

УДК 556.555

СЕЗОННАЯ И ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕМПЕРАТУРЫ И МУТНОСТИ ВОДЫ В ГЛУБОКОМ ДИМИКТИЧЕСКОМ ОЗЕРЕ

Р. Э. Здоровеннов, Г. Э. Здоровеннова*

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

Приведены результаты анализа сезонной и пространственной изменчивости температуры, мутности воды и концентрации хлорофилла *a* в глубоком озере Мунозеро (водосбор Онежского озера). Анализ данных зондирования водной толщи озера мультипараметрическим зондом CTD-90m на продольном разрезе позволил установить особенности термического режима северного глубоководного (глубины более 35 м) и южного (глубины менее 20 м) плесов озера. Стратификация продолжается дальше в северном плесе, что обуславливает меньшее содержание кислорода в гипolimнии осенью. Обнаружено отличие придонной температуры воды северного (менее 5 °C) и южного (до 9,7 °C) плесов, что может оказывать влияние на бентосное сообщество. Экстремальное повышение температуры верхнего слоя воды до 26–27 °C в периоды жаркой погоды летом представляет опасность для экосистемы озера, так как может способствовать массовому развитию фитопланктона, включая токсичных цианобактерий, а также быть причиной гибели форели в садках. Выявлены зоны повышенных значений мутности воды в северном глубоководном плесе озера. В сезонном аспекте прослеживается заглубление слоя повышенных значений мутности по мере заглубления сезонного термоклина. Повышенные значения мутности в придонных слоях глубоководной северной котловины свидетельствуют о накоплении осаждающегося взвешенного вещества, что может представлять опасность для озера с замедленным водообменом. Наиболее вероятной причиной повышения мутности воды в озере является деятельность форелевого хозяйства и туристических комплексов.

Ключевые слова: глубокое озеро; температура воды; мутность; термоклин; сезонные изменения; форелевое хозяйство

Для цитирования: Здоровеннов Р. Э., Здоровеннова Г. Э. Сезонная и пространственная изменчивость температуры и мутности воды в глубоком димиктическом озере // Труды Карельского научного центра РАН. 2026. № 9. С. 18–28. doi: 10.17076/lim2338

Финансирование. Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, FMEN 2026-0011).

R. E. Zdorovenov, G. E. Zdorovenova*. SEASONAL AND SPATIAL VARIABILITY OF TEMPERATURE AND TURBIDITY IN A DEEP DYMICTIC LAKE

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

The results of an analysis of seasonal and spatial variability in water temperature and turbidity, and the concentration of chlorophyll-a in the deep Lake Munozero (Lake Onego catchment) are presented. Analysis of longitudinal sounding data using a CTD-90m multiparameter probe allowed us to analyze the thermal regime of the deep-water northern (depths greater than 35 m) and southern (depths less than 20 m) parts of the lake. Stratification in the deep-water northern part lasts longer, resulting in lower oxygen content in the hypolimnion in autumn. A difference in bottom water temperatures was observed between the northern (less than 5 °C) and southern (up to 9.7 °C) parts of the lake, which may impact the benthic community. Water temperature spikes in the lake's upper layer to extreme 26–27 °C during hot summer weather pose a threat to the lake's ecosystem, as they can boost the growth of phytoplankton, including toxic cyanobacteria, and can also cause the death of trout in cages. Zones of high water turbidity have been identified in the deep-water northern part of the lake. Seasonally, the layer of high turbidity has been observed to move deeper with the deepening of the seasonal thermocline. High turbidity in the bottom layers of the deep northern basin indicates the accumulation of precipitating suspended matter, which may pose a risk in a lake with a slow flushing rate. The most likely cause of the increased water turbidity in the lake is the activities of the trout farm and tourist facilities.

Keywords: deep lake; water temperature; turbidity; thermocline; seasonal changes; trout farm

For citation: Zdorovenov R. E., Zdorovenova G. E. Seasonal and spatial variability of temperature and turbidity in a deep dymictic lake. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2026. No. 9. P. 18–28. doi: 10.17076/lim2338

Funding. The study was funded from the Russian federal budget through state assignment to KarRC RAS (FMEN 2026-0011).

Памяти А. В. Сабылиной

Введение

Озеро Мунозеро – одно из лучших в Карелии по питьевым качествам воды. Вода этого озера характеризуется высокой минерализацией (100 мг/л) и низким содержанием органического вещества (2–4 мг/л) [Сабылина, Икко, 2019], в то время как вода большинства карельских озер имеет существенно меньшую минерализацию (20–60 мг/л) и большее содержание органического вещества (10–100 мг/л) [Озера..., 2013]. Северная часть оз. Мунозеро входит в состав территории заповедника «Кивач».

К сожалению, антропогенное воздействие на этот уникальный водоем с каждым годом возрастает. В северном глубоководном плесе озера с 2022 г. функционирует форелевое хозяйство ООО «Риф» (объем производства товарной форели – 100 т в год [Ассоциация...]),

являющееся источником биогенных и органических веществ [Макарова и др., 2025]. Озеро используется в качестве источника коммунально-бытового водоснабжения ряда сельских поселений (Спасская Губа, Тереки, Мунозеро и др.), сброс хозяйственно-бытовых сточных вод производится без очистки прямо в озеро. Сброс сточных вод пос. Марциальные Воды, санаториев «Марциальные воды» и «Дворцы» производится в небольшое озеро, сообщаемое с южным плесом оз. Мунозеро. Вследствие этого за последние три десятилетия в химическом составе воды оз. Мунозеро произошли изменения: увеличилось содержание хлоридных ионов, ионов натрия и общего фосфора, возросло биохимическое потребление кислорода [Сабылина, Икко, 2019; Сабылина и др., 2020]. Выявлено влияние выбросов ЦБК, расположенного в 20 км от озера в г. Кондопоге, на химический состав снега на льду озера (высокие концентрации сульфат-ионов – 1,3–1,7 мг/л) [Сабылина и др., 2020].

Озеро используется в целях рекреации, туризма, любительского рыболовства. При использовании лодок с бензиновыми двигателями, снегоходов происходит загрязнение воды и снежно-ледяного покрова озера горюче-смазочными веществами. В 1968, 1983, 2002 и 2018 гг. содержание нефтепродуктов в воде озера изменялось в пределах 0,02–0,10 мг/л при уровне ПДК для питьевых вод и рыбохозяйственных водоемов 0,3 и 0,05 мг/л соответственно [Сабылина, Икко, 2019]. Существенно более высокие концентрации нефтепродуктов, превышающие ПДК для рыбохозяйственных водоемов в три раза, обнаружены как в северном (0,16 мг/л), так и в южном (0,13–0,15 мг/л) плесах озера в июле 2025 г. [Макарова и др., 2025]. Все эти изменения свидетельствуют об усиливающемся загрязнении водоема.

Выявленные изменения представляют опасность для чувствительной экосистемы этого уникального северного озера и в будущем могут привести к деградации его экосистемы. Происходящие изменения регионального климата южной Карелии [Назарова и др., 2022; Здоровеннова и др., 2025] усиливают негативное антропогенное воздействие на озеро. Все это актуализирует необходимость проведения регулярной оценки состояния оз. Мунозеро для предотвращения деградации его экосистемы.

Исследования оз. Мунозеро проводятся в рамках темы НИР «Функционирование экосистемы Онежского озера и озерно-речных систем его водосборной территории в условиях климатических изменений и антропогенного воздействия» (FMEN 2026-0011). Основное внимание исследователей в предыдущие годы было направлено на изучение химического режима озера [Озера..., 2013; Сабылина, Икко, 2019; Сабылина и др., 2020], планктонного, бентосного и рыбного сообществ [Макарова, 2019, 2020; Фомина и др., 2022; Сидорова, Георгиев, 2024], в то время как особенности сезонных и пространственных изменений таких показателей, как температура и мутность воды, концентрация хлорофилла *a*, оставались недостаточно изученными. В летние и осенние сезоны 2023–2025 гг. были проведены пространственные измерения этих показателей в озере на станциях продольного разреза (рис. 1). Цель данной работы – выявить закономерности пространственной и временной изменчивости температуры и мутности воды озера Мунозеро, концентрации хлорофилла *a* по данным полевых измерений 2023–2025 гг.

Объект исследования и методы

Оз. Мунозеро (61°14' с. ш. 33°51' в. д.) находится на водосборе р. Шуя (приток Онежского озера) и принадлежит к бассейну Балтийского моря (рис. 1). Площадь водосбора озера – 25,6 км², площадь зеркала – 13,2 км², средняя и максимальная глубины – 14,5 и 50,0 м, объем водной массы – 190 млн м³. В озеро впадает 7 ручьев, вытекает р. Мунозерка; объем речного стока в озеро (7,91 млн м³) соизмерим с объемом атмосферных осадков на зеркало (7,39 млн м³) [Озера..., 2013]. Ледостав продолжается с конца ноября до начала мая. Период водообмена озера около 15 лет. Режим перемешивания озера димиктический с двумя периодами перемешивания водной толщи – весной после схода льда и осенью. Оз. Мунозеро – ультраолиготрофное гидрокарбонатного класса группы Са, олиготрофное [Озера..., 2013]. Цветность вод низкая (20–30 град.), прозрачность достигает 4–5 м. По микробиологическим показателям северо-западный плес водоема характеризуется как переходный от олиготрофного к мезотрофному [Макарова, 2019], южный – как мезотрофный [Макарова, 2020]. По показателям планктона пелагическая система характеризуется как олигомезотрофная [Фомина и др., 2022]. Биомасса макрозообентоса составляет в литоральной зоне 3,6 г/м², в глубоководной части – 2,73 г/м², что позволяет отнести озеро к малокормным водоемам [Сидорова, Георгиев, 2024].

Зондирования водной толщи озера проведены в июне и октябре 2023 г., мае и августе 2024 г., июле и октябре 2025 г. на станциях продольного разреза (рис. 1) мультипараметрическим зондом CTD-90m. Измеряемые параметры – температура и мутность воды. По данным зондирований построены пространственные распределения измеряемых параметров в программе Surfer 15.6.3.

Результаты и обсуждение

Проведенные измерения выявили особенности сезонного изменения температуры воды в северном глубоководном (глубины более 35 м) и южном мелководном (глубины менее 20 м) плесах озера (табл.). В летний период верхний 3–5-метровый слой оз. Мунозеро хорошо прогревается. В июле 2023 г., мае и августе 2024 г. температура воды верхнего слоя озера как северного, так и южного плесов изменялась в пределах 15–20 °С, что довольно типично для северных озер [Озера..., 2013].

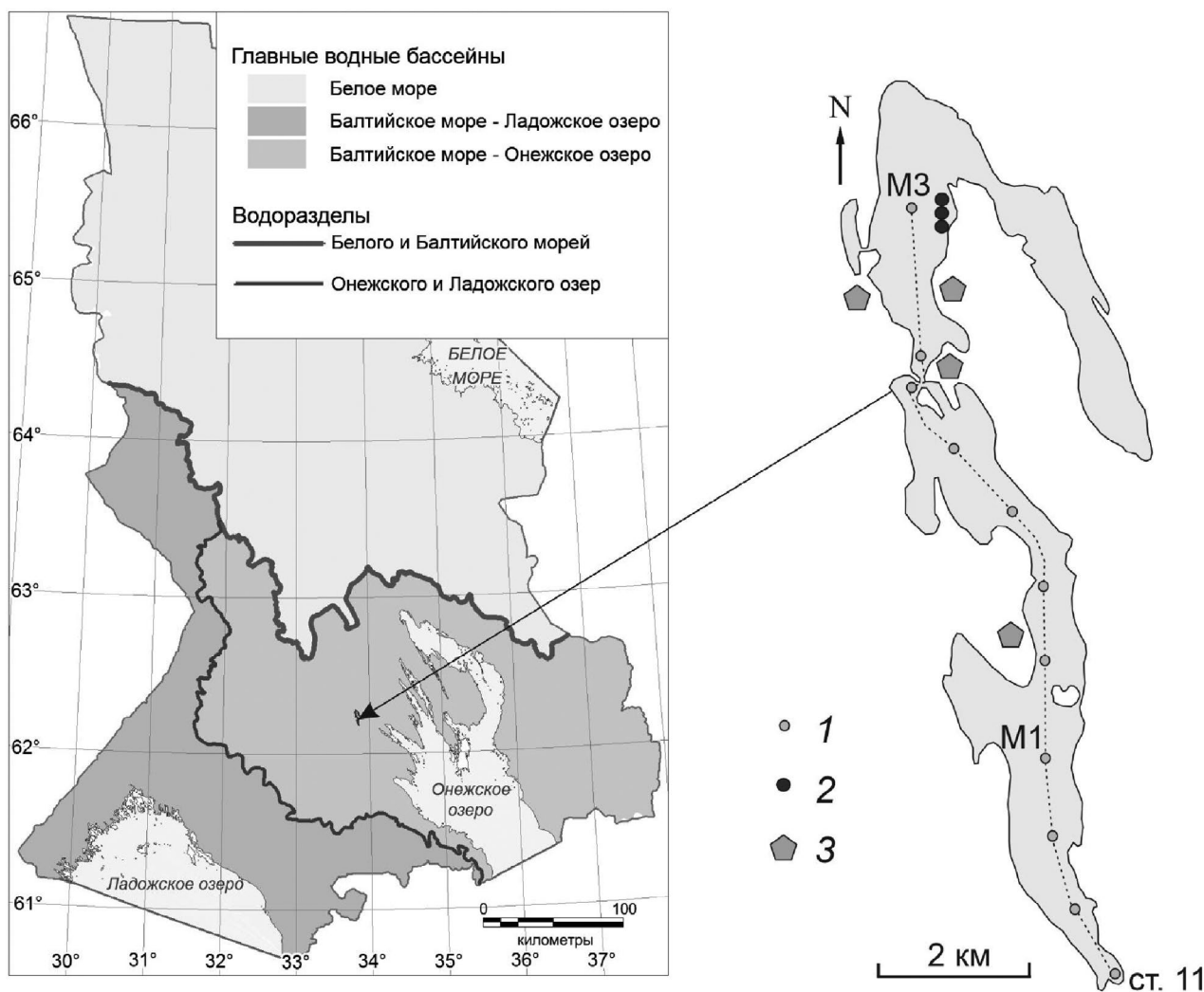


Рис. 1. Положение озера Мунозеро на карте Карелии: 1 – станции зондирования, 2 – форелевые садки, 3 – туристические комплексы. Пунктирная линия – продольный разрез

Fig. 1. Location of Lake Munozero on the map of Karelia: 1 – sounding stations, 2 – trout cages, 3 – tourist complexes. The dotted line is the longitudinal section

Аномальный прогрев верхнего слоя озера произошел в конце июля 2025 г.; тогда было зафиксировано повышение температуры воды до 26,5 °C в южном плесе озера (рис. 2, а) и до 27,2 °C в северном (рис. 2, б). Экстремальное повышение температуры воды в северных озерах в летний период может быть причиной массового развития фитопланктона («цветение» воды), включая токсичные виды цианобактерий [Смирнова и др., 2021], температурный оптимум которых часто лежит в диапазоне 20–25 °C [Paerl, Huisman, 2008]. В частности, в другом карельском озере Крошное, в котором также действует форелевое хозяйство, в конце июля 2025 г. зафиксированы температура верхнего слоя воды 26–27,4 °C и концентрация Chl-а 80–100 мкг/л [Макарова и др., 2025]. Кроме того, столь высокая

температура воды может спровоцировать гибель форели в садках, что и произошло в некоторых форелевых хозяйствах Карелии в июле 2025 г. [Республика..., 2026].

Температура воды придонного слоя в южном плесе в периоды измерений составляла 6,5–9,7 °C (рис. 2, а) и была выше, чем в северном, где не превышала 5,0 °C (рис. 2, б). Довольно выраженные температурные отличия двух районов озера могут оказывать влияние на бентосное сообщество.

Во все периоды наших измерений (май–октябрь) водная толща северного глубоководного плеса находилась в состоянии термической стратификации (рис. 2, б; 3, а, б; 4, а). В этом районе озера градиент температуры в слое скачка температуры достигал 3,6–5 °C/м на этапе весенне-летнего нагревания (табл.).

Особенности сезонного изменения температуры воды в северном и южном плесах оз. Мунозеро по результатам измерений в 2023–2025 гг.

Features of seasonal changes in water temperature in the northern and southern reaches of Lake Munozero based on measurements in 2023–2025

	$T_{\text{в}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{п}}, ^\circ\text{C}$	$H_{\text{т}}$ м / m	dT/dz , $^\circ\text{C}/\text{м} / ^\circ\text{C}/\text{m}$
	7 июля 2023 г. / July 7, 2023			
Северный плес Northern reach	18,90	4,33	4,9–9,6	4,56
Южный плес Southern reach	19,06	7,84	4,5–9,1	5,15
	10 октября 2023 г. / October 10, 2023			
Северный плес Northern reach	10,07	4,49	12,2–14,4	3,43
Южный плес Southern reach	9,89	9,70	гомотермия homothermy	гомотермия homothermy
	30 мая 2024 г. / May 30, 2024			
Северный плес Northern reach	15,42	4,49	1,6–6,7	3,67
Южный плес Southern reach	16,59	6,46	1,2–6,7	4,1
	8 августа 2024 г. / August 8, 2024			
Северный плес Northern reach	19,80	4,61	4,8–9,1	5,04
Южный плес Southern reach	20,42	7,38	5,5–8,0	13,71
	31 июля 2025 г. / July 31, 2025			
Северный плес Northern reach	26,75	4,95	2,0–10,0	4,98
Южный плес Southern reach	26,49	9,02	1,6–10,3	5,98
	29 октября 2025 г. / October 29, 2025			
Северный плес Northern reach	7,75	5,00	18,0–18,5	1,55
Южный плес Southern reach	7,34	7,31	гомотермия homothermy	гомотермия homothermy

Примечание. $T_{\text{в}}$ – температура верхнего метрового слоя воды; $T_{\text{п}}$ – температура придонного метрового слоя воды; $H_{\text{т}}$ – глубины слоя скачка температуры (градиент более $1\text{ }^\circ\text{C}/\text{м}$); dT/dz – максимальный градиент температуры воды в слое скачка.

Note. $T_{\text{в}}$ – temperature of the upper one-meter water layer; $T_{\text{п}}$ – temperature of the near-bottom one-meter water layer; $H_{\text{т}}$ – depth of the thermocline (gradient $> 1\text{ }^\circ\text{C}/\text{m}$); dT/dz – maximum water temperature gradient within the thermocline.

Поскольку и в мае, и в октябре водная толща северного глубоководного плеса была стратифицирована, можно сделать вывод, что период стратификации в этом районе озера продолжается около пяти месяцев.

Водная толща южного плеса в октябре 2023 и 2025 гг. была перемешана, в остальные периоды измерений – стратифицирована (рис. 2, а; 3, а, б; 4, а). Градиент температуры в слое скачка в южном плесе был несколько больше, чем в северном, и достигал $4\text{--}6\text{ }^\circ\text{C}/\text{м}$ (табл.); максимальные значения градиента температуры более $13\text{ }^\circ\text{C}/\text{м}$ обнаружены в слое $5,5\text{--}5,9\text{ м}$ в августе 2024 г.

Мелководный южный плес озера весной позже переходит в состояние стратификации, об этом, в частности, свидетельствует более высокая температура придонной воды в этом районе озера ($6,46\text{ }^\circ\text{C}$) в мае 2024 г. по сравнению с северным глубоководным районом ($4,49\text{ }^\circ\text{C}$). Осенью водная толща южного плеса полностью перемешивается раньше северного: в октябре 2023 и 2025 гг. она была уже перемешана, в то время как в северном стратификация сохранялась (рис. 2, а, б; 4, а). Можно заключить, что стратификация в южном плесе озера продолжается меньше, чем в северном, как за счет более позднего

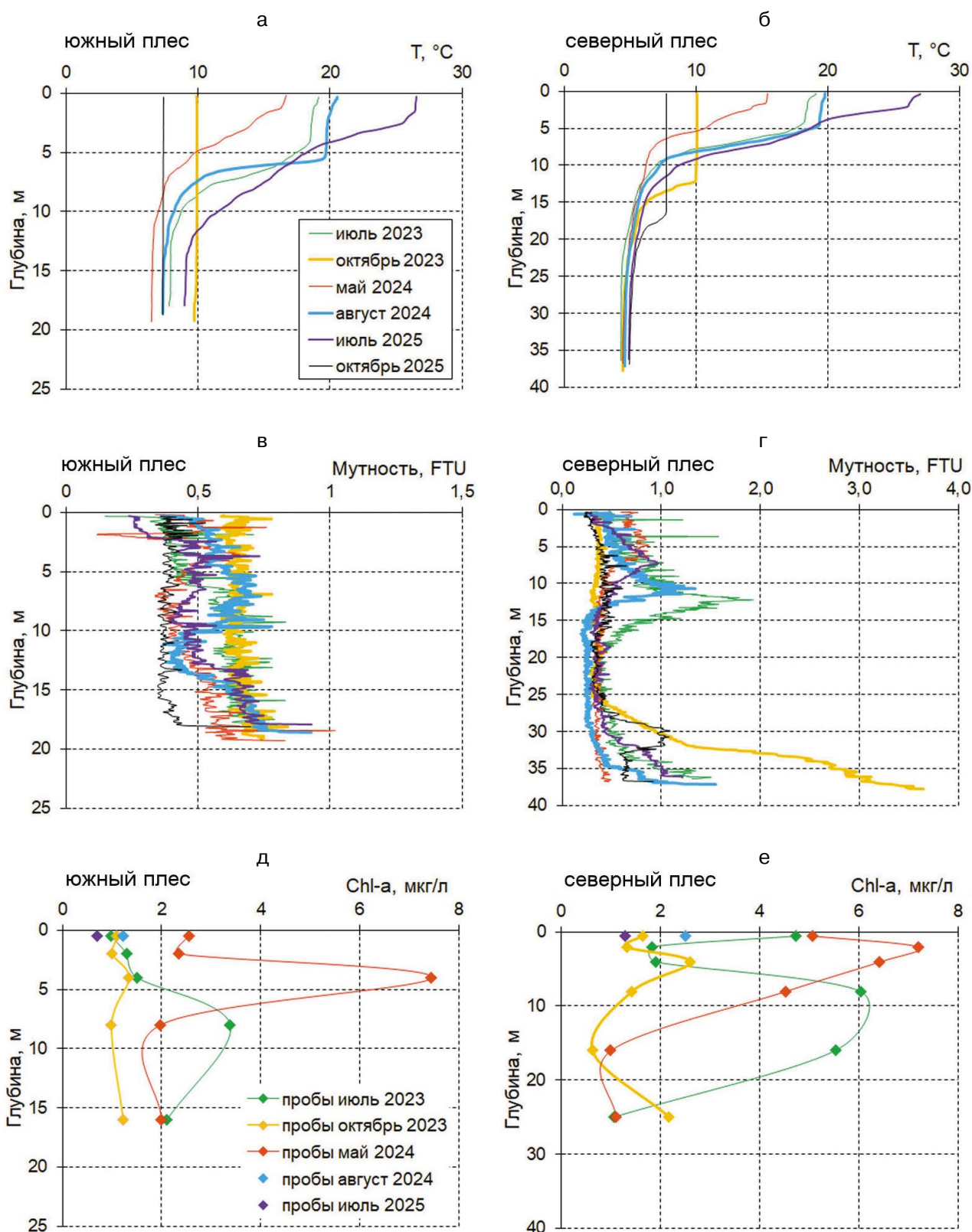


Рис. 2. Вертикальные профили температуры (а, б), мутности (в, г) воды и концентрации хлорофилла а (д, е) в южном плесе оз. Мунозеро на ст. М1 (левые панели) и в северном плесе на ст. М3 (правые панели) в разные годы. Концентрация хлорофилла а дана по: [Макарова и др., 2025].

Fig. 2. Vertical profiles of water temperature (a, б) and turbidity (в, г), and chlorophyll-a concentration (д, е) in the southern reach of Lake Munozero at st. M1 (left panels) and in the northern reach at st. M3 (right panels) in different years. The concentration of chlorophyll-a is given according to [Makarova et al., 2025].

установления, так и за счет более раннего ее разрушения.

Несколько отличающийся режим перемешивания северного и южного плесов озера оказывает влияние на кислородные условия придонных слоев воды. Более длительное существование стратификации в северном плесе определяет менее благоприятные для гидробионтов кислородные условия гипolimниона этого района озера. В частности, согласно [Макарова и др., 2025], в октябре 2023 г. в глубоководном северном плесе, где еще сохранялась

стратификация, концентрация кислорода в придонном слое составляла 2,65 мг/л (20 % насыщения), в то время как в южном плесе придонные слои уже были хорошо насыщены кислородом на фоне активного перемешивания водной толщи (9,6 мг/л при 83 % насыщения). Учитывая результаты многолетних исследований озер умеренной зоны, выявивших связь между увеличением продолжительности стратификации и ухудшением кислородных условий в озерах на фоне потепления климата [Jansen et al., 2024], а также тенденции

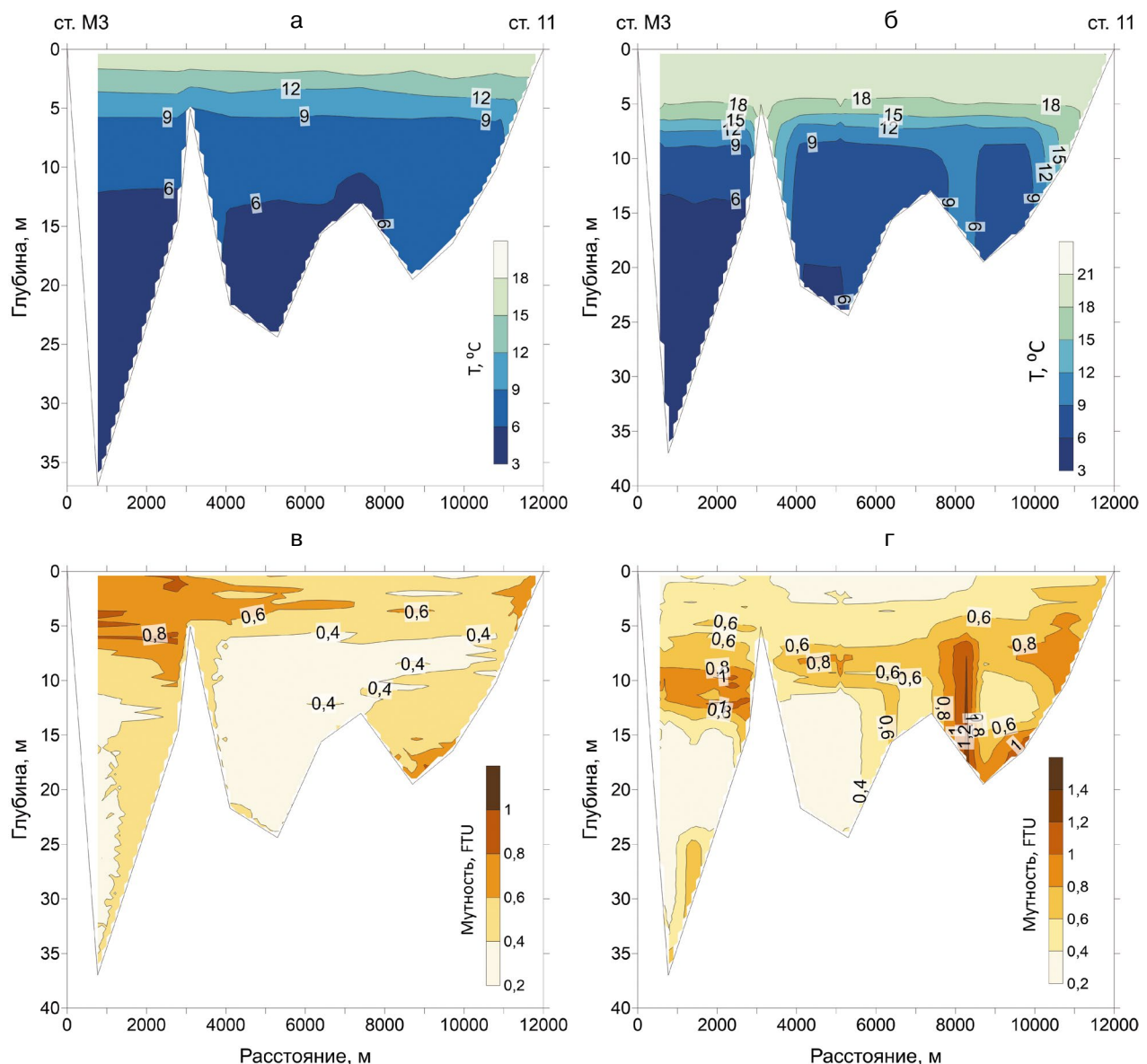


Рис. 3. Распределение температуры воды (а, б) и мутности (в, г) на разрезе от ст. М3 до ст. М11 в мае (левые панели) и августе (правые панели) 2024 г.

Fig. 3. Distribution of water temperature (а, б) and turbidity (в, г) along the section from st. M3 to st. M11 in May (left panels) and August (right panels) 2024

изменений регионального климата Карелии (потепление во все месяцы года [Здоровеннова и др., 2025]), в будущем можно ожидать увеличения периода стратификации и ухудшения кислородных условий в оз. Мунозеро.

Наибольшая опасность при этом угрожает северному глубоководному району озера, испытывающему всевозрастающее антропогенное воздействие (форелевое хозяйство, туристические комплексы).

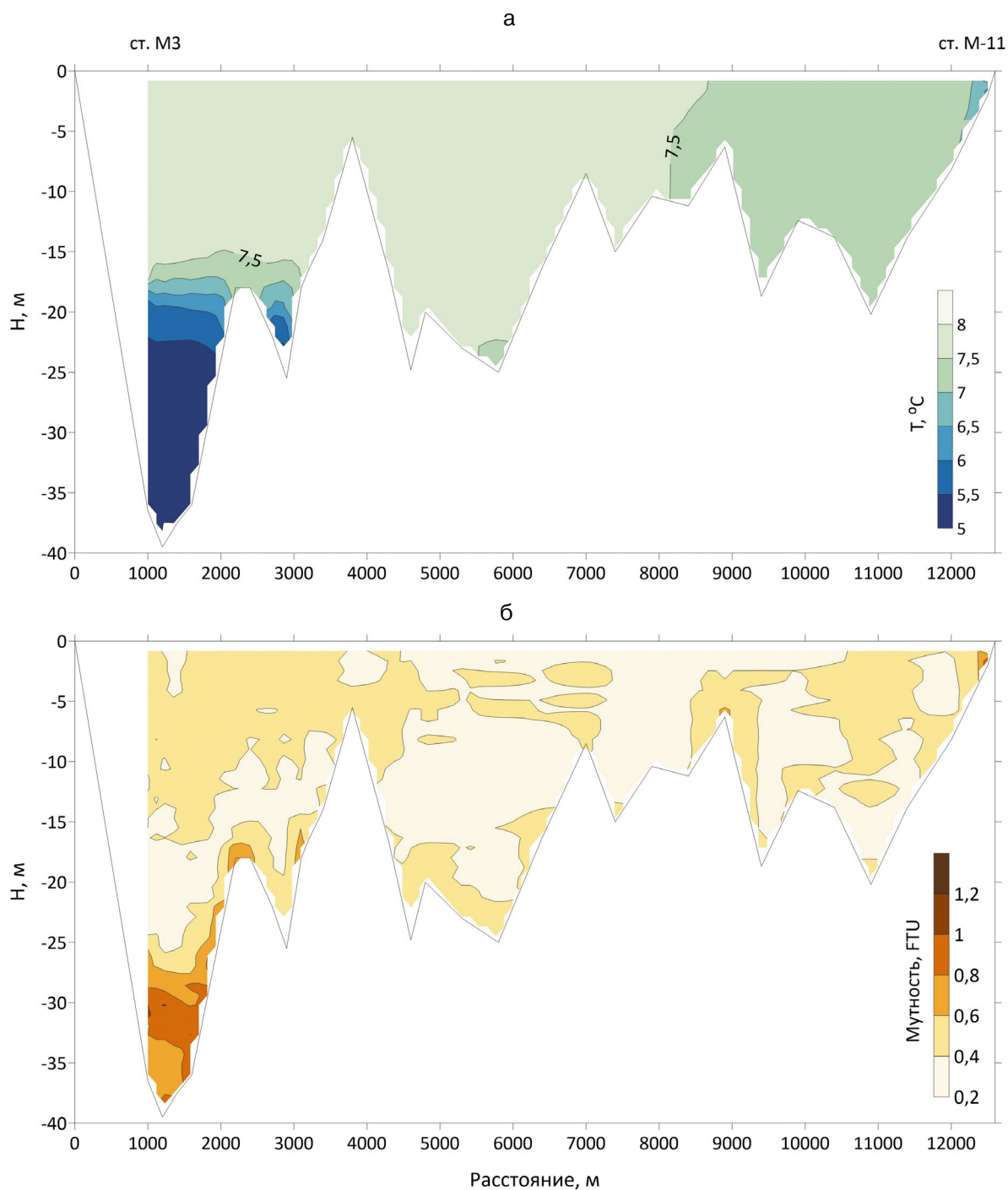


Рис. 4. Распределение температуры воды (а) и мутности (б) на разрезе от ст. М3 до ст. М11 в октябре 2025 г.

Fig. 4. Distribution of water temperature (а) and turbidity (б) along the section from st. M3 to st. M11 in October 2025

Мутность – важный органолептический показатель качества, указывающий на наличие взвеси и загрязнений в воде. Повышенные значения мутности можно рассматривать как показатель, отражающий поступление взвешенного вещества со сточными водами сельских поселений и туристических комплексов, а также в результате деятельности форелевого хозяйства.

Мутность воды в южном плесе озера во все периоды измерений изменялась в пределах 0,4–0,7 FTU (рис. 2, в; 3, в, г; 4, б) и однородно распределялась по водному столбу. В северном плесе (рис. 2, г), где действует форелевое хозяйство и располагается несколько туристических комплексов, мутность воды в целом была выше (до 1–2 FTU), чем в южном. Локальные максимумы мутности (рис. 2, г) в летние месяцы в ряде случаев совпадали по глубине с максимумами Chl-a (рис. 2, е), что отражает влияние скоплений клеток водорослей на показания мутности воды, определяемые мультипараметрическим зондом CTD-90m. Такой же эффект обнаружен в оз. Вендюрское [Белкина и др., 2025]. В сезонном аспекте прослеживается заглубление слоя повышенных значений мутности по мере заглубления сезонного термоклина. В северном плесе в июле 2023 г. на глубинах 10–15 м выявлены максимальные значения мутности (до 2 FTU), а в октябре 2023 г. обнаружены высокие значения мутности (до 3,7 FTU) в слое глубже 25 м (рис. 2, г). Можно предположить, что высокие значения мутности в придонных слоях озера осенью 2023 г. связаны с оседанием взвешенного вещества, которое наблюдалось в водной толще летом. Предположительно, повышение концентрации взвешенного вещества в водной толще летом и в придонных слоях осенью в этом районе озера связано с деятельностью форелевого хозяйства и туристических комплексов. В небольшом оз. Вендюрское, где также действует форелевое хозяйство, в осенний период тоже обнаружено повышение мутности воды придонных слоев глубоководной котловины вследствие осаждения и накопления взвешенного вещества [Белкина и др., 2025].

Концентрация Chl-a в воде является ключевым биоиндикатором, который можно использовать для характеристики интенсивности развития водорослей. Высокие значения этого показателя указывают на активное цветение воды, избыток питательных веществ (азота/фосфора) и ухудшение качества воды. Концентрация Chl-a, как и мутность воды, в целом была несколько выше в северном плесе, чем в южном, во все периоды измерений (рис. 2, д, е).

Концентрация Chl-a достигала 3,4–7,5 мкг/л в фотической зоне, уменьшаясь до 0,4–2,2 мкг/л в слое глубже 10 м (рис. 2, д, е). В июле 2023 и мае 2024 г. измерения, по всей видимости, были проведены в период активного весеннего развития фитопланктона, чем и объясняются существенно более высокие значения концентраций Chl-a (более 6,4–7,4 мкг/л) (рис. 2, д, е) в этот период по сравнению с другими периодами измерений.

Выводы

Анализ данных вертикальных зондирований водной толщи оз. Мунозеро в весенние, летние и осенние месяцы 2023–2025 гг. позволил установить особенности термической структуры озера в разные сезоны, а также выявить особенности распределения мутности и концентраций Chl-a в разных районах озера. Результаты полевых исследований 2023–2025 гг. существенно дополняют и расширяют полученные ранее сведения о термическом режиме озера и особенностях пространственного распределения взвешенного вещества и концентрации хлорофилла а в озере [Озера..., 2013; Сабылина, Икко, 2019; Сабылина и др., 2020].

Установлено, что период стратификации водной толщи в северном глубоководном плесе озера (глубины более 35 м) продолжается с мая до октября, в южном плесе (глубины менее 20 м) стратификация длится меньше, как за счет более позднего начала, так и за счет более раннего окончания. Для точного определения продолжительности периода стратификации в разных районах озера недостаточно данных эпизодических измерений. В этом случае требуется установка в озеро автономных станций для длительных измерений температуры воды.

Более продолжительная стратификация северного плеса является причиной худших кислородных условий в этом районе озера, где придонная гипоксия сохраняется до октября. При сохранении существующих тенденций потепления регионального климата Карелии (потепление во все сезоны года) опасность увеличения продолжительности стратификации и ухудшения кислородных условий угрожает северному глубоководному плесу озера, испытывающему выраженное антропогенное воздействие (форелевое хозяйство и несколько туристических комплексов).

Температура придонного слоя воды южного плеса летом достигает 6,5–9,7 °С, что заметно выше, чем в северном плесе, где она не превышает 5 °С. Отличающийся температурный диапазон и кислородные условия формируют

выраженные отличия в условиях среды обитания, что может оказывать влияние на функционирование и жизненные циклы бентосного сообщества разных районов озера.

Экстремальное повышение температуры воды верхнего слоя озера до 25–27 °С в периоды жаркой погоды летом представляет опасность для экосистемы озера, так как может способствовать массовому развитию фитопланктона, включая токсичных цианобактерий, а также являться причиной гибели форели в садках. В последние годы в летние месяцы в карельских озерах все чаще повторяются продолжительные периоды жаркой погоды, когда температура воды повышается до 25–27 °С и более, что делает разведение форели в садках потенциально опасным видом хозяйственной деятельности для водных экосистем озер Республики Карелия.

Сезонные и пространственные изменения мутности воды оз. Мунозеро свидетельствуют о существенно возросшем антропогенном воздействии на северный плес озера, где наблюдаются повышенные значения мутности в водной толще летом и аккумуляция взвешенного вещества в придонных слоях осенью, что представляет опасность для озера с замедленным водообменом. Предположительно, мутность в северном плесе повышается в результате деятельности форелевого хозяйства и нескольких туристических комплексов на берегах озера. Повышенные значения концентрации хлорофилла *a* в водах оз. Мунозеро также свидетельствуют о выраженном негативном влиянии форелевого хозяйства и туристических комплексов, поставляющих в воду биогенные элементы.

Учитывая уникальный состав и чистоту воды озера Мунозеро, которые необходимо сохранить, очевидно, пора поднимать вопрос о снижении хозяйственного воздействия на этот водоем.

Литература

- Ассоциация форелеводств Карелии [Электронный ресурс]. URL: <http://kareliatrout.ru/karta-rybnyh-hoz-jajstv/> (дата обращения: 28.05.2026).
- Белкина Н. А., Здорovenнова Г. Э., Ефремова Т. В., Выборова (Кулик) Н. В., Потахин М. С., Богданова М. С., Гатальская Е. В., Здорovenнов Р. Э., Рябинкин А. В., Кухарев В. И., Мясникова Н. А., Субетто Д. А. Накопление осадочного вещества на современном этапе развития лимногенеза территории юго-восточной части Фенноскандинавского кристаллического щита на примере озера Вендюрского // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2025. № 70(1). С. 30–51. doi: 10.21638/spbu07.2025.102
- Здорovenнова Г. Э., Здорovenнов Р. Э., Новикова Ю. С., Ефремова Т. В. Термический и ледовый режим Петрозаводской губы Онежского озера в 2023–2024 годах по данным измерений на автономной станции // Труды Карельского научного центра РАН. 2025. № 6. С. 27–38. doi: 10.17076/lim2114
- Макарова Е. М. Бактериопланктон северо-западного плеса озера Мунозеро (Республика Карелия) // Водные биоресурсы и среда обитания. 2019. № 2. С. 57–65. doi: 10.47921/2619-1024_2019_2_2_57
- Макарова Е. М. Структурно-функциональные особенности бактериопланктона южного плеса оз. Мунозеро (Карелия) // Вестник НВГУ. 2020. № 2. С. 19–25. doi: 10.36906/2311-4444/20-2/03
- Макарова Е. М., Здорovenнова Г. Э., Икко О. И., Здорovenнов Р. Э., Митрохов А. В., Сярки М. Т., Сабылина А. В., Новикова Ю. С., Сидорова А. И., Калинин Н. М., Сластина Ю. Л., Пальшин Н. И. Состояние и условия обитания планктонного сообщества малых озер Карелии. База данных RU 2025624656. Дата регистрации: 20.10.2025. Дата публикации: 23.10.2025
- Назарова Л. Е., Исакова К. В., Калинин Н. М., Балаганский А. Ф. Влияние потепления климата на зимний сток реки Шуя и последствия для зообентоса Онежского озера // Известия Русского географического общества. 2022. Т. 154, № 1. С. 28–36. doi: 10.31857/S0869607122010086
- Озера Карелии. Справочник / Под ред. Н. Н. Филатова, В. И. Кухарева. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2013. 464 с.
- «Республика» – информационно-аналитический портал Карелии [Электронный ресурс]. URL: <https://rk.karelia.ru/accident/forel-nachala-gibnut-iz-za-zharyv-neskolkih-hozyajstvah-karelii/> (дата обращения: 18.03.2026).
- Сабылина А. В., Икко О. И. Изменение химического состава воды озера Мунозеро (Карелия) за последние 60 лет // Труды Карельского научного центра РАН. 2019. № 9. С. 76–90. doi: 10.17076/lim1046
- Сабылина А. В., Ефремова Т. А., Икко О. И. Химический состав гидрокриогенной системы озер Мунозеро и Урозера (Республика Карелия, Россия) // Лед и Снег. 2020. Т. 60, № 4. С. 592–600. doi: 10.31857/S2076673420040063
- Сидорова А. И., Георгиев А. П. Макрозообентос оз. Мунозера на современном этапе // Трансформация экосистем. 2024. № 7(4). С. 174–186. doi: 10.23859/estr-230124
- Смирнова В. С., Теканова Е. В., Калинин Н. М., Чернова Е. Н. Состояние фитопланктона и цианотоксины в пятне «цветения» в озере Святозеро (бассейн Онежского озера, Россия) // Вода и экология: проблемы и решения. 2021. № 1(85). С. 50–60. doi: 10.23968/2305-3488.2021.26.1.50-60
- Фомина Ю. Ю., Сярки М. Т., Сластина Ю. Л. Оценка экологического состояния озера Мунозеро (бассейн Онежского озера) по показателям планктона // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. 2022. Т. 127(2). С. 37–50.

Jansen J., Simpson G. L., Weyhenmeyer G. A., Härkönen L. H., Paterson A. M., del Giorgio P. A., Prairie Y. T. Climate-driven deoxygenation of northern lakes // *Nat. Clim. Change*. 2024. Vol. 14(8). P. 832–838. doi: 10.1038/s41558-024-02058-3

Paerl H. W., Huisman J. Blooms like it hot // *Science*. 2008. Vol. 320. P. 57–58. doi: 10.1126/science.1155398

References

Association of Trout Breeders of Karelia. (In Russ.). Website. URL: <http://kareliatrout.ru/karta-rybnyh-hozjajstv/> (accessed: 28.05.2026).

Belkina N. A., Zdorovenнова G. E., Efremenko N. A., Vyborova (Kulik) N. V., Potakhin M. S., Bogdanova M. S., Gatal'skaya E. V., Zdorovennov R. E., Ryabinkina A. V., Kukharev V. I., Myasnikova N. A., Subetto D. A. Accumulation of sedimentary matter at the present stage of lymnogenesis development in the territory of the southeastern part of the Fennoscandian crystal shield using the example of Lake Vendyurskoye. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Nauki o Zemle = Vestnik of St. Petersburg University. Earth Sciences*. 2025;70(1):30–51. (In Russ.). doi: 10.21638/spbu07.2025.102

Fomina Yu. Yu., Syarki M. T., Slastina Yu. L. Assessment of the ecological state of Lake Munozero (Lake Onega basin) based on plankton indicators. *Byulleten' MOIP. Otd. biol. = Bulletin of the Moscow Society of Naturalists. Biol. Department*. 2022;127(2):37–50. (In Russ.)

Jansen J., Simpson G. L., Weyhenmeyer G. A., Härkönen L. H., Paterson A. M., del Giorgio P. A., Prairie Y. T. Climate-driven deoxygenation of northern lakes. *Nat. Clim. Change*. 2024;14(8):832–838. doi: 10.1038/s41558-024-02058-3

Filatov N. N., Kukharev V. I. (eds.). Lakes of Karelia: a reference book. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2013. 464 p. (In Russ.)

Makarova E. M. Bacterioplankton of the north-western reach of Lake Munozero (Republic of Karelia). *Vodnye bioresursy i sreda obitaniya = Aquatic Biore-sources and Habitat*. 2019;2:57–65. (In Russ.). doi: 10.47921/2619-1024_2019_2_2_57

Makarova E. M. Structural and functional indicators of bacterioplankton of the south stretch of Lake Munozero (Karelia). *Vestnik NVGU = Bulletin of NSU*. 2020;2: 19–25. (In Russ.). doi: 10.36906/2311-4444/20-2/03

Makarova E. M., Zdorovenнова G. E., Ikko O. I., Zdorovennov R. E., Mitrokhov A. V., Syarki M. T., Sabylina A. V., Novikova Yu. S., Sidorova A. I., Kalinkina N. M., Slastina Yu. L., Pal'shin N. I. The state and habitat conditions of the plankton community of small lakes in Karelia. Database RU 2025624656. Registration date: 20.10.2025. Publication date: 23.10.2025. (In Russ.)

Nazarova L. E., Isakova K. V., Kalinkina N. M., Bala-gansky A. F. The climate warming influence on the Shuya River winter runoff and the consequences for the zoobenthos of Lake Onego. *Izvestiya RGO = Proceedings of the Russian Geographical Society*. 2022;154(1):28–36. (In Russ.). doi: 10.31857/S0869607122010086

Paerl H. W., Huisman J. Blooms like it hot. *Science*. 2008;320:57–58. doi: 10.1126/science.1155398

'Respublika' – an information and analytical portal of Karelia. (In Russ.). Website. URL: <https://rk.karelia.ru/accident/forel-nachala-gibnut-iz-za-zhary-v-neskolkih-hozyajstvah-karelii/> (accessed: 18.03.2026).

Sabylina A. V., Ikko O. I. Changes in the chemical composition of Lake Munozero (Karelia) water over the past 60 years. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2019;9:76–90. (In Russ.). doi: 10.17076/lim1046

Sabylina A. V., Efremova T. A., Ikko O. I. Chemical composition of the hydro-cryogenic system of Lakes Munozero and Urozero (Republic of Karelia, Russia). *Led i Sneg = Ice and Snow*. 2020;60(4):592–600. (In Russ.). doi: 10.31857/S2076673420040063

Sidorova A. I., Georgiev A. P. Current state of macrozoobenthos in Lake Munozero. *Transformatsiya ehko-sistem = Ecosystem Transformation*. 2024;7(4):174–186. (In Russ.). doi: 10.23859/estr-230124

Smirnova V. S., Tekanova E. V., Kalinkina N. M., Chernova E. N. Phytoplankton state and cyanotoxins in the Lake Svyatozero bloom spot (Lake Onega basin, Russia). *Voda i ehkologiya: problemy i resheniya = Water and Ecology: Problems and Solutions*. 2021;1(85):50–60. (In Russ.). doi: 10.23968/2305-3488.2021.26.1.50-60

Zdorovenнова G. E., Zdorovennov R. E., Novikova Yu. S., Efremova T. V. Thermal and ice regimes in Petrozavodsk Bay of Lake Onego in 2023–2024 based on data of measurements at an autonomous station. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2025;6: 27–38. (In Russ.). doi: 10.17076/lim2114

Поступила в редакцию / received: 19.03.2026; принята к публикации / accepted: 05.06.2026.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Здорovenнов Роман Эдуардович

канд. геогр. наук, старший научный сотрудник

e-mail: romga74@gmail.com

Здорovenнова Галина Эдуардовна

канд. геогр. наук, ведущий научный сотрудник

e-mail: zdorovennova@gmail.com

CONTRIBUTORS:

Zdorovennov, Roman

Cand. Sci. (Geog.), Senior Researcher

Zdorovennova, Galina

Cand. Sci. (Geog.), Leading Researcher