

УДК 574.583

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ МЕЗОЗООПЛАНКТОНА В БУХТЕ БЛАГОПОЛУЧИЯ (СОЛОВЕЦКИЙ АРХИПЕЛАГ)

Н. В. Усов

Зоологический институт РАН (Университетская наб., 1, Санкт-Петербург,
Россия, 199034)

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

Работа посвящена оценке антропогенного влияния на сообщество зоопланктона в бухте Благополучия (остров Большой Соловецкий, Соловецкие острова). В июне 2025 и в августе 2024 и 2025 гг. на пяти станциях на разном удалении от внутренней части (кута) бухты проведены отбор проб мезозoopланктона и измерения температуры воды, солености, концентрации хлорофилла *a* и общего фосфора. Выявлено снижение суммарной численности зоопланктона в направлении кута бухты. Особенно резкое снижение зарегистрировано в августе 2024 и 2025 гг. на станции, расположенной в непосредственной близости от места поступления в бухту сточных вод из поселка Соловецкий. На этой же станции наблюдалось значительное (на порядок величин) повышение концентрации общего фосфора по сравнению с соседними точками. Таким образом, наиболее вероятной причиной снижения численности зоопланктона во внутренней части бухты Благополучия является антропогенное загрязнение данной акватории. Кроме того, во внутренней части бухты Благополучия обнаружен вид-вселенец *Eurytemora americana*, причем летом он развивается в значительных количествах (до 18 000 экз./м³). Это указывает на то, что данный вид обладает большим потенциалом для заселения прибрежных опресненных районов Белого моря.

Ключевые слова: Белое море; закрытые мелководные бухты; антропогенное влияние; общий фосфор; хлорофилл *a*; сообщество зоопланктона; вид-вселенец *Eurytemora americana*

Для цитирования: Усов Н. В. Современное состояние мезозoopланктона в бухте Благополучия (Соловецкий архипелаг) // Труды Карельского научного центра РАН. 2026. № 9. С. 149–162. doi: 10.17076/lim2413

Финансирование. Полевые работы финансировались за счет средств госзадания «Состояние прибрежной экосистемы Белого моря в пределах Соловецкого архипелага» (FMEN 2024-0016), камеральная обработка проб и анализ данных выполнены в рамках госзадания «Структура, биоразнообразие и функционирование экосистем морей Арктического бассейна в условиях меняющегося климата» (тема № 125012800889-2).

N. V. Usov. CURRENT STATE OF MESOZOOPLANKTON IN BLAGOPOLUCHIYA BAY, SOLOVETSKY ARCHIPELAGO

Zoological Institute, Russian Academy of Sciences (1 Universitetskaya Emb., 199034 St. Petersburg, Russia)

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences (50 Al. Nevsky Ave., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia)

In this work, we analyzed the human impact on the zooplankton community in Blagopoluchiya Bay (Bolshoy Solovetsky Island, Solovetsky Archipelago). Samples of mesozooplankton were collected, and water temperature, salinity, chlorophyll *a*, and total phosphorus concentrations were measured in June 2025 and in August 2024 and 2025 at 5 sites at different distances from the top of the bay. A decrease in the total abundance of zooplankton toward the bay top was revealed. A particularly sharp decline was recorded in August in 2024 and 2025 at the site located in close proximity to the outfall of wastewater from the Solovetsky settlement into the bay. The total phosphorus concentration at this site was significantly (by an order of magnitude) higher than in the neighboring sampling points. Thus, the most likely reason for the decrease in zooplankton abundance in the inner part of Blagopoluchiya Bay is anthropogenic pollution. In addition, the alien species *Eurytemora americana* was found in the inner bay. The species reaches high abundances in the summer (up to 18,000 ind./m³), which suggests it may have great potential to colonize brackish coastal areas of the White Sea.

Keywords: White Sea; enclosed shallow bays; anthropogenic impact; total phosphorus; chlorophyll *a*; zooplankton community; alien species *Eurytemora americana*

For citation: Usov N. V. Current state of mesozooplankton in Blagopoluchiya Bay, Solovetsky Archipelago. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2026. No. 9. P. 149–162. doi: 10.17076/lim2413

Funding. The study was carried out under two state assignments: fieldwork was supported by the program “The state of the coastal ecosystem of the White Sea within the Solovetsky Archipelago” (FMEN 2024-0016) and sample processing and data analysis were funded within state assignment “Structure, biodiversity and functioning of ecosystems of the seas of the Arctic basin in a changing climate” (#125012800889-2).

Введение

Морские экосистемы Арктики подвергаются воздействию как меняющегося климата [Comiso, Hall, 2014; Sun et al., 2016; Lind et al., 2018; Falardeau, Bennett, 2020; Huntington et al., 2020; Eriksen et al., 2025], так и нарастающего антропогенного воздействия [Holmes et al., 2000; Letcher et al., 2010; Arnold et al., 2016; Kirilyanov et al., 2020; Bartsch et al., 2021]. Актуальной задачей является оценка современного состояния экосистем прибрежной зоны северных морей для обеспечения экологической безопасности, своевременного предотвращения загрязнения морской среды и прибрежной зоны [Zhang et al., 2010; Grebmeier, 2012].

Слабоисследованным остается антропогенное воздействие на побережье Белого моря. Одним из наиболее нагруженных районов в Белом море является акватория в прибрежной зоне Соловецкого архипелага. Юго-западный берег о. Большой Соловецкий омывается водами залива Соловецкий, в вершине которого находится бухта Благополучия, закрытая

от моря многочисленными островами [Лощия..., 1983]. На берегах бухты расположен поселок Соловецкий, основу экономики которого составляют туризм, деятельность строительных и реставрационных организаций, рыболовство, водорослеводство, слабо развитое сельское хозяйство. В акватории развито судоходство, расположено несколько морских причалов. Соловецкие острова, и особенно Соловецкий залив, являются популярнейшим туристическим объектом – за сезон здесь бывает около 50 тыс. человек (по материалам ТАСС: <https://tass.ru/obschestvo/26257477>).

Столь интенсивная деятельность человека не может не сказываться на состоянии местной водной экосистемы. Комплексные междисциплинарные исследования прибрежной экосистемы Соловецкого архипелага Белого моря (бухта Благополучия) начаты в августе 2024 г. и продолжены в 2025 г. сотрудниками Карельского научного центра РАН. По данным измерений в августе 2024 г. и апреле 2025 г. выявлены особенности гидродинамики и распространения сточных вод по акватории бухты

[Лукина и др., 2025; Здоровеннов и др., 2025], определены содержание биогенных элементов в воде бухты [Лукина и др., 2025] и ее трофический статус [Калинкина и др., 2025]. Показано, что наибольшее антропогенное воздействие испытывает кутовая часть бухты, куда поступают неочищенные сточные воды поселка и монастыря. Данные химического состава вод свидетельствуют о четырехкратном увеличении концентрации общего фосфора в открытой части бухты за последние 30 лет. По содержанию биогенных элементов ($P_{\text{общ}}$ до 640 мкг/л и $N_{\text{общ}}$ до 2,50 мг N/л) трофический статус бухты определен как эвтрофный-гипертрофный [Калинкина и др., 2025]. Выявлены повышенные значения численности (до 2502 тыс. кл./л) и биомассы (до 2059 мг/м³) фитопланктона с массовым развитием цианобактерий в кутовой части бухты рядом с местом сброса сточных вод, свидетельствующие об эвтрофировании акватории. При этом видовое разнообразие фитопланктона заметно сократилось за 30-летний период. В период ледостава (апрель 2025 г.) сточные воды распространяются и накапливаются подо льдом в акватории бухты, практически не перемешиваясь с морскими водами. К апрелю 2025 г.

за пять месяцев ледостава толщина подледного слоя сточных вод достигла 0,5 м по всей акватории бухты [Здоровеннов и др., 2025].

Зоопланктон следует признать наиболее чувствительным компонентом водных экосистем благодаря малым размерам планктонных животных и коротким жизненным циклам. При этом зоопланктон является важнейшим связующим звеном между первичными продуцентами и более высокими трофическими уровнями, в первую очередь рыбами. Следовательно, крайне важно следить за состоянием зоопланктонного сообщества в условиях столь сильной антропогенной нагрузки.

Цель работы: оценка состояния сообщества зоопланктона, его пространственной неоднородности и межгодовых изменений в бухте Благополучия (остров Большой Соловецкий, Белое море).

Материалы и методы

Пробы зоопланктона отбирали 17 августа 2024 г., 16 июня и 13 августа 2025 г. на пяти точках, расположенных на разном расстоянии от внутренней части бухты Благополучия (рис. 1).



Рис. 1. Карта-схема района работ в бухте Благополучия. Показаны гидро-биологические станции

Fig. 1. Schematic map of the research area in Blagopoluchiya Inlet. Hydrobiological stations are indicated

При этом точка S5 расположена во внутренней части бухты (в куту) и наиболее удалена от открытого моря, а точка S1 – в открытой части. Точку S1 считали фоновой при анализе влияния антропогенных факторов на зоопланктон. Точки S1 и S2 относили к внешней части бухты, а точки S3–S5 – к внутренней. Отбор проб зоопланктона и измерения гидрологических параметров проводили в течение одного дня на разных фазах приливного цикла: 17 августа 2024 г. и 16 июня 2025 г. – во время малой и полной воды, то есть, соответственно, во время полного отлива и прилива (во время стояния уровня). 13 августа 2025 г. работы выполняли в конце отлива и прилива, примерно за 1,5 часа до малой и полной воды. Поэтому при статистическом анализе эти станции рассматривали вместе со станциями, работы на которых были выполнены, соответственно, на малой и полной воде. Перепад уровня между полным отливом и полным приливом, то есть между малой и полной водой, составлял не более 0,8 м.

При отборе проб мезозоопланктона использовали сеть Джели с диаметром входного отверстия 26 см и ячейей фильтрующего сита 100 мкм. На самой глубокой и мористой станции S1 пробы отбирали вертикальной протяжкой сети в слое 0–5 м. На остальных, более мелководных (глубины не превышали 5 м в полную воду) станциях пробы отбирали из поверхностного горизонта 10-литровым ведром, проливая воду через планктонную сеть. На каждой станции фильтровали 250 л воды (0,25 м³), что приблизительно равно объему, проходящему через сеть при протяжке с 5-метровой глубины. Всего собрано 30 проб зоопланктона. Пробы фиксировали формалином (2–4 %) и обрабатывали счетным методом [Инструкция..., 1971]. Для этого объем пробы доводили до 200 мл, брали из нее 3 аликвоты по 1 мл, в которых подсчитывали массовые формы (> 5–10 экз. на аликвоту), затем во всей пробе подсчитывали менее многочисленных животных. Для подсчета планктонных животных использовали стереомикроскоп МБС-9.

Определение видов зоопланктона проводили по «Определителю фауны и флоры северных морей СССР» [1948] с коррекцией таксономии по World Register of Marine Species [WoRMS..., 2026], веслоногих ракообразных – по «Biodiversity of Marine Planktonic Copepods» [Razouls et al., 2005–2026].

Для определения концентрации хлорофилла *a* спектрофотометрическим методом [Determination..., 1966] из поверхностного слоя были отобраны пробы воды объемом 1 л [Калинкина и др., 2025].

Общую концентрацию фосфора в поверхностном слое определяли спектрофотометрическим методом в соответствии с [РД 52.24.387-2006]. Содержание общего фосфора измерено с использованием оборудования ЦКП КарНЦ РАН.

Вертикальные зондирования температуры и солёности проведены океанографическими зондами CTD-90M (Sea&SunTechnology, Германия) и RBR-Concerto (RBR Ltd., Канада).

Наиболее массовые виды, численность которых превышала 10 % суммарной численности зоопланктона, рассматривались как доминантные. Сравнение численности зоопланктона и параметров среды в разные даты и на разных фазах приливного цикла проводили с использованием непараметрических критериев по причине малого размера выборок и распределения переменных, далекого от нормального. Для сравнения численности зоопланктона в разные даты использовали метод знаков (Sign test). Для сравнения численности зоопланктона и параметров среды на разных фазах приливного цикла и на разных станциях, а также параметров среды в разные даты использовали анализ Краскела – Уоллиса (Kruskal-Wallis ANOVA by Ranks). Связь между переменными оценивали с помощью непараметрического коэффициента корреляции Спирмена. Значимость результатов оценивалась на уровне значимости (p) 0,05. Для анализа использовали программу Statistica 7.0.

Результаты

Параметры среды. В бухте Благополучия четкий градиент температуры в направлении от входа к внутренней части прослеживался только в июне 2025 г. как во время полной, так и во время малой воды (рис. 2, а). Слабое повышение температуры в том же направлении отмечено в августе 2024 г., тогда как в августе 2025 г. закономерности в распределении температуры не выявлены. Градиенты солёности выражены намного слабее – только на полной воде в августе 2024 г. и во время малой воды в июне 2025 г. можно было говорить о снижении солёности к куту бухты (рис. 2, б). Причем в июне это выражено наиболее ярко. Концентрация хлорофилла *a* повышается в направлении кута бухты (рис. 3, а), и различия между станциями значимы, согласно непараметрическому критерию Краскела – Уоллиса. При этом различия значимы во время малой воды и отлива ($H(4, N=15) = 12,8; p = 0,012$) и на грани значимости во время полной воды и прилива ($H(4, N=15) = 9,4; p = 0,051$).

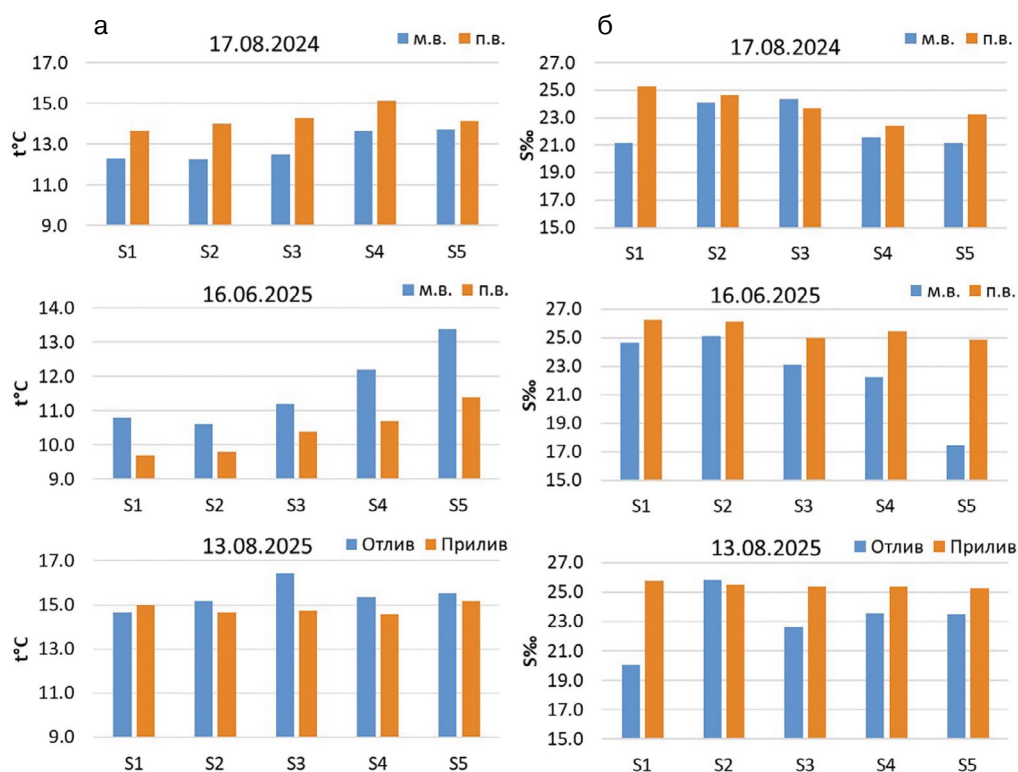


Рис. 2. Температура (а) и соленость (б) в бухте Благополучия. Здесь и далее: ст. S1 – внешняя часть бухты, S5 – внутренняя часть; п. в. – полная вода, м. в. – малая вода

Fig. 2. Temperature (a) and salinity (б) in Blagopoluchiya Inlet. Here and hereinafter: S1 station – outer part of the inlet, S5 – the innermost point; п. в. – high tide, м. в. – low tide

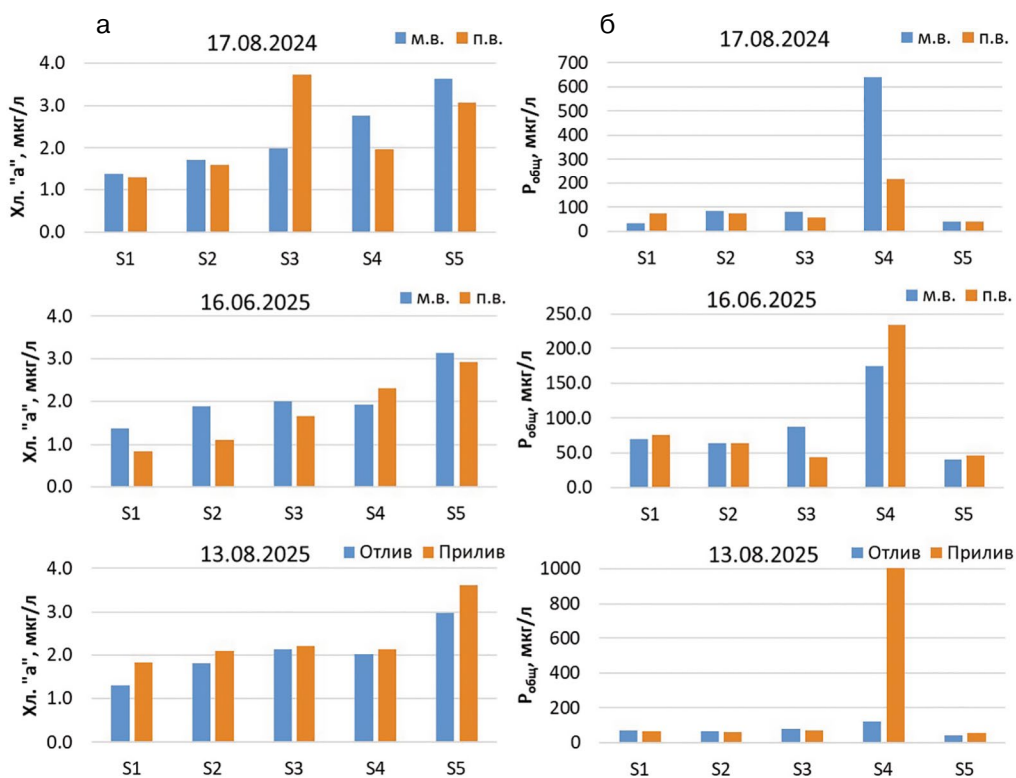


Рис. 3. Концентрация хлорофилла а (а) и общего фосфора (б) в бухте Благополучия

Fig. 3. Concentration of chlorophyll a (а) and total phosphorus (б) in Blagopoluchiya Inlet

Только в августе 2024 г. на полной воде тренд нарушался из-за скачка параметра на ст. S3. Устойчивый положительный градиент хлорофилла *a* указывает на изменение трофического статуса в сторону эвтрофности по направлению к куту бухты [Калинкина и др., 2025]. Из биогенных элементов, имеющих значение для развития планктона, мы рассмотрели только фосфор, так как его концентрация подвержена наибольшей пространственной изменчивости в бухте Благополучия (рис. 3, б). Во все даты максимум концентрации общего фосфора наблюдался на ст. S4. При этом от остальных станций данный показатель отличался как минимум в 2 раза и как максимум – на порядок величин (в августе оба года).

Температура воды на всех станциях менялась в зависимости от фазы приливного цикла: наиболее выражены изменения были в августе 2024 г. (снижение во время малой воды и повышение во время полной) и в июне 2025 г. (снижение во время полной воды и повышение во время малой) (рис. 2, а), менее выражены – в августе 2025 г. Соленость изменялась в течение приливного цикла наиболее заметно только в июне 2025 г., во время малой воды она была ниже, чем во время полной, на всех станциях (рис. 2, б). В целом такая тенденция преобладала и в остальные даты, хотя различия между фазами прилива были незначительны. Остальные параметры не демонстрировали заметных и закономерных изменений в течение приливного цикла.

Межгодовые изменения температуры воды можно проследить в августе. В 2024 г. было несколько холоднее, чем в 2025 г., хотя различия находились на грани значимости согласно тесту Краскела – Уоллиса ($z' = 2,36$; $p = 0,055$). Соленость в августе 2024 г. была незначительно ниже, чем в 2025 г. ($z' = 1,90$; $p = 0,17$). Закономерности в межгодовых различиях остальных параметров не прослеживаются.

Состав, распределение и динамика мезооупланктона. В бухте Благополучия наблюдался в целом типичный для соответствующего сезона в прибрежной зоне Белого моря состав зоопланктона [Прыгункова, 1985]. В зоопланктоне бухты Благополучия выявлено 34 таксона истинно планктонных организмов и личинок донных беспозвоночных (табл. 1). Как по видовому богатству, так и по численности доминировали копеподы (12 таксонов, до 99 % общей численности зоопланктона). В разное время года в бухте получали преимущество разные виды веслоногих ракообразных (Сорерода). В сообществе зоопланктона в бухте Благополучия отмечена крайне высокая степень доминирования – во все даты на всех станциях

не более 1–2 видов составляли выше 50 % суммарной численности. В июне 2025 г. на большинстве станций доминировали рачки рода *Pseudocalanus* (в среднем 49 % общей численности), в качестве субдоминанты выступали представители рода *Acartia* (27 %), а на ст. S5 – коловратки (более 50 %). В августе оба года доминировали *Acartia* spp. (34 % в 2024 г. и 59 % в 2025 г.) и *Evadne nordmanni* (Cladocera; 22 % в 2024 г. и 13 % в 2025 г.), при этом род *Acartia* был представлен почти исключительно видом *A. longiremis*, который тяготеет к открытой части бухты. В 2024 г. на станциях S3 и S5 во внутренней части бухты доминировала *Eurytemora americana*, особенно на полной воде (более 50 % общей численности). В августе 2025 г. численность этого вида была на порядок ниже, причем наибольшее его обилие отмечено на ст. S1 и S5 на приливе и отливе и на ст. S3 на приливе. Данный вид является новым для Белого моря, и высокая его численность позволяет предположить высокий инвазионный потенциал в прибрежных акваториях Белого моря [Сухих, Усов, 2026].

Доминирование холодноводных *Pseudocalanus* spp. характерно для весеннего периода в прибрежной зоне Белого моря [Прыгункова, 1974; Кособокова, Перцова, 2012]. Доминирование бореальных тепловодных видов *Acartia* spp. в июне на некоторых внутренних станциях можно объяснить достаточным для данного вида прогревом поверхностного слоя воды, в котором отбирали пробы. Так, вода на поверхности на внутренних станциях 16 июня 2025 г. прогрелась выше 10 °C, тогда как оптимальная для этого вида температура составляет 8,3 °C [Зубаха, Усов, 2004]. В летний период на первое место выходят бореальные тепловодные виды, особенно *Acartia* spp., что также является нормой для этого времени года в Белом море [Прыгункова, 1974; Кособокова, Перцова, 2012]. Летом оба года на втором месте по численности была *Evadne nordmanni* (Cladocera). В прибрежье Белого моря данный вид является массовым в июле–августе [Прыгункова, 1974]. *E. nordmanni* – эвригалинный тепловодный вид, обитающий и в океане, и в сильно опресненном Балтийском море [Gieskes, 1971; Poggensee, Lenz, 1981]. Температура и соленость в районе исследований находятся в пределах, оптимальных для данного вида [Зубаха, Усов, 2004; Usov et al., 2013].

В распределении суммарной численности зоопланктона, кроме фазы полной воды 17.08.2024 и 16.06.2025, можно проследить тенденцию к снижению в направлении от открытой к внутренней части бухты (рис. 4 и 5).

Таблица 1. Состав мезозоопланктона в бухте Благополучия
Table 1. Mesozooplankton composition in Blagopoluchiya Inlet

Таксон Taxa	2024	2025	
	Август August	Июнь June	Август August
п/тип (subphyl.) Crustacea, кл. (class) Copepoda			
отр. (order) Calanoida			
<i>Calanus glacialis</i> Jaschnov, 1955	-	+	-
<i>Pseudocalanus</i> spp. Boeck, 1872	+	+	+
<i>Acartia longiremis</i> (Lilljeborg, 1853)	+	+	+
<i>A. bifilosa</i> (Giesbrecht, 1881)	+	+	+
<i>Centropages hamatus</i> (Lilljeborg, 1853)	+	+	+
<i>Temora longicornis</i> (Müller, 1792)	+	+	+
<i>Eurytemora americana</i> Williams, 1906	+	+	+
отр. (order) Cyclopoida			
<i>Oithona similis</i> Claus, 1866	+	+ *	+
<i>Triconia borealis</i> (Sars, 1918)	+	+	+
Cyclopoida (<i>Cyclopina</i> sp. Claus, 1863)	-	-	+
отр. (order) Harpacticoida			
<i>Microsetella norvegica</i> (Boeck, 1864)	+	+	+
Harpacticoida gen. sp.	+	+	+
п/тип (subphyl.) Crustacea, кл. (class) Branchiopoda, отр. (order) Onychopoda			
<i>Podon leuckarti</i> (Sars G. O., 1862)	+	+	+
<i>Evadne nordmanni</i> Lovén, 1836	+	+	+
<i>Pleopis polyphemoides</i> (Leuckart, 1859)	+	-	+
п/тип (subphyl.) Crustacea, п/кл. (infraclass) Cirripedia, личинки/larvae	+	+	+
п/тип (subphyl.) Crustacea, отр. (order) Amphipoda, молодь/juveniles	-	-	+
п/тип (subphyl.) Crustacea, отр. (order) Euphausiacea, молодь/juveniles	-	-	+
п/тип (subphyl.) Tunicata, кл. (class) Appendicularia			
<i>Fritillaria borealis</i> Lohman, 1896	+	-	+
п/тип (subphyl.) Medusozoa, кл. (class) Hydrozoa			
<i>Sarsia tubulosa</i> (M. Sars, 1835)	+	+	+
<i>Obelia longissima</i> (Pallas, 1766)	+ *	+	-
<i>O. geniculata</i> (Linnaeus, 1758)	-	+	-
<i>Rathkea octopunctata</i> (M. Sars, 1835)	-	+	-
тип (phylum) Ctenophora, личинки/larvae	+	-	+ *
тип (phylum) Chaetognatha			
<i>Parasagitta elegans</i> Verrill, 1873	-	+	-
кл. (class) Polychaeta, личинки/larvae	+ *	+	+ *
тип (phylum) Mollusca, кл. (class) Bivalvia			
<i>Mytilus edulis</i> Linnaeus, 1758, личинки/larvae	+	-	+
<i>Heteranomia squamula</i> (Linnaeus, 1758), личинки/larvae	+	-	+
<i>Hiatella arctica</i> (Linnaeus, 1767) личинки/larvae	+	-	+
Bivalvia gen. sp., личинки/larvae	+	-	+
тип (phylum) Mollusca, кл. (class) Gastropoda, личинки/larvae	+	+	+
тип (phylum) Bryozoa, личинки/larvae	+	-	+
тип (phylum) Rotifera			
<i>Asplanchna</i> sp. Gosse, 1850	+	+	-
<i>Synchaeta</i> sp. Ehrenberg, 1832	+	+	-

Примечание. Показано присутствие в разные даты отбора проб (+). * Обнаружены единичные экземпляры (до 8 экз./м³ в единственной пробе в данную дату).

Note. Presence on specific date is indicated by (+). * Single individuals are found (up to 8 m⁻³ in a single sample on this sampling date).

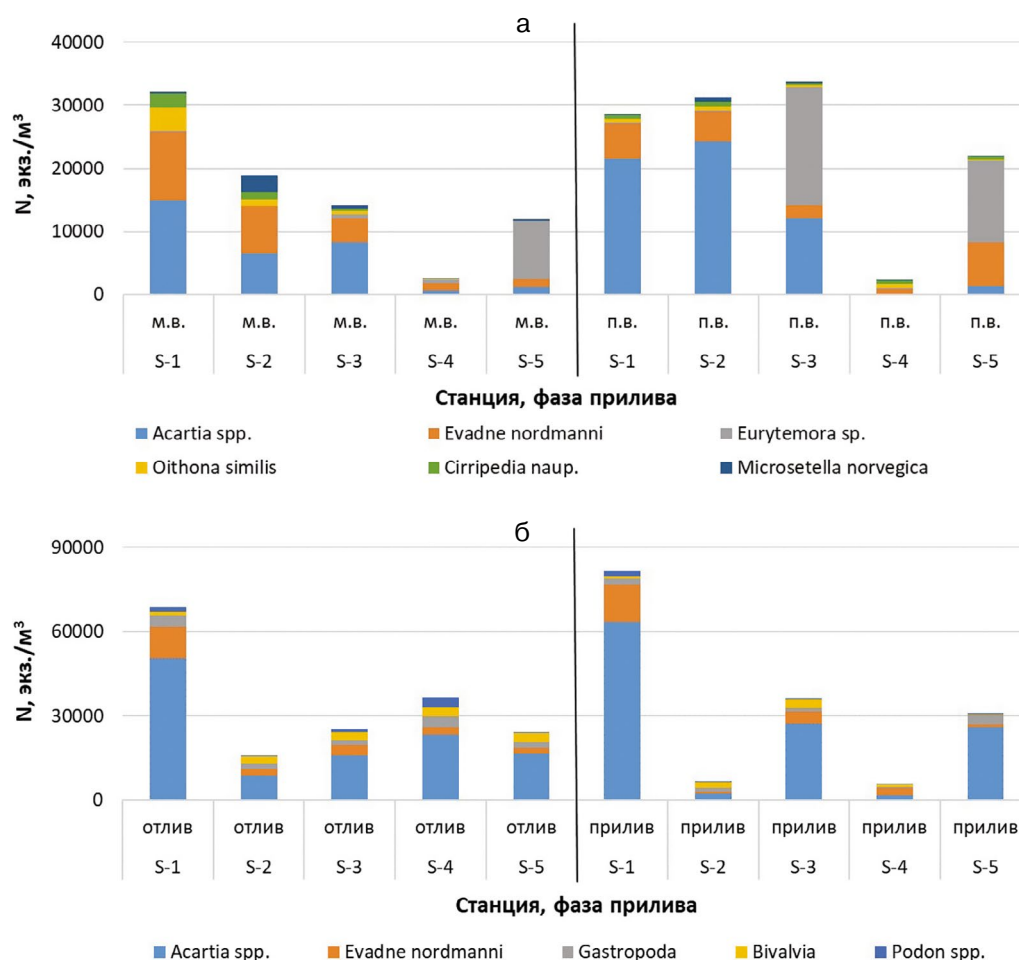


Рис. 4. Распределение мезозoopланктона и основных таксонов планктонных животных в бухте Благополучия 17 августа 2024 г. (а) и 13 августа 2025 г. (б)

Fig. 4. Distribution of mesozooplankton and main taxa of planktonic animals in Blagopoluchiya Inlet, August 17, 2024 (a) and August 13, 2025 (б)

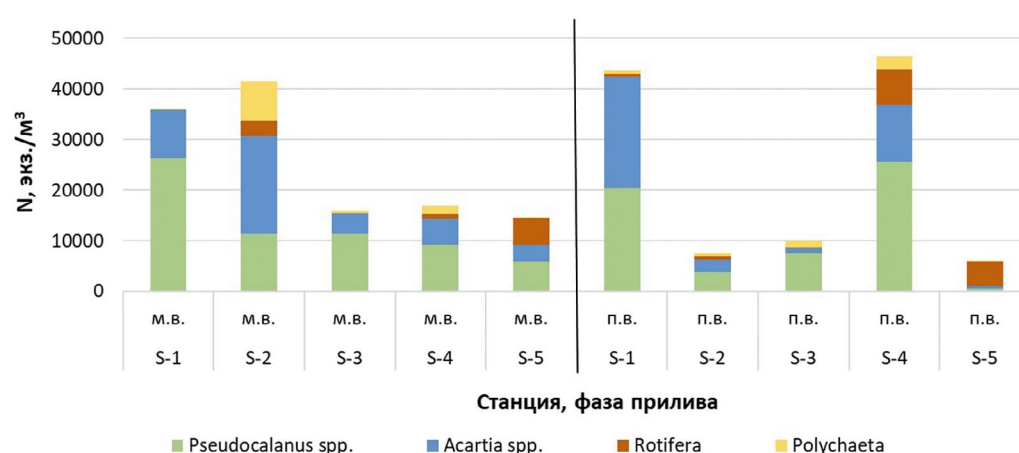


Рис. 5. Распределение мезозoopланктона и основных таксонов планктонных животных в бухте Благополучия 16 июня 2025 г.

Fig. 5. Distribution of mesozooplankton and main taxa of planktonic animals in Blagopoluchiya Inlet, June 16, 2025

Хотя, как показал тест Краскела – Уоллиса, значимых изменений численности зоопланктона между станциями нет (табл. 2), в большинстве случаев наивысшие значения численности отмечены на ст. S1. В августе 2024 г. описанный выше тренд нарушался из-за массового развития *Eurytemora americana* на ст. S3 и S5 на полной воде. В половине всех наблюдений минимальная численность имела место на ст. S4. 16 июня 2025 г. на ст. S4 на полной воде, напротив, наблюдался скачок численности, обусловленный массовым развитием *Pseudocalanus* spp.

Максимальная численность планктонных животных отмечена на ст. S1 13.08.2025 на приливе (84 770 экз./м³), в этот же день среднее значение обилия мезозоопланктона по акватории также было максимальным за весь период наблюдений. Минимальная численность наблюдалась на ст. S4 17.08.2024 на полной воде (3492 экз./м³), средняя численность также была наименьшей за период исследований. При этом средняя по всем станциям суммарная численность зоопланктона в разные даты и на разных фазах приливного цикла значимо не различалась (табл. 2). Суммарная численность зоопланктона в акватории бухты Благополучия в августе 2024 и 2025 гг. значимо не различается, несмотря на существенное повышение максимальных ее значений в 2025 г. Это следствие более равномерного количественного распределения зоопланктона в августе 2024 г.,

без столь резкого превышения численности на ст. S1 над другими точками, как в августе 2025 г.

Мы изучили закономерности в распределении по акватории бухты Благополучия массовых видов планктонных животных, численность которых была не менее 10 % от суммарной численности зоопланктона (рис. 6). Оценить значимость различий удалось только для *Acartia* spp., которые входили в группу доминант во все даты. Численность видов рода *Acartia* не различалась значимо между станциями, однако обычно их численность выше на внешних станциях S1 и S2 и во время малой, и во время полной воды. Проверить значимость различий численности остальных таксонов между станциями невозможно в связи с малым количеством повторностей, поэтому далее речь пойдет о тенденциях. Численность *Evadne nordmanni* снижалась в направлении кута бухты в августе оба года, лишь в 2024 г. на ст. S5 на полной воде эта закономерность нарушалась. В июне *E. nordmanni* не входил в группу доминантных видов. Численность коловраток (Rotifera) в августе 2024 г. снижалась к куту бухты, в июне 2025 г. численность этого таксона была на два порядка выше и повышалась в том же направлении. В августе 2025 г. коловратки отсутствовали. Личинки брюхоногих моллюсков входили в группу доминант только в августе 2025 г., при этом имело место двухвершинное распределение – с высокими значениями в открытой части бухты и в куту.

Таблица 2. Результаты сравнения суммарного обилия мезозоопланктона в бухте Благополучия в разные даты и фазы приливного цикла, а также на разных точках отбора проб

Table 2. Results of comparison of the total zooplankton abundance in Blagopoluchiya Inlet on different dates, tide phases and at different sampling stations

Сравнение дат – метод знаков Date comparison – Sign test		
	Z (n = 10)	p
17.08.24 – 16.06.25	0,95	0,34
17.08.24 – 13.08.24	1,58	0,11
16.06.25 – 13.08.25	0,95	0,34
Сравнение разных фаз прилива – анализ Краскела – Уоллиса Tidal phase comparison – Kruskal-Wallis ANOVA by Ranks		
	H (n = 5)	p
17.08.24	0,53	0,46
16.06.25	0,27	0,6
13.08.25	0,01	0,92
Сравнение разных станций – анализ Краскела – Уоллиса Station comparison - Kruskal-Wallis ANOVA by Ranks		
	H (n = 15)	p
Малая вода и отлив Low tide and ebb	5,7	0,23
Полная вода и прилив High tide and flood	4,6	0,33

Подобное распределение наблюдалось и во время малой воды в августе 2024 г.

Особенностью данной акватории является присутствие в значительных количествах вида-вселенца *Eurytemora americana*, который ранее не встречался в Белом море (рис. 6) [Сухих, Усов, 2026]. Численность *E. americana* распределена в августе 2024 г. крайне неравномерно: около 10 тыс. экз./м³ и выше на ст. S3 и S5, но значительно ниже 1000 экз./м³ на остальных станциях. В августе 2025 г. численность этого вида была на порядки величин ниже, но сохранилась тенденция к относительно более высоким ее значениям во внутренней части бухты. Помимо вероятных конкурентных отношений данного вида и *Acartia* spp. [Калинкина и др., 2025] столь неравномерное распределение может быть следствием органического загрязнения в бухте Благополучия. Так, «провал» обилия *E. americana* на ст. S4 можно объяснить тем, что концентрация общего фосфора в августе превышала здесь фоновую на порядки величин. Это же, по всей видимости, послужило причиной резкого снижения суммарной численности зоопланктона. Интересно,

что на отливе 13 августа 2025 г. содержание фосфора было повышено незначительно и численность зоопланктона также не снизилась по сравнению с окружением. В июне превышение концентрации общего фосфора на ст. S4 было не столь сильным, как в августе, при этом численность зоопланктона здесь также не снижалась по сравнению с остальными станциями внутренней части бухты.

Представляет интерес распределение менее многочисленных видов, обилие которых, однако, может достигать тысяч на отдельных станциях. *Oithona similis* во время малой воды демонстрирует снижение численности по направлению к куту бухты Благополучия. Это океанический вид-космополит, один из наиболее массовых в Белом море [Шувалов, 1965; Прыгункова, 1974], однако в бухте Благополучия он не входит даже в состав видов-доминантов, тяготея к открытой части бухты. Температура и соленость в бухте Благополучия не выходят за пределы оптимальных для этого вида [Зубаха, Усов, 2004; Usov et al., 2013]. В данной акватории *O. similis*, по-видимому, вытеснен более многочисленными *Acartia* spp. Вероятно также,

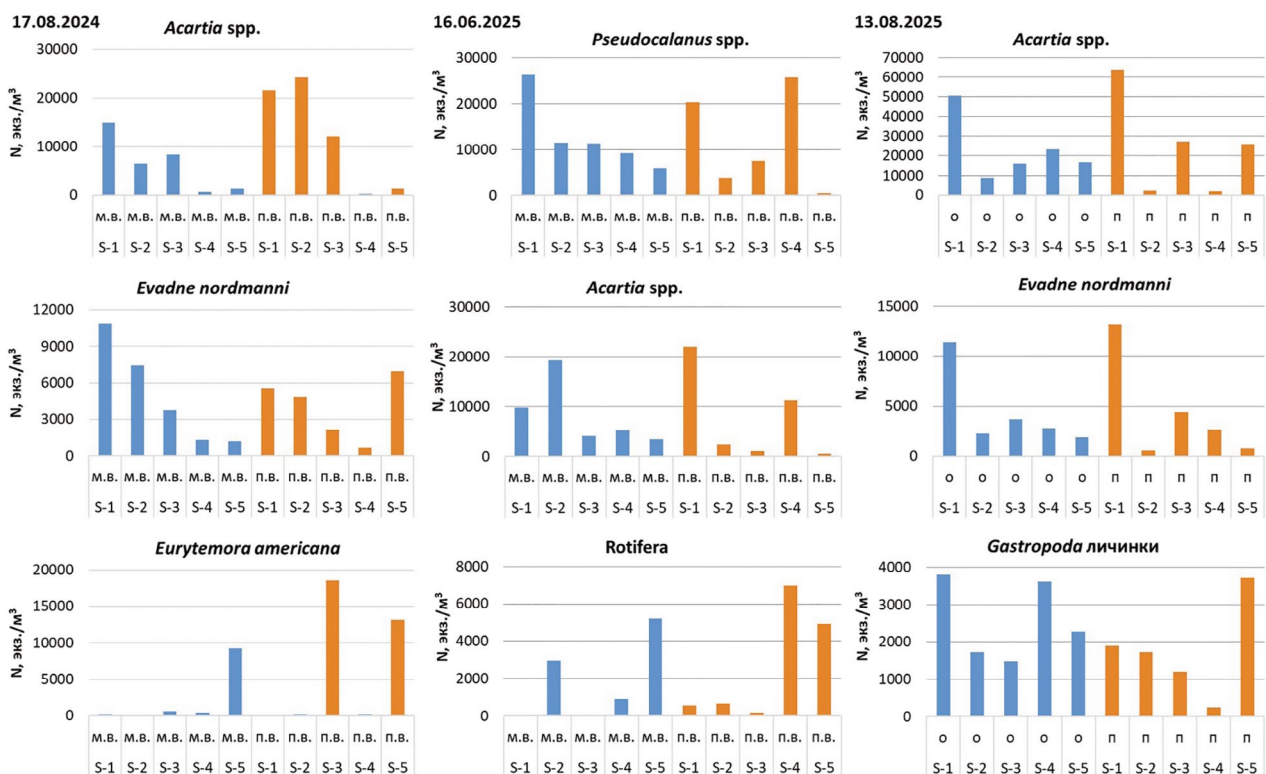


Рис. 6. Распределение массовых видов в бухте Благополучия:

о – отлив, п – прилив

Fig. 6. Distribution of abundant species in Blagopoluchiya Inlet on different dates:

о – ebb, п – tide

что высокая степень эвтрофикации [Калинкина и др., 2025; Лукина и др., 2025] отрицательно влияет на популяцию данного океанического вида в бухте Благополучия. Тем не менее *O. similis* входит в число доминантов на ст. S4 на полной воде 17.08.2024, что можно объяснить заносом из открытой части бухты с приливом.

Личинки усоногих ракообразных (Cirripedia) во время малой воды 17.08.2024 демонстрировали снижение численности по направлению к куту бухты Благополучия. На приливе в распределении этих организмов не обнаружено каких-либо четких градиентов. Распределение личинок Cirripedia, как и Gastropoda, по всей видимости, соответствует распределению их взрослых стадий в бентосе.

Корреляционный анализ суммарного обилия зоопланктона и основных факторов среды (температуры воды и солёности) не выявил значимых связей. Не установлено значимой корреляции суммарного обилия с концентрацией фосфора, однако анализ динамики этих двух параметров показал, что максимальные значения концентрации фосфора совпадали с наибольшим снижением численности зоопланктона. Кроме того, тенденция к снижению обилия зоопланктона на внутренних станциях совпала с повышением концентрации хлорофилла *a* в том же направлении. При этом во время малой воды и отлива, действительно, существует отрицательная корреляция между обилием зоопланктона и концентрацией хлорофилла *a* (Spearman $r = -0,61$; $p = 0,015$). Увеличение концентрации хлорофилла указывает на успешное развитие фитопланктона в условиях слабого пресса планктонных фитофагов и достаточного количества биогенных элементов [Калинкина и др., 2025]. Снижение обилия планктонных животных, вероятно, определяется воздействием гидрохимических факторов. Помимо значительного повышения концентрации биогенных элементов, особенно фосфора, в условиях интенсивного поступления органического вещества и высоких температур может снижаться содержание кислорода в воде, что также негативно влияет на планктонных животных. Однако, чтобы доказать это, необходимо дополнить наблюдения в бухте Благополучия измерениями концентрации кислорода и его биологического потребления.

Заключение

Наиболее яркой особенностью бухты Благополучия является аномально высокая концентрация общего фосфора во внутренней части акватории. Это повышение приурочено к месту поступления в бухту сточных вод поселка

Соловецкий. Именно во внутренней части бухты наблюдается угнетенное состояние зоопланктона, которое выражается в тенденции к снижению общего обилия в весенне-летний период по сравнению с открытым морем в несколько раз, а иногда – на порядок. Данные изменения в сообществе нельзя связать с градиентами основных гидрофизических и гидрохимических факторов – температуры воды, солёности и концентрации хлорофилла *a*. Связь обилия зоопланктона с концентрацией хлорофилла *a* непрямая и обусловлена, скорее всего, иными факторами, влияющими одновременно на оба сообщества – и зоопланктона, и фитопланктона. В то же время сообщество зоопланктона четко реагировало на аномально высокие значения концентрации фосфора резким снижением численности. Таким образом, антропогенное загрязнение, по всей видимости, является основной причиной отрицательных изменений в зоопланктоне. Дальнейшие исследования помогут глубже понять механизмы влияния загрязнения на зоопланктон.

Пока сложно говорить о межгодовых изменениях в районе исследований, так как период наблюдений охватывает только два года. Значимых изменений температуры воды, солёности и обилия зоопланктона в августе не выявлено, если не считать различий в распределении суммарного обилия зоопланктона. Таким образом, чтобы делать выводы о наличии или отсутствии межгодовых изменений, необходимо продолжать исследования. Более подробное исследование межгодовых изменений планируется провести в дальнейшем, после дополнительных экспедиций.

Обращает на себя внимание высокая численность вида-вселенца *Eurytemora americana* в бухте Благополучия в летний период, что указывает на высокий инвазионный потенциал данного вида при заселении сходных биоценозов в Белом море.

Автор выражает благодарность сотрудникам КарНЦ РАН Р. Э. Здорovenнову и Н. Е. Галахиной за предоставленные гидрологические и гидрохимические данные.

Литература

Здорovenнов Р. Э., Здорovenнова Г. Э., Толстиков А. В., Новикова Ю. С., Богданов С. Р. Лукина Ю. Н. Гидрофизические характеристики морской среды в бухте Благополучия (Соловецкие острова, Белое море): оценка на основе экспедиционных исследований в апреле 2025 года // Труды Карельского научного центра РАН. 2025. № 6. С. 39–56. doi: 10.17076/lim2118

Зубаха М. А., Усов Н. В. Температурные оптимумы массовых видов зоопланктона Белого моря // Биология моря. 2004. Т. 30, № 5. С. 347–351.

Инструкция по сбору и обработке планктона / Всесоюз. науч.-исслед. ин-т морского рыбного хоз-ва и океанографии (ВНИРО). Отд. науч.-техн. информации. М.: ВНИРО, 1971. 82 с.

Калинкина Н. М., Галахина Н. Е., Костромин Е. А., Усов Н. В., Сластина Ю. Л. Трофический статус бухты Благополучия (Соловецкие острова Белого моря) в летний период 2024 г. // Арктика: экология и экономика. 2025. Т. 15, № 4. С. 592–604. doi: 10.25283/2223-4594-2025-4-592-604

Кособокова К. Н., Перцова Н. М. Зоопланктон Белого моря: структура, динамика, экология // Система Белого моря. Водная толща и взаимодействующие с ней атмосфера, криосфера, речной сток и биосфера / Ред. А. П. Лисицын. Т. II. М.: Научный мир, 2012. С. 640–674.

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

Лукина Ю. Н., Здоровеннов Р. Э., Толстиков А. В., Галахина Н. Е., Богданов С. Р., Сабылина А. В., 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

Определитель фауны и флоры северных морей СССР / Ред. Н. С. Гаевская. М.: Советская наука, 1948. 737 с.

Прыгункова Р. В. Некоторые особенности сезонного развития зоопланктона губы Чупа Белого моря // Исследование фауны морей. Т. 13(21). Л.: Наука, 1974. С. 56–64.

Прыгункова Р. В. Различия в смене биологических сезонов в планктоне губы Чупа (Белое море) в разные годы // Исследование фауны морей. Т. 31(39). Л.: Наука, 1985. С. 99–108.

РД 52.24.387-2006. Массовая концентрация фосфора общего в водах. Методика выполнения измерений фотометрическим методом после окисления персульфатом калия. Ростов-на-Дону, 2006. 27 с.

Суших Н. М., Усов Н. В. Инвазия в Белом море: первый случай обнаружения американского рачка *Eurytemora americana* (Copepoda, Calanoida) // Арктика: экология и экономика. 2026. Т. 16, № 3. С. 466–474. doi: 10.25283/2223-4594-2026-3-466-474

Шувалов В. С. Сезонная изменчивость размеров и некоторые особенности биологии *Oithona similis* Claus (Copepoda, Cyclopoida) в Белом море (Кандалакшский залив) // Океанология. 1965. Т. 5, вып. 2. С. 338–347.

Arnold S. R., Law K. S., Brock C. A., Thomas J. L., Starkweather S. M., von Salzen K., Stohl A., Sharma S., Lund M. T., Flanner M. G., Petäjä T., Tanimoto H., Gamble J., Dibb J. E., Melamed M., Johnson N., Fidel M., Tynkkynen V.-P., Baklanov A., Eckhardt S., Monks S. A., Browse J., Bozem H. Arctic air pollution: challenges and opportunities for the next decade // Elementa: Science of the Anthropocene. 2016. Vol. 4. Art. 000104. doi: 10.12952/journal.elementa.000104

Bartsch A., Pointner G., Efimova A., Jakober D., Ley S., Höglström E., Schweitzer P., Nitze I., Grosse G. Expanding infrastructure and growing anthropogenic impacts along Arctic coasts // Environ. Res. Lett. 2021. Vol. 16. Art. 115013. doi: 10.1088/1748-9326/ac3176

Comiso J. C., Hall D. K. Climate trends in the Arctic as observed from space // Wiley Interdiscip. Rev. Clim. Change. 2014. Vol. 5, no. 3. P. 389–409. doi: 10.1002/wcc.277.2014, 5,389–409

Determination of photosynthetic pigments in sea waters. Report of SCOR/UNESCO Working Group 17. Paris: UNESCO, 1966. 69 p. doi: 10.25607/OBP-1940

Eriksen E., Husson B., Skaret G., Ingvaldsen R. B., Dalpadado P., Johannesen E., Jørgensen L. L., Bogstad B., Dolgov A. V., Prozorkevich D. V., Prokhorova T. A., Russkikh A. A., Strelkova N. A., Trofimov A. G., Prokopchuk I. P., Filin A. A. The living Barents Sea response to peak-warming and subsequent cooling // Sci. Rep. 2025. Vol. 15. Art. 13008. doi: 10.1038/s41598-025-96964-x

Falardeau M., Bennett E. M. Towards integrated knowledge of climate change in Arctic marine systems: A systematic literature review of multidisciplinary research // Arctic Science. 2020. Vol. 6, no. 1. P. 1–23. doi: 10.1139/AS-2019-0006

Gieskes W. W. C. Ecology of the Cladocera of the North Atlantic and the North Sea, 1960–1967 // Neth. J. Sea Res. 1971. Vol. 5, no. 3. P. 342–376. doi: 10.1016/0077-7579(71)90017-2

Grebmeier J. M. Shifting patterns of life in the Pacific Arctic and sub-Arctic seas // Ann. Rev. Marine Sci. 2012. Vol. 4. P. 63–78. doi: 10.1146/annurev-marine-120710-100926

Holmes R. M., Peterson B. J., Gordeev V. V., Zhulidov A. V., Meybeck M., Lammers R. B., Vörösmarty C. J. Flux of nutrients from Russian rivers to the Arctic Ocean: can we establish a baseline against which to judge future changes? // Water Resour. Res. 2000. Vol. 36, no. 8. P. 2309–2320. doi: 10.1029/2000WR900099

Huntington H. P., Danielson S. L., Wiese F. K., Baker M., Boveng P., Citta J. J., De Robertis A., Dickson D. M. S., Farley E., George J. C., Iken K., Kimmel D. G., Kuletz K., Ladd C., Levine R., Quakenbush L., Stabeno P., Stafford K. M., Stockwell D., Wilson Ch. Evidence suggests potential transformation of the Pacific Arctic ecosystem is underway // Nat. Clim. Change. 2020. Vol. 10. P. 342–348. doi: 10.1038/s41558-020-0695-2

Kirdyanov A. V., Krusic P. J., Piermattei A., Büntgen U., Shishov V. V., Vaganov E. A., Korets M. A., Mashukov D. A., Onuchin A. A., Pimenov A. V., Prokushkin A. S., Ryzhkova V. A., Shishikin A. S., Fertikov A. I., Knorre A. A., Ilyin V. A., Myglan V. S., Barinov V. V., Taynik A. V., Browse J., Esper J., Kukarskikh V. V., Smith K. T., Wild M., Zorita E. Ecological and conceptual consequences of Arctic pollution // Ecol. Lett. 2020. Vol. 23, no. 12. P. 1827–1837. doi: 10.1111/ele.13611

Letcher R. J., Verreault J., Bustnes J. O., Dietz R., Sonne C., Jenssen B. M., Jørgensen E. H., Vijayan M. M., Gabrielsen G. W. Exposure and effects assessment of persistent organohalogen contaminants in Arctic wildlife and fish // Sci. Total Environ. 2010.

Vol. 408, no. 15. P. 2995–3043. doi: 10.1016/j.scitotenv.2009.10.038

Lind S., Ingvaldsen R. B., Furevik T. Arctic warming hotspot in the northern Barents Sea linked to declining sea-ice import // *Nat. Clim. Change*. 2018. Vol. 8, P. 634–639. doi: 10.1038/s41558-018-0205-y

Poggensee E., Lenz J. On the population dynamics of two brackish-water Cladocera *Podon leuckarti* and *Evadne nordmanni* in Kiel Fjord // *Kieler Meeresforschungen – Sonderheft*. 1981. Vol. 5. P. 268–273.

Razouls C., Desreumaux N., Kouwenberg J., de Bovée F. Biodiversity of Marine Planktonic Copepods (morphology, geographical distribution and biological data). Sorbonne University, CNRS, 2005–2026 [Электронный ресурс]. URL: <http://copepodes.obs-banyuls.fr/> (дата обращения: 05.05.2026).

Sun L., Perlwitz J., Hoerling M. What caused the recent 'Warm Arctic, cold continents' trend pattern in winter temperatures? // *Geophys. Res. Lett.* 2016. Vol. 43, no. 10. P. 5345–5352. doi: 10.1002/2016GL069024

Usov N., Kutcheva I., Primakov I., Martynova D. Every species is good in its season: Do the shifts in the annual temperature dynamics affect the phenology of the zooplankton species in the White Sea? // *Hydrobiologia*. 2013. Vol. 706. P. 11–33. doi: 10.1007/s10750-012-1435-z

WoRMS Editorial Board 2026. World Register of Marine Species [Электронный ресурс]. URL: <https://www.marinespecies.org> (дата обращения: 05.05.2026).

Zhang J., Steele M., Spitz Y. H., Ashjian C., Campbell R., Berlin L., Matrai P. Modeling the impact of declining sea ice on the Arctic marine planktonic ecosystem // *J. Geophys. Res. Oceans*. 2010. Vol. 115, no. 10. Art. 10015. doi: 10.1029/2009JC005387

References

Arnold S. R., Law K. S., Brock C. A., Thomas J. L., Starkweather S. M., von Salzen K., Stohl A., Sharma S., Lund M. T., Flanner M. G., Petäjä T., Tanimoto H., Gamble J., Dibb J. E., Melamed M., Johnson N., Fidel M., Tynkkynen V.-P., Baklanov A., Eckhardt S., Monks S. A., Browse J., Bozem H. Arctic air pollution: challenges and opportunities for the next decade. *Elementa: Science of the Anthropocene*. 2016;4:000104. doi: 10.12952/journal.elementa.000104

Bartsch A., Pointner G., Efimova A., Jakober D., Ley S., Högström E., Schweitzer P., Nitze I., Grosse G. Expanding infrastructure and growing anthropogenic impacts along Arctic coasts. *Environ. Res. Lett.* 2021; 16:115013. doi: 10.1088/1748-9326/ac3176

Comiso J. C., Hall D. K. Climate trends in the Arctic as observed from space. *Wiley Interdiscip. Rev. Clim. Change*. 2014;5(3):389–409. doi: 10.1002/wcc.277. 2014,5,389–409

Determination of photosynthetic pigments in sea waters. Report of SCOR/UNESCO Working Group 17. Paris: UNESCO, 1966. 69 p. doi: 10.25607/OBP-1940

Eriksen E., Husson B., Skaret G., Ingvaldsen R. B., Dalpadado P., Johannesen E., Jørgensen L. L., Bogstad B., Dolgov A. V., Prozorkevich D. V., Prokhorova T. A., Russkikh A. A., Strelkova N. A., Trofimov A. G., Prokopchuk I. P., Filin A. A. The living Barents Sea

response to peak-warming and subsequent cooling. *Sci. Rep.* 2025;15:13008. doi: 10.1038/s41598-025-96964-x

Falardeau M., Bennett E. M. Towards integrated knowledge of climate change in Arctic marine systems: A systematic literature review of multidisciplinary research. *Arctic Science*. 2020;6(1):1–23. doi: 10.1139/AS-2019-0006

Gaevskaya N. S. (ed.). A key to fauna and flora of the northern seas of the USSR. Moscow: Sovetskaya nauka; 1948. 737 p. (In Russ.)

Gieskes W. W. C. Ecology of the Cladocera of the North Atlantic and the North Sea, 1960–1967. *Neth. J. Sea Res.* 1971;5(3):342–376. doi: 10.1016/0077-7579(71)90017-2

Grebmeier J. M. Shifting patterns of life in the Pacific Arctic and sub-Arctic seas. *Ann. Rev. Marine Sci.* 2012;4:63–78. doi: 10.1146/annurev-marine-120710-100926

Holmes R. M., Peterson B. J., Gordeev V. V., Zhulidov A. V., Meybeck M., Lammers R. B., Vörösmarty C. J. Flux of nutrients from Russian rivers to the Arctic ocean: can we establish a baseline against which to judge future changes? *Water Resour. Res.* 2000;36(8):2309–2320. doi: 10.1029/2000WR900099

Huntington H. P., Danielson S. L., Wiese F. K., Baker M., Boveng P., Citta J. J., De Robertis A., Dickson D. M. S., Farley E., George J. C., Iken K., Kimmel D. G., Kuletz K., Ladd C., Levine R., Quakenbush L., Stabeno P., Stafford K. M., Stockwell D., Wilson Ch. Evidence suggests potential transformation of the Pacific Arctic ecosystem is underway. *Nat. Clim. Change*. 2020;10:342–348. doi: 10.1038/s41558-020-0695-2

Instructions on zooplankton sampling and sample processing. Moscow: VNIRO; 1971. 82 p. (In Russ.)

Kalinkina N. M., Galakhina N. E., Kostromin E. A., Usov N. V., Slastina Yu. L. Trophic status of Blagopoluchiya Bay (the Solovetsky Archipelago of the White Sea) in the summer of 2024. *Arktika: ehkologiya i ehkonomika = Arctic: Ecology and Economy*. 2025;15(4): 592–604. (In Russ.). doi: 10.25283/2223-4594-2025-4-592-604

Kirdyanov A. V., Krusic P. J., Piermattei A., Büntgen U., Shishov V. V., Vaganov E. A., Korets M. A., Mashukov D. A., Onuchin A. A., Pimenov A. V., Prokushkin A. S., Ryzhkova V. A., Shishikin A. S., Fertikov A. I., Knorre A. A., Ilyin V. A., Myglan V. S., Barinov V. V., Taynik A. V., Browse J., Esper J., Kukarskikh V. V., Smith K. T., Wild M., Zorita E. Ecological and conceptual consequences of Arctic pollution. *Ecol. Lett.* 2020;23(12):1827–1837. doi: 10.1111/ele.13611

Kosobokova K. N., Pertsova N. M. Zooplankton of the White Sea: structure, dynamics, ecology. *Sistema Belogo morya. Vodnaya tolshcha i vzaimodeistviyushchie s nei atmosfera, kriosfera, rechnoi stok i biosfera = The system of the White Sea. Water column and atmosphere, cryosphere, river discharge and biosphere interacting with it*. Vol. II. Moscow: Nauchnyi mir; 2012. P. 640–674. (In Russ.)

Letcher R. J., Verreault J., Bustnes J. O., Dietz R., Sonne C., Jenssen B. M., Jørgensen E. H., Vijayan M. M., Gabrielsen G. W. Exposure and effects assessment of persistent organohalogen contaminants

in Arctic wildlife and fish. *Sci. Total Environ.* 2010;408(15): 2995–3043. doi: 10.1016/j.scitotenv.2009.10.038

Lind S., Ingvaldsen R. B., Furevik T. Arctic warming hotspot in the northern Barents Sea linked to declining sea-ice import. *Nature Clim. Change.* 2018;8:634–639. doi: 10.1038/s41558-018-0205-y

Lukina J. N., Zdorovenov R. E., Tolstikov A. V., Galakhina N. E., Bogdanov S. R., Sabylina A. V., Zdorovenova G. E. Features of the hydrodynamic and hydrochemical states of Blagopoluchiya Bay (Solovetsky Islands of the White Sea) in August 2024. *Arktika: ehkologiya i ehkonomika = Arctic: Ecology and Economy.* 2025;15(2):287–299. (In Russ.). doi: 10.25283/2223-4594-2025-2-287-299

Poggensee E., Lenz J. On the population dynamics of two brackish-water Cladocera *Podon leuckarti* and *Evadne nordmanni* in Kiel Fjord. *Kieler Meeresforschungen – Sonderheft.* 1981;5:268–273.

Prygunkova R. V. Differences in terms of biological seasons of zooplankton in Chupa inlet (the White sea) in different years. *Issledovanie fauny morei = Explorations of the fauna of seas.* Vol. 31(39). Leningrad: Nauka; 1985. P. 99–108. (In Russ.)

Prygunkova R. V. Some peculiarities of seasonal development of zooplankton in Chupa inlet of the White Sea. *Issledovanie fauny morei = Explorations of the fauna of seas.* Vol. 13(21). Leningrad: Nauka; 1974. P. 4–55. (In Russ.)

Razouls C., Desreumaux N., Kouwenberg J. de Bo-vée F. Biodiversity of Marine Planktonic Copepods (morphology, geographical distribution and biological data). Sorbonne University, CNRS, 2005–2026. URL: <http://copepodes.obs-banyuls.fr/> (accessed: 05.05.2026).

RD 52.24.387-2006. Mass concentration of total phosphorus in waters. Methodology for performing measurements by photometric method after oxidation with potassium persulfate. Rostov-on-Don; 2006. 27 p. (In Russ.)

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

Shuvalov V. S. Seasonal variability of size and some features of biology of *Oithona similis* Claus (Copepoda, Cyclopoida) in the White Sea (Kandalaksha Bay). *Oceanologiya = Oceanology.* 1965;5(2):338–347. (In Russ.)

Sukhikh N. M., Usov N. V. Invasion in the White Sea: the first discovery of the American copepod *Eurytemora americana* (Copepoda, Calanoida). *Arktika: ehkologiya i ehkonomika = Arctic: Ecology and Economy.* 2026;16(3):466–474. (In Russ.). doi: 10.25283/2223-4594-2026-3-466-474

Sun L., Perlwitz J., Hoerling M. What caused the recent 'Warm Arctic, cold continents' trend pattern in winter temperatures? *Geophys. Res. Lett.* 2016;43(10):5345–5352. doi: 10.1002/2016GL069024

Usov N., Kutcheva I., Primakov I., Martynova D. Every species is good in its season: Do the shifts in the annual temperature dynamics affect the phenology of the zooplankton species in the White Sea? *Hydrobiologia.* 2013;706:11–33. doi: 10.1007/s10750-012-1435-z

WoRMS Editorial Board 2026. World Register of Marine Species. URL: <https://www.marinespecies.org> (accessed: 05.05.2026).

Zdorovenov R. E., Zdorovenova G. E., Tolstikov A. V., Novikova Iu. S., Bogdanov S. R., Lukina J. N. Hydrophysical characteristics of the marine environment in Blagopoluchiya Bay (Solovetsky Islands, White Sea): an assessment based on fieldwork in April 2025. *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS.* 2025;6:39–56. (In Russ.). doi: 10.17076/lim2118

Zhang J., Steele M., Spitz Y. H., Ashjian C., Campbell R., Berline L., Matrai P. Modeling the impact of declining sea ice on the Arctic marine planktonic ecosystem. *J. Geophys. Res. Oceans.* 2010;115(10):10015. doi: 10.1029/2009JC005387

Zubakha M. A., Usov N. V. Optimum temperatures for common zooplankton species in the White Sea. *Russian J. of Marine Biology.* 2004;30(5):293–297. doi: 10.1023/B:RUMB.0000046547.26708.3e

Поступила в редакцию / received: 20.05.2026; принята к публикации / accepted: 02.07.2026.
Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов / The author declares no conflict of interest.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

Усов Николай Викторович

канд. биол. наук, старший научный сотрудник

e-mail: Nikolay.Usov@zin.ru

CONTRIBUTOR:

Usov, Nikolay

Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher