

УДК 551.312.012

## **ОЦЕНКА БИОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ БУХТЫ БЛАГОПОЛУЧИЯ (О. БОЛЬШОЙ СОЛОВЕЦКИЙ)**

**Н. А. Белкина, А. В. Пронина\*, Е. В. Гатальская, И. В. Морозова**

*Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН  
(пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185030),*

\*anastasiya.2802@mail.ru

Исследование посвящено оценке состояния донных отложений бухты Благополучия (о. Большой Соловецкий, Архангельская область). В бухте на 25 станциях выполнен отбор проб поверхностных донных отложений. Изучены физические (плотность, удельная масса, пористость, естественная и абсолютная влажность), физико-химические (рН, Eh), химические (потери при прокаливании, общий органический и неорганический углерод, зольность, растительные пигменты, азот аммонийный, азот органический, фосфор общий и минеральный) характеристики и гранулометрический состав осадков. Выявлено изменение седиментационного режима и загрязнение дна бухты в результате хозяйственной деятельности человека. Отмечено преобладание среднего и крупного ила за исключением южной части бухты, где наблюдается постепенное увеличение доли мелкопесчаной фракции в юго-восточном направлении. Выполнена оценка уровня загрязнения донных отложений органическим веществом и биогенными элементами. Содержание органического вещества в пробах осадка в среднем составляет 14 %. Концентрации азота, фосфора и растительных пигментов невелики. Распределение показателей органического вещества в донных отложениях по площади дна бухты Благополучия выявило, что  $C_{опт}$ ,  $N_{NH4^+}$ ,  $N_{опт}$ ,  $P_{общ}$  и Chla имеют более высокие концентрации в осадках прибрежных районов юго-восточной части водоема,  $P_{мин}$  – в северной части в районе выпуска сточных вод. Наиболее интенсивное загрязнение зафиксировано в осадках, залегающих в районе стоянки маломерного флота. Полученные результаты могут быть использованы при планировании дноуглубительных работ и реконструкции пристаней, а также при организации мониторинга состояния бухты Благополучия.

**Ключевые слова:** Соловецкие острова; бухта Благополучия; донные отложения; гранулометрический и химический состав; биогенное загрязнение

**Для цитирования:** Белкина Н. А., Пронина А. В., Гатальская Е. В., Морозова И. В. Оценка биогенного загрязнения донных отложений бухты Благополучия (о. Большой Соловецкий) // Труды Карельского научного центра РАН. 2025. № 8. С. 113–126. doi: 10.17076/eco2196

**Финансирование.** Работа выполнена в рамках темы НИР ИВПС КарНЦ РАН «Состояние прибрежной экосистемы Белого моря в пределах Соловецкого архипелага» (FMEN 2024-0016).

**N. A. Belkina, A. V. Pronina\*, I. V. Morozova, E. V. Gatalskaya.  
ASSESSMENT OF THE NUTRIENT POLLUTION OF BOTTOM SEDIMENTS  
IN BLAGOPOLUCHIYA BAY (BOLSHOY SOLOVETSKY ISLAND)**

*Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences  
(50 Al. Nevsky Ave., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia), \*anastasiya.2802@mail.ru*

This study assessed bottom sediments of Blagopoluchiya Bay (Bolshoy Solovetsky Island, Arkhangelsk Region). Top-core sediment samples were collected at 25 stations in the bay. Physical characteristics (density, specific gravity, porosity, natural and absolute moisture content), physico-chemical parameters (pH, Eh), chemical properties (loss on ignition, total organic and inorganic carbon, ash content, plant pigments, ammonium nitrogen, organic nitrogen, total and mineral phosphorus), and the grain-size distribution of the sediments were studied. Changes in the sedimentation regime and pollution of the bay bed under human impact were identified. Medium and coarse silt prevailed except for the southern part of the bay, where the proportion of fine sand increased gradually towards the southeast. The levels of organic matter and nutrient pollution of the sediments were assessed. The average content of organic matter in sediment samples was about 14 %. The concentrations of nitrogen, phosphorus, and plant pigments were relatively low. The distribution patterns of organic matter components over the bottom of Blagopoluchiya Bay exhibited higher concentrations of organic carbon, ammonium nitrogen, organic nitrogen, total phosphorus and chlorophyll-a in south-eastern coastal areas of the bay, while inorganic phosphorus occurred mainly in northern regions, near sewage outfall. The heaviest pollution was found in sediments at small craft moorings. These results can be used when planning dredging actions and reconstruction of piers, as well as organizing monitoring of the state of Blagopoluchiya Bay.

**Keywords:** Solovetsky Archipelago; Blagopoluchiya Bay; bottom sediments; grain-size and chemical composition; nutrient pollution

**For citation:** Belkina N. A., Pronina A. V., Morozova I. V., Gatalskaya E. V. Assessment of the nutrient pollution of bottom sediments in Blagopoluchiya Bay (Bolshoy Solovetsky Island). *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2025. No. 8. P. 113–126. doi: 10.17076/eco2196

**Funding.** The work was carried out within the framework of the state-funded research theme of the NWPI KarRC RAS “The state of the White Sea coastal ecosystem within the Solovetsky Archipelago” (FMEN 2024-0016).

---

## **Введение**

Белое море – уникальный внутренний водоем, освоение ресурсов которого тесно связано с историей России. В настоящее время неуклонно растет стратегическое значение моря для нашей страны, связанное с развитием транспортной инфраструктуры Северного морского пути и добывающей промышленности в Арктике.

Соловецкие острова – самый крупный архипелаг Белого моря, расположенный в мелководной западной части Онежского залива. Его историко-культурный комплекс, включающий объекты Всемирного наследия ЮНЕСКО, привлекает паломников и туристов. Уязвимость экосистем Севера к внешнему воздействию и высокий уровень антропогенной нагрузки на острова являются основанием для проведения исследований современного состояния акватории моря в районе Соловецкого архипелага.

Большой Соловецкий – самый крупный остров на Белом море (площадь 225,28 км<sup>2</sup>). Юго-западный берег острова омывается водами Соловецкого залива, в вершине которого находится бухта Благополучия, защищенная островами Бабий, Вороний, Игуменский и другими [Лоция.... 1983]. На ее берегах расположено сельское поселение Соловецкое, основу экономики которого составляет туризм, деятельность строительных и реставрационных организаций, рыболовство, водорослеводство и слаборазвитое сельское хозяйство. В бухте Благополучия действует морской причал. По побережью проложена сеть грунтовых дорог. Восточный берег бухты занимает Спасо-Преображенский Соловецкий монастырь, основанный в начале XV века.

Мониторинг и оценка состояния прибрежных акваторий обычно предполагает проведение комплексных исследований по разным направлениям научной деятельности [Израэль,

1984; Петухов и др., 2011; Лискин, Римский-Корсаков, 2018; Аббасов, 2019]. В 2024 г. ИВПС КарНЦ РАН начал междисциплинарные исследования в бухте Благополучия [Лукина и др., 2025]. Показано, что в настоящее время воды бухты испытывают сильное антропогенное воздействие, связанное с поступлением неочищенных сточных вод поселения, продуктов неполного сгорания топлива от водного и наземного транспорта и домовых печей, золовых взвесей и площадного стока с селитебной территории, а также с рекреационной нагрузкой от паломническо-туристического потока. Кроме этого, в п. Соловецкий отсутствует система переработки твердых отходов; все отходы вывозятся на полигон, санитарно-защитная зона которого находится на территории поселения, что не соответствует законодательным нормам [Стратегия..., 2013; Одинцова и др., 2025].

Биогенное загрязнение бухты Благополучия отмечается в работах гидрохимиков разных лет [Комплексные..., 1994; Мохова и др., 2018; Лукина и др., 2025]. Наибольшее антропогенное воздействие испытывает кутовая часть бухты в фазу отлива, когда сточные воды разбавляются приливной волной и загрязняющие вещества разносятся по акватории течениями [Лукина и др., 2025]. При этом твердая часть стоков может осаждаться в локальных понижениях дна. Накопление загрязненных взвесей на дне водоемов имеет негативные последствия. В процессе захоронения происходит трансформация поступившего на дно взвешенного вещества и часть опасных для экосистемы загрязнителей возвращается в водную толщу [Белкина, 2015].

Целью нашего исследования является оценка уровня загрязнения донных отложений бухты Благополучия (о. Большой Соловецкий) органическим веществом и биогенными элементами.

## Объект и методы исследования

Бухта Благополучия ( $65.025045^{\circ}$ ,  $35.706284^{\circ}$ ) расположена на западном берегу о. Большой Соловецкий. В бухту впадает несколько водотоков. Берега ее сложены крупными валунами и песком, береговая линия сильно изрезана небольшими губами и мысами. На акватории бухты, площадь зеркала которой менее  $1 \text{ км}^2$ , встречаются луды (небольшие каменистые островки) и корги (нагромождения камней, выступающие из воды). Рельеф дна сложный. В бухте Благополучия действует шесть пристаней – две большие (для пассажирских судов), куда подходит фарватерный ход с глубинами 5–6 м, и четыре

малые (для катеров и лодок). На входе в бухту глубины достигают 8–9 м с довольно существенным свалом глубин у южного берега. Резкий перепад глубины (3–4 м) наблюдается и у восточного берега. В северной и южной части акватории глубины не превышают 2 м [Лукина и др., 2025].

В период с 4 по 8 апреля 2025 г. в бухте Благополучия был осуществлен отбор поверхностных проб донных отложений лотом Воронкова. Сеть наблюдения представлена на рис. 1. 5 апреля 2025 года на станциях B02, B09 и B10 в фазу прилива отобраны пробы воды (поверхностный и придонный горизонты) для определения содержания  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$  и фосфора стандартными методами.

Изучение физических, физико-химических и химических характеристик донных отложений (плотность ( $d$ ), удельная масса (плотность твердой фазы) ( $\rho$ ), пористость ( $\phi$ ), естественная влажность ( $W_{20}$ ), абсолютная влажность ( $W_{105}$ ),  $\text{pH}$ ,  $\text{Eh}$ , потери при прокаливании (ППП), общий органический углерод ( $C_{\text{опр}}$ ), общий неорганический углерод ( $C_{\text{неопр}}$ ), зольность ( $A^d$ ), растительные пигменты ( $\text{Chla}$ ,  $\text{Chlb}$ ,  $\text{Chlc}$ ,  $\text{Phe}$ ), азот аммонийный ( $N_{\text{NH}_4}$ ), азот органический ( $N_{\text{опр}}$ ), фосфор минеральный ( $P_{\text{мин}}$ ), фосфор общий ( $P_{\text{общ}}$ )) проводилось по общепринятым в мировой практике методикам [Аринушкина, 1982; Аналитические..., 2017; Палеолимнология..., 2022].

Анализ гранулометрического состава осадка проведен на лазерном анализаторе частиц LS 13 320 (BeckmanCoulter, США) в ЦКП КарНЦ РАН. Характеристика гранулометрического состава осадков приведена по Wentworth [1922].

Статистическая обработка результатов выполнена в программе GRADISTAT v. 9.1. Иллюстрации подготовлены с помощью программ Quantum GIS 3.24.0 и Microsoft Excel. Дополнительно были введены основные изобаты 0 (береговая линия), 2,3 и 4,6 м, которые дают представление о распределении глубин и характере рельефа дна.

## Результаты и обсуждение

Пробы донных отложений, отобранные в бухте Благополучия, представляли собой темно-коричневый ил. Отложения были достаточно однородны по консистенции. Результаты обработки данных гранулометрического анализа даны в табл. 1 и на рис. 2. В целом донные отложения изученной акватории характеризуются преобладанием плохо сортированного среднего и крупного ила. Очень мелкий плохо сортированный песок залегает в южной части бухты.

*Рис. 1. Положение станций отбора проб донных отложений в бухте Благополучия (о. Большой Соловецкий) с указанием глубины водоема*

*Fig. 1. The position of the sediment sampling stations in Blagopoluchiya Bay (Bolshoy Solovetsky Island) with the indication of the water body depth*

*Таблица 1. Характеристика гранулометрического состава донных отложений бухты Благополучия*  
*Table 1. Grain size of bottom sediments in Blagopoluchiya Bay*

Станция Station	Средний размер частиц, мкм Average particle size, $\mu\text{m}$	Коэффициент сортировки Sorting coefficient	Коэффициент асимметрии Asymmetry coefficient	Медиана, мкм Median, $\mu\text{m}$
B01	22,7	3,34	-0,001	21,28
B02	22,85	3,37	-0,008	21,55
B03	34,5	3,89	-0,01	33,77
B04	22,51	3,49	0,002	20,69
B05	13,53	2,7	-0,096	13,51
B08	20,23	3,5	0,019	18,51
B09	34,5	3,92	-0,03	34,21
B10	31,19	3,9	-0,03	30,35
B11	21,77	3,28	-0,04	21,38
B12	36,75	3,96	-0,09	38,95
B13	25,9	3,72	0,06	23,03
B14	40,4	3,52	0,13	43,62
B15	76,8	4,06	-0,06	78,13
B16	32,45	3,77	0,001	31,09
B17	34,29	4,17	0,002	32,16

Окончание табл. 1

Table 1 (continued)

Станция Station	Средний размер частиц, мкм Average particle size, $\mu\text{m}$	Коэффициент сортировки Sorting coefficient	Коэффициент асимметрии Asymmetry coefficient	Медиана, мкм Median, $\mu\text{m}$
B18	21,82	3,34	-0,015	20,78
B19	28,78	3,94	-0,038	28,19
B21	18,87	3,12	-0,039	18,17
B22	22,52	3,52	0,003	20,71
B23	39,02	3,94	-0,14	43,29
B24	14,55	2,69	-0,13	14,87
B25	22,55	3,52	0,016	20,47
B26	22,2	3,72	0,01	19,97
B27	18,35	3	-0,041	17,84
B28	18,02	3	-0,02	17,24

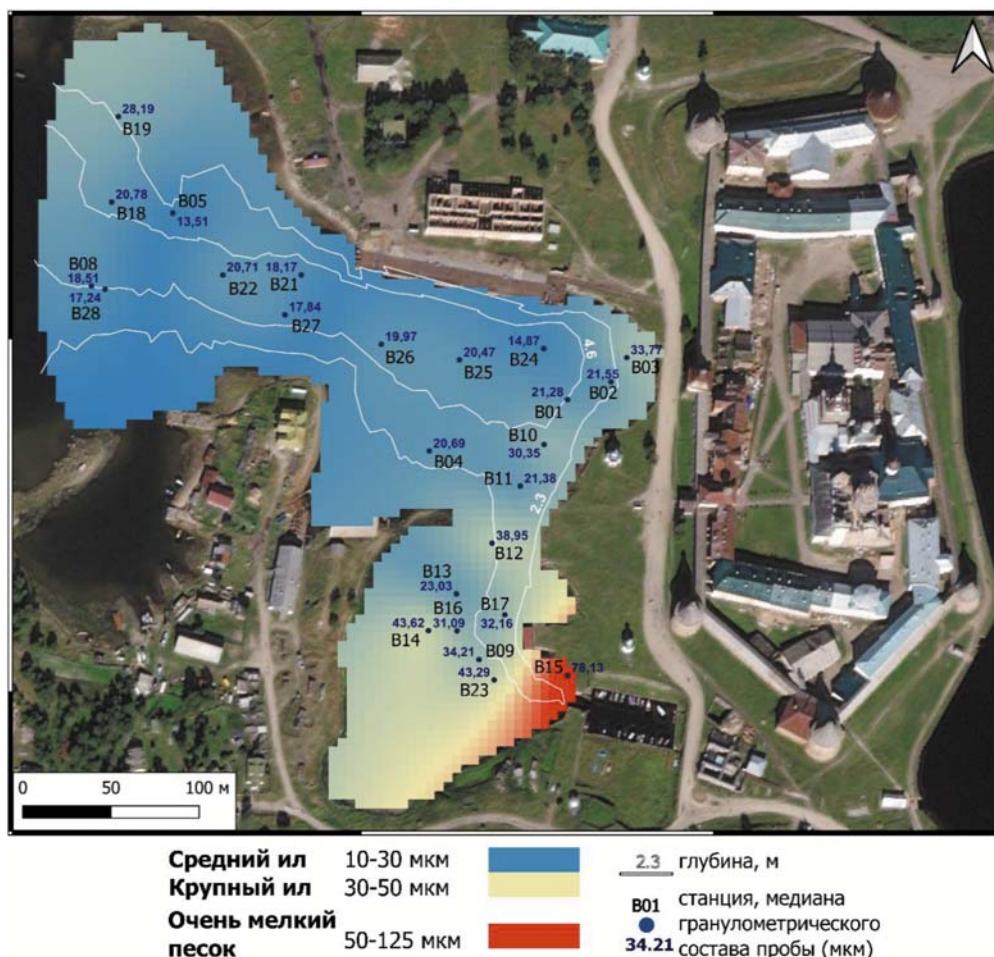


Рис. 2. Медианные значения размера частиц донных отложений бухты Благополучия

Fig. 2. Median values of the particle size of the bottom sediments in Blagopoluchiya Bay

По данным о донных отложениях в [Лоция..., 1983], бухта Благополучия отличалась благоприятным для судоходства песчано-галечным дном, которое обычно формируется за счет абразионных процессов в результате приливно-отливных течений. По результатам съемки

2025 г. во всех локальных понижениях дна мы зафиксировали наличие алевритовых осадков. Их накопление свидетельствует об изменении процесса формирования донных отложений бухты в результате хозяйственной деятельности человека.

Физические характеристики донных отложений бухты Благополучия представлены в табл. 2 и на рис. 3 и 4. Осадки характеризовались невысокой плотностью (от 1,07 до 1,51 г/мл со средним значением 1,25 г/мл), значительным разбросом естественной влажности (от 40,4 до 72,4 % со средним 59,6 %), пористости (от 0,62 до 0,86) и удельной массы (плотность твердой фазы) (от 1,26 до 2,64 г/см<sup>3</sup> со средним 2,04 г/см<sup>3</sup>). Значения pH донных отложений были близкими для всех исследованных проб (от 6,8 до 7,0). В то же время значения Eh для донных отложений, залегающих в районе выпуска сточных вод и в южной мелководной части (среднее значение 170 мВ соответствует слабовосстановленным осадкам), были существенно ниже, чем значения Eh для донных отложений станций северо-восточной части бухты (среднее значение 340 мВ соответствует слабоокисленным осадкам).

Изучение химического состава (табл. 3) показало, что донные отложения являются минеральными осадками (зольность изменяется от 65 до 89 %, среднее значение 82,3 %). Исключением является только проба со ст. B15 (южная часть бухты, рядом с лодочной стоянкой), где органическое вещество составляет треть осадка ( $\text{ПП} = 31,2\%$ ,  $C_{\text{орг}} = 15,4\%$ ). Для остальных станций содержание  $C_{\text{орг}}$  изменяется от 3 до 9 % со средним значением 5,8 %. Содержание  $C_{\text{неорг}}$  составляет доли процента от общей массы осадка. Качественный состав органического вещества отличается относительно высокими значениями показателей  $C_{\text{орг}}/N_{\text{орг}}$  (от 13 на ст. B13 до 29 на ст. B11) и низкими концентрациями растительных пигментов (где все дериваты представлены в равных долях), что говорит об аллохтонном генезисе органического вещества. Фосфор в осадке находится преимущественно в минеральной форме (от 54 до 95 %, со средним значением 75 %), что указывает и на активные процессы минерализации органического вещества в донных отложениях, и на его генезис (взвеси сточных вод). Площадное распределение минерального фосфора в донных отложениях (рис. 5) однозначно указывает на источник его поступления (выпуск сточных вод в северо-восточной части бухты).

Распределение показателей органического вещества в донных отложениях по площади дна, представленное на рис. 6–10, имеет иной характер, что указывает на активное развитие биологических процессов в мелководной кутовой части бухты вследствие особенностей динамики вод (разнос загрязнений по акватории, малые скорости течений) и малых глубин (прогрев мелководной зоны).

Все компоненты органического вещества ( $C_{\text{орг}}$ ,  $N_{\text{NH4}}$ ,  $N_{\text{орг}}$ ,  $P_{\text{мин}}$ ,  $P_{\text{общ}}$ , Chla) демонстрируют более высокие концентрации в осадках прибрежных районов юго-восточной части бухты. Наиболее интенсивное загрязнение донных отложений органическим веществом и биогенными элементами зафиксировано в районе стоянки маломерного флота.

Таблица 2. Физические характеристики поверхностного слоя донных отложений бухты Благополучия

Table 2. Physical characteristics of the surface layer of bottom sediments in Blagopoluchiya Bay

Станция Station	$d$	$\rho$	$\phi$	$W_{20}$	$W_{105}$
	г/мл g/ml	г/см <sup>3</sup> g/cm <sup>3</sup>		%	%
B01	1,15	1,55	0,71	60,69	2,5
B02	1,28	2,47	0,80	61,65	2,5
B03	1,07	1,26	0,68	62,04	2,8
B04	1,25	2,12	0,77	60,74	2,6
B05	1,51	2,39	0,62	40,38	1,3
B08	1,39	2,52	0,74	52,22	1,9
B09	1,29	2,44	0,79	59,95	2,7
B10	1,18	1,76	0,75	63,13	2,7
B11	1,27	2,48	0,81	63,30	2,8
B12	1,25	1,84	0,69	54,09	2,3
B13	1,23	1,95	0,75	59,58	2,3
B14	1,15	1,69	0,77	66,14	3,4
B15	1,12	1,76	0,82	72,38	3,9
B16	1,17	1,80	0,77	65,23	2,9
B17	1,22	1,96	0,76	61,63	2,9
B18	1,34	2,35	0,74	54,57	1,9
B19	1,45	2,28	0,64	43,84	1,4
B21	1,24	1,94	0,73	58,26	2,3
B22	1,24	1,85	0,70	55,17	2,4
B23	1,25	2,34	0,80	63,35	3,0
B24	1,17	1,66	0,73	61,49	3,0
B25	1,15	1,79	0,80	68,10	2,8
B26	1,22	2,64	0,86	70,00	3,3
B27	1,29	2,14	0,73	55,96	2,2
B28	1,28	2,09	0,73	56,04	1,9
Минимум Min	1,07	1,26	0,62	40,38	1,3
Максимум Max	1,51	2,64	0,86	72,38	3,9
Среднее Average	1,25	2,04	0,75	59,60	2,5
Медиана Median	1,24	1,96	0,75	60,74	2,6

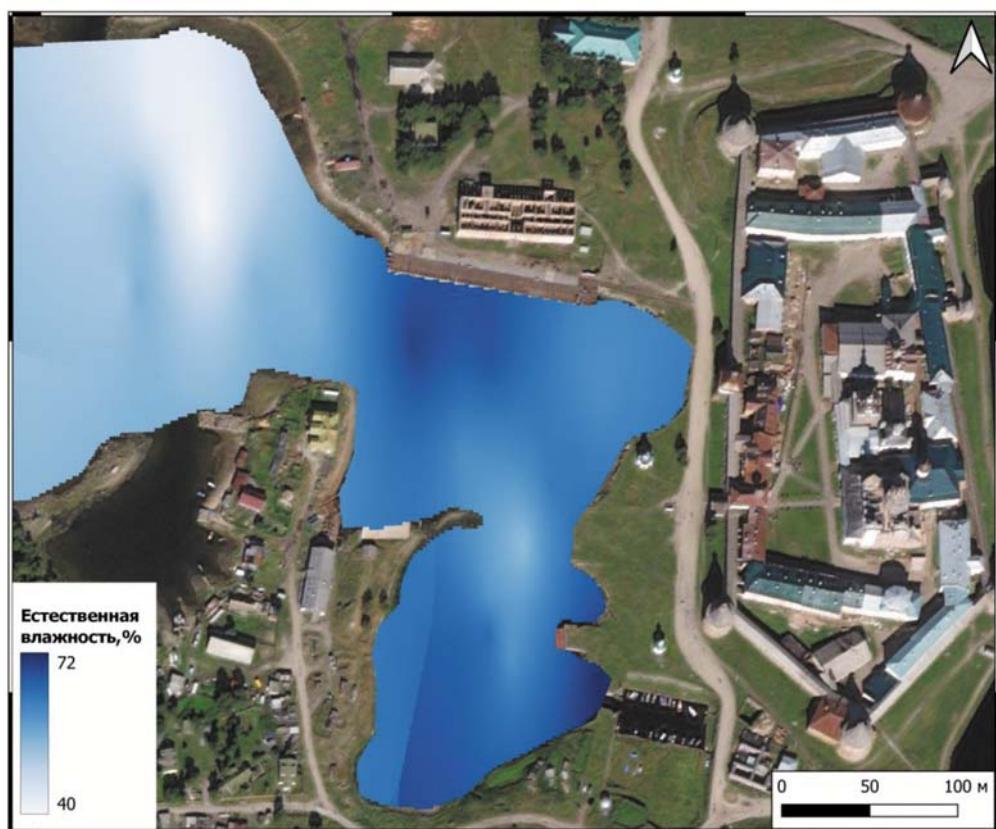


Рис. 3. Естественная влажность донных отложений бухты Благополучия

Fig. 3. Natural moisture content of bottom sediments in Blagopoluchiya Bay

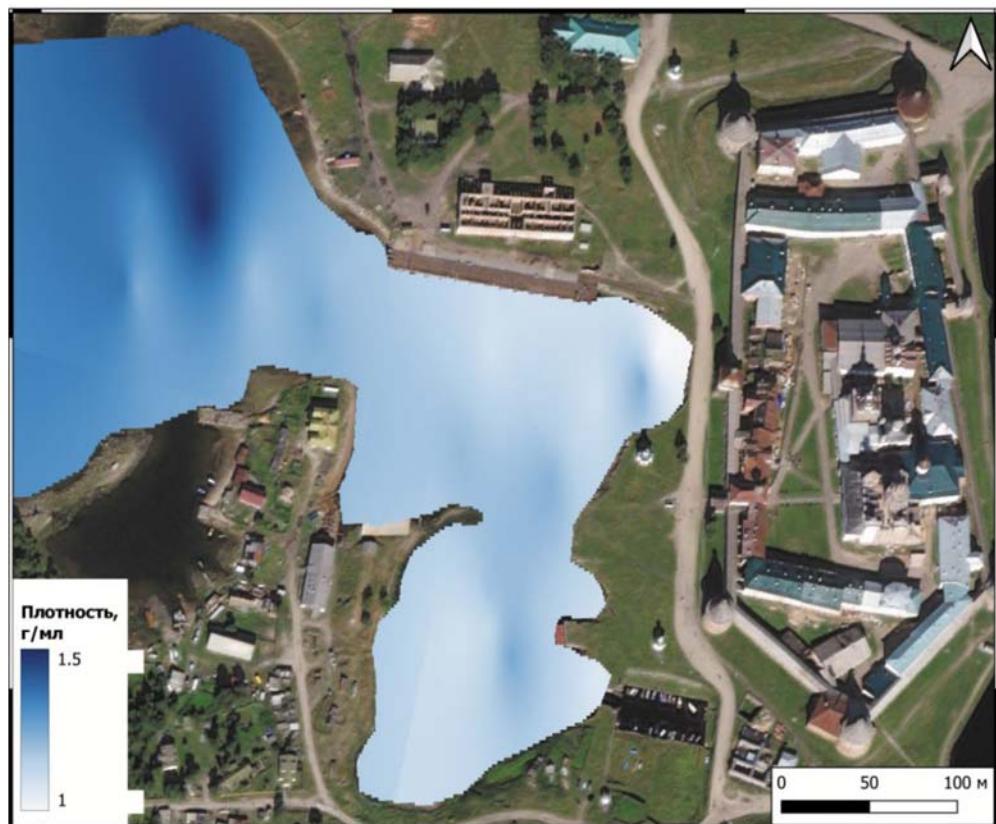


Рис. 4. Плотность донных отложений бухты Благополучия

Fig. 4. Density of sediments in Blagopoluchiya Bay

Таблица 3. Химический состав поверхностного слоя донных отложений бухты Благополучия, расчеты выполнены на воздушно-сухой вес осадка

Table 3. Chemical composition of the surface layer of bottom sediments in Blagopoluchiya Bay, the calculations were performed for the air-dry weight of the sediment

Станция Station	ППП	$C_{\text{opr}} / C_{\text{org}}$	$C_{\text{неорг}} / C_{\text{inorg}}$	$N_{\text{NH}_4}$	$N_{\text{opr}} / N_{\text{org}}$	A <sup>d</sup>	$P_{\text{мин}} / P_{\text{min}}$	$P_{\text{общ}} / P_{\text{tot}}$	Chla	Chlb	Chlc	Phe
	% %								мкг/г μg/g			
B01	14,81	7,1	0,000	0,027	0,36	81,12	0,070	0,095	35	29	46	41
B02	15,71	7,6	0,111	0,031	0,36	80,35	0,073	0,119	36	24	30	49
B03	17,69	8,4	0,000	-	0,48	77,85	0,086	0,106	-	-	-	-
B04	13,56	5,6	0,000	-	0,25	82,42	0,084	0,115	-	-	-	-
B05	7,62	3,3	0,006	-	0,20	88,90	0,049	0,076	-	-	-	-
B08	8,78	3,2	0,000	0,020	0,17	87,49	0,077	0,087	25	9	16	38
B09	15,88	7,2	0,000	0,030	0,36	79,81	0,066	0,114	46	32	57	54
B10	14,70	6,6	0,000	0,036	0,31	81,37	0,098	0,117	43	36	44	59
B11	14,67	6,3	0,000	0,031	0,25	81,29	0,103	0,123	44	31	53	52
B12	12,70	5,7	0,013	0,026	0,34	83,13	0,061	0,095	83	49	87	115
B13	13,43	5,7	0,000	0,046	0,53	82,52	0,085	0,102	54	21	36	74
B14	19,83	9,0	0,009	0,065	0,61	75,95	0,066	0,100	77	49	109	81
B15	31,21	15,4	0,000	0,104	0,95	65,00	0,090	0,154	121	61	127	125
B16	16,52	7,4	0,006	0,025	0,36	79,54	0,074	0,099	63	37	72	79
B17	15,40	6,7	0,000	0,034	0,39	79,94	0,085	0,114	41	20	20	65
B18	8,68	3,2	0,004	0,012	0,20	87,78	0,069	0,080	-	-	-	-
B19	7,93	3,4	0,004	0,020	0,20	88,72	0,071	0,100	22	7	10	34
B21	12,39	4,9	0,006	0,028	0,20	83,53	0,069	0,100	27	11	16	43
B22	10,74	4,1	0,002	0,028	0,20	85,11	0,080	0,107	29	10	17	44
B23	16,95	7,4	0,000	0,036	0,34	78,98	0,100	0,174	53	23	38	70
B24	12,96	5,1	0,000	-	0,22	82,65	0,112	0,121	-	-	-	-
B25	13,93	6,0	0,024	0,030	0,25	81,96	0,103	0,109	-	-	-	-
B26	13,36	5,6	0,017	0,034	0,22	82,30	0,096	0,101	28	38	26	43
B27	12,13	5,3	0,000	-	0,28	83,90	0,069	0,083	-	-	-	-
B28	8,99	3,4	0,003	0,019	0,22	87,71	0,070	0,094	25	10	17	37
Минимум Min	7,62	3,2	0,000	0,012	0,17	65,00	0,049	0,076	22	7	10	34
Максимум Max	31,21	15,4	0,111	0,104	0,95	88,90	0,112	0,174	121	61	127	125
Среднее Average	14,02	6,1	0,008	0,034	0,33	81,97	0,080	0,107	47	28	46	61
Медиана Median	13,56	5,7	0,000	0,030	0,28	82,30	0,077	0,102	42	27	37	53

Примечание. (-) – нет данных.

Note. (-) – no data.

Результаты анализов придонной и поверхностной воды, представленные в табл. 4, показали, что на всех станциях концентрация  $\text{CO}_2$  в поверхностном слое была ниже, а концентрации  $\text{O}_2$  и  $P_{\text{общ}}$  – выше, чем в придонном слое воды. Высокие концентрации фосфора указывают на хозяйствственно-бытовое загрязнение вод бухты Благополучия. Поток сточных вод в период наблюдения распространялся по аква-

тории в поверхностном слое непосредственно подо льдом, морские воды – в придонном слое. Содержание и распределение фосфора в воде было сравнимо с наблюдениями, выполненными в августе 2024 года. На глубинах 1,3–2,3 м идентифицирован слой смешения сточных и морских вод с резкими градиентами температуры и солености. Стратификация вод сохранялась на всех фазах прилива [Лукина и др., 2025].

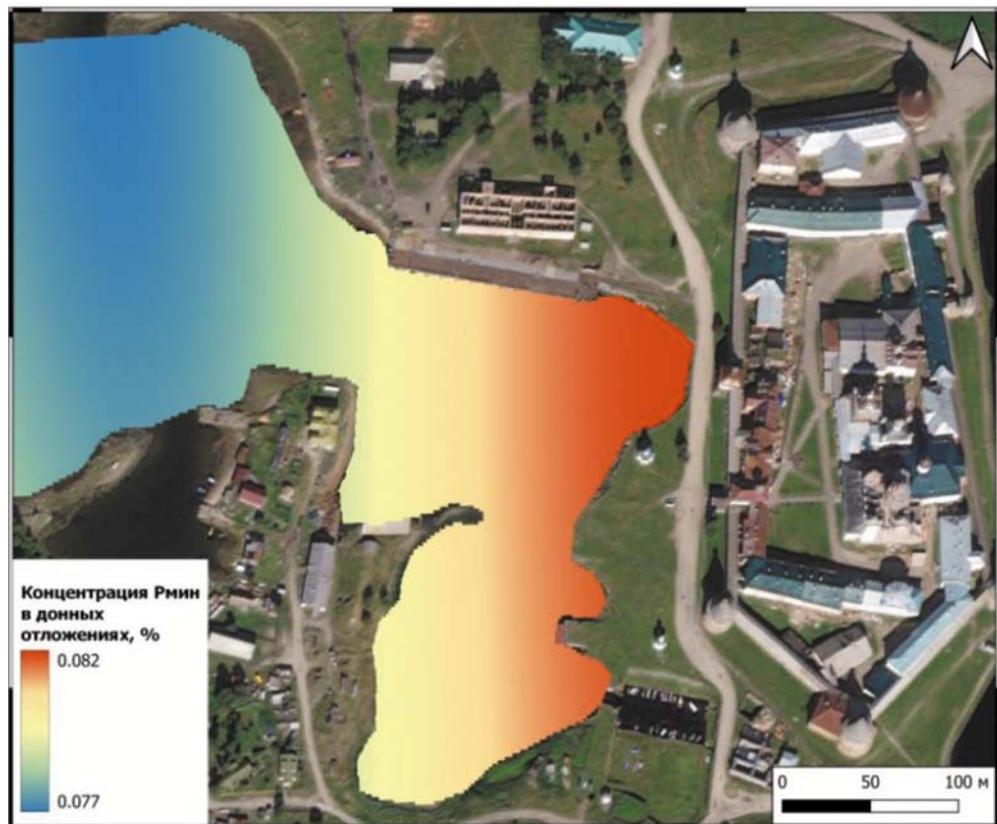


Рис. 5. Фосфор минеральный в донных отложениях бухты Благополучия

Fig. 5. Inorganic phosphorus in bottom sediments of Blagopoluchiya Bay

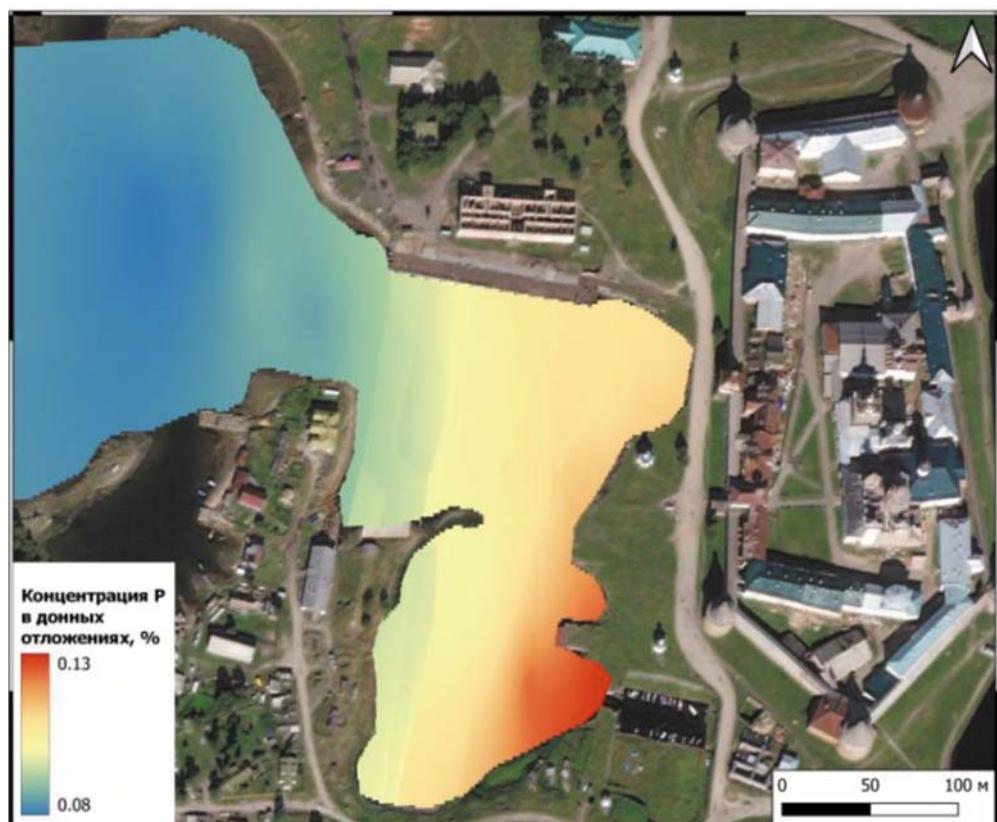


Рис. 6. Фосфор общий в донных отложениях бухты Благополучия

Fig. 6. Total phosphorus in bottom sediments of Blagopoluchiya Bay

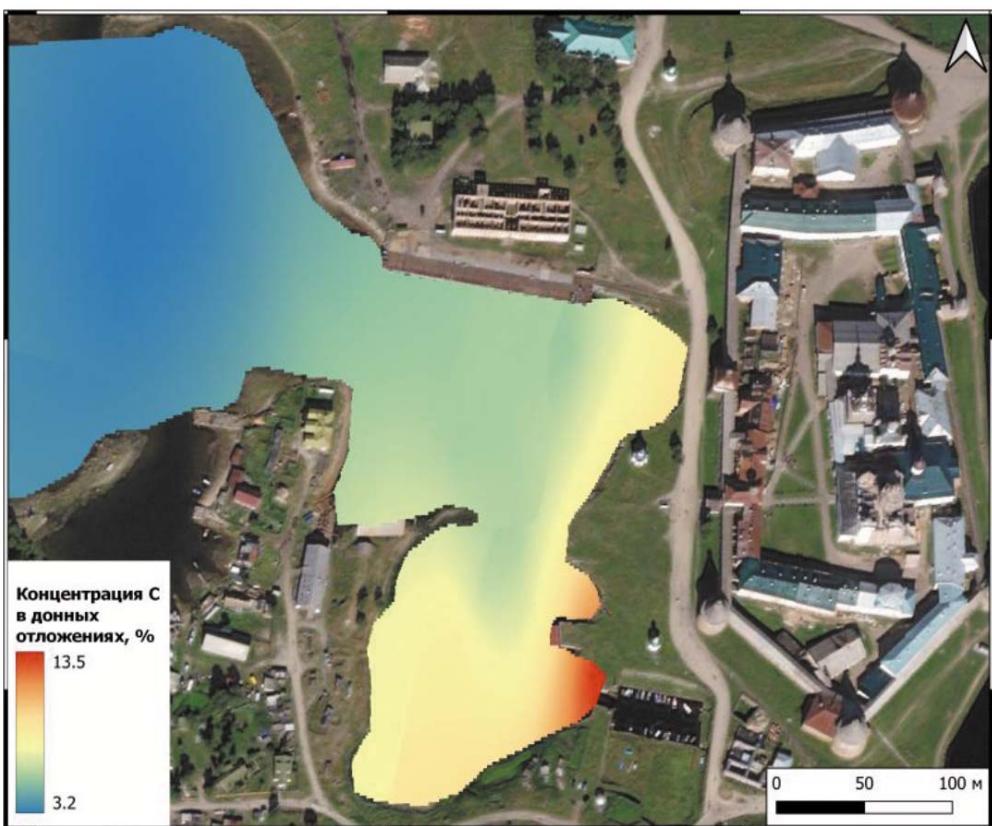


Рис. 7. Органический углерод в донных отложениях бухты Благополучия  
Fig. 7. Organic carbon in bottom sediments of Blagopoluchiya Bay

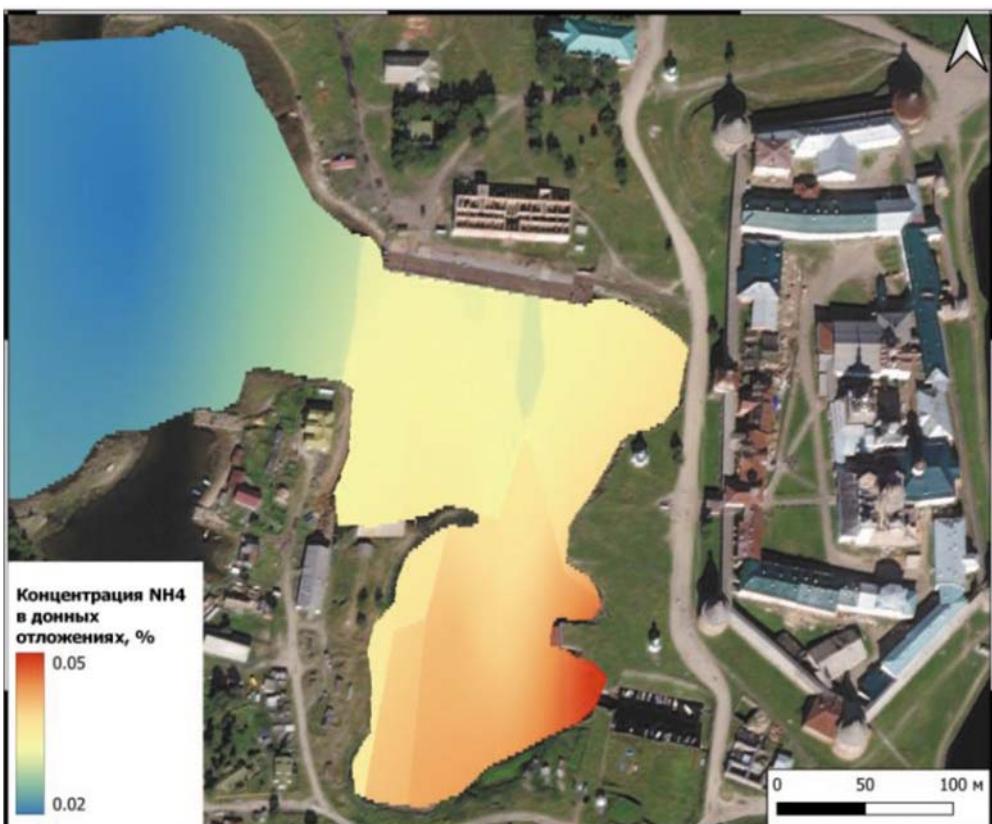


Рис. 8. Азот аммонийный в донных отложениях бухты Благополучия  
Fig. 8. Ammonium nitrogen in bottom sediments of Blagopoluchiya Bay



Рис. 9. Органический азот в донных отложениях бухты Благополучия

Fig. 9. Organic nitrogen in bottom sediments of Blagopoluchiya Bay

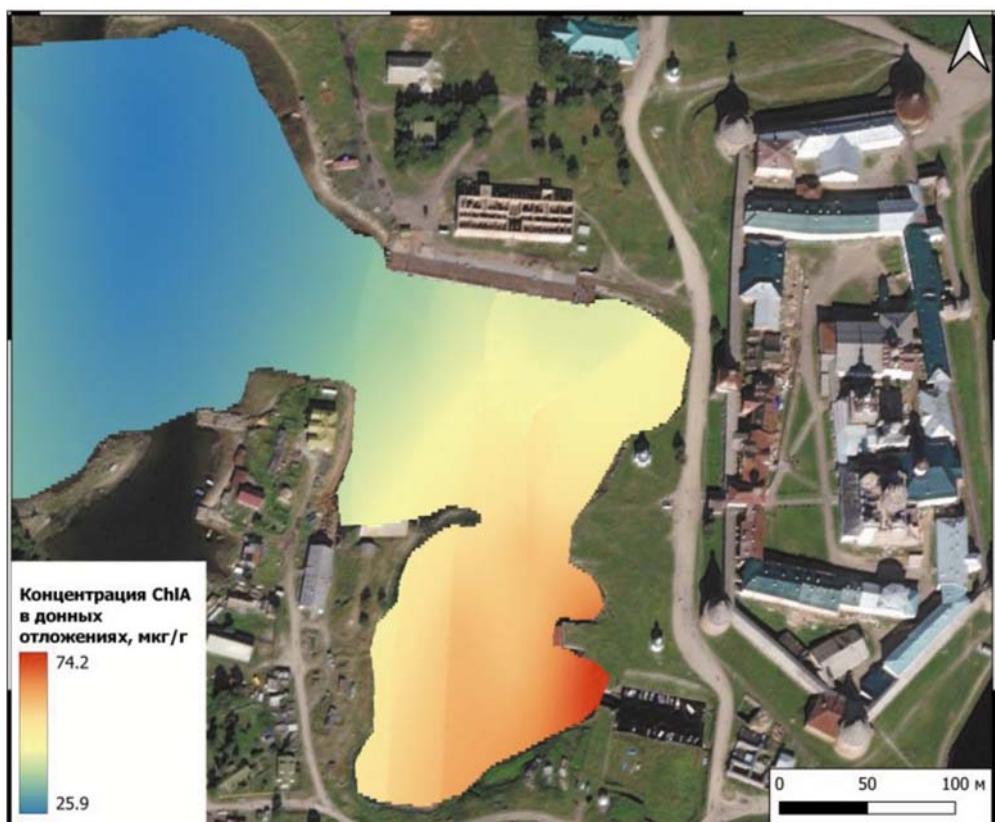


Рис. 10. Хлорофилл а в донных отложениях бухты Благополучия

Fig. 10. Chlorophyll a in bottom sediments of Blagopoluchiya Bay

Таблица 4. Концентрации CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> и P<sub>общ</sub> в воде бухты Благополучия

Table 4. Concentrations of CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> and total phosphorus in the water of Blagopoluchiya Bay

Станция Station	Глубина, м Depth, m	Слой Layer	CO <sub>2</sub> , мг/л CO <sub>2</sub> , mg/l	O <sub>2</sub> , мг/л O <sub>2</sub> , mg/l	P <sub>общ</sub> , мкг/л P <sub>tot</sub> , µg/l
B02	4.5	поверхностный / surface	7,5	15,04	133,8
		придонный / bottom	9,5	13,63	25,3
B10	6	поверхностный / surface	5,7	15,47	93,6
		придонный / bottom	10	12,58	34,3
B09	3	поверхностный / surface	6,3	15,65	58,6
		придонный / bottom	7,8	13,99	37,6

Отмеченные здесь особенности динамики вод бухты Благополучия указывают на механизм распространения загрязненных вод по акватории с дальнейшим их выносом из бухты отливной волной. Качественный и количественный состав донных отложений показывает, что скорости течений невелики и позволяют загрязненным взвесям осаждаться на дно.

## Выводы

1. Накопление в понижениях дна бухты Благополучия достаточно однородных по составу фракций алевритовых илов, в отличие от песчано-галечных отложений, зафиксированных в 1983 г., свидетельствует об изменении седиментационного режима водоема и загрязнении дна в результате антропогенного воздействия. Анализ гранулометрического состава донных отложений показал, что в поверхностных осадках преобладают илы средней и крупной размерности за исключением южной части бухты, где наблюдается постепенное увеличение доли мелкопесчаной фракции. С увеличением глубины закономерно уменьшается медианное значение размера частиц, осадок становится тоньше.

2. Выполнена оценка уровня загрязнения донных отложений акватории бухты Благополучия органическим веществом, биогенными элементами. Показано, что донные отложения бухты являются минеральными осадками. Содержание органического вещества в среднем составляет 14 %. Концентрации азота, фосфора и растительных пигментов невелики (0,3 %, 0,1 %, ΣChl = 120 мкг/г соответственно). Распределение показателей органического вещества в донных отложениях по площади дна бухты Благополучия выявило, что C<sub>opr</sub>, N<sub>NH4</sub>, N<sub>opr</sub>, P<sub>общ</sub> и Chla имеют более высокие

концентрации в осадках прибрежных районов юго-восточной части водоема, что определяется активным развитием производственных процессов в этой мелководной части залива. Наиболее интенсивное загрязнение донных отложений органическим веществом и биогенными элементами зафиксировано в районе стоянки маломерного флота. Распределение минерального фосфора в донных отложениях с максимумом концентрации в прибрежной зоне северо-восточной части бухты указывает на его поступление в бухту Благополучия в составе взвешенного вещества сточных вод.

3. Результаты исследования могут быть востребованы при планировании дноуглубительных работ и реконструкции пристаней, при организации мониторинга состояния бухты Благополучия.

## Литература

Аббасов И. Б. Современные тенденции мониторинга водной среды прибрежных акваторий // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2019. № 1. С. 29–39. doi: 10.22449/2413-5577-2019-1-29-39

Аналитические, кинетические и расчетные методы в гидрохимической практике / Ред. П. А. Лозовик, Н. А. Ефременко. СПб.: Нестор-История, 2017. 272 с.

Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв. М.: МГУ; 1982. 487 с.

Белкина Н. А. Фосфор в донных отложениях Онежского озера // Известия Российского государственного педагогического университета имени А. И. Герцена. 2015. № 173. С. 97–109.

Израэль Ю. А. Экология и контроль состояния природной среды. М.: Гидрометеоиздат, 1984. 560 с.

Комплексные исследования экосистемы Белого моря: Сб. науч. трудов / Под ред. В. В. Сапожникова. М.: ВНИРО, 1994. 123 с.

Лискин В. А., Римский-Корсаков Н. А. Методы и средства ведения мониторинга акваторий в сегменте придонных исследований // Научное обозрение.

Технические науки. 2018. № 3. С. 26–31. doi: 10.17513/srts.1188

Лоция Белого моря. № 4766. Л.: Мин. обороны СССР, ГУНиО. 1983. 344 с.

Лукина Ю. Н., Здоровеннов Р. Э., Толстиков А. В., Галахина Н. Е., Богданов С. Р., Здоровеннова Г. Э. Особенности гидродинамического и гидрохимического режимов бухты Благополучия (Соловецкие острова Белого моря) в августе 2024 г. // Арктика: экология и экономика. 2025. Т. 15, № 2. С. 287–299. doi: 10.25283/2223-4594-2025-2-287-299

Мохова О. Н., Македонская И. Ю., Новикова Ю. В., Мельник Р. А. Оценка экологического состояния вод бухты Благополучия о. Соловецкий по гидрохимическим и гидробиологическим показателям // Экологическая химия. 2018. Вып. 27, № 5. С. 270–279.

Одинцова Е. А., Сабыров ыл., Плотникова А. А., Вишневская В. А., Ловдина Т. А., Рудакова В. А. Мониторинг антропогенной нагрузки на водоемы поселения Соловецкое // Озера Евразии: проблемы и пути их решения: Материалы III Междунар. конф. (г. Казань, 20–23 мая 2025 г.). Казань: АН РТ, 2025. С. 468–472.

Палеолимнология Онежского озера: от приледникового озера к современным условиям / Министерство науки и высшего образования РФ, Министерство просвещения РФ, Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр Российской академии наук», Российский научный фонд; отв. ред. Д. А. Субетто. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2022. 332 с. doi: 10.17076/m-onegopaleo23

Петухов В. И., Минаев Д. Д., Лисицкая И. Г. Комплексные исследования экологического состояния морских акваторий // Подводные исследования и робототехника. 2011. Т. 12, № 2. С. 69–74.

Стратегия развития Соловецкого архипелага как уникального объекта духовного, историко-культурного и природного наследия (одобрена Распоряжением Правительства Архангельской области от 16.07.2013 г. № 310-рп).

Wentworth C. K. A scale of grade and class terms for clastic sediments // J. Geol. 1922. Vol. 30. P. 377–392. doi: 10.1086/622910

## References

Abbasov I. B. Modern trends of monitoring the water environment of coastal areas. *Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoi i shel'fovoi zon morya = Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of the Sea*. 2019;1:29–39. (In Russ.). doi: 10.22449/2413-5577-2019-1-29-39

Arinushkina E. V. Manual for chemical analysis of soils. Moscow: MGU; 1982. 487 p. (In Russ.)

Belkina N. A. Phosphorus in bottom sediments of Lake Onega. *Izvestiya Rossiiskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta imeni A. I. Gertsena = Izvestia: Herzen University Journal*. 2015;(173):97–109. (In Russ.)

*Development Strategy of the Solovetsky Archipelago – a unique object of spiritual, historical, cultural and natural heritage, as an independent component of the Strategy for the Socio-Economic Development of the Arkhangelsk Region until 2030 (adopted by the Order of the Government of the Arkhangelsk Region dated 16.07.2013 No. 310-RP). (In Russ.)*

Izrael' Yu. A. Ecology and control of the natural environment. Moscow: Hydrometeoizdat; 1984. 560 p. (In Russ.)

Liskin V. A., Rimskii-Korsakov N. A. Methods and tools for underwater area monitoring in near-bottom segment. *Nauchnoe obozrenie. Tekhnicheskie nauki = Scientific Review. Technical Sciences*. 2018;3:26–31. (In Russ.). doi: 10.17513/srts.1188

Lozovik P. A., Efremenko N. A. (eds.). Analytical, kinetic and computational methods in hydrochemical practice. St. Petersburg: Nestor-Istoriya; 2017. 272 p. (In Russ.)

Lukina Yu. N., Zdorovennov R. E., Tolstikov A. V., Galakhina N. E., Bogdanov S. R., Zdorovennova G. E. Features of hydrodynamic and hydrochemical regimes of Blagopoluchiya Bay (Solovetsky Islands, White Sea) in August 2024. *Arktika: ekologiya i ekonomika = Arctic: Ecology and Economy*. 2025;15(2):287–299. (In Russ.). doi: 10.25283/2223-4594-2025-2-287-299

Mokhova O. N., Makedonskaya I. Yu., Novikova Yu. V., Mel'nik R. A. Estimation of hydrochemical and hydrobiological aspects of the environment in Blagopoluchiya Bay of the Solovetsky Island. *Ekologicheskaya khimiya = Environmental Chemistry*. 2018;27(5):270–279. (In Russ.)

Navigation chart of the White Sea. No. 4766. Leningrad: Min. oborony SSSR, GUNiO.; 1983. 344 p. (In Russ.)

Odintsova E. A., Sabyrov Y., Plotnikova A. A., Vishnevskaya V. A., Lovdina T. A., Rudakova V. A. Monitoring anthropogenic load on water bodies of the Solovetskoe settlement. *Ozera Evrazii: problemy i puti ikh resheniya: Materialy III Mezdunar. konf. (g. Kazan', 20–23 maya 2025 g.) = Lakes of Eurasia: problems and solutions: Proceedings III int. conf. (Kazan, May 20-23, 2025)*. Kazan: AN RT; 2025. P. 468–472. (In Russ.)

Petukhov V. I., Minaev D. D., Lisitskaya I. G. Integrated research of the environmental state of marine aquatic areas. *Podvodnye issledovaniya i robototekhnika = Underwater Research and Robotics*. 2011;12(2):69–74. (In Russ.)

Sapozhnikov V. V. (ed.). Complex studies of the White Sea ecosystem: Proceedings. Moscow: VNIRO; 1994. 123 p. (In Russ.)

Subetto D. A. (ed.). Paleolimnology of Lake Onego: from the Onego ice lake to the present state: a collective monograph. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2022. 332 p. (In Russ.). doi: 10.17076/m-onegopaleo23

Wentworth C. K. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *J. Geol.* 1922;30:377–392. doi: 10.1086/622910

Поступила в редакцию / received: 26.08.2025; принята к публикации / accepted: 03.09.2025.

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

## **СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:**

### **Белкина Наталья Александровна**

д-р геогр. наук, ведущий научный сотрудник,  
руководитель группы исследований донных отложений

e-mail: bel110863@mail.ru

### **Пронина Анастасия Викторовна**

аспирант, стажер-исследователь

e-mail: anastasiya.2802@mail.ru

### **Гатальская Екатерина Владимировна**

младший научный сотрудник

e-mail: katusha9210@yandex.ru

### **Морозова Ирина Валерьевна**

младший научный сотрудник

e-mail: ivm1502@yandex.ru

## **CONTRIBUTORS:**

### **Belkina, Natalya**

Dr. Sci. (Geog.), Leading Researcher, Head of Sediment Research Group

### **Pronina, Anastasiya**

Doctoral Student, Research Probationer

### **Gatalskaya, Ekaterina**

Junior Researcher

### **Morozova, Irina**

Junior Researcher