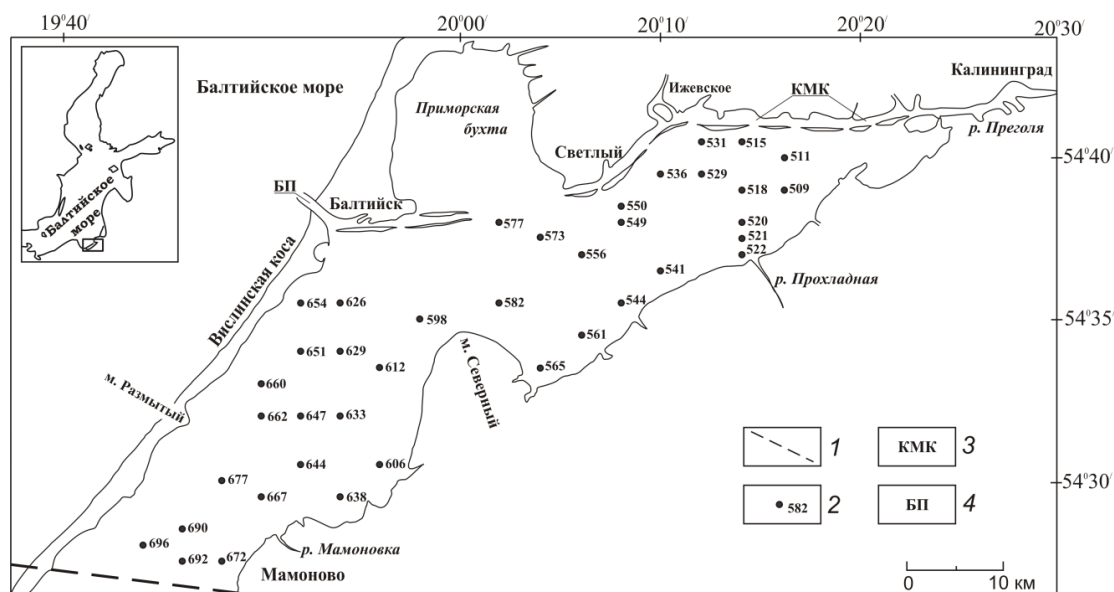


Рис. 1. Расположение точек отбора образцов ДО в Калининградском заливе:
1 – государственная граница; 2 – точки отбора образцов ДО и их индекс;
3 – Калининградский морской канал; 4 – Балтийский пролив
Fig. 1. The scheme of the study area: 1 – state border; 2 – sampling points;
3 – Kaliningrad Seaway Canal; 4 – the Strait of Baltiysk

Таблица 1. Гранулометрический состав ДО, отобранных в 1993 и 2021 гг.
Table 1. Grain size composition of bottom sediments collected in 1993 and 2021 years

Станция №	Год	Глубина, м	Содержание фракций (мм), %							Md	S ₀
			>1,0	1–0,5	0,5–0,25	0,25–0,125	0,125–0,063	0,063–0,04	<0,04		
511	2021	3,1	0,0	0,0	0,0	4,5	22,0	59,0	14,5	0,06	1,2
	1993		0,0	0,0	0,0	2,2	19,0	62,3	16,8	0,05	1,2
520	2021	3,1	0,0	0,5	14,5	7,0	29,0	36,0	13,0	0,06	1,6
	1993		0,0	0,0	9,5	4,4	16,0	49,5	20,6	0,05	1,2
521	2021	2,4	39,0	32,0	2,2	8,0	17,3	1,0	0,0	0,81	3,0
	1993		28,5	24,5	1,0	5,4	30,0	10,3	0,0	0,52	3,9
522	2021	1,5	0,1	4,8	32,3	38,2	23,7	0,1	0,0	0,22	1,7
	1993		0,0	1,5	22,4	25,7	45,4	5,0	0,0	0,12	1,7
531	2021	3,0	6,0	7,5	12,5	13,0	34,5	25,5	0,8	0,1	2,2
	1993		1,5	2,4	5,0	10,2	19,2	45,6	16,2	0,06	1,7
541	2021	1,5	0,3	3,5	37,2	58,0	0,3	0,0	0,0	0,19	1,6
	1993		0,0	1,5	22,4	54,6	14,5	4,2	2,5	0,17	1,4
644	2021	4,3	0,0	0,0	0,5	11,5	25,5	54,0	9,0	0,06	1,3
	1993		0,0	0,0	0,5	7,5	23,5	56,0	12,5	0,06	1,3

647	2021	4,5	0,0	0,0	0,0	3,0	17,5	65,5	14,0	0,05	1,3
	1993		0,0	0,0	0,0	2,0	15,5	63,5	19,0	0,05	1,3
654	2021	2,8	0,5	2,0	12,5	32,5	39,5	13,0	0,0	0,12	1,4
	1993		0,5	2,0	8,5	25,0	37,5	25,0	1,5	0,09	1,4
672	2021	3,1	0,0	2,0	28,5	19,0	12,0	36,5	2,0	0,08	1,5
	1993		0,0	1,5	25,4	14,6	10,2	45,8	2,5	0,06	1,3

В их составе также преобладали крупные илы и очень мелкие пески, однако содержание крупных илов за 29 лет снизилось в среднем на 7 % (с 38 % в 1993 г. до 31 % в 2021 г.), а содержание очень мелких песков, наоборот, увеличилось в среднем на 3 % (с 27 % в 1993 г. до 30 % в 2023 г.). Что касается основных примесей в составе, то ими по-прежнему являлись мелкие пески и илистые частицы, при этом количество песков увеличилось на 3 %, а илистых частиц – на 5 % снизилось.

Юго-западный седиментационный район по своим гидродинамическим условиям преимущественно аккумулятивный, характеризующийся широким развитием илистых отложений и распространением глинистых илов, отсутствующих в других частях залива. Для выявления изменений в составе ДО в этом районе были изучены 19 проб, полученных в 2021 г. в тех же точках, что и в 1993 г. (рис. 1).

Результаты исследований 1993 г. показали, что ДО юго-западной части залива представлены песками, песками илистыми, илами песчанистыми, илами и глинистыми илами. К настоящему времени произошли определенные изменения в составе фракций, однако они не привели к изменению типов осадков на контрольных точках. Некоторые из результатов гранулометрического анализа проб ДО, отобранных в этой части залива в 1993 и 2021 гг., представлены на диаграмме (рис. 2). На ней видно, что в составе ДО, изученных в 2021 г., произошло увеличение песчаных и снижение илистых и глинистых частиц.

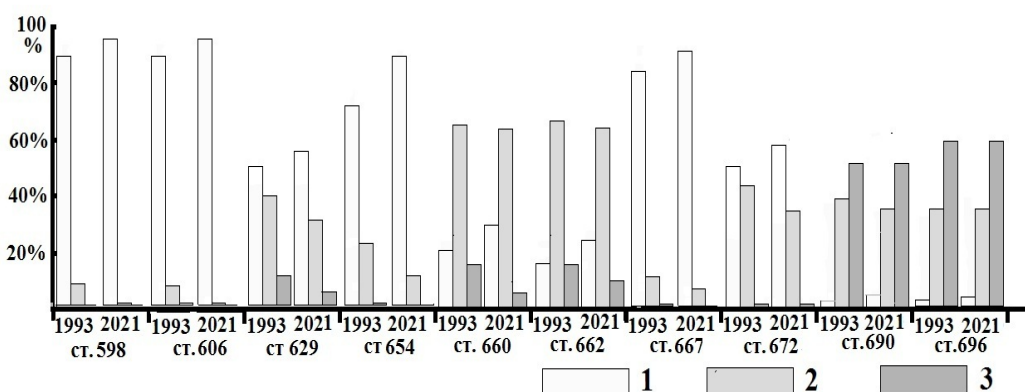


Рис. 2. Содержание песчаных, илистых и глинистых частиц в образцах ДО, отобранных в 1993 и 2021 гг. в юго-западной части Калининградского залива:

1 – песок; 2 – ил; 3 – глинистый ил

Fig. 2. The content of sandy, silty and clay particles in samples of bottom sediments collected in 1993 and 2021 years in the southwestern part of the Kaliningrad Bay:

1 – sand; 2 – silt; 3 – clayey silt

Интересными являются полученные данные о количественных изменениях песчаных и илистых частиц в составе различных типов ДО для всей территории залива, произошедших за 29 лет. В 1993 г. доля песчаных частиц в песчаных отложениях составляла в среднем 72 %, а в 2021 г. она возросла до 78 %. В илах содержание песка увеличилось с 17 до 23 %, а в глинистых илах – с 3 до 7 % (табл. 2). Что касается илистых частиц, то их доля в песчаной фракции за 29 лет снизилась в среднем на 6 %, в илах на 2 %, а в глинистых илах содержание илистых частиц снизилось на 4 %.

Таблица 2. Содержание песчаных и илистых частиц в различных типах ДО Калининградского залива (в среднем для 39 проб)

Table 2. The content of sandy and silty particles in various types of bottom sediments of the Kaliningrad Bay (on average for 39 samples)

Типы осадков	Содержание песчаных частиц, %	
	1993 г.	2021 г.
Песок	72	78
Ил	17	23
Глинистый ил	3	7
	Содержание илистых частиц, %	
	1993 г.	2021 г.
Песок	19	13
Ил	62	60
Глинистый ил	39	35

Известным гранулометрическим параметром, характеризующим силу, скорость потока и гидродинамический уровень среды осадконакопления, является медианный диаметр (Md). Он представляет собой меру величины зерен, указывающую на минимальную энергию транспортирующей среды, необходимую для переноса осадка. Выполненные расчеты показали, что за 29-летний период значение Md для песка увеличилось в среднем с 0,072 мм в 1993 г. до 0,124 мм в 2021 г., для глинистых илов оно почти не изменилось, а для всех типов осадков (в среднем для всех точек исследования) значение Md увеличилось с 0,045 мм в 1993 г. до 0,059 мм в 2021 г. Характерным является тот факт, что сортированность осадков за этот период почти не изменилась.

Тенденция увеличения в составе отложений песчаных частиц хорошо просматривается на трехкомпонентных диаграммах (рис. 3), где все точки исследований 2021 г. сместились (относительно точек 1993 г.) в «песчаные» углы треугольников.

В то же время было выявлено, что изменения, произошедшие в составе осадков за 29 лет, неодинаковы, а величина таких изменений зависит от типов осадков. Наибольшее увеличение количества осадочных частиц песчаных размерностей за этот период отмечено в осадках с преобладанием в их составе песчаного материала, т. е. в песках. Так, например, на станциях 541 и 544, расположенных на небольших глубинах (1,5–2,5 м), содержание суммарной песчаной фракции увеличилось на 6,8 и 18 % соответственно. При этом количество самого тонкого, илистого, материала уменьшилось на 3 % (ст. 541) и на 10 % (ст. 544). Однако на станциях 549, 690, 677, где преобладают илистые и алевроитовые отложения, со-

держание суммарной песчаной фракции увеличилось не более чем на 3 %, а содержание илстых фракций практически не изменилось.

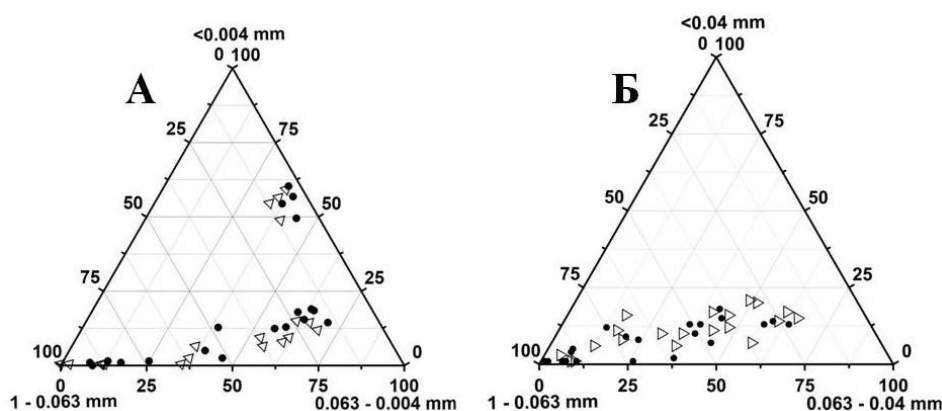


Рис. 3. Треугольные диаграммы соотношения песчаных, алевритовых и илстых частиц в пробах ДО, отобранных в 1993 г. (треугольники) и 2021 г. (точки):

А – юго-западный седиментационный район; Б – эстуарий р. Преголи (восточная часть залива)

Fig. 3. Ternary diagrams of the ratio of sandy, aleuritic and silty particles in bottom sediments sampled in 1993 year (triangles) and in 2021 year (points):

А – south-western sedimentation area; Б – estuary of the Pregolya River (eastern part of the Bay)

Результаты исследования подтвердили выдвинутую В. А. Чечко гипотезу, согласно которой в Вислинском заливе в настоящее время доминируют процессы активного переотложения ДО, конечным результатом которых является частичный вынос тонкого осадочного материала в море, и, как следствие, увеличение ареала песков и сокращение территорий дна, занятых илстыми отложениями. Действие таких процессов обусловлено сочетанием нескольких факторов – небольшими глубинами водоема, открытостью его акватории для преобладающих в регионе ветров западных румбов, свободным водообменом с морем и влиянием сгонно-нагонных движений водных масс.

Ход седиментационных процессов и характер образующихся осадков во многом зависят от факторов среды, среди которых глубина входит в перечень наиболее важных. При небольших глубинах водоема волнение и ветровые течения охватывают всю водную толщу и воздействуют на дно, вызывая взмучивание ДО. Проведенные исследования [13] показали, что волновому воздействию в разные сезоны подвергается от 40 до 100 % дна залива, а регулярным ветроволновым взмучиванием ДО охвачена практически вся площадь дна, за исключением периода ледостава. При взмучивании часть ДО переходит во взвешенное состояние, при этом более грубые осадочные компоненты после стихания волнения достаточно быстро вновь осаждаются на дно. Мелкие глинистые и илстые частицы могут находиться во взвешенном состоянии довольно продолжительное время, а при сгонных явлениях, выполняющих роль отливов в бесприливном море, с потоками воды – выноситься за пределы водоема, в море. В результате в составе ДО происходит снижение количества мелких частиц и некоторое увеличение их медианного диаметра.

О регулярном взмучивании верхнего слоя осадков свидетельствует, в частности, отсутствие слоистости в верхних частях литологических колонок, отобранных в заливе [14]. Процессы взмучивания верхнего слоя ДО, сопровождающиеся транспортировкой осадочного материала, наблюдаются и в польской, самой удаленной от морского пролива части залива, где ранее преобладали процессы аккумуляции ДО [15]. Таким образом, важнейшей чертой осадконакопления для всего залива в настоящее время является несоответствие между энергетической возможностью (гидродинамической активностью) и объемом поступающих седиментационных веществ, которое проявляется в масштабном переотложении ДО и удалением из их верхнего слоя мелких осадочных частиц.

Следует отметить, что взмучивание ДО – характерное явление для неглубоких водоемов. В закрытых водоемах взмучивание приводит лишь к перераспределению осадочных компонентов в пределах его акватории. В водоемах, имеющих связь с морем, при взмучивании осуществляется не только перераспределение, но и транспортировка наиболее мелких компонентов за пределы водоема, в море. Сложившаяся в настоящий момент обстановка осадконакопления весьма благоприятна для экосистемы залива, в ней действуют механизмы самоочищения. При выносе за пределы водоема мелких осадочных частиц вместе с ними выносятся также всевозможные загрязняющие вещества, которые, как было сказано выше, накапливаются именно в мелких фракциях. Немаловажным является и то, что при сохранении данной обстановки осадконакопления заливу в будущем не грозит обмеление, заиление и превращение его в водоем зарастающего типа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

За 29 лет в составе верхнего слоя ДО Калининградского залива произошли существенные изменения. Больше всего они коснулись песчаных фракций, в них за этот период увеличилось количество частиц песчаной размерности и уменьшилось количество илистых частиц. В илистых фракциях также выявлено увеличение содержания песчаных частиц при незначительном снижении илистых, что отразилось на некотором увеличении медианного диаметра ДО залива.

Такие изменения в составе ДО обусловлены активными процессами ветроволнового взмучивания, для которого в заливе имеются идеальные природные условия – небольшие глубины, открытость акватории для преобладающих в регионе ветров западных румбов, обширные площади дна со слабо уплотненными отложениями. При взмучивании в закрытых неглубоких водоемах осуществляется перераспределение осадочных компонентов, а в водоемах, имеющих связь с морем, наряду с перераспределением – частичная транспортировка наиболее мелких из них за пределы водоема.

Ранее подобные процессы отмечались в эстуарии р. Преголи (восточная часть Калининградского залива), сейчас установлено, что они характерны для всей акватории Вислинского залива, включая его юго-западную часть. Таким образом, важнейшей особенностью современного осадконакопления в заливе является регулярное взмучивание верхнего слоя ДО, сопровождающееся переотложением осадочных компонентов и частичной транспортировкой мелких частиц во взвешенном состоянии в море. Действующие процессы способствуют самоочищению ДО, поскольку вместе с мелкими частицами с акватории залива выносятся

сорбированные ими загрязняющие вещества. Полученные результаты исследования позволяют предположить, что при сохранении существующей обстановки осадконакопления эволюционное развитие залива не приведет его к обмелению, заилению дна или заболачиванию.

Список источников

1. Kennish M.J. Coastal lagoon. Encyclopedia of Estuaries. Springer. 2015. P. 140–143.
2. Gic-Grusza G., Dudkowska A. Wind waving. Vistula Lagoon. PWN Warszawa. 2018. P. 86–89.
3. Burska D., Szymczak E. Suspensions in the waters of the Vistula Lagoon. PWN Warszawa. 2018. P. 115–128.
4. Chubarenko B., Zakirov R. Water Exchange of Nontidal Estuarine Coastal Vistula Lagoon with the Baltic Sea. Journal of Waterway Port Coastal and Ocean Engineering, 2021. V. 147. N 4. P. 05021005. URL: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WW.1943-5460.0000633](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WW.1943-5460.0000633) (дата обращения: 05.07.2023).
5. Лазаренко Н. Н., Маевский А. Гидрометеорологический режим Вислинского залива. Ленинград: Гидрометеиздат. 1971. 279 с.
6. Александрова В. В., Иванов В. Б., Цыганова В. И. Динамика химических веществ в донных отложениях рек на территории воздействия нефтедобывающей промышленности // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2022. Т. 14. № 5. С. 11–26.
7. Бреховских В. Ф., Казмирук Т. Н., Казмирук В. Д. Донные отложения Ивановского водохранилища. М.: Наука. 2006. 176 с.
8. Background study on non-residual phase of elements in Changjiang and Huanghe estuarine sediments / Liu Xin-wei et al. // Chin. J. Oceanol. And Limnol. 1996. V. 14. N 3. P. 282–290.
9. Буданова Т. Е., Озмидов О. Р., Озмидов И. О. Современные методы изучения гранулометрического состава грунтов // Инженерные изыскания. 2013. № 8. С. 66–73.
10. Wentworth C. K. A scale of grade and class terms for clastic sediments // Journal of Geology. 1922. V. 30. P. 377–392.
11. Мясникова Н. А., Потахин М. С. Гранулометрический состав донных отложений озера Торосъярви (бассейн Белого моря) // Вестник ВГУ. Серия: География. Геоэкология. 2021. № 1. С. 45–56.
12. Чечко В. А., Топчая В. Ю. Пространственное распределение тяжелых металлов в донных осадках Калининградского залива // Успехи современного естествознания. 2022. № 9. С. 61–66.
13. Чубаренко Б. В. Анализ зон вторичного загрязнения акваторий Калининградского и Куршского заливов // География и природные ресурсы. 1994. № 3. С. 33–40.
14. Chechko V. A. Evolution of sedimentation in the Vistula Lagoon of the Baltic Sea due to anthropogenic impact // Revista de la Universidad del Zulia. 2021. V. 12. N 33. P. 131–148.

15. 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.

References

1. Kennish M. J. Coastal lagoon. Encyclopedia of Estuaries. Springer, 2015, pp. 140–143.
2. Gic-Grusza G., Dudkowska A. Wind waving. Vistula Lagoon. PWN Warszawa, 2018, pp. 86–89.
3. Burska D., Szymczak E. Suspensions in the waters of the Vistula Lagoon. PWN Warszawa, 2018, pp. 115–128.
4. Chubarenko B., Zakirov R. Water Exchange of Nontidal Estuarine Coastal Vistula Lagoon with the Baltic Sea. Journal of Waterway Port Coastal and Ocean Engineering, 2021, vol. 147, no. 4, pp. 05021005, available at: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WW.1943-5460.0000633](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WW.1943-5460.0000633) (Accessed 05 July 2023).
5. Lazarenko N. N., Maevskiy A. *Gidrometeorologicheskiy rezhim Vislinskogo zaliva* [Hydrometeorological conditions of the Vistula Lagoon]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ, 1971, 279 p.
6. Aleksandrova V. V., Ivanov V. B., Tsyganova V. I. Dinamika khimicheskikh veshchestv v donnykh otlozheniyakh rek na territorii vozdeystviya nefte dobyvayushchey promyshlennosti [Dynamics of chemicals in river bottom sediments in the area of oil industry impact]. *Sibirskiy zhurnal biologicheskikh nauk i sel'skogo khozyaystva*, 2022, vol. 14, no. 5, pp. 11–26.
7. Brekhovskikh V. F., Kazmiruk T. N., Kazmiruk V. D. *Donnye otlozheniya Ivan'kovskogo vodokhranilishcha* [Bottom sediments of the Ivankovsky reservoir]. Moscow, Nauka Publ., 2006, 176 p.
8. Liu Xin-wei et al. Background study on non-residual phase of elements in Changjiang and Huanghe estuarine sediments. *Chin. J. Oceanol. And Limnol*, 1996, vol. 14, no. 3, pp. 282–290.
9. Budanova T. E., Ozmidov O. R., Ozmidov I. O. Sovremennye metody izucheniya granulometricheskogo sostava gruntov [Recent methods of studying grain size composition of soils]. *Inzhenernye izyskaniya*, 2013, no. 8, pp. 66–73.
10. Wentworth C. K. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, 1922, no. 30, pp. 377–392.
11. Myasnikova N. A., Potakhin M. S. Granulometricheskii sostav donnykh otlozheniy ozera Toros"yarvi (basseyn Belogo morya) [Grain size composition of bottom sediments of Lake Torosyarvi (White Sea basin)]. *Vestnik VGU*, 2021, no. 1, pp. 39–57.
12. Chechko V. A., Topchaya V. Yu. Prostranstvennoe raspredelenie tyazhelykh metallov v donnykh osadkakh Kaliningradskogo zaliva [Spatial distribution of heavy metals in bottom sediments of the Kaliningrad Bay]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*, 2022, no. 9, pp. 61–66.
13. Chubarenko B. V. Analiz zon vtorichnogo zagryazneniya akvatorii Kaliningradskogo i Kurshskogo zalivov [Analysis of secondary pollution zones in the water areas of the Kaliningrad and Curonian Bays]. *Geografiya i prirodnye resursy*, 1994, no. 3, pp. 33–40.

14. Chechko V. A. Evolution of sedimentation in the Vistula Lagoon of the Baltic Sea due to anthropogenic impact. Revista de la Universidad del Zulia, 2021, vol. 12, no. 3, pp. 131–148.

15. 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.

Информация об авторах

В. А. Чечко – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник

В. Ю. Топчая – научный сотрудник

Information about the authors

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

V. Yu. Topchaya – Researcher

Статья поступила в редакцию 10.07.2023; одобрена после рецензирования 20.07.2023; принята к публикации 29.09.2023.

The article was submitted 10.07.2023; approved after reviewing 20.07.2023; accepted for publication 29.09.2023.