



Научная статья

УДК 631.423.4(265.54)**DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-905-916****EDN: WHQUNV****ХАРАКТЕРИСТИКА ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ БУХТЫ КИЕВКА
ЯПОНСКОГО МОРЯ****О.В. Нестерова, А.В. Брикманс, В.Г. Трегубова, А.М. Гилёв***Дальневосточный федеральный университет,
690922, г. Владивосток, о. Русский, пос. Аякс, 10

Аннотация. Представлены результаты анализа донных отложений, отобранных из верхней 10-сантиметровой толщи в ходе экспедиции 83-го рейса на НИС «Академик М.А. Лаврентьев» с помощью геологических колонок с глубин от 12,2 до 99,0 м. Донные отложения бухты Киевка Японского моря характеризуются преимущественно высоким содержанием органического углерода, а по запасам этого элемента их можно отнести к категориям от «средних» до «высоких». Органическое вещество донных отложений имеет высокое содержание базовых биогенных элементов, таких как азот, фосфор и калий. По гранулометрическому составу донные отложения бухты Киевка относятся преимущественно к опесчаненным суглинкам, в составе минерального скелета, как и прибрежных почв, преобладает кремний, алюминий и железо. Корреляционный анализ между всеми исследованными параметрами показал прямую зависимость между долей фракции физической глины и содержанием органического углерода и общего азота в донных отложениях бухты Киевка.

Ключевые слова: донные отложения, гранулометрический состав, органическое вещество, общий азот, геохимический состав

Для цитирования: Нестерова О.В., Брикманс А.В., Трегубова В.Г., Гилёв А.М. Характеристика донных отложений бухты Киевка Японского моря // Изв. ТИНРО. — 2024. — Т. 204, вып. 4. — С. 905–916. DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-905-916. EDN: WHQUNV.

* Нестерова Ольга Владимировна, кандидат биологических наук, доцент, *nesterova.ov@dvfu.ru*, ORCID 0000-0002-3463-0962; Брикманс Анастасия Владимировна, кандидат биологических наук, доцент, *brikmans.av@dvfu.ru*, ORCID 0000-0003-0071-3951; Трегубова Валентина Григорьевна, кандидат биологических наук, доцент, *tregubova.vg@dvfu.ru*, ORCID 0009-0006-6300-5046; Гилёв Андрей Михайлович, магистр, *gilev.am@dvfu.ru*, ORCID 0009-0008-2830-4272.

© Нестерова О.В., Брикманс А.В., Трегубова В.Г., Гилёв А.М., 2024

Original article

Characteristics of bottom sediments in the Kievka Bay of the Japan Sea

Olga V. Nesterova*, Anastasia V. Brikmans, Valentina G. Tregubova***, Andrey M. Gilyov******

*—**** Far Eastern Federal University, 10, Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok, 690922, Russia

* Ph.D., assistant professor, nesterova.ov@dvfu.ru, ORCID 0000-0002-3463-0962

** Ph.D, assistant professor, brikmans.av@dvfu.ru, ORCID 0000-0003-0071-3951

*** Ph.D, assistant professor, tregubova.vg@dvfu.ru, ORCID 0009-0006-6300-5046

**** master, gilev.am@dvfu.ru, ORCID 0009-0008-2830-4272

Abstract. Basic properties of bottom sediments, including organic carbon content, are determined to understand biogeochemical cycles in the marine environment. The samples were collected using a geological column sampler from the upper 10-centimeter layer of the sediments at the depth of 12.2–99.0 m in Kievka Bay in the 83rd cruise of RV Academician M.A. Lavrentiev. The bottom sediments in Kievka Bay are distinguished by significant content of organic carbon, in the medium to high categories, and high levels of major nutrients in the organic fraction, such as nitrogen, phosphorus and potassium. Their particle-size composition corresponds mainly to sandy loams, with prevalence of silicon, aluminum and iron in the mineral skeleton that is similar to coastal soils. The content of organic carbon and total nitrogen in the bottom sediments of Kievka Bay correlates positively with the portion of physical clay fraction. The same analytical techniques used for both bottom sediments and coastal soils allow to consider the continental-ocean transition zone as a single system.

Keywords: bottom sediments, particle-size composition, organic matter, total nitrogen content, geochemical composition

For citation: Nesterova O.V., Brikmans A.V., Tregubova V.G., Gilyov A.M. Characteristics of bottom sediments in the Kievka Bay of the Japan Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2024, vol. 204, no. 4, pp. 905–916. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-905-916. EDN: WHQUNV.

Введение

Оценка базовых показателей донных осадков как основы морских экосистем является важной задачей. Биогеохимические циклы в донных и придонных экосистемах имеют схожие механизмы с наземными почвами. Депонированный в осадки углерод — главный показатель для понимания механизмов формирования запасов углерода в морских экосистемах. Зона перехода от континента к океану имеет большое значение с точки зрения многих фундаментальных наук. Для сравнительного анализа почвенных наземных и морских экосистем удобнее всего использовать унифицированные методики. Очевидно, что использование одних и тех же методов для определения базовых характеристик как почв, так и донных осадков свидетельствует о глобальных процессах преобразования и накопления веществ на нашей планете без разделения на сушу и океан. В современном почвоведении прибрежные подводные морские осадки, формирующиеся в литоральной зоне, нередко рассматривают как аналоги почв [Soil Taxonomy..., 1999]*, это приводит к появлению в публикациях различных названий биокосных тел, сформированных на дне водоёмов. Например, под термином «аквапочвы» авторы понимают биокосные тела, формирующиеся на дне водоёмов под воздействием почвообразовательных процессов, результатом которых является появление органоминерального комплекса — гумуса [Ивлёв, Нестерова, 2004]. «Аквazём» — термин, предложенный В.А. Серышевым [1986] для обозначения почв, формирующихся как в морских, так и в пресноводных водоёмах. В работе В.К. Бахнова [2002] рассматривается предложение внесения в почвенную классификацию аквазёмов как самостоятельного таксона. В американской почвенной классификации используется почвенный таксон «aquents», формирующийся в болотах, на берегах озёр, в поймах рек, где почвы постоянно насыщены водой и по гранулометрическому составу преимущественно имеют песчаную фракцию*.

* Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. Washington: USDA, 1999. 2nd ed. 696 p.

Применение схожих методик для оценки как почв, так и донных отложений можно найти в работах некоторых исследователей. Так, метод бихроматного окисления для определения органического углерода, используемый в почвоведении [Аринушкина, 1970], подходит и для донных осадков с некоторыми модификациями [Романкевич, 1974]. Метод определения гранулометрического состава донных отложений возможен по ГОСТ 12536-2014, включающему ситовой и пипеточный методы, в основе которых лежат методики, предложенные Н.А. Качинским [1958] для почв и В.П. Петелиным [1967] для донных отложений.

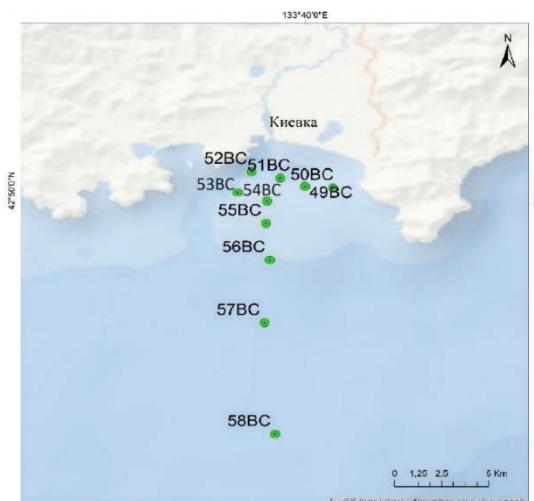
Таким образом, мы предлагаем использовать унифицированный подход к изучению биокосных тел независимо от их происхождения для характеристики базовых процессов, протекающих в зоне перехода от континента к океану. Цель исследования — оценка содержания органического углерода и его запасов в верхнем слое донных отложений бухты Кивка, концентраций азота и фосфора как важнейших биогенных элементов, а также гранулометрического состава, влияющего на накопление органического вещества в океане с помощью методов, используемых в почвоведении.

Материалы и методы

Объектами исследования являются донные отложения, отобранные в ходе экспедиции 83-го рейса на НИС «Академик М.А. Лаврентьев» с помощью геологических колонок с глубин от 12,2 до 99,0 м (глубина без учёта осаждения судна 4,25 м). Образцы отбирались на участках с отсутствием растительности. В работе использованы образцы, отобранные из верхней 10-сантиметровой толщи, характеризующей современные процессы седиментогенеза в шельфовой зоне бухты Кивка, расположенной в зал. Петра Великого Японского моря в Приморском крае (рис. 1).

Рис. 1. Карта-схема отбора образцов донных отложений бухты Кивка

Fig. 1. Scheme of bottom sediments sampling in the Kivka Bay



В исследуемых образцах определяли кислотно-щелочные свойства потенциометрическим методом с помощью рН-метра Mettler Toledo [ГОСТ 26423-85]; влажность донных отложений — термостатно-весовым методом [Роде, 1965]; плотность твердой фазы — пикнометрическим [Растворова, 1983]; гранулометрический состав образцов — сито-пипеточным [Качинский, 1958; Шеин и др., 2001] с использованием 4 %-ного раствора пиррофосфата натрия [Шеин и др., 2001]; содержание органического углерода — методом бихроматного окисления [Аринушкина, 1970]; содержание общего азота — методом Кьельдаля [Аринушкина, 1970]; содержание доступных фосфатов — спектрофотометрическим методом Кирсанова [Аринушкина, 1970]; калий — пламенно-фотометрическим методом [Аринушкина, 1970]; валовый анализ содержания химических элементов (макроэлементов) — титриметрическим методом [Аринушкина, 1970].

Запасы органического углерода в донных отложениях для 30-сантиметрового слоя были рассчитаны по методу, предложенному Д.С. Орловым и Л.А. Гришиной [1981]. Для выявления статистически значимых различий между исследуемыми параметрами был использован однофакторный дисперсионный анализ зависимостей (ANOVA), анализ каждого образца проводился в 5-кратной повторности.

Результаты и их обсуждение

К базовым параметрам, характеризующим специфику седиментогенеза и функционирования донных и придонных эценозов, влияющим на глобальные циклы элементов в морских и наземных экосистемах, мы относим гранулометрический состав (C_{org}), органический углерод, кислотно-щелочные свойства, содержание общего азота, доступный фосфор, обменный калий и валовое содержание базовых элементов (SiO_2 , MnO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , P_2O_5), т.е. те свойства, которые связаны не только с экологическим состоянием донных отложений, но и с накоплением и качественным составом органического вещества.

При исследовании донных осадков прибрежных акваторий была учтена гидрологическая сеть территории и выявлены зоны выноса пресных вод в морскую акваторию. В устьях рек в зоне смешения пресной и морской воды происходит образование малорастворимых соединений, которые могут служить подтверждением локального изменения геохимической обстановки на стыке территории и акватории. Также необходимо учитывать разбавление морских вод речными, что влечет за собой также изменение pH среды, влияющей на геохимическую и экологическую обстановку в акватории.

Базовые параметры, характеризующие состав органического вещества и кислотные основные свойства донных отложений бухты Киевка, представлены в табл. 1.

Таблица 1
Базовые параметры органического вещества донных отложений бухты Киевка
Table 1
Basic properties of bottom sediments in the Kievka Bay

Объект исследования	pH _{H2O}	C _{орг} , %	N, %	C/N	Запасы органического углерода, т/га	P ₂ O ₅ , мг/100 г почвы	K ₂ O, мг/100 г почвы
GA83-49	6,10 ± 0,04	0,38 ± 0,06	0,54 ± 0,10	0,70	13,6 ± 2,6	15,2 ± 0,2	9,8 ± 0,4
GA83-50	6,42 ± 0,03	2,01 ± 0,05	1,02 ± 0,10	1,96	65,8 ± 2,2	20,5 ± 0,7	11,7 ± 0,3
GA83-51	6,64 ± 0,04	1,67 ± 0,05	0,68 ± 0,10	2,43	57,5 ± 2,2	16,7 ± 0,3	18,6 ± 0,4
GA83-52	6,40 ± 0,03	0,88 ± 0,06	0,61 ± 0,10	1,43	28,5 ± 2,6	20,7 ± 0,8	28,2 ± 0,5
GA83-53	6,43 ± 0,03	1,01 ± 0,05	0,37 ± 0,10	2,70	36,8 ± 2,2	28,2 ± 0,8	9,5 ± 0,5
GA83-54	6,02 ± 0,04	1,85 ± 0,03	0,56 ± 0,10	3,26	69,8 ± 2,0	24,7 ± 0,5	6,6 ± 0,6
GA83-55	6,58 ± 0,04	1,40 ± 0,06	0,43 ± 0,10	3,19	73,0 ± 2,6	19,0 ± 0,6	6,0 ± 0,6
GA83-56	5,78 ± 0,04	2,88 ± 0,08	0,80 ± 0,10	3,56	161,6 ± 3,5	19,7 ± 0,9	2,9 ± 0,9
GA83-57	6,02 ± 0,03	1,08 ± 0,03	0,56 ± 0,10	1,91	40,9 ± 2,0	25,5 ± 0,4	20,3 ± 0,5
GA83-58	6,67 ± 0,03	1,34 ± 0,04	0,68 ± 0,10	1,94	47,4 ± 1,7	24,7 ± 0,4	6,1 ± 0,5

Кислотно-щелочные свойства донных отложений отражают интенсивность окислительно-восстановительных процессов, скорость разложения органического вещества, микробную активность, а также свойства минерального скелета [Лихт и др., 1983; Полохин и др., 2021]. Исследования показали, что по кислотно-щелочным свойствам донные отложения находятся в диапазоне от 5,78 до 6,64 (рис. 2, табл. 1), что попадает в категорию от «слабокислой» до «близкой к нейтральной» pH [Аринюшкина, 1970]. Поскольку исследуемые точки отбора находятся на небольшом удалении от береговой линии и устья р. Киевка и отобраны на относительно небольших глубинах, такие значения вполне понятны.

Исследование закономерностей преобразования, распределения и общего круговорота органического вещества в океане, а также накопления его в осадках имеет

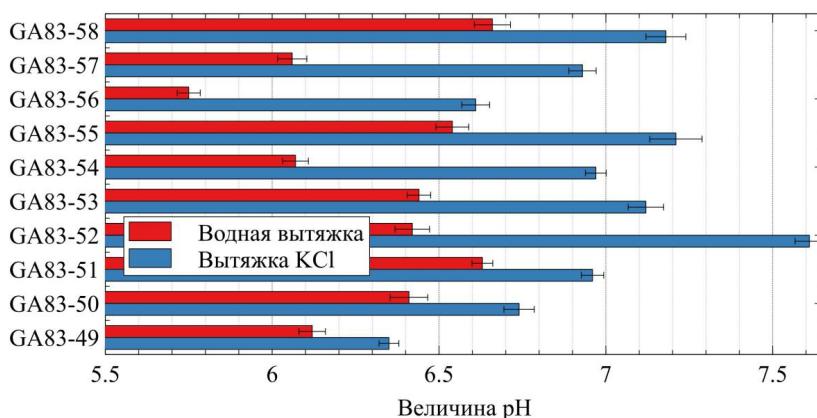


Рис. 2. Кислотно-основные свойства донных осадков бухты Киевка

Fig. 2. Acid and base properties of bottom sediments in the Kievka Bay

большое значение для геохимии, литологии, географии, биогеоценологии [Романкевич, 1977]. Положение о планетарной геологической роли живого и неживого органического вещества является фундаментальной основой учения В.И. Вернадского о биосфере. Захоронение органического вещества в осадках конечных водоемов стока указывает на неполную сбалансированность системы синтеза, т.е. разложения органического вещества, которое в зависимости от разных обстановок осадконакопления различается в сотни раз. Состав продуктов катагенеза органического вещества во многом унаследован от состава самого органического вещества, которое поступило на дно и изменилось биогеохимическими процессами в диагенезе [Романкевич, 1977].

Исследования содержания органического углерода в донных отложениях бухты Киевка играют важную роль в разработке модели циркуляции углерода в донных и придонных экосистемах, что в свою очередь раскрывает особенности депонирования углерода на этих акваториях.

Наиболее существенными источниками поступления осадочного материала являются твердый сток рек, абразия, биологическая продуктивность. Нативное органическое вещество в донных отложениях образуется в основном под влиянием жизнедеятельности микроорганизмов. В нашем случае это речной сток (см. рис. 1).

В донных отложениях бухты Киевка органическое вещество распределено неравномерно. Содержание более 1,5 % органического углерода (табл. 1) приходится на четыре точки (50, 51, 54 и 56), где значения варьируют от 1,65 до 2,88 %. Наименьшее (менее 0,5 %) приходится на точку 49 с показателем 0,38 %. Для почв суши такие величины являются крайне низкими, а для донных осадков Японского моря отмечаются для песчаных грунтов [Романкевич, 1977; Лихт и др., 1983]. В среднем содержание органического углерода в донных отложениях бухты Киевка варьирует от 0,88 до 1,40 %, что соответствует «выше среднему» содержанию согласно шкале, предложенной Д.С. Орловым и Л.А. Гришиной для почв суши [1981], и вполне соотносится с данными исследователей, изучавших состав и свойства донных осадков Японского моря [Романкевич, 1977; Лихт и др., 1983].

Гранулометрический состав наследуется от почвообразующих пород и определяет основные свойства как почв суши, так и донных осадков, а именно: физические, физико-химические и химические. Соотношение содержания фракций физического песка и физической глины объясняет механизмы закрепления органического вещества в поверхностном слое донных отложений. Как правило, морские осадки, в которых преобладает фракция физической глины, имеют более высокое содержание органического вещества [Романкевич, 1977].

По гранулометрическому составу исследуемые донные отложения по классификации Н.А. Качинского [1958] относятся преимущественно к опесчаненным суглинкам

(рис. 3). По классификации П.Л. Безрукова и А.П. Лисицына [1960] это мелкие пески и крупные алевроиты.

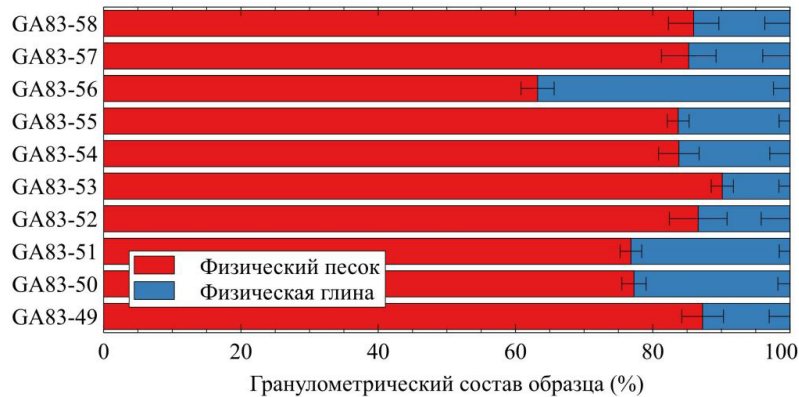


Рис. 3. Гранулометрический состав донных отложений бухты Киевка, %
Fig. 3. Particle-size composition of bottom sediments in the Kievka Bay, %

У части исследуемых образцов наблюдается повышенное содержание мелко-дисперсных фракций. Так, в точках 50, 54, 56 фракция песка снижается и увеличивается фракция пыли и глины, что позволило отнести их к опесчаненному суглинку, опесчаненной глине и глине (рис. 3, табл. 1) или алевроитам. Для этих же образцов было отмечено более высокое содержание органического углерода — от 1,85 до 2,88 % (рис. 4).

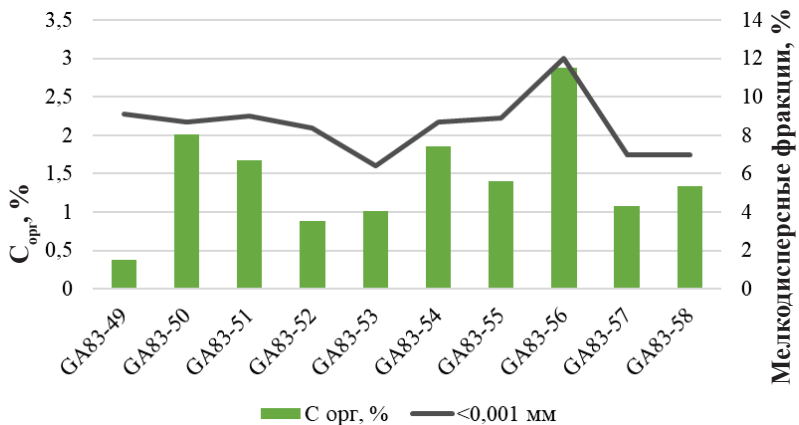


Рис. 4. Содержание органического углерода и фракций < 0,001 мм в донных отложениях бухты Киевка
Fig. 4. Content of organic carbon and the particle-size fraction < 0.001 mm in bottom sediments of Kievka Bay

Такое распределение органического углерода и повышенного содержания мелкодисперсных частиц в донных отложениях может быть связано с распространением ареалов различных сообществ макробентоса [Галышева, Коженкова, 2023], в том числе морской травы *Zostera marina*. Благодаря наличию *Z. marina* в прикорневой зоне создаются условия для аккумуляирования илистых и коллоидных частиц, что в свою очередь влияет на накопление органического углерода. Ю.А. Галышева и С.И. Коженкова [2023] отмечают, что бухта Киевка в целом характеризуется высоким разнообразием условий среды, что отражается на общем таксономическом разнообразии макробентоса, а также на более равномерном распределении обилия между фито- и зообентосом по сравнению с южными и особенно более северными акваториями Приморского края. Кроме влияния *Z. marina*, также в исследуемой бухте наблюдается

наличие терригенного стока (влияние р. Киевка), что связано с привнесом почвенных частиц различного размера совместно с органическим веществом в акваторию бухты.

Для исследуемой территории были рассчитаны запасы органического углерода в 30-сантиметровом слое донных осадков (табл. 1) по методике, предложенной Д.С. Орловым с соавторами [2004], которая позволяет понять, сколько органического углерода депонировано в донные отложения. Поскольку большинство почв суши имеет мощность поверхностного горизонта около 30 см и такое значение рекомендовано авторами методики, то и мы для расчета использовали эту мощность. В целом рассчитанные значения запасов органического углерода в донных отложениях бухты Киевка находятся в диапазоне от «средних» до «высоких» (от 36,8 до 67,5 т/га). Исключение составляют только некоторые исследуемые точки, а именно пробы со ст. 49 (13,6 т/га), с «низким» значением и пробы со ст. 56, где зафиксирован показатель со «сверхвысоким» содержанием (161 т/га, табл. 1), «очень высокий» (от 66 до 73 т/га) приходится на точки 50, 54, 55, что вполне логично, так как для этих донных отложений характерно высокое содержание органического углерода и преобладание фракции пыли и ила.

Азот является основным и обязательным элементом для всех живых организмов. Он участвует в интенсивном биогеохимическом круговороте и тесно связан с органическим веществом. Цикл азота очень сложен, а в условиях морской среды происходит ассимиляция его органических и неорганических соединений, в том числе и газообразного [Романкевич, 1977]. Также при полной минерализации органического вещества азот превращается в аммонийные соли, которые благодаря работе бактерий окисляют его в нитратную и нитритную форму. По содержанию общего азота в морских отложениях (рис. 5, табл. 1) большая часть точек находится в диапазоне от 0,5 до 1,0 %. Для почв суши норма содержания общего азота находится в пределах 0,1 до 0,5 % [Аринушкина, 1970]. Для донных отложений Японского моря отмечаются диапазоны около 0,1–0,2 % [Романкевич, 1977], что также соотносится с нашими данными.

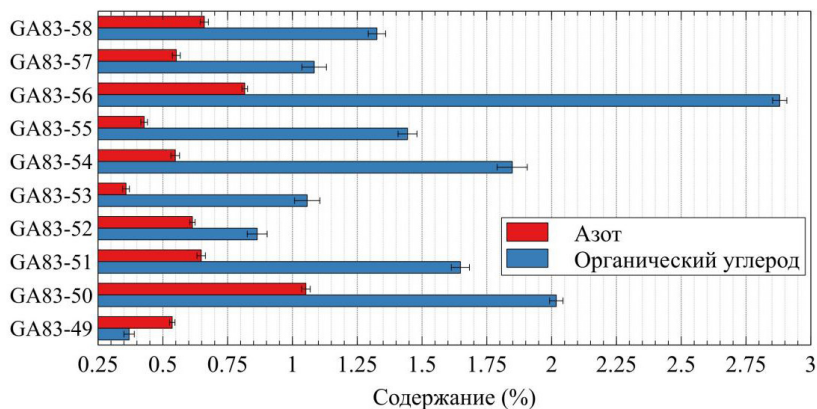


Рис. 5. Содержание органического углерода и общего азота в донных отложениях бухты Киевка

Fig. 5. Organic carbon and total nitrogen content for bottom sediments in the Kievka Bay

Для донных отложений была рассчитана степень обогащенности органического углерода азотом (соотношение C/N), которая составила от 0,7 до 3,6 (табл. 1), что характерно для очень бедных органическим веществом почв и обусловлено высокой долей минеральных соединений азота [Орлов, Гришина, 1981].

Фосфор существует в море в виде минеральных и органических соединений в различных формах, является важным биогенным элементом [Романкевич, 1977] и входит в состав органического вещества донных осадков. Исследования показали, что содержание доступных фосфатов в донных отложениях бухты Киевка варьирует от 15,2 до 28,2 мг/100 г почвы (табл. 1, рис. 6), что является высоким показателем обе-

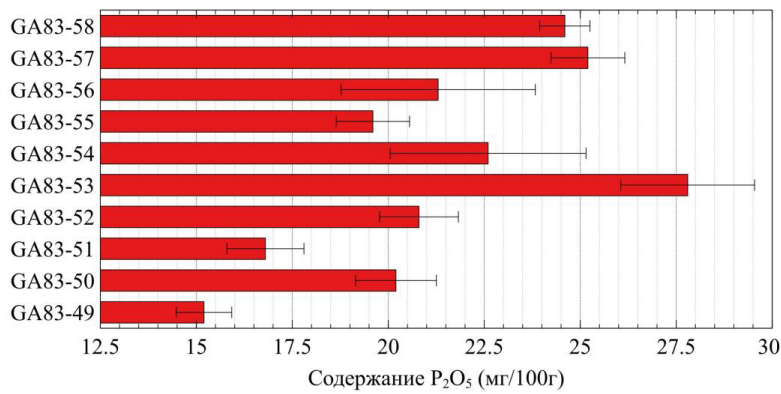


Рис. 6. Диаграмма распределения содержания доступных фосфатов в исследуемых образцах

Fig. 6. Distribution diagram of available phosphates content in the samples bottom sediments from Kievka Bay

спеченности, так как оптимальные значения для почв суши изменяются в диапазоне от 10 до 15 мг/100 г почвы.

Такое распределение доступного фосфора в донных отложениях может быть связано со спецификой химического состава макробентоса на исследуемой территории, его численности и ареалов распространения.

Калий является важнейшим биогенным компонентом наряду с азотом и фосфором и причисляется к трем базовым элементам питания. По содержанию обменного калия (табл. 1) показатели в донных отложениях варьируют от 6,0 до 28,2 мг/г, что связано прежде всего с гранулометрическим составом, а именно с его утяжелением (увеличивается содержание частиц физической глины < 0,01 мм).

Геохимический состав донные отложения, как правило, наследуют от минералов, слагающих осадочную толщу или в случае активного терригенного стока этот состав может иметь сходство с наземными почвами. Исследуемые донные отложения в составе минерального скелета имеют преимущественно тот же состав, что и почвы суши, с преобладанием кремния, алюминия и железа (табл. 2)*, что может свидетельствовать о терригенном происхождении осадочного материала, формирующего исследуемые донные отложения.

Таблица 2

Геохимический состав донных отложений бухты Киевка по некоторым элементам, %

Table 2

Geochemical composition by certain elements for bottom sediments in the Kievka Bay, %

Объект исследования	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	P ₂ O ₅	MnO ₂	Остальные элементы
GA83-49	35,6 ± 3,0	26,1 ± 2,0	7,9 ± 0,5	4,3 ± 0,2	6,2 ± 1,2	0,12 ± 0,02	0,030 ± 0,005	19,75
GA83-50	57,8 ± 3,0	21,6 ± 2,0	7,1 ± 0,5	3,7 ± 0,2	4,8 ± 1,2	0,15 ± 0,02	0,010 ± 0,005	4,84
GA83-51	62,8 ± 3,0	19,8 ± 2,0	5,6 ± 0,5	3,4 ± 0,2	4,8 ± 1,2	0,14 ± 0,02	0,020 ± 0,005	3,44
GA83-52	61,6 ± 3,0	21,9 ± 2,0	6,0 ± 0,5	4,1 ± 0,2	4,4 ± 1,2	0,13 ± 0,02	0,040 ± 0,005	1,83
GA83-53	58,9 ± 3,0	19,8 ± 2,0	4,8 ± 0,5	3,7 ± 0,2	4,4 ± 1,2	0,13 ± 0,02	0,040 ± 0,005	8,26
GA83-54	56,0 ± 3,0	22,2 ± 2,0	7,6 ± 0,5	4,5 ± 0,2	6,5 ± 1,2	0,22 ± 0,02	0,030 ± 0,005	2,95
GA83-55	54,2 ± 3,0	18,7 ± 2,0	5,7 ± 0,5	3,1 ± 0,2	4,8 ± 1,2	0,16 ± 0,02	0,020 ± 0,005	13,32
GA83-56	49,6 ± 3,0	21,3 ± 2,0	5,4 ± 0,5	3,0 ± 0,2	4,3 ± 1,2	0,22 ± 0,02	0,040 ± 0,005	16,14
GA83-57	53,2 ± 3,0	24,3 ± 2,0	7,9 ± 0,5	5,2 ± 0,2	5,7 ± 1,2	0,25 ± 0,02	0,030 ± 0,005	3,42
GA83-58	52,1 ± 3,0	24,2 ± 2,0	6,1 ± 0,5	5,8 ± 0,2	5,5 ± 1,2	0,23 ± 0,02	0,020 ± 0,005	6,05

* Национальный атлас почв Российской Федерации. М.: Астрель, 2011. 632 с.

Для оценки взаимосвязи между исследуемыми параметрами была построена корреляционная матрица (табл. 3).

Таблица 3

Корреляционная матрица

Table 3

Inter-correlation matrix for geochemical properties of bottom sediments in the Kievka Bay

Факторы	Параметр	pH_H ₂ O	pH_KCl	Фракция физичес- кой глины	Фракция физического песка	P ₂ O ₅	Carbon
	Pearson's r	0,560***	—	—	—	—	—
pH_KCl	df	49	—	—	—	—	—
	p-value	< 0,001	—	—	—	—	—
Физичес- кая глина, %	Pearson's r	-0,431**	-0,380**	—	—	—	—
	df	49	49	—	—	—	—
	p-value	0,002	0,006	—	—	—	—
Физичес- кий песок, %	Pearson's r	0,431**	0,380**	-1,000***	—	—	—
	df	49	49	49	—	—	—
	p-value	0,002	0,006	< 0,001	—	—	—
	Pearson's r	0,033	0,404**	-0,338*	0,338*	—	—
P ₂ O ₅ , %	df	48	48	48	48	—	—
	p-value	0,818	0,004	0,016	0,016	—	—
	Pearson's r	-0,347*	-0,201	0,825***	-0,825***	0	—
C _{орг} , %	df	49	49	49	49	48	—
	p-value	0,013	0,158	< 0,001	< 0,001	0,999	—
	Pearson's r	-0,149	-0,320*	0,612***	-0,612***	-0,298*	0,579***
N, %	df	49	49	49	49	48	49
	p-value	0,296	0,022	< 0,001	< 0,001	0,036	< 0,001
* p < 0,05, ** p < 0,01, *** p < 0,001							

Обнаружена значительная зависимость между гранулометрическим составом донных отложений и содержанием азота, углерода и фосфора. В частности, существует прямая зависимость между долей фракции суммы физической глины и содержанием органического углерода и азота. Предположительно это обусловлено ассоциацией органического вещества с илистой фракцией, что подтверждается сильной взаимосвязью между содержанием углерода и азота. Для глинистой фракции — слабая обратная зависимость с содержанием доступных фосфатов.

Для pH водной и солевой вытяжки выявлена слабая обратная зависимость с содержанием глинистой фракции, а именно при снижении величины pH увеличивается доля илистой фракции. Для pH водной вытяжки — слабая обратная зависимость с содержанием углерода и азота и слабая прямая зависимость с содержанием фосфора.

Выводы

Исследуемые донные отложения бухты Киевка Японского моря в среднем имеют высокое содержание органического углерода, и по его запасам их можно отнести к категориям от «средних» до «высоких» по шкале, используемой для почв суши.

Донные отложения бухты Киевка имеют слабокислую и нейтральную реакцию среды.

По гранулометрическому составу исследуемые донные отложения относятся преимущественно к опесчаненным суглинкам или мелким пескам и крупным алевритам.

По обеспеченности общим азотом донные отложения находятся в диапазоне от 0,5 до 1,0 %, что является оптимальным показателем, если использовать шкалу, принятую для почв суши.

Органический углерод донных отложений имеет высокую степень обогащенности азотом (показатель C/N менее 5).

В составе минерального скелета в донных отложениях, как и прибрежных почв, преобладает кремний, алюминий и железо.

Содержание доступных фосфатов и обменного калия в донных отложениях бухты Киевка превышает оптимальные значения, если их сравнивать с почвами суши, что, вероятно, связано с составом и количеством макробентоса на исследуемой территории.

Корреляционный анализ показал прямую зависимость между долей фракции физической глины (менее 0,01 мм) и содержанием органического углерода и общего азота.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы искренне благодарны сотрудникам ТОИ ДВО РАН за помощь в отборе проб донных отложений в ходе экспедиции 83-го рейса на НИС «Академик М.А. Лаврентьев».

The authors are sincerely grateful to colleagues from Pacific Oceanological Institute of the Russian Ac. Sci. for their assistance in sampling bottom sediments during the 83rd cruise of RS Academician M.A. Lavrentiev.

Финансирование работы (FUNDING)

Работа выполнена при поддержке Государственного задания Минобрнауки России № FZNS-2023-0019.

The study was conducted under the State Assignment of the Ministry of Education and Science of Russia No. FZNS-2023-0019.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Статья не содержит никаких исследований с участием животных в экспериментах, выполненных кем-либо из авторов.

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

The article does not contain any studies involving animals in experiments performed by any of the authors.

The authors declare that they have no conflict of interest.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

О.В. Нестерова — разработка программы исследования, аналитическая обработка полученных данных, написание статьи; А.В. Брикманс — анализ проб на содержание азота, фосфора и углерода, гранулометрический анализ, написание статьи; В.Г. Трегубова — геохимический анализ проб донных отложений; А.М. Гилёв — подготовка проб донных отложений к химическому анализу, анализ проб на содержание калия. Все авторы участвовали в обсуждении полученных результатов.

O. V. Nesterova developed a research program, provided general guidance, participated in the data analysis, and wrote and illustrated the text; A. V. Brickmans determined the content of nitrogen, phosphorus and carbon in the samples of sediments, made the particle-size analysis, and partially wrote the text; V. G. Tregubova made geochemical analysis of the sediment samples and partially wrote the text; A. M. Gilev participated in preparation of

the samples for chemical analysis and determined the potassium content in the samples; all authors discussed the results jointly.

Список литературы

- Аринушкина Е.В.** Руководство по химическому анализу почв. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : МГУ, 1970. — 487 с.
- Бахнов В.К.** Почвообразование: взгляд в прошлое и настоящее (биосферные аспекты) : моногр. — Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2002. — 117 с.
- Безруков П.Л., Лисицын А.П.** Классификация осадков современных морских водоемов // Тр. ИОАН СССР. — 1960. — Т. 32. — С. 3–14.
- Галышева Ю.А., Коженкова С.И.** Макробентос бухты Кивка и условия его существования : моногр. — Владивосток : ДВФУ, 2023. — 180 с.
- Ивлев А.М., Нестерова О.В.** К вопросу об изучении аквапочв // Вестн. ДВО РАН. — 2004. — № 4(116). — С. 47–52.
- Качинский Н.А.** Механический и микроагрегатный состав почвы, методы его изучения : моногр. — М. : АН СССР, 1958. — 192 с.
- Лихт Ф.Р., Астахов А.С., Ботул А.И. и др.** Структура осадков и фации Японского моря : моногр. — Владивосток : ДВНЦ АН СССР, 1983. — 287 с.
- Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Розанова М.С.** Дополнительные показатели гумусного состояния почв и их генетических горизонтов // Почвоведение. — 2004. — № 8. — С. 918–926.
- Орлов Д.С., Гришина Л.А.** Практикум по химии гумуса : учеб. пособие. — М. : Изд-во Моск. ун-та, 1981. — 272 с.
- Петелин В.П.** Гранулометрический анализ донных осадков : моногр. — М. : Наука, 1967. — 128 с.
- Полохин О.В., Макаревич Р.А., Клышевская С.В.** Содержание органического углерода в подводных почвах бухты Троицы (Японское море) // Международный научно-исследовательский журнал. — 2021. — № 12-2(114). — С. 94–98. DOI: 10.23670/IRJ.2021.114.12.050.
- Растворова О.Г.** Физика почв. Практическое руководство. — Л. : ЛГУ, 1983. — 196 с.
- Роде А.А.** Основы учения о почвенной влаге : моногр. — Л. : Гидрометеиздат, 1965. — Т. 1. — 665 с.
- Романкевич Е.А.** Биоорганический состав взвеси и донных осадков северо-западной части Тихого океана // Органическое вещество современных и ископаемых осадков и методы его изучения. — М. : Наука, 1974. — С. 33–54.
- Романкевич Е.А.** Геохимия органического вещества в океане : моногр. — М. : Наука, 1977. — 256 с.
- Серышев В.А.** О классификации и номенклатуре подводных почв // Почвоведение. — 1986. — № 5. — С. 27–34.
- Шеин Е.В., Архангельская Т.А., Гончаров В.М. и др.** Полевые и лабораторные методы исследования физических свойств и режимов почв : метод. руководство. — М. : МГУ, 2001. — 200 с.

References

- Arinushkina, Ye.V.,** *Rukovodstvo po khimicheskomu analizu pochv* (Soil Chemical Analysis Guide), Moscow: Mosk. Gos. Univ., 1970, 2nd ed.
- Bakhnov, V.K.,** *Soil formation: view in past and present (biospheric aspects)*, Novosibirsk: Sibirskoye otdeleniye Rossiyskoy akademii nauk, 2002.
- Bezrukov, P.L. and Lisitsyn, A.P.,** Classification of sediments of modern marine reservoirs, *Tr. Inst. Okeanol. Akad. Nauk SSSR*, 1960, vol. 32, pp. 3–14.
- Galysheva, Yu.A. and Kozhenkova, S.I.,** *Makrobentos bukhty Kiyevka i usloviya yego su-shchestvovaniya* (Macrobenthos of Kiyevka Bay and the conditions of its existence), Vladivostok: Dal'nevostochnyy federal'nyy universitet, 2023.
- Ivlev, A.M. and Nesterova, O.V.,** On studying the aqua-soils, *Vestn. Dal'nevost. Otd. Ross. Akad. Nauk*, 2004, no. 4(116), pp. 47–52.
- Kachinskiy, N.A.,** *Mekhanicheskiy i mikroagregatnyy sostav pochvy, metody yego izucheniya* (Mechanical and microaggregate composition of soil, methods of studying it), Moscow: Akad. Nauk SSSR, 1958.
- Likht, F.R., Astakhov, A.S., Botsul, A.I., Derkachev, A.N., Dudarev, O.V., Markov, Yu.D., and Utkin, I.V.,** *Struktura osadkov i fatsii Yaponskogo morya* (Structure of Sediments and Facies in the Sea of Japan), Vladivostok: Dal'nevost. Nauchn. Tsentr, Akad. Nauk SSSR, 1983.

Orlov, D.S., Biryukova, O.N., and Rozanova, M.S., Revised system of the humus status parameters of soils and their genetic horizons, *Eurasian soil science*, 2004, vol. 37, no. 8, pp. 798–805.

Orlov, D.S. and Grishina, L.A., *Praktikum po khimii gumusa* (Workshop on humus chemistry), Moscow: Mosk. Gos. Univ, 1981.

Petelin, V.P., *Granulometricheskii analiz donnykh osadkov* (Granulometric analysis of bottom sediments), Moscow: Nauka, 1967.

Polokhin, O.V., Makarevich, R.A., and Klyshevskaya, S.V., On the organic carbon content in underwater soils of Bukhta Troitsy (Sea of Japan), *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal*, 2021, no. 12-2(114), pp. 94–98. doi 10.23670/IRJ.2021.114.12.050

Rastvorova, O.G., *Fizika pochv. Prakticheskoye rukovodstvo* (Physics of soils. Practical guide), Leningrad: Leningrad. Gos. Univ., 1983.

Rode, A.A., *Osnovy ucheniya o pochvennoy vlage* (Basics of the study of soil moisture), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1965, vol. 1.

Romankevich, E.A., Bioorganic composition of suspended matter and bottom impurities in the northwestern part of the Pacific Ocean, in *Organicheskoye veshchestvo sovremennykh i iskopayemykh osadkov i metody yego izucheniya* (Organic matter of modern and fossil sediments and methods for studying it), Moscow: Nauka, 1974, pp. 33–54.

Romankevich, Ye.A., *Geokhimiya organicheskogo veshchestva v okeane* (Geochemistry of organic matter in the ocean), Moscow: Nauka, 1977.

Seryshev, V.A., Classification and nomenclature of underwater soils, *Eurasian soil science*, 1986, no. 5, pp. 27–34.

Shein, E.V., Arkhangelskaya, T.A., Goncharov, V.M., Guber, A.K., Pochatkova, T.N., Sidorova, M.A., Smagin, A.V., and Umarova, A.B., *Polevyye i laboratornyye metody issledovaniya fizicheskikh svoystv i rezhimov pochv* (Field and laboratory methods for studying the physical properties and regimes of soils), Moscow: Mosk. Gos. Univ., 2001.

Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys, Washington: USDA, 1999, 2nd ed.

Natsional'nyy atlas pochv Rossiyskoy Federatsii (National soil atlas of the Russian), Moscow: Astrel', 2011.

Поступила в редакцию 25.10.2024 г.

После доработки 2.12.2024 г.

Принята к публикации 10.12.2024 г.

The article was submitted 25.10.2024; approved after reviewing 2.12.2024; accepted for publication 10.12.2024