УДК 556.114; 579.68

https://doi.org/10.35567/1999-4508-2026-4-81-97

Оригинальная статья/Original paper

Рекогносцировочные гидрологические исследования Питьевого канала на Большом Соловецком острове

К. В. Титова, Н. М. Кокрятская, Т. А. Жибарева, О. Ю. Морева

ksyu_sev@mail.ru

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н. П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук, г. Архангельск, Россия

АННОТАЦИЯ

Актуальность. Вода относится к основным факторам, влияющим на здоровье человека. В статье представлены результаты исследования гидрохимических и микробиологических показателей Питьевого канала на Большом Соловецком острове. Этот водоток выполняет гидроресурсную функцию, обеспечивая питьевой водой местное население, туристов и паломников. **Методы.** Отбор проб проведен в июле – августе и октябре 2020 г. Определены гидрохимические показатели из перечня обязательных для оценки загрязнения и характеристики воды, общее микробное число, ОКБ, ТКБ, рассчитаны индексы загрязнения вод. **Результаты.** Установлено изменение содержания органического углерода и цветности воды от истока канала к устью, вызванное естественными условиями функционирования водотока, поступлением болотных вод с водосборной территории. Показано, что изменение соотношения главных ионов в устье Питьевого канала и увеличение микробиологических показателей обусловлены антропогенным воздействием. Отмечено влияние температуры окружающей среды на микробиологическую деятельность. Полученные результаты подтверждают необходимость мониторинга состояния Питьевого канала.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: гидрохимические характеристики, микробные показатели, водотоки, Соловецкий архипелаг, питьевая вода

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦКИА Уральского отделения РАН.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Титова К. В., Кокрятская Н. М., Жибарева Т. А., Морева О. Ю. Рекогносцировочные гидрологические исследования Питьевого канала на Большом Соловецком острове // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2026. № 4. С. 81–97; https://doi.org/10.35567/19994508-2026-4-81-97; EDN: LDDYXO

© Титова К. В., Кокрятская Н. М., Жибарева Т. А., Морева О. Ю., 2026

Reconnaissance hydrological studies of the Pityevoy Canal on Bolshoy Solovetsky Island

Ksenia V. Titova ✉, **Natalia M. Kokryatskaya**, **Tatiana A. Zhibareva**, **Olga Yu. Moreva**

✉ksyu_sev@mail.ru

N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research Ural Branch RAS, Arkhangelsk, Russia

ABSTRACT

Relevance. This article presents the results of a study of the hydrochemical and microbiological parameters of the Pityevoy Canal. This watercourse also serves as a hydroresource, supplying water to the local population, tourists, and pilgrims. **Methods.** Sampling was conducted in July-August and October 2020. Among the parameters determined, hydrochemical parameters from the list of mandatory parameters for assessing pollution and water characteristics, including total microbial count (TBC), total bacterial count (TBC), and calculated water pollution indices, were selected. **Results.** Changes in organic carbon content and color (including iron) from the canal's source to its mouth were established, caused by the natural conditions of the watercourse and the influx of marsh waters from the catchment area. It is shown that changes in the ratio of the main ions at the mouth of the Pityevoy Canal and an increase in microbiological parameters are due to anthropogenic impacts. The influence of ambient temperature on microbiological activity is noted. At the drinking water sampling site, prior to water treatment, water quality discrepancies were detected only in terms of color, organic matter, and iron content due to natural factors. These results confirm the need to monitor the condition of the Pityevoy Canal due to the significant variability of its water quality parameters.

KEYWORDS: hydrochemical characteristics, microbial indicators, watercourses, Solovetsky Archipelago

FINANCING: The work was carried out within the framework of the state assignment of the FCIARctic of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences.

FOR CITATION: Titova K. V., Kokryatskaya N. M., Zhibareva T. A., Moreva O. Yu. Reconnaissance hydrological studies of the Pityevoy Canal on Bolshoy Solovetsky Island. *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*. 2026. No. 4. P. 81–97; https://doi.org/10.35567/19994508-2026-4-81-97; EDN: LDDYXO

ВВЕДЕНИЕ

Вода относится к основным факторам, влияющим на здоровье человека. Отрицательное воздействие на организм могут оказывать не только вещества-загрязнители, но и естественные компоненты природных вод, если их концентрация значительно выше или ниже содержания, необходимого для нормальной жизнедеятельности [1].

Проблема качества воды остается актуальной как в России, так и в мировом масштабе[1]. Деградация водных ресурсов – это широко изучаемое явление,

1 Охрана природы. Гидросфера. Использование и охрана вод. Основные термины и определения. ГОСТ 17.1.1.01-77. М.: Изд-во стандартов, 1984. 13 с.

которое может быть вызвано природными процессами (изменением климата, взаимодействием воды и горных пород, геологическими факторами) и деятельностью человека [2, 3]. В современных условиях управление поверхностными и подземными водами как ресурсом жизнедеятельности является сложным процессом и требует соответствующей информации о состоянии водных ресурсов [4]. Кроме того, физико-химические и биологические характеристики, а также качество, количество и доступность водных ресурсов колеблются из-за воздействия природных и антропогенных факторов [5]. Загрязнение водных объектов могут вызывать и физические факторы окружающей среды, например существенное изменение температуры [6].

Развиваются различные направления изучения процессов формирования и трансформации качества воды: геохимическое, биологическое, санитарно-гигиеническое, водохозяйственное и гидрологическое [7]. Целью глобальной системы мониторинга окружающей среды по пресной воде служит устойчивое развитие водных ресурсов[2].

Соловецкий архипелаг, в который входит Большой Соловецкий остров, расположен в юго-западной части Белого моря при входе в Онежский залив, в 165 км южнее Северного полярного круга [8]. Отличительной особенностью гидрографической сети острова является отсутствие рек при большом количестве озер.

В этих условиях выдающимся примером хозяйственной деятельности Соловецкого монастыря стало создание озерно-канальных водохозяйственных систем, относящихся в настоящее время к одному из наиболее значимых элементов природно-культурного наследия на Соловецких островах. Основные водохозяйственные работы монастыря были нацелены на изменение стока в нужном направлении и его регулирование. Кроме водорегулирующей функции монастырские озерно-канальные системы выполняют также гидроресурсную (водоотведение и водоснабжение), водоэнергетическую, транспортную, мелиоративную и экологическую функции [9].

Важнейшим звеном озерно-канальной системы Большого Соловецкого острова является Питьевой канал, в середине которого осуществляется водозабор для нужд жителей и гостей пос. Соловецкий. Канал был искусственно создан в середине XVI в. при игумене Филиппе (Колычеве), чтобы соединить оз. Питьевое (Данилово) с оз. Святым и замкнуть систему озер у стен Соловецкого монастыря.

Озера Большого Соловецкого острова исследовали в середине 1960-х и в начале 2000-х годов специалисты и ученые различных научных институтов [8, 10, 11]. Первые работы по исследованию озер Большого Соловецкого острова были проведены в 1882–1897 гг. сотрудниками биологической станции

2 Интернет-ресурс: https://unece.org/ru/environment-policy/environmental-monitoring-and-assessment/pokazateli-i-politika-v-oblasti (дата обращения: 22.06.2026).

Петербургского общества естествоиспытателей, но в открытом доступе сведений об их результатах не найдено. Дальнейший этап обследования относится к лагерному периоду истории Соловецкого архипелага и связан с открытием Соловецкой биологической станции в 1926 г. [12]. Было установлено, что питание Соловецких озер идет за счет атмосферных осадков, как выпадающих непосредственно на акватории озер, так и стекающих по поверхности острова или через толщу его почв и грунтов, т. е. их солевой режим находится во взаимосвязи с характером водосборной площади. Поэтому озера, питающиеся за счет почв, отличаются большой бедностью солей, особенно биологически важных [13].

В ходе исследований середины XX в. были выявлены особенности гидрографической сети острова, в частности отсутствие рек и ярусное расположение озер. Сток пресных вод в Белое море наиболее четко выражен в трех направлениях: в губу Сосновскую сбрасывает воды система озер Долгого, Лесного Большого и Горелого, в залив Благополучия поступают воды канальной системы озер, а воды озер северо-восточной группы стекают в губу Долгую. Водоемы сообщаются посредством ручьев, проток или искусственных каналов, а иногда вообще не имеют стока.

Создание озерно-канальной системы привело к изменению гидрологического режима озер (водоемов с замедленным водообменом): одни стали проточными, площади водосборов некоторых озер возросли в несколько раз, другие же, наоборот, стали менее проточными. Через основные озера Западной канальной системы транзитом проходят воды, поступающие с начала системы из озер Большого Гремячьего и Красного. Близость значений гидрокарбонатов и перманганатной окисляемости могут свидетельствовать о сравнительной однородности минерального и органического состава вод этой группы озер. По-видимому, малые канальные озера утратили значительные индивидуальные черты гидрохимического режима [8].

Летом 2001–2005 гг. при изучении гидрохимических особенностей внутренних водоемов острова выполнен анализ смешанных проб верхнего слоя озерной воды. Установлена близость гидрохимических показателей для водоемов канальной системы озер [10].

На примере оз. Святое, являющегося замыкающим в озерно-канальной системе, показано различие в минерализации воды по акватории озера в 2020 г., что связано с его проточностью (поступлением из других водных систем и отчасти глубиной места отбора), а также сезонными колебаниями, обусловленными изменением уровня воды в подледный период и во время обильного выпадения осадков, т. е. с естественными факторами. В последующие годы, по сравнению с 2020 г., произошло уменьшение минерализации. Это различие вызвано снижением концентрации гидрокарбонатов, сульфатов и кальция при практически постоянном уровне хлоридов, натрия и магния. Изменилось также и распределение ионов с преобладающих гидрокарбонатов и натрия

на хлоридно-натриевое, которое характерно для всех других исследованных авторами озер Большого Соловецкого острова. Эти изменения связаны как с природными факторами, так и с возможным антропогенным воздействием, более выраженным в 2020 г. [14].

Целью данной работы являлось исследование воды Питьевого канала по химическим и микробиологическим показателям для выявления влияния природных и антропогенных факторов на качество воды.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Естественное течение воды в Питьевом канале обусловлено ярусностью расположения озер Питьевое и Святое, т. е. значительной разностью высот. Вода в него поступает через шлюз-водорегулятор из оз. Питьевого. При сопоставлении фотографий в период с 2005 по 2012 г. можно отметить наличие изменений в работе шлюза: при отсутствии регулирования он не мог пропустить весь объем поступающей воды. Вода из озера шла двумя потоками – через шлюз и сбоку, объединяясь далее в единый поток. В период проведения исследований (июль и октябрь 2020 г.) часть искусственного русла канала была затоплена водами оз. Питьевое. Это связано с разрушением регулирующих



Рис. 1. Исток Питьевого канала, осень 2020 г.
Fig. 1. Source of the Pityevoy Canal, autumn 2020

устройств в Западной озерно-канальной системе (оз. Красное – оз. Валдай – оз. Щучье – оз. Круглое – оз. Орлово – оз. Средний Перт – оз. Питьевое), заиливанием русла соединяющих их каналов, приводящим к значительным колебаниям уровня воды в системе, что особенно заметно в период снеготаяния и интенсивного выпадения осадков. На снимке (рис. 1), выполненном с квадрокоптера (фото С. Яковлева), видны очертания канала под водой, что подтверждает произошедшие изменения.

По берегам Питьевого канала расположены объекты, которые могут оказывать воздействие на свойства воды. В нескольких метрах от будки шлюза около оз. Питьевое над каналом по деревянному мосту проходит дорога к лодочной станции на оз. Средний Перт. Ниже по течению канала с его левого берега переброшена труба с водами другого водотока, далее Питьевой канал проходит по болотистой местности. Воды из болота стекают в канал у его левого берега в виде ручейков.



Рис. 2. Расположение станций отбора проб воды в 2020 г.: Т3/Т28 – акватория оз. Питьевое; Т4/Т24 – исток канала; Т25 – у моста через канал; Т29 – рядом с устьем впадающего в канал ручья; Т30 – в пределах заболоченной территории; Т20/Т23 – середина канала, водозабор пос. Соловецкий; Т31 – около взлетно-посадочной полосы аэропорта Соловки; Т14/Т26 – устье Питьевого канала; Т32 – оз. Банное

Fig. 2. Location of water sampling sites in 2020. T3/T28 is the Lake Pityevoe water area; T4/T24 is the canal source; T25 is near the bridge across the canal; T29 is near the inflowing brook mouth; T30 is within the wetland territory; T20/T23 is the center of the canal, water intake for Solovetskiy community; T31 is near the Solovki Airport runway; T14/T26 is the Pityevoy Canal mouth; T32 is the Lake Bannoye

В среднем течении Питьевого канала осуществляется забор воды для нужд поселка и монастыря. В 300 м ниже водозабора проход по Питьевому каналу ограничен возведенным осенью 2020 г. забором взлетно-посадочной полосы аэродрома пос. Соловецкий, вдоль которой канал протекает около 100 м и далее течет рядом с частными жилыми домами. В 10–15 м от оз. Святое его пересекает интенсивно используемая грунтовая дорога. Оканчивается Питьевой канал в месте впадения в оз. Святое (устье).

Образцы проб поверхностного слоя воды отобраны горизонтальным поликарбонатным батометром на 2 л или непосредственно в пластиковую емкость в конце июля – начале августа и октябре 2020 г. на станциях (рис. 2 и табл. 1). Всего задействовано 4 станции отбора в июле, 9 станций – в октябре. Расположенные близко или идентичные станции отбора в разные сезоны 2020 г. отмечены на схеме в виде дроби: слева от черты – летний отбор, справа – осенний. Канал длиной около 2,5 км, ширина его в период исследования изменялась на разных участках – от 2 до 5 м, глубина – от 0,5 до 0,8 м. Морфометрия, показатели стока Питьевого канала не были определены в ходе данного исследования.

Таблица 1. Станции отбора проб
Table 1. Sampling stations

Шифр	Координаты	Расположение станции
Июль – август		
T3	N 65°02.487’ E 035°41.535’	Заливчик оз. Питьевое у истока Питьевого канала
T4	N 65°02.488’ E 035°41.440’	Начало Питьевого канала
T14	N 65°01.631’ E 035°43.152’	Устье Питьевого канала до впадения в оз. Святое
T20	N 65⁰02.048’ E 035⁰42.165’	Питьевой канал у водозабора
Октябрь		
T23	N 65°02.050’ E 035°42.166’	Питьевой канал у водозабора
T24	N 65°02.480’ E 035°41.535’	Заливчик оз. Питьевого у истока Питьевого канала
T25	N 65°02.481’ E 035°41.540’	Начало Питьевого канала после моста
T26	N 65°01.637’ E 035°43.150’	Оз. Святое, впадение Питьевого канала
T28	N 65°02.532’ E 035°41.625’	Залив оз. Питьевое у бетонированной площадки
T29	N 65°02.417’ E 035°41.758’	Питьевой канал, впадение ручья с левого берега
T30	N 65°02.138’ E 035°42.066’	Питьевой канал у болота на левом берегу
T31	N 65°02.030’ E 035°42.417’	Питьевой канал рядом с взлетно-посадочной полосой
T32	N 65°01.794’ E 035°42.197’	Оз. Банное, вытекающий из него ручей
–	N 65°01.402’ E 035°42.504’	Канал Вешняк, вытекающий из оз. Святое

В случае необходимости применялась консервация образцов, которые доставлялись в стационарную лабораторию в г. Архангельске с соблюдением сроков и способов хранения. Измерения и анализ образцов проводились по апробированным и общепринятым методикам. На месте отбора проб проводили измерения быстро изменяющихся гидрохимических показателей с помощью pH-метра HI 83141 (Hanna), кондуктометра HI 8733 (Hanna) – pH, электропроводность; в экспедиционной лаборатории – цветности, формы растворенного железа, сероводорода (спектрофотометр Unico 1201), уровень щелочности (pH-метр HI 83141). Анализ на содержание биогенных элементов, главных ионов, нефтепродуктов, органического вещества (фотометр «Эксперт-03», жидкостной хроматограф LC-20 Prominence, флюорат-02-2M, TOC-Lcsn) и микробиологических показателей[3] проб воды осуществлялся в стационарных лабораториях по общепринятым методикам с применением консервации и соблюдением сроков и способов хранения.

В рамках исследования определено содержание главных ионов методом ионной хроматографии, гидрокарбоната – объемным титрованием, биогенных элементов – фотометрическим методом, органического углерода – элементным анализом, нефтепродуктов – флуориметрическим методом. Диапазон измерений массовой концентрации нефтепродуктов – от 0,005 до 50 мг/дм^3. Измерение температуры воды в периоды исследования не проводилось, температура воздуха в июле и октябре на Соловецком архипелаге заметно различалась: средняя в июле составляла +12…+16 °C, в октябре – +5…+6 °C с ночными температурами ближе к нулю[4].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно полученным данным (табл. 2), воды Питьевого канала по минерализации (от 22,77 до 40,01 мг/л) отнесены к категории «ультрапресные» (< 100 мг/л). Невысокие значения этого показателя также отмечены в оз. Питьевое – от 33 до 37 мг/л, оз. Святое – 36 мг/л, оз. Банное – 47 мг/л. Воды озер и канала относятся к хлоридно-карбонатному или карбонатно-хлоридному типу натриевой группы.

Жесткость воды в Питьевом канале изменялась от 0,22 до 0,38 мг-экв/л. По этому показателю вода относится к категории «очень мягкая» (< 1,5 мг-экв/л). Воду Питьевого канала по величине pH (от 4,14 до 6,86) можно характеризовать как кислую и слабокислую, наибольшая кислотность отмечена на выходе из болота (Т30). Наибольшие изменения, обусловленные естественными причинами, выявлены для содержания органических веществ от истока до устья Питьевого канала. Цветность воды изменялась от 43 до

3 МУК 4.2.1884–2004. Санитарно-микробиологический и санитарно-паразитологический анализ воды поверхностных водных объектов. 2004. 62 с.

4 Интернет-ресурс: https://world-weather.ru/pogoda/russia/solovki/ (дата обращения: 02.03.2026).

410 градусов цветности. Содержание органического вещества ($C_{орг}$) – от 9,33 до 75 мг/л. Наибольшие значения показателей зафиксированы в точке Т30, где в Питьевой канал впадают болотные воды. Большое количество $C_{орг}$ (и, в частности, веществ гумусовой природы) приводит к снижению pH на 2 единицы и увеличению цветности воды почти в 10 раз. Выявлена значимая корреляция (r = 0,99) между цветностью и содержанием органического вещества, что может служить свидетельством значительного вклада именно гуминовых веществ в уровень содержания органического вещества. Согласно СанПиН[5], по цветности (норматив 30 градусов) и органическому веществу (норматив < 3–5 мг/л) воды Питьевого канала не соответствует требованиям к водам питьевого назначения.

Отметим, что для вод озер Банное и Святое, которые являются замыкающими для Питьевого канала, обнаружено явно выраженное увеличение ряда ионов: сульфатов, кальция и калия. В целом в оз. Банное среди всех водных объектов данного исследования выявлены наибольшие количества этих ионов и самое высокое значение жесткости воды. Показатели воды канала Вешняк, практически единственного функционирующего водотока из оз. Святое, как и следовало ожидать, определяются особенностями водосбора этого озера и имеют малое сходство с водами Питьевого канала, втекающего в озеро.

В осенний период в результате осадков повышается поступление гуминовых веществ, железа, биогенных элементов, главных ионов и других соединений с берегов. Наблюдается увеличение количества поступающего взвешенного вещества с территории взлетно-посадочной полосы. Из глинистых частиц при попадании в воду канала выщелачиваются растворимые компоненты, что отражается на увеличении сульфатов, кальция и калия в воде Питьевого канала (сумма ионов без учета гидрокарбонатов в октябре больше, чем в июле), а также озер Святое и Банное. Немного увеличивается жесткость воды. Незначительно снижается pH воды в Питьевом канале и увеличивается ее цветность (например, у водозабора – на 20 градусов). Различие в количестве поступающего органического вещества влияет и на содержание форм азота (увеличивается почти в два раза количество аммония как продукта деструкции органического вещества). При этом в осенний период по сравнению с летним отмечено увеличение соединений фосфора, которые в основном поступают с водосбора в минеральной форме (фосфаты), а также кремния. Но наблюдается снижение в воде гидрокарбонатов, что связано со снижением микробиологической жизнедеятельности в более холодный период. Содержание нефтепродуктов в воде на всем протяжении Питьевого канала не превышало 0,02 мг/л (табл. 2) и обусловлено прежде всего наличием органических соединений природного происхождения.

5 СанПиН 2.1.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. М, 2021. 988 с.

Таблица 2. Гидрохимические показатели воды системы Питьевого канала
Table 2. Hydrochemical indicators of the Pityevoy Canal system

Показатель	оз. Питьевое (Т3/Т28)	Исток (Т4/ Т24)	У моста (Т25)	У ручья (Т29)	У болота (Т30)	Середина, водозабор (Т20/Т23)	У забора полосы (Т31)	Устье (Т14, Т26)	Из оз. Банное (Т32)	У канала Вешняк из оз. Святое
pH	6,15/6,08	6,22/5,89	– /5,96	–/5,89	–/4,14	6,86/6,28	–/5,67	6,16/5,67	–/5,98	6,87/–
HCO_3^-, мг/л	15,13/14,03	13,24/4,88	– /9,15	–/11,59	–/1,22	16,59/7,32	–/10,98	16,35/13,42	–/21,35	24,9/-
Cl^-, мг/л	8,27/7,89	7,27/7,86	–/7,91	–/7,66	–/7,22	8,18/8,34	–/7,96	8,08/8,03	–/8,76	7,82/–
SO_4^{2-}, мг/л	3,64/3,52	3,22/3,47	–/3,44	–/3,61	–/3,27	3,81/3,61	–/3,43	3,88/5,21	–/16,46	6,04/–
Na^+, мг/л	5,75/5,83	5,98/5,83	–/5,77	–/5,84	–/5,91	6,09/6,12	–/5,84	6,31/5,97	–/7,06	6,09/–
Ca^{2+}, мг/л	1,90/2,61	2,12/2,76	–/2,71	–/2,67	–/2,81	2,71/4,00	–/2,38	2,59/4,66	–/8,96	4,34/–
Mg^{2+}, мг/л	1,50/1,57	1,41/1,63	–/1,6	–/1,68	–/1,86	1,67/2,35	–1,86	1,61/1,75	–/2,98	1,84/–
K^+, мг/л	0,58/0,52	0,50/0,48	–/0,53	–/0,50	–/0,48	0,48/0,87	–/0,53	0,57/0,97	–/2,64	0,95/–
Жесткость, мг-экв/л	0,22/0,26	0,22/0,27	–/0,27	–/0,27	–/0,30	0,28/0,40	–/0,25	0,26/0,38	–/0,69	0,37/–
Минерализация, мг/л	36,77/33,74	31,00/26,91	–/31,11	–/33,55	–/22,77	39,52/32,61	–/32,64	39,39/40,01	–/68,21	36,42/–
$N–NO_3^-$, мкг/л	108,9/93,85	102,1/94,92	–/99,52	–/96,50	–/82,10	108,8/145,7	–/147,6	135,0/64,90	–/123,0	147,6/–
$N–NH_4^+$, мкг/л	11,10/23,97	12,30/23,97	–/3,54	–/11,22	–/7,97	13,61/22,47	–/21,67	16,51/7,34	–/35,69	14,69/–
$N–NO_2^-$, мкг/л	0,20/0,01	0,52/0,01	–/0,02	–/0,01	–/2,81	0,31/0,46	–/0,67	0,62/3,01	–/3,76	1,40/–
$P–PO_4$, мкг/л	3,12/3,11	2,95/11,45	–/2,86	–/4,41	–/6,15	3,32/4,82	–/1,00	3,57/10,79	–/16,59	5,89/–
Si, мкг/л	982/1075	993/989	–/983	–/979	–/3569	942/1168	–/1214	909/1328	–/2230	718/–
$C_{орг}$, мг/л	9,94/9,72	9,45/11,36	–/14,00	–/9,54	–/75,94	11,00/14,33	–/13,25	10,52/16,14	–/15,48	13,35/–
Цветность, град. цветности	43/45	45/46	–/82	–/46	–/410	51/72	–/74	48/114	–/94	82/–
Нефтепродукты, мг/л	0,006/–	0,007/–	–	–	–	–/0,016	–	0,01/–	–	–
Cu, мкг/л	1,2	1,2	–	–	–	1,3	–	1,6	–	–
Ni, мкг/л	1,5	1,5	–	–	–	1,5	–	1,7	–	–
Mn, мкг/л	10	10	–	–	–	11	–	13	–	–

Примечание: лето/осень; «–» – отсутствие данных.

а *б*



Рис. 3. Станции отбора проб: *а* – оз. Святое (Т26); *б* – оз. Банное, (Т32)
Fig. 3. Photographs of sampling stations: *a* – Lake Svyatoe, (T26); *b* – Lake Bannoe, (T32)

Санитарно-микробиологическая оценка качества воды подразумевает определение совокупности санитарных показателей, отражающих соответствие или несоответствие санитарного состояния исследуемого водного объекта требованиям нормативных документов[3,6]. Методы косвенной идентификации предусматривают применение двух критериев, по которым можно косвенно судить о возможном присутствии возбудителя во внешней среде: общее микробное число (ОМЧ) и содержание санитарно-показательных микроорганизмов (СПМ) [15–17]. Показатели фекального загрязнения: БГКП (бактерии группы кишечной палочки), ОКБ (общие колиформные бактерии), ТКБ (термотолерантные колиформные бактерии); энтерококки; сульфитредуцирующие клостридии; бактерии группы протеев (*Proteus mirabilis*) [18]. Согласно МУК[3], в воде должны отсутствовать ОКБ и ТКБ, ОМЧ не должно превышать 50 КОЕ/мл.

По результатам проведенных анализов общее микробное число в июле в воде Питьевого канала изменялось в несколько раз: в истоке его значение составляло 25 КОЕ/мл, в середине – 56 КОЕ/мл, в устье – 118 КОЕ/мл. В октябре пробы были отобраны повторно, ОМЧ в воде Питьевого канала составило: исток – 3 КОЕ/мл, середина – 4 КОЕ/мл, устье – 14 КОЕ/мл. Общие колиформные бактерии в пробах воды были представлены в основном ТКБ. Если также

6 Guidelines for drinking-water quality. World Health Organization incorporating first addendum. Vol. 1. Recommendations. 2006. 595 p.

рассматривать изменение этого показателя в воде Питьевого канала летом, то в истоке его значение составляло 0 КОЕ/100 мл, в середине – 9,1 КОЕ/100 мл, в устье – 23 КОЕ/100 мл. В октябре установлено количество ТКБ в истоке 3,6 КОЕ/100 мл, в середине канала – 3,6 КОЕ/100 мл, в устье – 93 КОЕ/100 мл. Температурный фактор, влияющий на жизнедеятельность этой группы бактерий, не так явно проявился, но наблюдалось увеличение загрязнения воды канала в устье. Ни в одной из отобранных в летний период проб воды не было обнаружено колифагов.

Удельный комбинаторный индекс загрязненности воды (УКИЗВ) – относительный комплексный показатель степени загрязненности поверхностных вод, который условно оценивает в виде безразмерного числа долю загрязняющего эффекта, вносимого в общую степень загрязненности воды, обусловленную одновременным присутствием ряда загрязняющих веществ, в среднем одним из учтенных при расчете комбинаторного индекса ингредиентов и показателей качества воды. К обязательным показателям для расчета комплексных оценок относят: растворенный в воде кислород (содержание кислорода не определялось, но оно не являлось лимитирующим показателем загрязнения для неглубокого быстротекущего водотока), $БПК_5$ (не определялось, но основу органического вещества воды Питьевого канала и озер составляли трудноразлагаемые вещества гумусовой природы), ХПК (оценивалось по содержанию органического углерода $С_{орг}$), фенолы, нефтепродукты, нитрит-ионы, нитрат-ионы, аммоний-ион, железо общее (цветность), медь, цинк, никель, марганец, хлориды, сульфаты. Количество учитываемых показателей регламентируется целями оценки с учетом программы наблюдений, а также наличием данных о химическом составе поверхностных вод. Для сравнения использовались показатели из СанПиН[5].

Превышение нормативов в воде Питьевого канала отмечено по содержанию органического вещества и цветности (как суммарного показателя $С_{орг}$ и Fe). При большой разнице превышения ПДК в сезонном аспекте по этим показателям использовали наибольшую кратность (в основном для осеннего периода). Согласно классификации качества воды водотоков по значению удельного комбинаторного индекса загрязненности воды[7,5], вода Питьевого канала относится к 1-му классу и характеризуется как «условно чистая».

Рассчитан также ПАН[6] (pH, минерализация, содержание углерода, нитратов, аммония, фосфатов) – базовый показатель антропогенной нагрузки[8]. Значение ПАН[6] воды Питьевого канала составило: водозабор (Т20, Т23) 4,4; устье (Т14, Т26) – 9,7. Согласно шкале (табл. 4), по показателю ПАН[6] вода Питьевого канала отнесена к классу качества II – «чистая вода».

7 РД 52.24.643-2022. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. Ростов-на-Дону. 2002. 24 с.

8 ГОСТ Р 58556-2019. Оценка качества воды водных объектов с экологических позиций. М., 2019. 16 с.

Таблица 4. Шкала значений для базового показателя антропогенной нагрузки природной воды по классам качества[6]

Table 4. Scale of values for the basic indicator of anthropogenic load on natural water by quality classes

Оценочный показатель	Класс качества воды водных объектов с экологических позиций				
	I	II	III	IV	V
	очень чистая	чистая	умеренно загрязненная	загрязненная	грязная
Антропогенная нагрузка по базовым показателям (ПАН[6]), усл. $м^3/м^3$	< 4,2	4,2 ÷ 10,8	10,9 ÷ 24,0	24,1 ÷ 70,0	70,1 ÷ 135,0

Таким образом, при анализе результатов исследования установлено, что вода Питьевого канала в истоке и среднем течении имеет тот же ионный состав и, следовательно, жесткость, что и в озере. Поступление смывов с водосборных площадей в осенний период приводит к увеличению практически всех определяемых компонентов в воде Питьевого канала (особенно сульфатов и кальция), выявлено только уменьшение количества гидрокарбонатов, что связано со снижением микробиологической жизнедеятельности в более холодный период года по сравнению с летним. Снижение температуры осенью отразилось и на изменении общего микробного числа, когда этот показатель не превышает установленного норматива.

ВЫВОДЫ

Проведенные гидрологические исследования Питьевого канала на Большом Соловецком острове (основном источнике водоснабжения пос. Соловецкий) показали, что от его истока к устью наблюдалось изменение химических и микробных показателей, вызванное как естественными условиями функционирования, так и антропогенным воздействием. Колебания содержания органического углерода и цветности от истока Питьевого канала к его устью вызваны прежде всего естественными условиями. Изменение соотношения главных ионов в устье Питьевого канала и микробиологических показателей обусловлено антропогенным воздействием. При этом по индексу загрязненности воды и базовому показателю антропогенной нагрузки воды канала были отнесены к классу «чистые».

Загрязнение устьевой области канала по сравнению с остальными участками наиболее явно отражает группа термотолерантных колиформных бактерий, численность которых увеличивается от 20 до 30 раз по сравнению с истоком канала. Обнаружение этих бактерий в истоке и среднем течении Питьевого канала свидетельствует о некотором несоответствии качества воды установленным критериям.

По основным гидрохимическим показателям вода Питьевого канала от истока до его середины не соответствует нормативам только по цветности, следовательно, по содержанию органического вещества и, вероятно, железа. В нижнем течении канала вода по обобщенным индексам хотя и относится к категории «чистая», но близка по показателям к «умеренно или слабо загрязненной». Обусловлено это естественными причинами, в частности заболоченностью водосбора. Нельзя исключить и влияние общего состояния Питьевого канала (разрушение берегов и т. д.), которое требует проведения определенных восстановительных мероприятий.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

CONFLICT OF INTERESTS

The author declare no relevant conflict of interests.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голдовская-Перистая Л. Ф., Перистый В. А., Шапошников А. А. Гигиеническая оценка качества питьевой воды централизованной системы водоснабжения Белгородской области по некоторым химическим показателям // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Сер.: Естественные науки. 2008. № 3 (43). С. 140–146.
2. Nagaraju A., Thejaswi A., Sreedhar Y. Assessment of Groundwater Quality of Udayagiri area, Nellore District, Andhra Pradesh, South India Using Multivariate Statistical Techniques // Earth Journal of Scientific Research. 2016. Vol. 20. No. 4. P. 1–11.
3. Akhtar N., Syakir Ishak M. I., Bhawani S. A., Umar K. Various natural and anthropogenic factors responsible for water quality degradation: a review // Water. 2021. Vol. 13. P. 26–60. https://doi.org/10.3390/w13192660
4. Macdonald A. M., Davies J., Dochartaigh B. E. O. Simple methods for assessing groundwater resources in low permeability areas of Africa. British Geological Survey Commissioned Report, CR/01/168N. South Africa. British Geological Survey. 2002. 71 p.
5. Khatri N., Tyagi S. Influences of natural and anthropogenic factors on surface and groundwater quality in rural and urban areas // Frontiers in Life Science. 2014. No. 8. P. 23–39.
6. Manjunatha S., Bobade K., Kudale M. Pre-cooling technique for a thermal discharge from the coastal thermal power plant // Procedia Engineering. 2015. No. 116. P. 358–365.
7. Алексеевский Н. И., Заславская М. Б., Гончаров А. В. Методические подходы к изучению и параметризации качества воды // Вестник Московского Университета. Сер. 5. География. 2016. № 2. С. 13–21.
8. Грицевская Г. Л., Кябелева Г. К., Николаева Л. А., Семенов В. Н. Гидрология и гидрохимия Соловецких озер // Соловецкие острова. Материалы по комплексному изучению озер. Труды СевНИОРХ. Т. 6. Петрозаводск: Изд-во Карелия, 1972. С. 5–44.
9. Захаров Ю. С. Озерно-канальные системы на островах Соловецкого архипелага // Соловецкий сборник. Вып. 9. Соловецкий гос. историко-архитектурный и природный музей-заповедник. Архангельск, 2013. С. 94–135.
10. Природная среда Соловецкого архипелага в условиях меняющегося климата / под ред. Ю. Г. Шварцмана, И. Н. Болотова, Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 184 с.

11. Титова К. В., Жибарева Т. А., Морева О. Ю., Собко Е. И., Слобода А. А., Попов С. С., Прилуцкая Н. С. Гидрохимические и гидробиологические исследования озер Большого Соловецкого острова // Успехи современного естествознания. 2020. № 11. С. 125–131.
12. Захваткин А. А., Сахаров Н., Юрканский В. Материалы Соловецкого общества краеведения. К познанию природы Соловецких островов. Соловки: Бюро печати УСЛОН, 1928. 56 с.
13. Захваткин А. А. Соловецкие озера: краткий гидробиологический очерк. Соловки: Бюро печати УСЛОН, 1927. 142 с.
14. Titova K. V., Zhibareva T. A., Sloboda A. A., Popov S. S., Kokryatskaya N. M., Eliseeva I. S. Formation of the ionic composition of water: case study of small Lake on Bolshoi Solovetsky Island // Water resources. 2023. Vol. 50. No. 3. P. S366–S370. https://doi.org/10.1134/S0097807823700628
15. Liu G., Verbeek J., Van Dijk J. Bacteriology of drinking water distribution systems: an integral and multidimensional review // Applied Microbiology and Biotechnology. 2013. Vol. 97. P. 9265–9276. https://doi.org/10.1007/s00253-013-5217-y
16. Тымчук С. Н., Ларин В. Е., Соколов Д. М. Наиболее значимые санитарно-микробиологические показатели оценки качества питьевой воды // Водоснабжение и санитарная техника. 2013. № 11. С. 8–14.
17. Daley K. Chemical and microbial characteristics of municipal drinking water supply systems in the Canadian Arctic // Environmental Science and Pollution Research, 2018. Vol. 25. No. 33. P. 32926–32937.
18. Сопрунова О. Б. Санитарная микробиология. АГТУ. Астрахань, 2007. 204 с.

REFERENCES

1. Goldovskaya-Peristaya L. F., Peristy V. A., Shaposhnikov A. A. Hygienic assessment of the quality of drinking water of the centralized water supply system of the Belgorod region based on some chemical indicators. *Scientific Bulletin of Belgorod State University. Series: Natural Sciences*. 2008. No. 3 (43). P. 140–146.
2. Nagaraju A., Thejaswi A., Sreedhar Y. Assessment of Groundwater Quality of Udayagiri area, Nellore District, Andhra Pradesh, South India Using Multivariate Statistical Techniques. *Earth Journal of Scientific Research*. 2016. Vol. 20. No. 4. P. 1–11.
3. Akhtar N., Syakir Ishak M.I., Bhawani S.A., Umar K. Various natural and anthropogenic factorsresponsible for water quality degradation: a review. *Water*. 2021. Vol. 13. P. 26–60. https://doi.org/10.3390/w13192660
4. Macdonald A. M., Davies J., Dochartaigh B. E. O. Simple methods for assessing groundwater resources in low permeability areas of Africa. British Geological Survey Commissioned Report, CR/01/168N. South Africa. British Geological Survey. 2002. 71 p.
5. Khatri N., Tyagi S. Influences of natural and anthropogenic factors on surface and groundwater quality in rural and urban areas. *Frontiers in Life Science*. 2014. No. 8. P. 23–39.
6. Manjunatha S., Bobade K., Kudale M. Pre-cooling technique for a thermal discharge from the coastal thermal power plant. *Procedia Engineering*. 2015. No. 116. P. 358–365.
7. Alekseevsky N. I., Zaslavskaya M. B., Goncharov A. V. Methodological approaches to the study and parameterization of water quality. *Bulletin of Moscow University. Series 5. Geography*. 2016. No. 2. P. 13–21.
8. Gritsevskaya G. L., Kyabeleva G. K., Nikolaeva L. A., Semenov V. N. Hydrology and hydrochemistry of the Solovetsky lakes. *Solovetsky Islands. Materials on the comprehensive study of lakes. Proceedings of Northern Research Institute of Lake and River Fisheries*. Vol. 6. Petrozavodsk: Karelia Publishing House, 1972. P. 5–44.

9. Zakharov Yu. S. Lake-canal systems on the islands of the Solovetsky Archipelago. *Solovetsky collection. Issue 9.* Federal state budget cultural institution «Solovets, state hist.-arch. and natural museum-reserve». Arkhangelsk. 2013. P. 94–135.
10. Natural environment of the Solovetsky Archipelago in a changing climate / Edited by Yu. G. Shvartsman, I. N. Bolotov. Ekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2007. 184 p.
11. Titova K. V., Zhibareva T. A., Moreva O. Yu., Sobko E. I., Sloboda A. A., Popov S. S., Prilutskaya N. S. Hydrochemical and hydrobiological studies of the lakes of the Bolshoy Solovetsky Island. *Advances in Modern Natural Science*. 2020. No. 11. P. 125–131.
12. Zakhvatkin A. A., Sakharov N., Yurkansky V. Materials of the Solovetsky Society of Local History. Towards knowledge of the nature of the Solovetsky Islands. Solovki: Print Bureau USLON, 1928. 56 p.
13. Zakhvatkin A. A. Solovetsky Lakes: a brief hydrobiological essay. Solovki: Print Bureau USLON, 1927. 142 p.
14. Titova K. V., Zhibareva T. A., Sloboda A. A., Popov S. S., Kokryatskaya N. M., Eliseeva I. S. Formation of the ionic composition of water: case study of small Lake on Bolshoi Solovetsky Island. *Water resources.* 2023. Vol. 50. No. 3. P. S366–S370. https://doi.org/10.1134/S0097807823700628
15. Liu G., Verbeek J., Van Dijk J. Bacteriology of drinking water distribution systems: an integral and multidimensional review. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2013. Vol. 97. P. 9265–9276. https://doi.org/10.1007/s00253-013-5217-y
16. Tymchuk S. N., Larin V. E., Sokolov D. M. The most significant sanitary and microbiological indicators for assessing the quality of drinking water. *Water supply and sanitary equipment*. 2013. No. 11. P. 8–14.
17. Daley K. Chemical and microbial characteristics of municipal drinking water supply systems in the Canadian Arctic. *Environmental Science and Pollution Research*. 2018. Vol. 25. No. 33. P. 32926–32937. https://doi.org/10.1007/s11356-017-9423-5
18. Soprunova O. B. Sanitary microbiology: textbook / Astrakhan State Technical University. Astrakhan, 2007. 204 p.

Сведения об авторах:

Титова Ксения Владимировна, канд. геогр. наук, старший научный сотрудник, ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. акад. Н. П. Лаверова УрО РАН», Россия, 163020, г. Архангельск, пр. Никольский, 20; http://orcid.org/0000-0001-7664-7706; e-mail: ksyu_sev@mail.ru

Кокрятская Наталья Михайловна, канд. геолого-минерал. наук, ведущий научный сотрудник, ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. акад. Н. П. Лаверова УрО РАН», Россия, 163020, г. Архангельск, пр. Никольский, 20; http://orcid.org/0000-0002-0619-7241; e-mail: ksyu_sev@mail.ru

Жибарева Татьяна Александровна, младший научный сотрудник, ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. акад. Н. П. Лаверова УрО РАН», Россия, 163020, г. Архангельск, пр. Никольский, 20; http://orcid.org/0000-0003-3642-3155; e-mail: ksyu_sev@mail.ru

Морева Ольга Юрьевна, научный сотрудник, ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. акад. Н. П. Лаверова УрО РАН», Россия, 163020, г. Архангельск, пр. Никольский, 20; http://orcid.org/0000-0002-5114-8481; e-mail: ksyu_sev@mail.ru

About the authors:

Ksenia V. Titova, Candidate of Geographical Sciences, senior researcher, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, Ural Branch, Russian Academy of Sciences; Nikolsky prospect, 20, Arkhangelsk, 163020, Russia; http://orcid.org/0000-0001-7664-7706; e-mail: ksyu_sev@mail.ru

Natalia M. Kokryatskaya, Candidate of Geology and Mineralogy, leading researcher, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, Ural Branch, Russian Academy of Sciences; Nikolsky prospect, 20, Arkhangelsk, 163020, Russia; http://orcid.org/0000-0002-0619-7241; e-mail: ksyu_sev@mail.ru

Tatiana A. Zhibareva, junior researcher, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, Ural Branch, Russian Academy of Sciences; Nikolsky prospect, 20, Arkhangelsk, 163020, Russia; http://orcid.org/0000-0003-3642-3155; e-mail: ksyu_sev@mail.ru

Olga Yu. Moreva, researcher, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, Ural Branch, Russian Academy of Sciences; Nikolsky prospect, 20, Arkhangelsk, 163020, Russia; http://orcid.org/0000-0002-5114-8481; e-mail: ksyu_sev@mail.ru

Поступила в редакцию / Received 05.03.2026.
Поступила после рецензирования / Revised 14.04.2026.
Принята к публикации / Accepted 01.06.2026.