

Monitoring of hydrochemical parameters of Lake Pit'evoe on Bolshoy Solovetsky Island



Titova K.V.*, Sloboda A.A., Zhibareva T.A., Kokryatskaya N.M., Popov S.S., Eliseeva I.S., Bykov V.M.

N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Nikolsky Prospekt, 20, Arkhangelsk, 163020, Russia

ABSTRACT. We conducted five-year hydrological studies (from 2020 to 2024) of a small freshwater lake on Bolshoy Solovetsky Island during the summer low water period, obtained hydrochemical data and compiled a bathymetric map parameters of . This glaciotectonic body of water was classified as a small deep lake receiving waters of the western lake-canal system. It does not experience direct anthropogenic impact, with the exception of recreational load. Air temperature and precipitation fluctuations led to changes in temperature and water level in the water body studied . The combination of these variations influenced the hydrochemical parameters. Color, electrical conductivity, increase of dissolved iron and pH, lower mineralization (sum of main ions) largely depended on the amount of precipitation. Water temperature affected the concentration of oxygen and anoxic conditions were created in the bottom layers of the lake. The occurrence of anaerobic processes in the bottom layers of the lake was accompanied by an increase in the products of organic matter destruction, in particular, hydrocarbonates. At the same time, no increase in the content of hydrogen sulfide was noted, its concentrations did not exceed 5 µg/l over the period of research. The results obtained indicate the need to conduct annual monitoring of drinking water sources, even though present fluctuations in the hydrochemical indicators are mainly associated with climatic changes.

Keywords: Solovetsky Archipelago, freshwater lakes, hydrochemical indicators, climatic factors

For citation: Titova K.V., Sloboda A.A., Zhibareva T.A., Kokryatskaya N.M., Popov S.S., Eliseeva I.S., Bykov V.M. Monitoring of hydrochemical parameters of Lake Pit'evoe on Bolshoy Solovetsky Island // Limnology and Freshwater Biology. 2025. - № 4. - P. 477-490. DOI: [10.31951/2658-3518-2025-A-4-477](https://doi.org/10.31951/2658-3518-2025-A-4-477)

1. Introduction

Foundation and development of the Spaso-Preobrazhensky Solovetsky Monastery required sustainable water supply and the work was initiated in the second half of the XVIth century. Thus, about 38 lakes were united into the Western lake-canal system carrying water to Lake Svyatoye. It seems most likely that initially the waters of Lake Svyatoye, located in close proximity, were used for various needs of the monastery. Subsequently, the lake waters have been used mainly for hydraulic structures and technical purposes. The closing lake in the Western lake-canal system consisting of Danilovo, Trudovoe, Splavnoe lakes is Lake Pit'evoe (Gritsevskaya et al., 1972; Natytnik and Nikishin, 1990; Natural environment..., 2007; Zakharov, 2013). The hydrological and hydrochemical indicators are influenced by the water coming from a neighboring Lake

Sredny Pert. The names of this body of water reflect the functions of the lake. Lake Pit'evoe is connected with Lake Svyatoye by a channel (starting from it) more than 2 km long (Pit'evoy Canal). The unforced flow of water from one reservoir to another is facilitated by gradual variation of elevations of almost 10 m due to a multi-leveled arrangement of the lakes. At present, for the water management needs of the Spaso-Preobrazhensky Solovetsky Monastery and the settlement of Solovetsky, which is located around the walls of this monastery, water is taken approximately in the middle of the Pit'evoy Canal. The authors reported on the hydrochemical and microbiological indicators of this watercourse in Solovetsky Essays (Titova et al., 2021). Recent studies have shown that waters coming from Lake Pit'evoe affect significantly the Pit'evoy Canal up to the middle of its watercourse. Therefore, the authors could not ignore this reservoir. The inves-

*Corresponding author.

E-mail address: ksyu_sev@mail.ru (K. Titova)

Received: May 06, 2025; **Accepted:** July 27, 2025;

Available online: August 31, 2025

© Author(s) 2025. This work is distributed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.



tigations began in July during the summer low water period (minimum water level) 2020 and were carried out annually at about the same time for the next four years. Some of the results were published in (Titova et al., 2020; 2024). The lake is not currently subject to any profound anthropogenic influence. There are no residential buildings or industrial enterprises on its shores. The recreational impact from the rowboats and electric motors is insignificant at present, but the tourist flow to the Solovetsky Islands is increasing every year, already reaching 50 thousand people per year. The neighboring Lake Sredniy Pert is the beginning of main excursion routes along the lake-canal system, where there is a boat station. At the same time, over the past five years, the number of private boats and other floating craft over the water area of the lake itself increased. Hydrochemical data on various reservoirs in Russia and abroad indicate that the properties of water, in addition to climatic factors, can be affected by anthropogenic activities (Carlson, 1977; Debolskii et al., 2010; Fomenko, 2013; Adamovich et al., 2017; Efremova et al., 2019; Otyukova, 2021; Zhumay et al., 2021). The aim of this study was to summarize the hydrochemical parameters obtained on Lake Pit'evoe within 5 years (from 2020 to 2024) and consider possible environmental changes.

2. Materials and methods

The authors' surveys began in 2020 with searching for the deepest area for a reference water sampling site. They were carried out on an inflatable rowboat

using a «Fishfinder 140» Garmin echo sounder and a Garmin GPS 72, with the results recorded in an expedition log. The main hydrological parameters of the lake (length, width, water surface area, openness index) were also determined and described in detail by (Klimov and Bykov, 2022).

Lake Pit'evoe, a water body of tectonic origin (Gritsevskaya et al., 1972), is located northeast of the settlement Solovetsky. Its area is 0.1738 km², length – 980 m, width – 400 m, openness index – 0.047 (Klimov and Bykov, 2022). The lake is lobate-shaped, the basin is elongated northwest to southeast, elongation coefficient – 5.9 m. The shores of the lake are not high and the coastline is poorly developed: its length is 3.5 km, tortuosity coefficient – 2.2, dissection coefficient – 4.6. The bottom relief consists of two clearly defined deep depressions, northern and southern, separated by an underwater sill (1.8 m from its top upward) (Gritsevskaya et al., 1972). The maximum depth of the northern depression at the time of bathymetric studies, that were carried out using a Humminbird GPS-Fishfinder 363 echo sounder with simultaneous recording of coordinates and the depth of the reservoir at a specific point, was 8.6 m, the southern one – 10.6 m (Titova et al., 2020; Klimov and Bykov, 2022; Titova et al., 2024). The bathymetric map was created based on the measurements made in July 2023 (Fig. 1). The average depth of the lake is 3.7–3.8 m (Gritsevskaya et al., 1972; Klimov and Bykov, 2022). According to the classification of P.V. Ivanov, the lake under study belongs to a group of deep lakes ($a = 6.4$) (Gritsevskaya et al., 1972).

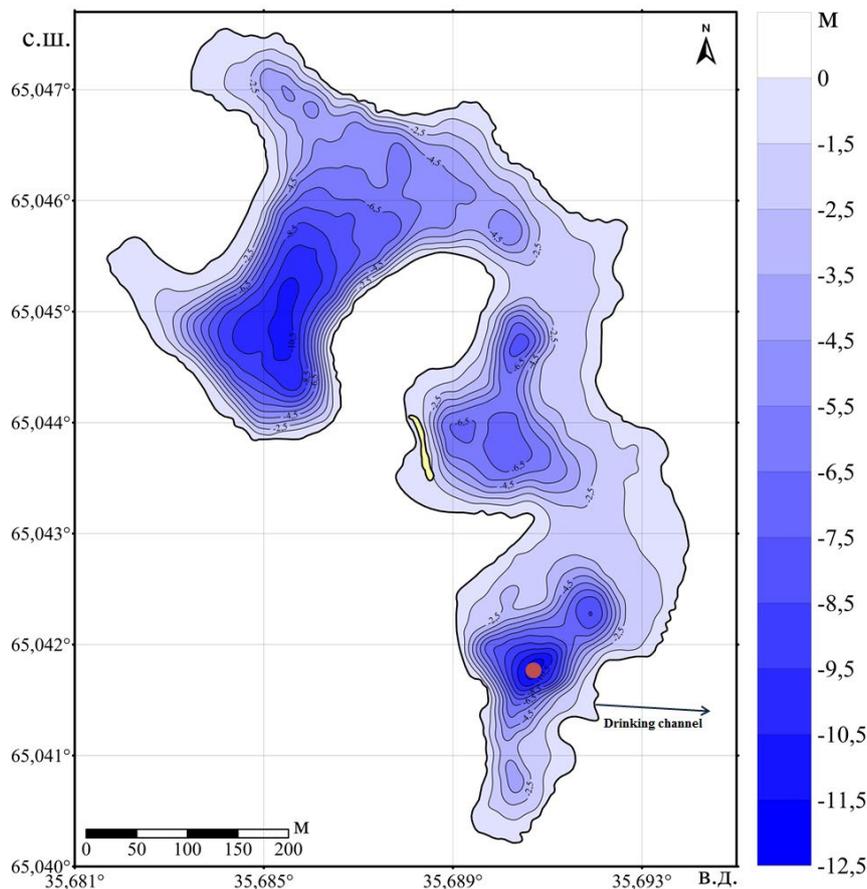


Fig.1. Schematic bathymetric map of Lake Pit'evoe; red dot marks a sampling station.

The southern deep-water station was a reference point for further hydrochemical studies its coordinates are 65.04195 N; 35.69098 E (Fig. 1).

Based on the vertical profiles measured using an oximeter, water sampling horizons were identified (0.5; 2.0-2.5; 4.0-4.5; 7-7.5; 9-9.5; 10-10.5) for further hydrochemical studies. In 2021-2022, sampling was carried out near the selected station, but not at the maximum depth. Water samples were collected from a boat in different water layers using a horizontal 2-liter polycarbonate bathometer in accordance with GOST R 59024-2020, 2023. The samples were delivered to a laboratory in Arkhangelsk in compliance with storage and proceeding practices, some samples were preserved.

Electrical conductivity and pH were measured *in situ*, unsTable components in the samples were analyzed according to certified and generally accepted methods (GOST 31957-2012, 2013; GOST 31958-2012, 2013; GOST R 59024-2020, 2023; GOST 31868-2012, 2019; RD 52.24.450-2010, 2010). Mass concentration of hydrogen sulfide and sulfides in waters was measured using the photometric method with N,N-dimethyl-n-phenylenediamine in field and laboratory conditions.

3. Results

According to the meteorological station on Solovetsky Islands (latitude 65.02 longitude 35.70 altitude 7 m, Arkhangelsk region, Russia), average temperatures and the amount of precipitation in July were determined annually during the studies, as well as the temperature on the day of sampling (<http://www.pogodaiklimat.ru/history/22429.htm> (date of access: 16.04.2025)) and the preceding period (<https://world-weather.ru/pogoda/russia/solovki/> (date of access: 16.04.2025)) (Table 1).

According to Table 1, the amount of both daily and monthly precipitation varied significantly over the years. Thus, during the summer low water period (mid-summer) in July 2023, there should be the largest amount of water in Lake Pit'evoe, slightly less and close to it should be in 2020 and 2024, even slightly less in 2022, and the summer of 2021 was the lowest water season.

To confirm the interannual change or similar water levels in the lake, photographs of the Pit'evoy Canal source, discharging water from Lake Pit'evoe at the sluice (Fig. 2 a and b), are presented. During the high water period, the sluice cannot control the entire water flow, and a side channel is formed (Fig. 2 b).

During the period of low water in Lake Pit'evoe and, consequently, in the entire Western lake-canal system, the side channel near the lock is actually absent, and the water flows largely within the main channel (Fig. 2 c).

In 2023, the high water level at the reference station of Lake Pit'evoe was registered by an echo sounder Praktik 7.

Archived weather data on Solovetsky Islands from the meteorological station showed average monthly air temperatures in different years of the study, as well as the temperature on the day of sampling (Table 1). The coolest weather was in 2023, the warmest period was in 2022. Since the temperature can change significantly during a month, both towards cooling and vice versa, we provide average air temperature data for the week preceding water sampling. Before water sampling, vertical temperature and oxygen profiles were measured at a selected station on Lake Pit'evoe using a portable oximeter HQ30D.99 Hach Lange with a fluorescent sensor and a cable up to 30 m. Unfortunately in 2020, the device was out of order that enabled us to measure temperature and oxygen in this period.



Fig.2. The beginning of the Pit'evoy Canal in 2020 (a), 2024 (b) and 2021 (c).

Table 1. Brief climatic characteristics of the study period

Year	Average monthly air temperatures on Solovetsky Islands, °C	Temperature, °C	Monthly precipitation amounts on Solovetsky Islands, mm	Maximum daily precipitation amounts on Solovetsky Islands, mm
2020	15.0	16.0/16.0*	63	15
2021	15.7	16.0/16.0	19	6
2022	16.9	19.0/18.1	48	17
2023	13.2	18.0/16.2	98	20
2024	14.8	11.0/14.7	64	17

Note: «*» in the numerator marks the day of sampling, in the denominator – the average temperature during a week before sampling.

Direct temperature stratification was observed during the whole period of our study. A sharp temperature change was observed during the summer low water period at a depth of 3-4.5 m (Fig. 3). The upper layers of water in Lake Pit'evoe were the coolest in 2024 with the lowest temperature recorded (about 15 °C). The waters were the warmest in 2022 (about 22 °C). Comparing the water temperature in different years and the air temperature at the same time revealed the average temperature in a week before sampling was the most significant indicator (Table 1). According to these data, the trend of the air temperature, from the lowest to the highest, is as follows: 2024 → (2020) → 2021 → 2023 → 2022; in the upper layers of the lake water, the temperature changed in a similar way: 2024 → 2021 → 2023 → 2024 (Fig. 3). A correlation dependence ($r^2=0.96$) was reported between the air and water temperature of the upper layers (up to 1.5 m).

In contrast to temperature, oxygen concentration in the upper water layers up to 4 m varied slightly over the years and amounted to 8.5–9 mg/l (Fig. 4). No oxygen oversaturation of the surface water horizon was observed even in the warmest year of 2022. In 2023-2024, a decrease in the concentration of oxygen to almost complete depletion was recorded in the lower water layers of Lake Pit'evoe (Fig. 4). Perhaps one of the factors was the later time of the study, when stratification of water was observed at the peak of the summer low water.

Annual trend of oxygen decrease in the lower water layers from the lowest highest is as follows: 2024→2023→2021→2022, the minimum values were observed in colder periods, perhaps due to later or colder spring periods in these years.

The obtained data are presented in Table 2 and Figs. 3 and 4. Average value is shown for selected parameters, since the number of sampling horizons was different.

As can be seen from Fig. 4, there was no increase in the concentrations of hydrogen sulfide/hydrosulfides (H_2S/HS^-) in the bottom layers of water of Lake Pit'evoe in 2023 and 2024, despite anaerobic conditions (Table 2). This compound can be formed during water stagnation, but its content is equal to that in the aerobic waters. In general, H_2S/HS^- was present in small quantities, not exceeding the water quality standard of reservoir fishery.

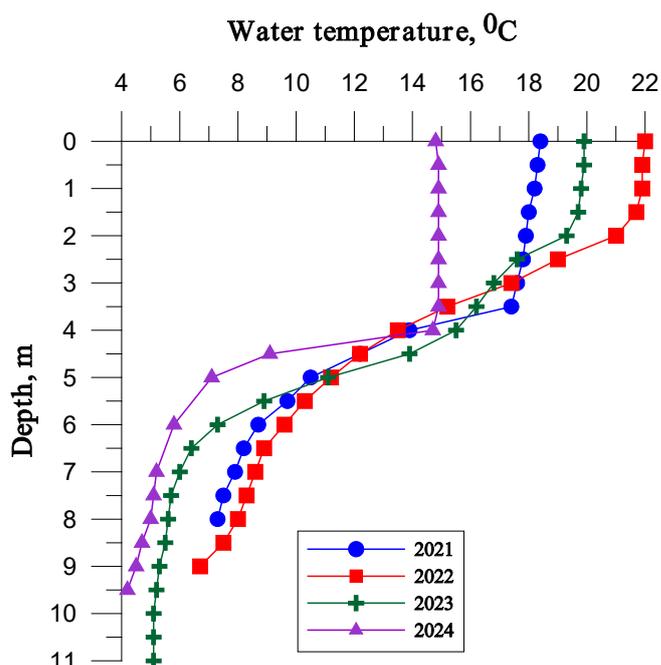


Fig.3. Vertical temperature profile of Lake Pit'evoe in 2021-2024.

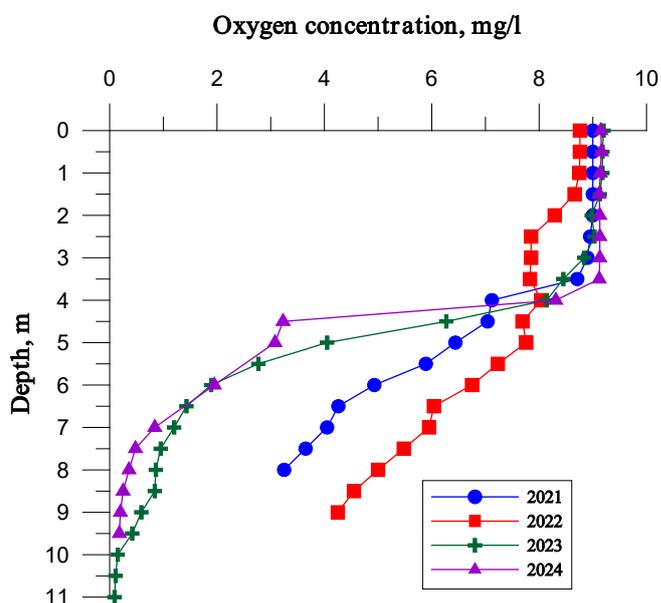


Fig.4. Vertical oxygen profile of Lake Pit'evoe in 2021-2024.

Table 2. Hydrochemical indicators in Lake Pit'evoe in 2020-2024

Indicator	2020	2021	2022	2023	2024
pH	6.09-5.99	6.65-6.43	6.43-5.38	6.59-5.87	6.85-6.05
Electrical conductivity, $\mu\text{S}/\text{cm}$	56-56.7	57.0-54.6	57.6-53.5	56.8-64.6	59.2-68.9
HCO_3^- , mg/l	12.38-14.70	7.32-9.15	6.10-8.10	6.65-8.43	14.64-15.25
Cl, mg/l	8.18-7.72	8.82-7.57	3.72-8.00	8.05-6.85	7.82-7.60
SO_4^{2-} , mg/l	3.68-3.52	3.70-3.30	1.83-3.66	3.14-2.75	2.89-2.88
Na^+ , mg/l	5.86-5.80	6.64-6.00	3.04-5.96	5.31-5.30	4.80-5.10
Ca^{2+} , mg/l	2.26-2.22	2.79-2.70	1.39-2.52	2.40-3.30	3.98-4.05
Mg^{2+} , mg/l	1.19-1.38	1.69-1.58	0.81-1.56	1.15-1.48	1.68-1.82
K^+ , mg/l	0.53-0.46	0.83-0.52	0.44-0.49	0.58-0.72	0.53-0.60
Hardness, mg-eq/l (mmol/l)	0.21-0.22	0.28-0.27	0.14-0.26	0.22-0.29	0.34-0.35
Sum of main ions, mg/l	34.08-35.80	31.79-29.60	17.33-28.45	27.61-28.63	36.34-37.30
Organic matter (Corg), mg/l	14.99-10.26	9.81-10.04	8.93-8.55	9.41-9.86	8.80-8.52
Color, degrees	43.0-52.0	38.9-43.1	42.0-44.0	33.8-54.5	38.2-40.2
Fe solution, mg/l	0.076-0.325	0.180-0.250	0.102-0.198	0.044-0.644	0.058-0.300
$\text{H}_2\text{S}/\text{HS}$, mg/l	0.003-0.003	0.002-0.002	0.003-0.003	0.003-0.004	0.003-0.003

Note: «*» marks surface-bottom horizon.

However, we clearly see that the decrease in oxygen content in the bottom layers of water leads to an increase in the concentration of dissolved iron (Fig. 4 and Table 2). The highest values of this indicator were recorded in 2023 (about 0.650 mg/l), in 2024 (about 0.300 mg/l) and also in 2020 (0.325 mg/l), which may indirectly indicate the conditions during this period were anaerobic.

Oxygen consumption may be associated with the destruction of organic matter (Corg) in the lake water. The processes associated with the reduction of sulfates are insignificant due to the amounts of hydrogen sulfide formed. According to the authors' publications, the energy used to facilitate ammonification was also negligible. Iron reduction essentially contributed to the decrease in organic matter hydrocarbonate ion (HCO_3^-) being a possible end product of destruction. Every year, the amount of this component increased from the surface to the bottom layers by 1-2 mg/l, i.e., it remained actually unchanged. The highest content was noted in 2024 and 2020 (15.25 and 14.70 mg/l), presumably, in the seasons with the lowest air and water temperatures, and oxygen content. In the warmest year with higher oxygen concentrations in the water, hydrocarbonate was recorded in the smallest amount. An increase in one component led to a decrease in the other; during the same period, a decrease in organic matter concentrations from one bottom layer to another was observed (from 8.80 to 8.52 mg/l and from 14.99 to 10.26, respectively). A slight increase in the concentration of C_{org} in this direction was noted in the most low-water and high-water periods of 2021 and 2023.

Concentrations of dissolved iron and organic matter affect the water color (Kitaev, 2007; Nikanorov, 2001). Every year of this study, we observed an increase in this value in the bottom layers. The largest fluctuations in this indicator were registered in the water in

2020 (from 43 to 52 degrees) and 2023 (from 34 to 54.5 degrees) (Table 2). In the first year, the increase was mainly due to an increase in the amount of dissolved iron (III), in the second – to a greater extent for the same reason, but a small contribution was also made by dissolved C_{org} .

The indicator, that is affected by the content of both the organic and inorganic components, is pH. The general trend for all study periods was a decrease of water pH in Lake Pit'evoe from the surface layers to the bottom. The lowest pH values were noted in the summer of 2020, when dissolved Corg and Cneorg were present in the water in the largest quantities. In 2024, the pH value was the highest, despite significant amounts of Cneorg, with slightly smaller amounts of Corg. It seems most likely that other inorganic components had the greatest influence on pH, since the electrical conductivity was highest during this period, depending on the number of ions in the water. Over all the years of observation, the electrical conductivity varied in a fairly narrow range from 54 to 69 $\mu\text{S}/\text{cm}$ suggesting low water mineralization in Lake Pit'evoe. Based on the major ion composition, the water in this reservoir is defined as ultra-fresh, and, therefore, very soft. In 2020 and 2024, years with similar temperature and precipitation amount, the highest total ion content (from 34 to 37 mg/l) was reported. Particularly during these years, the water of Lake Pit'evoe was attributed to the hydrocarbonate-chloride type of the sodium group, due to significant amounts of HCO_3^- . In other years, the water was characterized as chloride-sodium (Alekin, 1953; Nikanorov, 2001).

In 2022, for some unexplained reason, abnormally low values of all major ions were observed in the surface horizon. This was not an analytical error or a result of improper sample storage and transportation. On the same sampling day, similar artifacts

with a decrease in ion concentrations were noted in the subsurface horizon of adjacent Lake Sredny Perth in the absence of rain, as well as in the surface layer of Lake Biosadkoe (located 3 km away, next day sampling). Therefore, this year, the sum of major ions in the surface layer predictably became low. The content of most ions, with the exception of calcium and magnesium, was the lowest in 2023 and 2024, but possibly for different reasons. In the first year, a significant amount of precipitation a few days before sampling led to an increase of the water level in the system and the lake; in the second year, probably, because of a longer storage of samples before analytical work. At the same time, an increase in the concentrations of calcium and magnesium ions compared to other years of the study, and, consequently, water hardness was observed in 2024 it was noted due to (Table 2). The largest number of chloride and sodium ions (as dominant ions) was recorded in 2021 during the lowest water period.

4. Conclusion

The studies conducted in summer on Lake Pit'evoe over five years the confirmed low values of mineralization (sum of main ions) of its water.

Climatic fluctuations (air temperature and precipitation), induced by natural causes, led to interannual changes in all of the hydrochemical indicators studied by the authors.

Temperature largely determined the formation of anaerobic conditions and the processes associated with them. The amount of precipitation affected the water content (depth at the sampling station) and, to some extent, the concentrations of the main ions.

The data obtained allowed us to identify the years characterized by many similar parameters studied (for example, 2020 and 2024) or, conversely, contrasting years, 2022 and 2023.

The results made it possible to trace the relationship and explain some patterns in the parameter dynamics. Comparison of the available information led to the identification of unexplained, but existing, artifacts in the surface horizon of the lake water in 2022.

We suggest to monitor hydrochemical indicators in anthropogenically unloaded water bodies, such as Lake Pit'evoe on Bolshoy Solovetsky Island.

The results obtained can serve a background for monitoring the ecological state of the reservoir under increasing recreational load on Solovetsky Islands.

Acknowledgements

The authors express gratitude to A.Ya. Martynov, A.N. Sobolev working at the Solovetsky State Historical, Architectural and Natural Museum-Reserve for comprehensive assistance in our research on Solovetsky Islands.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

References

- Adamovich T.A., Skugoreva S.G., Knyazeva E.V. et al. 2017. Study of the ionic composition of water in lakes of the Nurgush State Nature Reserve. *Voda i Ekologiya: Problemy i Resheniya* [Water and Ecology: Problems and Solutions] 4 (72): 3–12. (in Russian)
- Alekin O.A. 1953. *Fundamentals of Hydrochemistry*. Leningrad: Gidrometeoizdat.
- Carlson R.E. 1977. A Trophic State Index for Lakes. *Limnology Oceanography* 22(2): 361–369. DOI: [10.4319/lo.1977.22.2.0361](https://doi.org/10.4319/lo.1977.22.2.0361)
- Debolskii V.K., Grigorieva I.L., Komissarov A.B. et al. 2010. Modern hydrochemical characteristics of the Volga River and its reservoirs. *Voda: khimiya i ekologiya* [Water: chemistry and ecology] 11: 2–12. (in Russian)
- Efremova T.A., Sabylina A.V., Lozovik P.A. et al. 2019. Seasonal and spatial variation in hydrochemical parameters of Lake Onego (Russia): insights from 2016 field monitoring. *Inland waters* 9(2): 227–238. DOI: [10.1080/20442041.1568097](https://doi.org/10.1080/20442041.1568097)
- Fomenko A.I. 2013. Regional specificity of lake waters. *Fundamental'nyye issledovaniya* [Fundamental research] 10(1): 90–94. (in Russian)
- GOST 31868-2012. 2019. Water. Methods for determining color. Moscow: Standartinform.
- GOST 31957-2012. 2013. Water. Methods for determination of alkalinity and mass concentration of carbonates and hydrocarbonates. Moscow: Standartinform.
- GOST 31958-2012. 2013. Water. Methods for determination of total and dissolved organic carbon (ISO 8245:1999, NEQ). Moscow: Standartinform.
- GOST R 59024-2020. 2023. Water. General requirements for sampling. National standard of the Russian Federation. Date of introduction 2022-06-01. Moscow: Russian Institute of Standardization.
- Gritsevskaya G.L., Kyabeleva G.K., Nikolaeva L.A. et al. 1972. Solovetsky Islands. Materials on the comprehensive study of lakes. *Trudy SevNIORKh* [Proceedings of SevNIORKh] Petrozavodsk: Karelia Publishing House 6: 5–44. (in Russian)
- Kitaev S.P. 2007. *Fundamentals of limnology for hydrobiologists and ichthyologists*. Petrozavodsk: KarRC.
- Klimov S.I., Bykov V.M. 2022. Hydrological features of the lakes of the Solovetsky Archipelago in summer. *Metrologiya i Khydrologiya* [Metrology and Hydrology] 9: 53–64. (in Russian)
- Natural environment of the Solovetsky Archipelago in conditions of changing climate. 2007. In: Shvartsman Yu.G., Bolotov I.N. (Eds.). Ekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences.
- Natynnik A.A., Nikishin N.A. 1990. Lake-canal water management systems of the Solovetsky Islands – historical and cultural monuments in the hydrosphere. *Izucheniye pamyatnikov istorii i kul'tury v gidrosfere* [Study of historical and cultural monuments in the hydrosphere] 1: 124–140. (in Russian)
- Nikanorov A.M. 2001. *Hydrochemistry: Textbook*. St. Petersburg: Gidrometeoizdat.
- Otyukova N.G. 2021. The influence of abnormally high water temperatures on the hydrochemical regime of the estuary area of small rivers (using the Rybinsk Reservoir tributary as an example). *Trudy Instituta biologii vnutrennikh vod im. I.D. Papanina Rossiyskoy akademii nauk* [Transactions of the I.D. Papanin Institute of Biology of Inland Waters of the Russian Academy of Sciences] 96(99): 46–59. (in Russian)
- RD 52.24.450-2010. 2010. Mass of concentration of hydrogen sulfide and sulfides in waters. Methodology for performing measurements by the photometric method with N,N-dimethyl-n-phenylenediamine. Rostov-on-Don: Roshydromet.

Titova K.V., Kokryatskaya N.M., Popov S.S. et al. 2024. Hydrochemical characteristics of different types of lakes on the Great Solovetsky Island. *Vodnyye resursy* [Water Resources] 51(2): 214–224. (in Russian)

Titova K.V., Zhibareva T.A., Kokryatskaya N.M. et al. 2021. Chemical and microbiological indicators of the water of the Drinking Canal (Bolshoy Solovetsky Island) Solovetsky collection. *Solovetskiy gosudarstvennyy istoriko-arkhitekturnyy i prirodnyy muzey-zapovednik* [Solovetsky. state hist.-architectural. and natural. museum-reserve] ed. and compiler: Cand. of Historical Sciences A.Ya. Martynov. Arkhangelsk: Solovetsky. state hist.-architectural. and natural. museum-reserve 17: 339–349. ISBN 978-5-6046324-5-1. (in Russian)

Titova K.V., Zhibareva T.A., Moreva O.Yu. et al. 2020. Hydrochemical and hydrobiological studies of the lakes of the Bolshoy Solovetsky Island. *Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya* [Successes of modern natural science] 11: 125–131. (in Russian)

Zakharov Yu.S. 2013. Lake-canal systems on the islands of the Solovetsky Archipelago. *Solovetskiy sbornik* [Solovetsky collection]. Arkhangelsk, Federal state budget. Cultural institution "Solovets. state hist. – arch. and natural. museum-reserve 9: 94–135. (in Russian)

Zhumay Y., Khussainov A., Kurmanbayeva A. et al. 2021. Assessment of hydrophysical and hydrochemical features of water bodies: a case study of lake Imantau, Kazakhstan. *Water Conservation and Management (WCM)* 5(2): 108–113. DOI: [10.26480/wcm.02.2021.108.113](https://doi.org/10.26480/wcm.02.2021.108.113)

Мониторинг гидрохимических показателей озера Питьево Большое Соловецкого острова

Краткое сообщение

LIMNOLOGY
FRESHWATER
BIOLOGY

Титова К.В.*, Слобода А.А., Жибарева Т.А., Кокрятская Н.М.,
Попов С.С., Елисеева И.С., Быков В.М.

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаверова УрО РАН,
Никольский пр-т, 20, Архангельск, 163020, Россия

АННОТАЦИЯ. Проведены гидрологические исследования (построена батиметрическая карта) и в период летней межени за пять лет (с 2020 по 2024 годы) определены гидрохимические показатели пресноводного малого озера на Большом Соловецком острове. Изученный водоем ледниково-тектонического происхождения был отнесен к категории малых глубоких озер, принимающий воды западной озерно-канальной системы. Оно не испытывает прямого антропогенного воздействия, за исключением рекреационной нагрузки. Климатические колебания температуры воздуха и количества осадков приводили к колебанию температуры и уровня воды в изученном водоеме. Совокупность этих изменений влияла на вариации гидрохимических показателей. От количества осадков в большей степени зависели цветность, электропроводность, содержание растворенного железа (увеличение) и pH, минерализация (сумма главных ионов) (снижение). Температура воды сказалась на содержании кислорода, наблюдалось создание бескислородных условий в придонных слоях озера. Протекание анаэробных процессов в придонных слоях озера сопровождалось увеличением продуктов деструкции органического вещества, в частности гидрокарбонатов. При этом не отмечено увеличения содержания сероводорода, его концентрации за весь период исследований не превышали 5 мкг/л. Полученные результаты свидетельствуют о необходимости проведения ежегодных мониторинговых исследований на водных объектах питьевого назначения, в настоящее время колебания гидрохимических показателей связаны в основном с изменениями климатических условий.

Ключевые слова: Соловецкий архипелаг, пресноводные озера, гидрохимические показатели, климатические факторы

Для цитирования: Титова К.В., Слобода А.А., Жибарева Т.А., Кокрятская Н.М., Попов С.С., Елисеева И.С., Быков В.М. Мониторинг гидрохимических показателей озера Питьево Большое Соловецкого острова // Limnology and Freshwater Biology. 2025. - № 4. - С. 477-490. DOI: [10.31951/2658-3518-2025-A-4-477](https://doi.org/10.31951/2658-3518-2025-A-4-477)

1. Введение

Образование и развитие Спасо-Преображенского Соловецкого монастыря требовало обеспечения его устойчивого водоснабжения. Начиная со второй половины XVI века, начались активные работы для достижения указанной цели. Скорее всего, первоначально для различных потребностей монастыря использовались воды оз. Святое, расположенного в непосредственной близости от него. Впоследствии и в настоящее время воды данного озера применялись в основном для гидротехнических сооружений и в технических целях. Замыкающим озером в Западной озерно-канальной

системе является (Данилово, Трудовое, Сплавное) Питьево (Грицевская и др., 1972; Натытник и Никишин, 1990; Природная среда..., 2007; Захаров, 2013), то есть на гидрологические, в т. ч. гидрохимические показатели, оказывает влияние вода, поступающая из соседнего гидрографически связанного с ним водоема (оз. Средний Перт). Названия исследуемого водоема говорят сами за себя о тех функциях, которые выполняло и выполняет данное озеро. Оз. Питьево соединено протокой, берущей из него начало, длиной более 2 км (Питьевой канал) с оз. Святое. Естественное течение воды из одного в другой водоем возможно из-за постепенного перепада высот почти в 10 м вследствие ярусного расположе-

*Автор для переписки.

Адрес e-mail: ksyu_sev@mail.ru (К. переписки Титова)

Поступила: 06 мая 2025; **Принята:** 27 июля 2025;

Опубликована online: 31 августа 2025

© Автор(ы) 2025. Эта работа распространяется под международной лицензией Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0.



ния озер. В настоящее время для водохозяйственных нужд Спасо-Преображенского Соловецкого монастыря и пос. Соловецкий, который расположен вокруг стен данной обители, забор воды осуществляется примерно посередине Питьевого канала. О гидрохимических и микробиологических показателях данного водотока авторами сообщалось в Соловецком сборнике (Титова и др., 2021). Как показали исследования, значительное влияние на воды Питьевого канала вплоть до середины водотока оказывали воды, поступающие из оз. Питьевое. Поэтому авторы не могли обделить вниманием этот водоем. Первые исследования на нем были осуществлены в июле в период летней межени, то есть минимального уровня воды, 2020 г. и проводились ежегодно примерно в одно и то же время в течение четырех последующих лет. Часть результатов были представлены в следующих публикациях (Титова и др., 2020; 2024). Исследуемое озеро в настоящее время не подвергается явному антропогенному влиянию. На его берегах нет жилых построек и промышленных предприятий. В настоящий момент рекреационное воздействие от гребных лодок и электромоторов незначительно, но туристический поток на Соловецкие острова увеличивается с каждым годом и достигает уже 50 тысяч человек в год. Соседнее оз. Средний Перт является началом основных официальных экскурсионных маршрутов по озерно-канальной системе, где расположена лодочная станция. При этом за последние пять лет отмечено увеличение числа лодок частных перевозчиков и других плавательных средств индивидуальных туристов на акватории самого оз. Питьевое. Исследования гидрохимических показателей различных водоемов в России и за рубежом свидетельствуют о том, что на свойства воды, помимо климатических природных факторов, могут влиять антропогенные факторы (Carlson, 1977; Дебольский и др., 2010; Фоменко, 2013; Адамович и др., 2017; Efremova et al., 2019; Отюкова, 2021; Zhumay et al., 2021). Целью данного исследования было обобщение полученных данных о гидрохимических показателях озера Питьевое за 5 лет (за период с 2020 по 2024 гг.) и выявление возможных их изменений в естественных условиях.

2. Материалы и методы исследования

Исследования авторов в 2020 г. начались с промеров глубины для определения наиболее глубоководного участка, который должен быть выбран для реперной станции отбора проб воды. Их осуществляли на надувной гребной лодке с использованием эхолота «Fishfinder 140» Garmin и GPS 72 Garmin с фиксацией результатов в экспедиционный журнал. Так же были определены основные гидрологические параметры озера (длина, ширина, площадь водного зеркала, показатель открытости), которые наиболее полно представлены в публикации (Климов и Быков, 2022).

Оз. Питьевое расположено к северо-востоку от пос. Соловецкий. По происхождению это – лед-

никово-тектонический водоем (Грицевская и др., 1972). Его площадь равна 0,1738 км², длина – 980 м, ширина – 400 м, показатель открытости – 0,047 (Климов и Быков, 2022), форма озера лопастная. Котловина вытянута с северо-запада на юго-восток, коэффициент удлиненности – 5,9 м. Берега озера невысокие, береговая линия развита слабо: длина ее – 3,5 км, коэффициент извилистости – 2,2, коэффициент расчлененности – 4,6. В рельефе дна четко выражены две глубокие впадины: северная и южная, разделенные подводным порогом с глубиной над ним 1,8 м (Грицевская и др., 1972). Максимальная глубина северной впадины на момент батиметрических исследований с использованием эхолота Humminbird GPS-Fishfinder 363 с одновременной фиксацией координат и глубины водоема в конкретной точке составляла 8,6 м, южной – 10,6 м (Титова и др., 2020; Климов и Быков, 2022; Titova et al., 2024). Батиметрическая карта построена по результатам промеров июля 2023 г. (Рис. 1). Средняя глубина озера – 3,7-3,8 м (Грицевская и др., 1972, Климов и Быков, 2022.). По классификации П.В. Иванова изучаемое озеро относится к группе глубоких ($a=6,4$) (Грицевская и др., 1972).

Южная глубоководная станция была выбрана в качестве реперной для проведения дальнейших гидрохимических исследований, координаты: 65,04195 с.ш.; 35,69098 в.д. (Рис. 1).

На основании полученных данных вертикальных профилей, измеренных с помощью оксиметра, были выделены горизонты отбора проб воды (0,5; 2,0-2,5; 4,0-4,5; 7-7,5; 9-9,5; 10-10,5) для дальнейших гидрохимических исследований. В 2021-2022 гг. отбор был произведен рядом с выбранной станцией, но не на максимальной глубине.

Образцы проб воды отбирались с лодки по слоям горизонтальным поликарбонатным батометром на 2 л. Сбор проводился в соответствии с ГОСТ Р 59024-2020, 2023. При необходимости применялась консервация образцов, они доставлялись в стационарную лабораторию г. Архангельск с соблюдением сроков и методов хранения.

Измерения показателей (электропроводность, pH) проводились *in situ*, анализ неустойчивых компонентов в образцах проводился по апробированным и общепринятым методикам (ГОСТ 31957-2012, 2013; ГОСТ 31958-2012, 2013; ГОСТ Р 59024-2020, 2023; ГОСТ 31868-2012, 2019; РД 52.24.450-2010, 2010). Массовая концентрация сероводорода и сульфидов в водах определялась фотометрическим методом с N,N-диметил-п-фенилендиамином в полевых и стационарных лабораторных условиях.

3. Результаты

По данным метеорологической станции на Соловках (Архангельская область, Россия, широта 65,02, долгота 35,70, высота над уровнем моря 7 м) были определены средние температуры июля и количество осадков в этот месяц в каждом году проводимых исследований (<http://www.pogodaiklimat.ru/history/22429.htm>), а так же температура в день

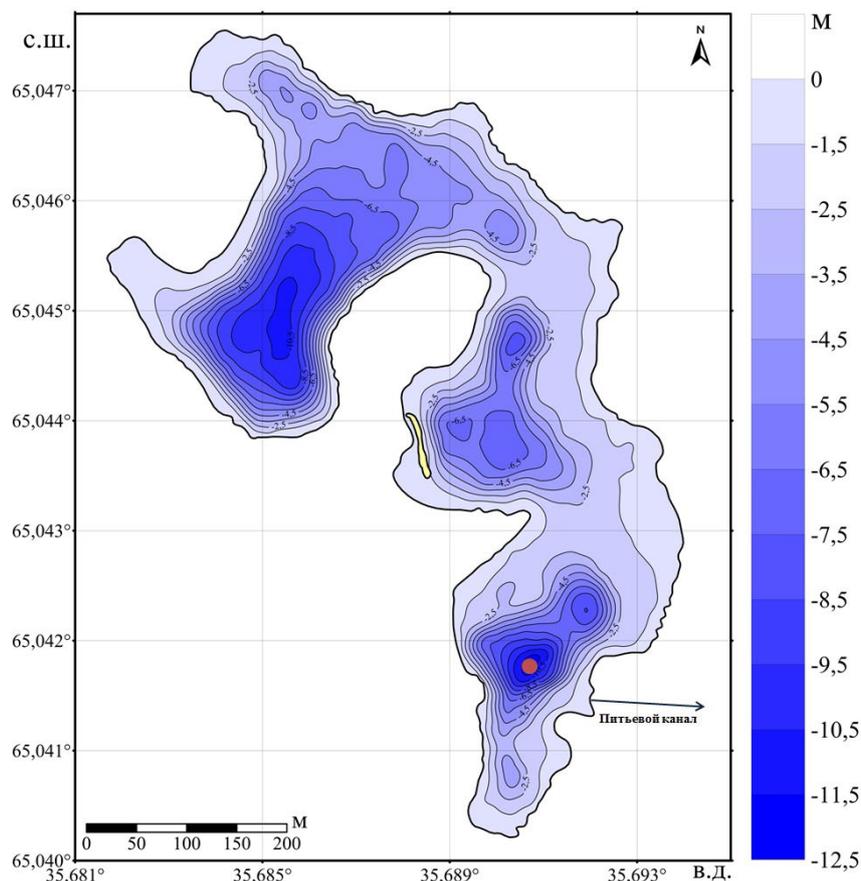


Рис.1. Батиметрическая карта-схема озера Питьевого (точка – станция отбора проб).

отбора и предшествующий период (<https://world-weather.ru/pogoda/russia/solovki/>) (Таблица 1).

Согласно данным таблицы 1 видно, что количество выпавших суточных и месячных осадков по годам значительно отличалось. Так, в период летней межени (середина лета) в июле 2023 г. в оз. Питьево должно быть наибольшее количество воды, чуть меньшим и близким оно должно быть в 2020 и 2024 гг., еще чуть меньшим – в 2022 г., а лето 2021 г. было самым маловодным.

Для подтверждения межгодового изменения или близости значений уровня воды в озере представлены фотографии места начала Питьевого канала, берущего воды из оз. Питьево в районе регулировочного шлюза (Рис. 2 а и б). В период большой воды шлюз не может пропускать весь объем воды, и образуется боковое русло (Рис. 2 б).

В период малой воды в оз. Питьево, а, следовательно, и во всей Западной озерно-канальной системе, боковое русло около шлюза практически

отсутствует, вода в основном протекает по основному руслу (Рис. 2 в).

Высокий уровень воды на реперной станции оз. Питьево в 2023 г. был зафиксирован с помощью эхолота Практик 7.

В архивных данных на сайтах погоды были найдены сведения метеостанции Соловки по среднемесячной температуре воздуха в разные годы исследования, а также непосредственно температура в день отбора (Таблица 1). Самая прохладная погода была в 2023 г., более теплый период исследования был в 2022 г. Так как в течение месяца температура может изменяться в значительной степени как в сторону похолодания, так и наоборот, мы приводим усредненные данные по температуре воздуха за неделю, предшествующую отбору проб воды. Перед отбором воды с помощью портативного оксиметра HQ30D.99 Nach Lange с люминесцентным датчиком и кабелем до 30 м были измерены вертикальные температурный и кислородный профили

Таблица 1. Краткие климатические характеристики периода исследования

Год	Среднемесячная температура воздуха на Соловках, °С	Температура, °С	Месячное количество осадков на Соловках, мм	Максимальное суточное количество осадков на Соловках, мм
2020	15,0	16,0/16,0*	63	15
2021	15,7	16,0/16,0	19	6
2022	16,9	19,0/18,1	48	17
2023	13,2	18,0/16,2	98	20
2024	14,8	11,0/14,7	64	17

Примечание: «*» в числителе – в день отбора, в знаменателе – средняя за неделю до отбора.



Рис.2. Начало Питьевого канала в 2020 (а), 2024 (б) и 2021 (в) годах.

на выбранной станции оз. Питьевое. К сожалению, в 2020 г. прибор перед отбором вышел из строя, поэтому для этого периода нет данных по температуре и кислороду.

В период исследования во все годы наблюдалась прямая температурная стратификация. Резкий скачок изменения температуры наблюдался в период летней межени на глубине 3-4,5 м (Рис. 3). Верхние слои воды в оз. Питьевое были наиболее выхожены в 2024 г., т.е. в них отмечена наименьшая температура (около 15 °С), а наиболее прогреты в 2022 г. (около 22 °С). Сравнивая данных по температуре воды по годам и температуры воздуха в это же время, наиболее значимым показателем оказалось усредненное значение температуры за неделю до отбора (Таблица 1). По этим данным ряд от наименьшей к наибольшей температуре воздуха выглядит следующим образом: 2024→(2020)→2021→2023→2022 гг., в верхних слоях воды в озере температура изменялась с такой же зависимостью: 2024→2021→2023→2022 гг. (Рис. 3). Выявлена корреляционная зависимость ($r^2=0,96$) между температурой воздуха и температурой воды верхних слоев (до 1,5 м).

В отличие от температуры, содержание кислорода в верхних слоях воды до 4 м по годам отличалось незначительно и составляло 8,5-9 мг/л (Рис. 4). Не наблюдалось перенасыщения кислородом воды поверхностного горизонта даже в самый теплый 2022 г. В 2023-2024 гг. в нижних слоях воды оз. Питьевое зафиксировано снижение содержания кислорода до практически его полного исчерпания (Рис. 4). Возможно, одним из факторов послужило более позднее время исследования, когда наблюдалась стратификация воды в пик летней межени.

Снижение концентрации кислорода в нижних слоях воды по годам от меньшего к большему зафиксировано в следующий ряд: 2024→2023→2021→2022 гг. Минимальное содержание кислорода наблюдалось в более холодные периоды, возможно, более поздними или холодными были весенние периоды в эти годы.

Полученные данные представлены в Таблице 2 и Рис. 3, 4. Усредненного значения для всех показателей не представлено, так как количество горизонтов отбора проб было различно.

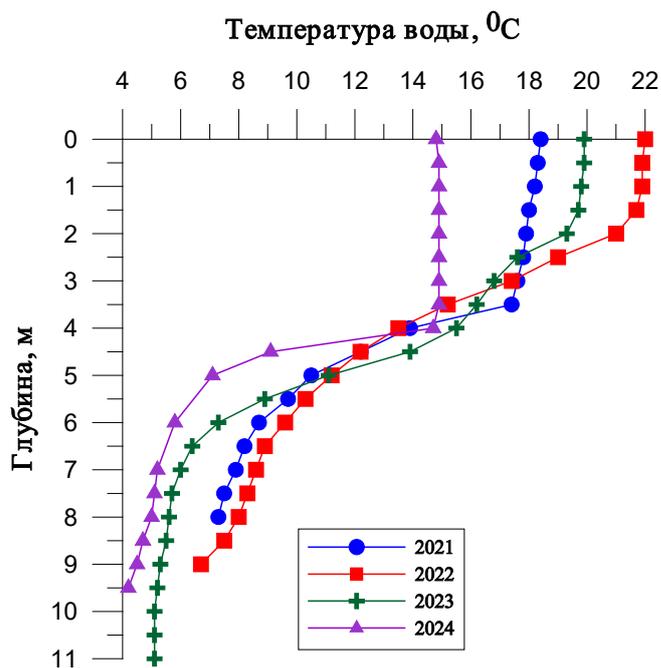


Рис.3. Вертикальный температурный профиль оз. Питьевое в 2021-2024 гг.

Как видно из Рис. 4, в придонных слоях воды оз. Питьево в 2023 и 2024 гг., несмотря на развитие анаэробных условий, мы не наблюдали увеличения концентраций сероводорода и гидросульфидов (H_2S/HS^-) (Таблица 2). Данное соединение может образовываться при стагнации воды, но содержание его равно таковому и в аэробных водах. В целом, H_2S/HS^- содержалось в небольших количествах, не превышающих норматив для вод рыбохозяйственных водоемов.

Отчетливо видно, что снижение содержания кислорода в придонных слоях воды приводит к увеличению концентрации растворенного железа (Рис. 4 и Таблица 2). Наибольшие значения этого показателя зафиксированы в 2023 г. (около 0,650 мг/л), в 2024 г. (около 0,300 мг/л), а также в 2020 г. (0,325 мг/л), что косвенно может свидетельствовать о развитии анаэробных условий в этот период.

Затраты кислорода могут быть связаны с деструкцией органического вещества (Сорг) в воде озера. Процессы, сопряженные с восстановлением сульфатов, незначительны в силу количества образовавшегося сероводорода. По данным, представленным в вышеуказанных публикациях авторов, затраты на аммонификацию были так же не столь значительны. Восстановление железа являлось значимой причиной снижения органического вещества. Конечным продуктом деструкционных процессов может быть гидрокарбонат-ион (HCO_3^-). За все годы исследований количества этого компонента возрастало от поверхностных слоев к придонным (1-2 мг/л), то есть практически не изменялось. Наибольшее его содержание отмечено в 2024 и 2020 гг. (15,25 и 14,70 мг/л), то есть, предположительно, в сезоны с наименьшими температурами воздуха/воды и содержанием кислорода. В наиболее теплый

год с большими концентрациями кислорода в воде гидрокарбонат зафиксирован в наименьшем количестве. Увеличение одного компонента соответственно приводило к снижению другого: в этот же период наблюдалось уменьшение концентраций органического вещества от придонного слоя к придонному с 8,80 до 8,52 мг/л и с 14,99 до 10,26 соответственно. Небольшой рост концентрации Сорг в этом направлении отмечен в 2021 и 2023 гг., то есть в самые маловодный и многоводный периоды.

Концентрации растворенных железа и органического вещества вносят свой вклад в величину цветности воды (Китаев, 2007; Никаноров, 2001). Во все годы исследования наблюдался рост этой величины в придонных слоях. Наибольшие по ампли-

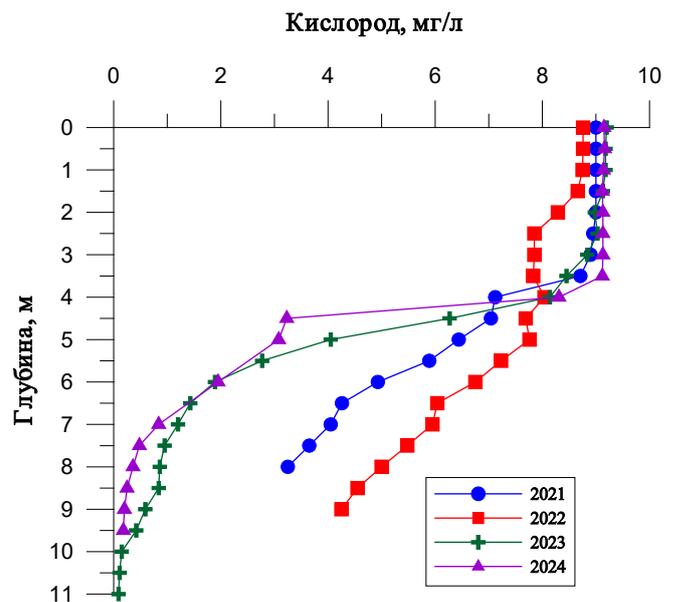


Рис. 4. Вертикальный кислородный профиль оз. Питьево в 2021-2024 гг.

Таблица 2. Гидрохимические показатели в оз. Питьево в 2020-2024 гг.

Индикатор	2020	2021	2022	2023	2024
pH	6,09-5,99	6,65-6,43	6,43-5,38	6,59-5,87	6,85-6,05
Электропроводность, мкСм/см	56-56,7	57,0-54,6	57,6-53,5	56,8-64,6	59,2-68,9
HCO_3^- , мг/л	12,38-14,70	7,32-9,15	6,10-8,10	6,65-8,43	14,64-15,25
Cl ⁻ , мг/л	8,18-7,72	8,82-7,57	3,72-8,00	8,05-6,85	7,82-7,60
SO_4^{2-} , мг/л	3,68-3,52	3,70-3,30	1,83-3,66	3,14-2,75	2,89-2,88
Na ⁺ , мг/л	5,86-5,80	6,64-6,00	3,04-5,96	5,31-5,30	4,80-5,10
Ca ²⁺ , мг/л	2,26-2,22	2,79-2,70	1,39-2,52	2,40-3,30	3,98-4,05
Mg ²⁺ , мг/л	1,19-1,38	1,69-1,58	0,81-1,56	1,15-1,48	1,68-1,82
K ⁺ , мг/л	0,53-0,46	0,83-0,52	0,44-0,49	0,58-0,72	0,53-0,60
Жесткость, мг-экв/л (ммоль/л)	0,21-0,22	0,28-0,27	0,14-0,26	0,22-0,29	0,34-0,35
Сумма основных ионов, мг/л	34,08-35,80	31,79-29,60	17,33-28,45	27,61-28,63	36,34-37,30
Органическое вещество (Сорг), мг/л	14,99-10,26	9,81-10,04	8,93-8,55	9,41-9,86	8,80-8,52
Цветность, градусы	43,0-52,0	38,9-43,1	42,0-44,0	33,8-54,5	38,2-40,2
Fe раст, мг/л	0,076-0,325	0,180-0,250	0,102-0,198	0,044-0,644	0,058-0,300
H_2S/HS^- , мг/л	0,003-0,003	0,002-0,002	0,003-0,003	0,003-0,004	0,003-0,003

Примечание: «*» обозначает поверхностный-придонный горизонт.

туде изменения этого показателя были характерны для воды в 2020 (от 43 до 52 град) и 2023 гг. (от 34 до 54,5 град) (Таблица 2). В первый год увеличение связано, в основном, с возрастанием количеств растворенного железа (III), во второй – в большей степени по той же самой причине, но небольшой вклад вносит и растворенное Сорг.

Показателем, на который влияет содержание как органической составляющей, так и неорганической компоненты служит рН. Общей тенденцией для всех периодов исследования являлось снижение рН в воде оз. Питьевого от поверхностных слоев к придонным. Самые низкие значения рН отмечены летом 2020 г., когда в воде присутствовало растворенное Сорг и Снеорг в наибольших количествах. В 2024 г. величина рН была наибольшей, несмотря на значительные количества Снеорг, при несколько меньших количествах Сорг. Скорее всего, на рН наибольшее влияние оказали другие неорганические компоненты, так как в этот период установлено наибольшее значение электропроводности, зависящее от количества ионов в воде.

За весь период наблюдений значение электропроводности изменялось в довольно узком интервале от 54 до 69 мкСм/см., что предсказывает небольшие величины минерализации воды в оз. Питьевого. Сумма главных ионов характеризует воду в данном водоеме как ультрапресную, а, следовательно, и очень мягкую. В 2020 и 2024 гг., схожих между собой по температуре и количеству осадков, отмечено наибольшее суммарное содержание ионов от 34 до 37 мг/л. За счет значительных количеств HCO_3^- только в эти годы вода оз. Питьевого относилась к гидрокарбонатно-хлоридному типу натриевой группы, в остальные годы вода характеризовалась отчетливо как хлоридно-натриевая. (Алёкин, 1953; Никаноров, 2001).

В 2022 г. по необъяснимым на данный момент причинам в поверхностном горизонте отмечались аномально низкие величины всех главных ионов. Это не было аналитической ошибкой или результатом неправильного хранения и транспортировки образца. В этот же день отбора такие же артефакты со снижением концентраций ионов отмечены в подповерхностном горизонте соседнего гидрографически связанного озера Средний Перт при отсутствии дождя, а также в поверхностном слое оз. Биосадкое, находящегося в 3 км, где отбор был сделан на следующий день. Отсюда следует, что в этот год сумма главных ионов в поверхностном слое стала предсказуемо низкой. Содержание большинства ионов, за исключением кальция и магния, было наименьшим в 2023 и 2024 гг., но, возможно, по разным причинам. В первый год значительное количество осадков, вставшее за несколько дней до момента отбора проб, привело к увеличению уровня воды в системе и озере, то есть некоему «разбавлению», во второй год на результате могло сказаться более длительное хранение образцов до проведения аналитических работ. При этом, в 2024 г. по естественным или нет причинам отмечено возрастание концентраций ионов кальция и магния, а, следовательно,

и жесткости воды по сравнению с другими годами исследования (Таблица 2). Наибольшее количество хлорид-ионов и ионов натрия, как доминирующих ионов, зафиксировано в 2021 г. в самый малопродуктивный период, когда наблюдалось некоторое «концентрирование» ионов в воде озера.

4. Заключение

Исследования, проведенные на оз. Питьевого в течение пяти лет в летний период, подтвердили низкие значения минерализации (суммы главных ионов) его воды.

Климатические колебания (температуры воздуха и количества осадков) без антропогенного влияния, приводили, в силу естественных причин, к межгодовым изменениям всех изученных авторами гидрохимических показателей.

Температурный фактор в большей степени обусловил непосредственно температуру воды, а также образование анаэробных условий и процессов, с ними связанных. Количество осадков повлияло на водность (глубину на станции отбора) и, в какой-то степени, на концентрации главных ионов.

Благодаря полученным данным выявлены годы, близкие по значениям многим из исследуемых показателей (например, 2020 и 2024 гг.) или, наоборот, отличных от данных 2022 и 2023 гг.

Представленные результаты позволили проследить взаимосвязь и объяснить некоторые закономерности в изменении параметров.

Сравнение имеющейся информации привело к выявлению необъяснимых, но имеющих место, артефактов по поверхностному горизонту воды озера в 2022 г.

Все представленные сведения подтвердили необходимость проведения мониторинговых работ по изучению гидрохимических показателей в водоемах, не подверженных антропогенным нагрузкам, имеющих важное значение, как, например, оз. Питьевого на Большом Соловецком острове.

Полученные результаты могут служить условным фоном при контроле экологического состояния водоема в условиях возрастающей рекреационной нагрузки, связанной с увеличением туристического потока на Соловецкие острова.

Благодарности

Авторы выражают благодарность за всестороннюю помощь в проведении экспедиционных исследований на Соловках сотрудникам Соловецкого государственного историко-архитектурного и природного музея-заповедника А.Я. Мартынову, А.Н. Соболеву.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

Carlson R.E. 1977. A Trophic State Index for Lakes. *Limnology Oceanography* 22(2): 361–369. DOI: [10.4319/lo.1977.22.2.0361](https://doi.org/10.4319/lo.1977.22.2.0361)

Efremova T.A., Sabylina A.V., Lozovik P.A. et al. 2019. Seasonal and spatial variation in hydrochemical parameters of Lake Onego (Russia): insights from 2016 field monitoring. *Inland waters* 9(2): 227–238. DOI: [10.1080/20442041.1568097](https://doi.org/10.1080/20442041.1568097)

Titova K.V., Kokryatskaya N.M., Popov S.S. et al. 2024. Hydrochemical characteristics of different types of lakes on the Great Solovetsky Island. *Vodnyye resursy [Water Resources]* 51(2): 214–224. (in Russian)

Zhumay Y., Khussainov A., Kurmanbayeva A. et al. 2021. Assessment of hydrophysical and hydrochemical features of water bodies: a case study of lake Imantau, Kazakhstan. *Water Conservation and Management (WCM)* 5(2): 108–113. DOI: [10.26480/wcm.02.2021.108.113](https://doi.org/10.26480/wcm.02.2021.108.113)

Адамович Т.А., Скугорева С.Г., Князева Е.В. и др. 2017. Изучение ионного состава воды озер государственного природного заповедника «Нургуш». *Вода и экология: проблемы и решения* 4(72): 3–12.

Алекин О.А. 1953. Основы гидрохимии. Ленинград: Гидрометеиздат.

ГОСТ 31868-2012. 2019. Вода. Методы определения цветности. Москва: Стандартинформ.

ГОСТ 31957-2012. 2013. Вода. Методы определения щелочности и массовой концентрации карбонатов и гидрокарбонатов. Москва: Стандартинформ.

ГОСТ 31958-2012. 2013. Вода. Методы определения общего и растворенного органического углерода (ISO 8245:1999, NEQ). Москва: Стандартинформ.

ГОСТ Р 59024-2020. 2023. Вода. Общие требования к отбору образцов. Национальный стандарт Российской Федерации. Дата введения в действие 2022-06-01. Москва: Российский институт стандартизации.

Грицевская Г.Л., Кябелева Г.К., Николаева Л.А. и др. 1972. Соловецкие острова. Материалы по комплексному изучению озер. Труды СЕВНИОРХ. Петрозаводск: Изд-во «Карелия» 6: 5–44.

Дебольский В.К., Григорьева И.Л., Комиссаров А.Б. и др. 2010. Современная гидрохимическая характеристика реки Волга и ее водохранилищ. *Вода: химия и экология* 11: 2–12.

Захаров Ю.С. 2013. Озерно-канальные системы на островах Соловецкого архипелага. Соловецкий сборник. Фед. гос. бюджет. Учреждение культуры «Соловец. гос. ист.–архитект. и природ. музей-заповедник. Архангельск 9: 94–135.

Китаев С.П. 2007. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: КарНЦ.

Климов С.И., Быков В.М. 2022. Гидрологические особенности озер Соловецкого архипелага в летний период. *Метрология и гидрология* 9: 53–64.

Натытник А.А., Никишин Н.А. 1990. Озерно-канальные водохозяйственные системы Соловецких островов – памятники истории и культуры в гидросфере. Изучение памятников истории и культуры в гидросфере 1: 124–140.

Никаноров А.М. 2001. Гидрохимия: Учебник. Санкт-Петербург: Гидрометеиздат.

Отюкова Н.Г. 2021. Влияние аномально высокой температуры вод на гидрохимический режим устьевой области малой рек (на примере притока Рыбинского водохранилища). Труды Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН 96 (99): 46–59.

Природная среда Соловецкого архипелага в условиях меняющегося климата. 2007. В: Шварцмана Ю.Г., Болотова И.Н. (ред.). Екатеринбург: УрО РАН.

РД 52.24.450-2010. 2010. Массовая концентрация сероводорода и сульфидов в водах. Методика проведения измерений фотометрическим методом с использованием N,N-диметил-p-фенилендиамина. Ростов-на-Дону: Росгидромет.

Титова К.В., Жибарева Т.А., Кокрятская Н.М. и др. 2021. Химические и микробиологические показатели воды Питьевого канала (Большой Соловецкий остров) Соловецкий сборник. Соловец. гос. ист.-архитектур. и природ. музей-заповедник. Отв. ред.-сост.: канд. ист. наук А.Я. Мартынов. Архангельск: Соловец. гос. ист.-архитектур. и природ. музей-заповедник 17: 339-349. ISBN 978-5-6046324-5-1.

Титова К.В., Жибарева Т.А., Морева О.Ю. и др. 2020. Гидрохимические и гидробиологические исследования озер Большого Соловецкого острова. *Успехи современного естествознания* 11: 125–131.

Фоменко А.И. 2013. Региональная специфика озерных вод. *Фундаментальные исследования* 10(1): 90–94.