

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИЗУЧЕНИЯ ПРИРОДЫ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ

УДК 551.799 (261.24) + 502.656

DOI: 10.15372/GIPR20220311

В.А. ЧЕЧКО, В.Ю. ТОПЧАЯИнститут океанологии им. П.П. Шишова РАН,
117997, Москва, Нахимовский пр., 36, Россия, che-chko@mail.ru, piwis@mail.ru

ЛИТОЛОГИЯ И ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ КАЛИНИНГРАДСКОГО ЗАЛИВА БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

Представлены результаты изучения 13 литологических колонок из Калининградского залива Балтийского моря. В колонках определены текстурные особенности, гранулометрический состав осадков, естественная влажность, содержание органических веществ и минерала вивианита. Выявлена характерная для всех колонок закономерность в изменении гранулометрического состава осадков по глубине их залегания: в верхней части (до глубины 32–65 см) распространены песчанистые (0,25–0,063 мм) отложения, подстилающиеся однородными, обогащенными органикой илами (менее 0,063 мм) оливковых оттенков. Примерно в тех же слоях отмечены изменения и других параметров. Так, содержание органических веществ в верхнем (0–65 см) слое в среднем составляет 6 %, а в залегающих глубже илистых отложениях — 29 %. Значения влажности в верхнем слое меняются от 45 до 90 %, в нижнем — от 90 до 185 %. Образования минерала вивианита встречаются исключительно в нижних слоях осадков. На основании выявленных изменений в осадочной толще выделены два литостратиграфических подразделения — нижняя (I) и верхняя (II) пачки, соответствующие различным этапам осадконакопления. Нижняя сформировалась в период доминирования речного стока и сложена пластичными илами оливковых оттенков, идентифицированных как «сапропелевые образования». Они отнесены к минерализованному типу сапропелей с зольностью 70–87 %. Толщина сапропелевого слоя в среднем составляет около 1 м. Сапропелевые образования выявлены во всех колонках, в связи с чем можно предположить, что они имеют широкое распространение в осадочной толще.

Ключевые слова: процессы осадконакопления, эволюционные этапы развития водоема, литологические колонки, сапропели, гранулометрический состав осадков, естественная влажность.

V.A. CHECHKO, V.YU. TOPCHAYAShirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,
117997, Moscow, Nakhimovskii pr., 36, Russia, che-chko@mail.ru, piwis@mail.ru

LITHOLOGY AND ORGANIC MATTER IN BOTTOM SEDIMENTS OF THE KALININGRAD BAY OF THE BALTIC SEA

Results from studying 13 lithological cores from the Kaliningrad Bay of the Baltic Sea are presented. In the cores, the textural features, the grain-size distribution of sediments, the natural moisture, the content of organic matter and vivianite mineral were determined. The study revealed a pattern characteristic of all cores concerning changes in the grain-size distribution of sediments in the depth of their occurrence: in the upper part (to a depth of 32–65 cm), there occur sandy (0.25–0.063 mm) sediments underlain by homogeneous, organic-rich silts (less than 0.063 mm) of olive shades. Changes in the other parameters were also observed in approximately the same layers. Thus, the organic matter content in the upper (0–65 cm) layer averages 6 %, and in the deeper silty sediments, 29 %. Moisture values in the upper layer vary from 45 to 90 %, in the lower — from 90 to 185 %. Formations of the vivianite mineral occur exclusively in the lower layers of sediments. Based on the identified changes in the sedimentary layer, two lithostratigraphic divisions are distinguished: the lower (I) and upper (II) members corresponding

to different stages of sedimentation. The lower member formed during the period of predominance of the river flow and is composed of plastic, olive-colored silts identified as "sapropel formations". They are classified as a mineralized type of sapropel with an ash content of 70 to 87 %. The thickness of the sapropel layer averages about 1 m. Sapropel formations were identified in all columns, which suggests that they have a large distribution in the sedimentary layer.

Key words: *sedimentation processes, evolutionary stages of reservoir development, lithological cores, sapropels, grain-size distribution of sediments, natural moisture.*

ВВЕДЕНИЕ

Донные отложения водоемов замедленного водообмена в качестве объекта изучения представляют интерес для широкого круга исследователей. Будучи продуктом источников сноса и обстановки осадконакопления, они могут отражать климатические, геохимические, экологические условия и имевшие место в историческом прошлом природно-антропогенные изменения [1, 2]. Морфологическая структура донных отложений имеет большое значение для выявления эволюционных этапов развития водоема, а сами они используются в качестве естественных индикаторов состояния водных экосистем [3, 4]. Исследования донных осадков Калининградского залива ограничивались, как правило, верхним (0–10 см) слоем. Что же касается вертикального строения осадочной толщи, то, пожалуй, единственная работа в данном направлении в последние годы — это исследование [5].

Донные отложения озер могут также рассматриваться как ценное природное органоминеральное сырье — сапропели, образующиеся на дне пресноводных водоемов и эффективно используемые в различных отраслях народного хозяйства [6]. Они интересны и с теоретической точки зрения, так как, согласно предположениям ученых, послужили в прошлом материалом для образования ряда углеродистых осадочных пород [7].

Анклавное положение Калининградской области выдвигает вопросы разведки и исследований местных полезных ископаемых в разряд крайне актуальных. Целесообразным в этом отношении может стать изучение органоминеральных отложений, добыча и переработка которых считается продуктивным направлением в недропользовании [8, 9]. Однако к настоящему времени имеются скудные сведения об их физико-химических характеристиках и географии распространения. Краткие данные об органоминеральных отложениях на дне озер приводятся в работе [10]. Иногда при литологических исследованиях проявления сапропелевидных образований отмечались в Калининградском заливе, который не представляет собой пресноводный, а классифицируется как «опресненный морской водоем», имеющий непосредственную связь с морем. Маломощные слои сапропелевых отложений выявлены в отдельных колонках осадков, отобранных у южного побережья Польской половины Вислинского залива [11], а также в районе корневой части Куршской косы и вдоль литовского побережья Куршского залива [12, 13].

Цель данной работы — изучить позднеголоценовую осадочную толщу Калининградского залива и выявить в ее составе возможные скопления органических веществ как основного компонента органоминеральных отложений.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ

Калининградский залив занимает северо-восточную половину Вислинского залива — крупнейшего мелководного (максимальная глубина 5,2, средняя — 2,7 м) бассейна лагунного типа Балтийского моря (рис. 1). От моря залив отделяется узкой Вислинской косой, а водообмен с ним осуществляется через Балтийский пролив. Согласно [14], постепенное затопление района современного залива началось примерно 5,5 тыс. л. н. Примерно этот же возраст лагунных гиттий (5180 ± 150 л. н. ^{14}C), контактирующих с базальным слоем, приводится в [15]. С момента своего возникновения залив подвергался только естественным процессам, определяющим среди которых был сток р. Вислы. Значительная часть приносимого рекой осадочного материала аккумуляровалась в приустьевом районе, за счет чего устье водотока выдвигалось в залив, что делало его мельче и меньше [16]. В начале XX в. было создано искусственное русло реки, через него 90 % речного стока стало поступать в Балтийское море. После этого гидрологический и седиментологический режимы залива кардинально изменились, усилилось влияние Балтийского моря, а соленость залива увеличилась до 3,5–5,0 ‰ [17].

Материалом для исследования послужили 15 литологических колонок донных отложений (см. рис. 1). Для их отбора использовалась штанговая трубка диаметром 72 мм с полиэтиленовым вкладышем [18]. В полевых условиях выполнялось морфологическое описание колонки и разделение ее на

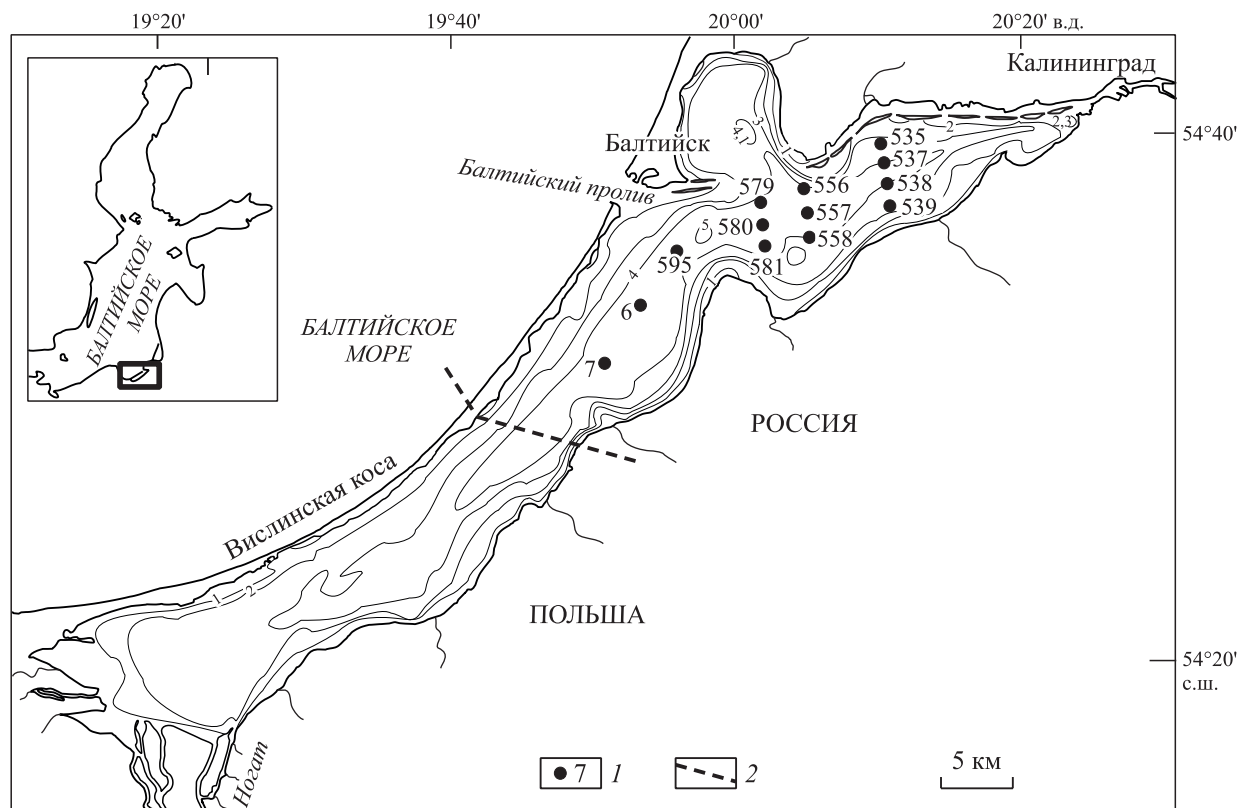


Рис. 1. Схема расположения станций в акватории Калининградского залива Балтийского моря.

1 — точки отбора и индекс литологических колонок; 2 — государственная граница.

5-сантиметровые отрезки, из которых отбирались пробы для определения влажности. Остальной материал отправлялся в стационарную лабораторию.

Гранулометрический состав донных отложений выполнялся ситовым (фракции $>0,04$ мм) и водно-механическим (фракции $<0,04$ мм) методами [19]. На основании результатов анализа и в соответствии с классификацией Ч.К. Вентворта выделялись пески (2,0–0,063 мм), алевриты (0,063–0,004 мм) и глинистые илы ($<0,004$ мм). При использовании трехкомпонентной (песок–алеврит–глина) диаграммы Ф. Шепарда дополнительно были выделены песок алевритовый и алеврит песчанистый.

Содержание общего количества органического вещества (ОВ) в донных осадках определяли весовым методом [20] — прокаливанием высушенной при температуре 105 °С пробы осадков при температуре 550 °С. Потерю массы при прокаливании условно принимали за массовую долю органического вещества. Естественную (весовую) влажность осадков выявляли весовым методом [21] как массовое (весовое) относительное содержание воды в осадках, численно равное отношению массы воды в пробе к массе сухого (высушенного при температуре 105 °С) вещества этой пробы, выраженное в процентах. Определение минерала вивианита выполняли путем просмотра сухих проб под бинокуляр.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В качестве примера, дающего представление о литологии донных отложений залива, в таблице приведено развернутое описание колонки 556. На основании смены состава отложений в ней выделены два литостратиграфических подразделения — нижняя (I) и верхняя (II) пачки — с набором специфических литологических признаков, характерных для всех колонок. Толщина верхней пачки колебалась от 32 (колонка 580) до 65 см (колонка 537) и составляла в среднем для всех колонок 50 см. В ней распространены обводненные, неконсолидированные, текуче-жидкой консистенции темносерые мелкие пески с большой долей алевритов. Характерная особенность верхней пачки — наличие

Литологическое описание донных отложений Калининградского залива Балтийского моря
(колонка 556)

Номер пачки	Номер слоя	Глубина от поверхности воды, см	Мощность слоя, см	Визуальное литологическое описание
II	1	0–400	400,0	Вода
	2	400–404	4,0	Мелкозернистый алевроитовый, неконсолидированный, текучей консистенции, темно-серого цвета, сильно обводненный, с обломками раковин моллюсков и раковинным детритом песок. На поверхности слоя находится живой двусторчатый моллюск атлантическая рангия (<i>Rangia cuneata</i>)
	3	404–420	16,0	Мелкозернистый алевроитовый, слабо консолидированный, темно-серого цвета, без видимой слоистости песок. Очевидная биотурбационная текстура, наблюдаются следы жизнедеятельности донных животных, многочисленные обломки раковин моллюсков и раковинный детрит
	4	420–454	34,0	Мягкий, темно-серо-оливковый, более плотный, чем в вышележащем слое, алевроит песчанистый. По всему слою включения осколков раковин, раковинного детрита, их количество увеличивается по направлению к нижней части
	5	454–457	3,0	Скопление мелких раковин моллюсков, минеральная составляющая представлена алевроитом песчанистым. Верхний и нижний контакты отчетливо выражены
I	6	457–476	19,0	Однородный, неясно слоистый пластичный мелкоалевритовый или оливково-серого цвета, слабо уплотненный
	7	476–477	1,0	Скопление мелких обломков и целых раковин моллюсков
	8	477–515	38,0	Однородный, консолидированный, неясно слоистый, пластичный мелкоалевритовый или оливково-серого цвета, более плотный, чем осадки вышележащих слоев
	9	515–540	25,0	Однородный, консолидированный, неясно слоистый, пластичный мелкоалевритовый или оливково-серого цвета, заметно уплотняющийся к нижней части. По всему слою хаотично рассеяны мелкие раковины и их обломки
	10	540–562	22,0	Мягкий, консолидированный, комковатый темно-серо-оливковый мелкоалевритовый или. Верхний контакт четкий, хорошо выражен по цвету и плотности

хорошо выраженных биотурбационных текстур. Иногда под тонким (5–15 см) слоем осадков залегал ракушечник — скопления обломков и целых раковин пресноводных моллюсков.

Так как колонки донных отложений не достигали базального горизонта, то истинная мощность нижней (I) пачки не была выяснена и ограничивалась глубиной проникновения пробоотборника. Мощность пачки I менялась от 73 см (колонки 558, 580) до 185 см (колонка 535), она представлена более плотными, консолидированными, неясно слоистыми пластичными оливково-серыми илистыми отложениями. Верхний контакт пачки четкий, хорошо выражен по цвету и плотности.

Гранулометрический состав донных осадков представлен размерными фракциями диаметром <0,25 мм. В отложениях верхней пачки доминировали очень мелкие пески (0,125–0,063 мм), доля которых в приповерхностных слоях достигала 63 %. С глубиной залегания их содержание уменьшалось, и в нижних слоях пачки оно не превышало 50 %. Основную примесь представлял собой алевроитовый (0,063–0,004 мм) материал, а доля глинистых (<0,004 мм) частиц колебалась от 0 до 5 %. В нижней пачке содержание песчаных частиц не превышало 30 %, в ней стабильно преобладал алевроитовый материал (в среднем 63 %) с высокой долей (в среднем 12 %) глинистых частиц (рис. 2).

Величина потерь при прокаливании (ППП) в верхней пачке менялась от 2 до 13 % и составляла в среднем для всех колонок 6 %. Наименьшие (от 2 до 5 %) значения PPP отмечались в поверхностных (0–10 см) слоях колонок. Пачка I характеризовалась увеличением показателей PPP по всему профилю от верхних слоев к нижним. В среднем для всех колонок PPP отложений этой пачки составляли 19 % при максимальном значении 29 % (см. рис. 2).

Естественная влажность донных осадков в верхней пачке изменялась от 45 до 90 %. Наибольшие значения естественной влажности (75–90 %) отмечались в приповерхностных и в нижних слоях.

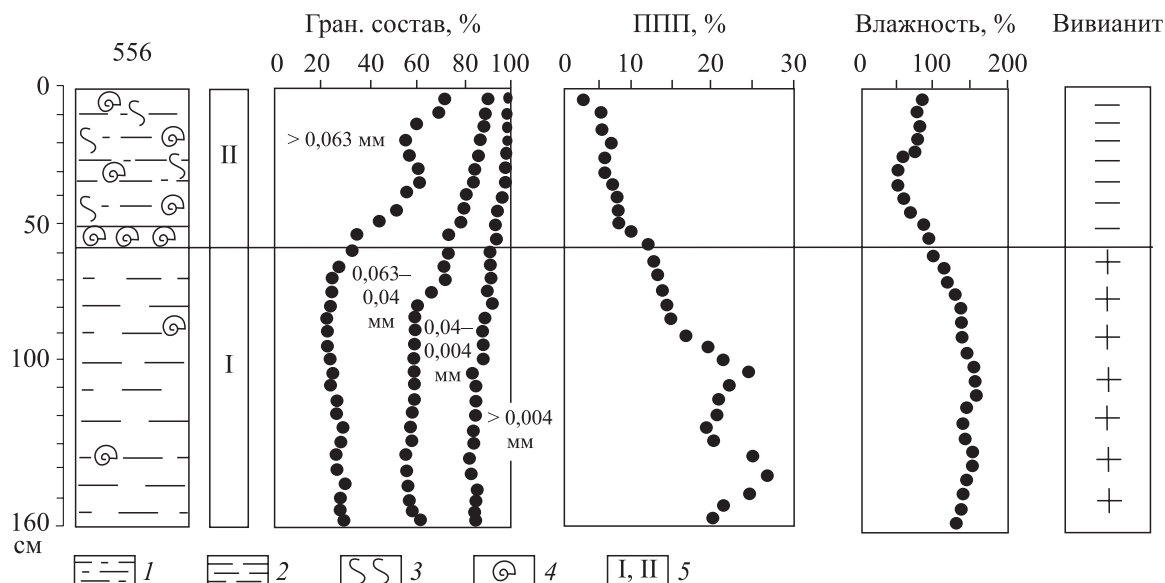


Рис. 2. Литологические характеристики донных отложений Калининградского залива Балтийского моря (колонка 556).

1 — темно-серые крупные алевриты, мелкие пески; 2 — оливковые мелкоалевритовые илы; 3 — биотурбации; 4 — раковины, раковинный детрит; 5 — индекс литологических пачек.

В нижней пачке осадки отличались постоянно высокими значениями влажности, достигающими 185 % (см. рис. 2). Минерал вивианит был выявлен во всех колонках в нижней пачке, в отличие от выше-лежащих осадков, где его проявления не были установлены (см. рис. 2). Этот аутигенный минерал встречался в виде хорошо определяемых в сухих пробах пластинчатых вытянутых микрористаллов, сгруппированных в крупные агрегаты, иногда достигающие в диаметре более 1 см, а также в виде порошковатых рассыпчатых скоплений индигово-синего цвета.

Выполненное расчленение позднеголоценовой осадочной толщи залива на два литостратиграфических подразделения означает, что ее формирование происходило в два этапа, каждый из которых находился под влиянием различных факторов. Согласно [22], до начала XX в. гидрологический и седиментологический режимы Вислинского залива определялись стоком р. Вислы. Судя по отложениям нижней пачки, именно речной сток оказал решающее влияние на формирование пластичных илистых отложений оливковых оттенков. В их составе преобладают принесенные во взвешенном состоянии алевритовые (0,063–0,004 мм) частицы (в среднем для всех колонок 72 %) с высокой долей (в среднем около 17 %) глинистого материала, а песчаный компонент имеет минимальные значения. Монотонность гранулометрического состава донных отложений нижней пачки обусловлена однотипным и постоянным поступлением в залив осадочного материала, основным источником которого был сток р. Вислы. Твердый сток р. Преголи, в настоящее время представляющей собой самую многоводную реку не только Калининградского, но и всего Вислинского залива, до зарегулирования стока р. Вислы имел явно подчиненное значение.

Совсем иная картина наблюдалась в верхней пачке, которая сформировалась после сокращения речного стока, обусловившего снижение поступления и аккумуляции в заливе тонкодисперсного терригенного осадочного материала. Ее толщина составляла в среднем для всех колонок 50 см, что в целом соответствовало объему осадков, способному накопиться в углубленных местах залива за этот период при скорости седиментации около 3,5 мм/год. В ней преобладала песчаная фракция, представленная неконсолированными, слегка заиленными, мелкими и очень мелкими песками (63 %) темно-серых оттенков, покрытыми сверху тонкой окисленной пленкой. Отсутствие слоистости в верхней пачке объясняется, по-видимому, влиянием процессов ветро-волнового взмучивания и активной деятельностью донных животных.

К важным показателям, характеризующим перемены в обстановке осадконакопления, относятся содержание органического вещества и особенности его распределения в толще осадков. Полученные данные указывают на серьезные различия между величинами ППП в нижней (13–29 %) и верхней

(в среднем 6 %) пачках. Особенности распределения органического вещества по глубине нижней пачки (однообразность, отсутствие резких изменений его содержания) также указывают на неизменность и постоянство его источника. По-видимому, в период формирования нижней пачки энергетическая возможность залива не соответствовала объемам органического вещества автохтонного и аллохтонного генезиса, что проявлялось в его интенсивной аккумуляции в донных отложениях.

После ограничения речного стока количество аллохтонного вещества значительно сократилось, а основная часть материала, продуцируемого в заливе, подлежала разложению и процессам минерализации, которые продолжались и после его отложения на дно и захоронения [23]. Свою роль мог сыграть и антропогенный фактор — на рубеже XIX–XX вв. у северного побережья залива осуществлялось строительство судоходного канала. Масштабные гидротехнические работы, включающие изъятие больших объемов донных отложений, могли обуславливать поступление в акваторию залива обломочного материала. К тому же органические частицы, как наиболее легкие и мобильные, при взмучивании способны во взвешенном состоянии выноситься в море при сгонных явлениях. Именно влиянием этих факторов, на наш взгляд, объясняется невысокое содержание органических веществ в отложениях верхней пачки.

Среди физических свойств естественная влажность, представляющая собой косвенную характеристику сорбционной емкости донных отложений, достаточно соизмеримо откликается на изменения условий седиментации и находится в тесной связи с содержанием в осадках мелкодисперсной органо-минеральной составляющей. Результаты исследования подтвердили данную закономерность. Значения влажности донных отложений в нижней пачке схожи во всех колонках и варьируют от 145 до 195 % (см. рис. 2). Это обусловлено высокой долей в их составе мелкодисперсных частиц, обладающих большей удельной поверхностью и способностью удерживать большее количество воды. В то же время, несмотря на преобладание в верхней пачке песчаных фракций, в ней выявлены достаточно высокие (45–90 %) значения влажности, что объясняется, вероятно, динамичностью, регулярным взмучиванием и насыщением водой осадков этого слоя.

Известно [24], что сапропель формируется в результате протекания трех главных процессов: поступления терригенного материала и растворенного органического вещества, накопления автохтонного органического вещества, образования аутигенных минеральных и органо-минеральных соединений. В настоящее время в придонном слое залива происходят преимущественно окислительные процессы, обусловленные особенностями современного гидрологического режима (интенсивным водообменом с морем, сгонно-нагонными явлениями, вертикальным перемешиванием и аэрацией водных масс), способствующими кислородной насыщенности воды, близкой к 100 % [25]. Однако в период доминирования речного стока по мере накопления отложений и их захоронения окислительные условия в процессе диагенеза сменились, вероятно, на восстановительные, включающие процессы анаэробной деструкции органического вещества. Таким образом, создались условия для формирования аутигенного минерала вивианита, который широко представлен в осадках нижней пачки [26].

Согласно классификации сапропелевых отложений по значению зольности, Н.В. Кордэ [27, 28] выделяет следующие их типы: органо-генные (до 30 %), органо-минеральные (30–50), минерально-органогенные (50–70), минерализованные (70–85 %). Донные отложения, имеющие значения зольности >85 %, относятся к минеральным илам. По содержанию органической и неорганической составляющих он разделяет сапропели на две группы: собственно сапропели (содержащие более 50 % органического вещества) и обедненные органическим веществом сапропели (15–50 % органического вещества).

В целом отложения нижней пачки нами обозначены как минерально-органогенные илы, в толще которых выделяются скопления органического вещества. Следуя описанной выше классификации, такие скопления органического вещества можно отнести к минерализованным, обедненным органическим веществом сапропелям. Несмотря на некоторые различия, обусловленные местоположением точек отбора, общие закономерности скоплений суммарного органического вещества прослеживаются во всех колонках. Их мощность незначительна и колеблется от 30 (колонка 595) до 80 см (колонки 556, 581), составляя в среднем для всех колонок 62 см. Однако истинная мощность может измениться в сторону увеличения, поскольку нами исследовались неполные разрезы донных отложений. Датирование отложений юго-западной части залива радиоуглеродным методом [12] показывает, что выявленные минерализованные сапропелевые отложения образовались в позднем голоцене 1,0–1,3 тыс. л. н. По условиям расположения они относятся к погребенным, так как залегают под слоем современных минеральных отложений толщиной от 30 до 65 см.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования впервые был изучен литологический состав позднеголоценовой осадочной толщи Калининградского залива и выявлена ее литолого-стратиграфическая неоднородность. В донных отложениях выделены скопления органического вещества, отнесенные нами, согласно [27, 28], к минерализованным сапропелям. Они определены во всех полученных литологических колонках, т. е. распространены фактически повсеместно в илистых отложениях, залегающих в наиболее углубленных местах. Благодаря своему уникальному природному составу сапропели представляют значительный интерес для использования в различных отраслях — сельском хозяйстве, медицине, промышленности, косметологии и др.

Природно-климатические условия Калининградской области благоприятны для образования сапропелей, в связи с чем результаты данной работы могут послужить основой для организации и продолжения комплексных исследований органоминерального сырья в других водоемах региона. Относительная простота добычи и переработки, научный подход к использованию этого специфического ископаемого могут привести к быстрой отдаче и к получению положительного экономического эффекта. Многообещающим может стать его применение в сельском хозяйстве и, особенно, в лечебных целях, что обусловлено все возрастающей ролью Калининградской области в сфере туризма и рекреации, а также активно развивающимся санаторно-курортным направлением в здравоохранении.

Полевые исследования и гранулометрический анализ проб донных отложений выполнены при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (19-45-390013 p_a), анализ и интерпретация данных выполнены в рамках государственного задания Института океанологии РАН (FMWE-2021-0012).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патин С.А. Антропогенное воздействие на морские экосистемы и биоресурсы: источники, последствия, проблемы // Тр. Всерос. науч.-исслед. ин-та рыбного хозяйства и океанографии. Контроль и охрана состояния водной среды и биоресурсов. — 2015. — Т. 154. — С. 85–104.
2. 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. — P. 314–320.
3. Forstner U. Metal Pollution in the Aquatic Environment. — Berlin: Springer-Verlag, 1979. — 210 p.
4. Даувальтер В.А. Геоэкология донных озер. — Мурманск: Изд-во Мурманск. технич. ун-та, 2012. — 242 с.
5. Чечко В.А., Чубаренко Б.В., Топчая В.Ю. Влияние природных и антропогенных факторов на формирование осадочной толщи Калининградского залива Балтийского моря // Изв. Калининград. технич. ун-та. — 2018. — № 48. — С. 47–58.
6. Шгин С.М. Озерные сапропели и их комплексное освоение. — М.: Изд-во Моск. гуманит. ун-та, 2005. — 373 с.
7. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Геохимия черных сланцев. — Л.: Наука, 1988. — 272 с.
8. Семёнова З.В. Потенциальные возможности сапропелей в решении продовольственных проблем // Вестн. Иркут. технич. ун-та. — 2011. — № 8 (55). — С. 154–161.
9. Митюков А.С., Румянцев В.А., Крюков Л.Н., Ярошевич Г.С. Сапропель и перспективы его использования в аграрном секторе экономики // Общество. Среда. Развитие («TERRA HUMANA»). — 2016. — № 2. — С. 110–111.
10. Орлёнок В.В., Барина Г.М., Кучерявый П.П., Ульяшев Г.Л. Виштынецкое озеро: природа, история, экология. — Калининград: Изд-во Калининград. ун-та, 2000. — 185 с.
11. Witak M., Jankowska D. The Vistula Lagoon evolution based on diatom records // Baltica. — 2005. — Vol. 18 (2). — P. 68–76.
12. Бадюкова Е.Н., Жиндарев Л.А., Лукьянова С.А., Соловьева Г.Д. Строение корневой части Куршской косы // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. — 2010. — № 5. — С. 53–59.
13. Кабайлене М.В. Развитие косы Куршью-Марес, дельты Немана и прибрежных болот // Тр. Ин-та геологии. — 1967. — Вып. 5. — С. 181–207.
14. Blazchishin A.I. Zur Geoekologie des Kurischen und des Frischen Haffs // Schriftenr. f. Geowiss. — 1998. — Vol. 7. — P. 39–57.
15. Uscinowicz S., Zachowicz J. Atlas geochemiczny zaiewu Wislanego. — Warszawa: Wydawnictwo kartograficzne polskiej agencji ekologicznej S.A., 1996. — 84 p.
16. Plit J. Natural and man-made changes in the delta of Vistula River. Cultural landscapes of rivers valleys // Prace Komisji Krajobrazu Kulturowego PTG. — 2010. — Vol. 13. — P. 13–28.
17. Matciak M., Chyla N. The temperature and salinity of the lagoon. — Warszawa: Vistula Lagoon, 2018. — P. 92–99.

18. **Чечко В.А., Пака В.Т., Подуфалов А.П.** Новый подход к получению стратиграфически не нарушенных колонок донных осадков в неглубоких водоемах // Океанологические исследования. — 2019. — Т. 47, № 4. — С. 177–184.
19. **Буданова Т.Е., Озмидов О.Р., Озмидов И.О.** Современные методы изучения гранулометрического состава грунтов // Инженерные изыскания. — 2013. — № 8. — С. 66–73.
20. **Heiri O., Lotter A.F., Lemcke G.** Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results // Journ. of Paleolimnology. — 2001. — N 25. — P. 101–110.
21. **Методические** рекомендации по лабораторному изучению инженерно-геологических свойств донных осадков. — Ленинград: Мин. геологии СССР, 1986. — 52 с.
22. **Witak M., Pędziński J.** The Middle and Late Holocene. — Warszawa: Vistula Lagoon, 2018. — P. 26–34.
23. **Emelyanov E.M.** Biogenic components of the Baltic Sea // Geology and Geophysics. — 2014. — Vol. 12, N 12. — P. 1759–1774.
24. **Березовский Н.И.** Торфяные и сапропелевые месторождения. — Минск: Изд-во Минск. национал. технич. ун-та, 2011. — 49 с.
25. **Александров С.В.** Первичная продукция планктона в Вислинском и Куршском заливах Балтийского моря и ее связь с рыбопродуктивностью: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. — СПб.: Изд-во Зоологического ин-та РАН, 2003. — 27 с.
26. **Soliman M.F., Goresy A.E.** Framboidal and idiomorphic pyrite in the upper Maastrichtian sedimentary rocks at Gabal Oweina, Nile Valley // Geochimica et Cosmochimica Acta. — 2012. — Vol. 90. — P. 195–220.
27. **Кордэ Н.В.** О номенклатуре и типологии сапропелевых отложений // Тр. лаб. сапропелевых отложений АН СССР. — 1956. — Вып. VI. — С. 5–33.
28. **Кордэ Н.В.** Биостратификация и типология русских сапропелей. — М.: Изд-во АН СССР, 1960. — 219 с.

Поступила в редакцию 12.05.2021

После доработки 23.08.2021

Принята к публикации 29.03.2022