

УДК 504.45:574.6

**ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ И ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ОЗЕР БОЛЬШОГО СОЛОВЕЦКОГО ОСТРОВА****¹Титова К.В., ¹Жибарева Т.А., ¹Морева О.Ю., ¹Собко Е.И., ¹Слобода А.А.,
^{1,2}Попов С.С., ²Прилуцкая Н.С.**¹*ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики
имени Н.П. Лаверова» Уральского отделения Российской академии наук,
Архангельск, e-mail: ksyu_sev@mail.ru;*²*ФГБОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет
имени М.В. Ломоносова», Архангельск*

Охрана окружающей среды и рациональное природопользование являются одним из приоритетных направлений развития науки в любом из регионов России. Вода относится к одним из самых важных компонентов, влияющих на здоровье населения. Загрязнение водоемов вследствие естественных причин или антропогенного воздействия приводит к ухудшению качества питьевой воды. Целью настоящего исследования была оценка качества воды водоема питьевого назначения пос. Соловецкий (Соловецкие острова, Архангельская область) и связанных с ним гидрографически озер. Из перечня установленных нормативными документами РФ показателей были выбраны наиболее информативные для данных водоемов. На выбранных для исследования озерах Средний Перт, Питьевое и Святое Большого Соловецкого острова в июле-августе 2020 г. с использованием эхолота Fishfinder 140 (Garmin) были осуществлены промеры глубин с координатной привязкой, определенной навигатором GPS 72 (Garmin). Отбор проб осуществлялся на 18 выбранных участках этих трех озер поликарбонатным батометром на 2 или 5 л из поверхностного и придонного слоя. Были определены гидрохимические и гидробиологические показатели с использованием общепринятых методик. Воды исследованных озер отнесены к категории ультрапресных с очень низкой минерализацией и очень мягким. На ее ионном составе сказывалось островное положение водоемов. В воде всех исследованных озер были превышены ПДК по железу (в 1,5–2 раза) и также норматив по цветности (в 2–5 раз), что связано с естественными причинами – заболоченностью водосборных площадей. Для оз. Святое отмечено увеличение концентраций минеральных соединений азота в воде на некоторых станциях по сравнению с водой других озер и с результатами ранее проводимых исследований. По гидрохимическим и гидробиологическим показателям вода оз. Средний Перт и Питьевое относится к категории чистая, вода оз. Святое чистая, но на некоторых участках – умеренно загрязненная.

Ключевые слова: Архангельская область, Соловецкие острова, озера, гидрохимические показатели, зоопланктон

**HYDROCHEMICAL AND HYDROBIOLOGICAL STUDIES OF LAKES
IN BOL'SHOY SOLOVETSKY ISLAND****¹Titova K.V., ¹Zhibareva T.A., ¹Moreva O.Yu., ¹Sobko E.I., ¹Sloboda A.A.,
^{1,2}Popov S.S., ²Prilutskaya N.S.**¹*N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research Ural Branch RAS,
Arkhangelsk, e-mail: ksyu_sev@mail.ru;*²*Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk*

Environmental protection and rational use of natural resources are one of the priority directions for the development of science in any of the regions of Russia. Water is one of the most important components affecting public health. Pollution of water bodies due to natural causes or anthropogenic impact leads to a deterioration in the quality of drinking water. The purpose of this study was to assess the quality of the drinking water reservoir in the village. Solovetsky (Solovetsky Islands, Arkhangelsk region) and the hydrographically associated lakes. From the list of indicators established by the regulatory documents of the Russian Federation, the most informative for these reservoirs were selected. In July-August 2020, on the lakes Sredniy Perth, Pit'evoye and Svyatoye of Bolshoy Solovetsky Island, selected for the study, depth measurements were carried out using a Fishfinder 140 (Garmin) echo sounder with a coordinate reference determined by a GPS 72 (Garmin) navigator. Sampling was carried out in 18 selected areas of these three lakes with a 2 or 5 L polycarbonate bathometer from the surface and bottom layers. Hydrochemical and hydrobiological indicators were determined using generally accepted methods. The waters of the studied lakes are classified as ultra-fresh with very low mineralization and very soft. Its ionic composition was affected by the insular position of water bodies. In the water of all the studied lakes, the MPC for iron (1.5-2 times) and also the standard for color (2-5 times) were exceeded, which is associated with natural reasons – swampiness of catchment areas. For the lake. An increase in the concentration of mineral nitrogen compounds in the water at some stations in comparison with the water of other lakes and the results of earlier studies was noted. According to hydrochemical and hydrobiological indicators, the water of the lake. Sredniy Perth and Pit'evoye belongs to the category of clean, lake water. Holy clean, but in some areas, moderately polluted.

Keywords: Arkhangelsk region, Solovetsky Islands, lakes, hydrochemical indicators, zooplankton

Северные территории России в пределах бассейнов Балтийского, Баренцева и Белого морей насыщены огромным количеством

больших и малых озер [1]. По озерности самое большое значение для Северо-Запада России имеет Большой Соловецкий остров.

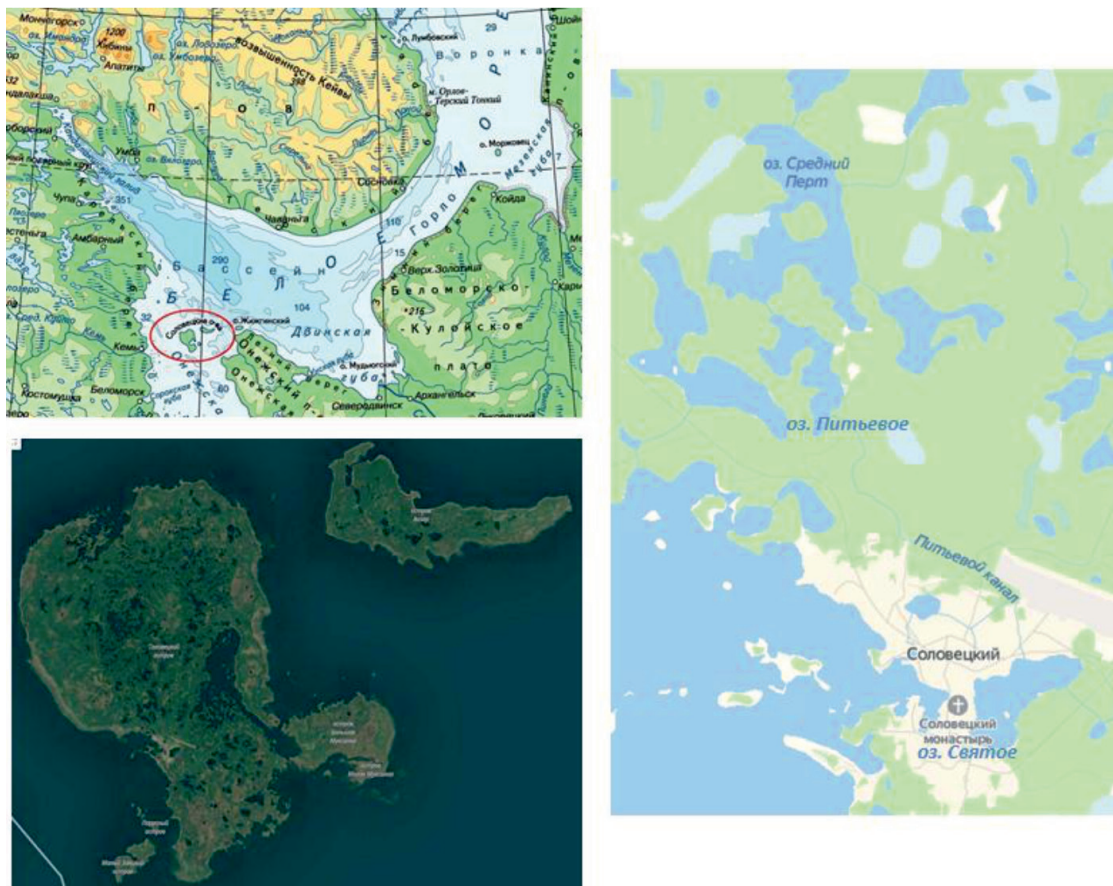
Соловецкий архипелаг расположен в юго-западной части Белого моря при входе в Онежский залив, в 165 км южнее Северного полярного круга. Общее количество озер Соловецкого архипелага составляет 376, причем 337 из них расположено именно на Большом Соловецком острове [2]. Особенностью гидрографической сети острова является то, что она лишена рек, и представляет собой скопление озер. Создание искусственной водных (озерно-канальной) систем привело к изменению гидрологического режима озер: водоемы стали проточными, площади водосборов некоторых озер возросли [3]. Часть воды западной системы используется для обеспечения нужд населения пос. Соловецкий, на территории которого расположен уникальный историко-культурный комплекс, привлекающий не только местных жителей (около 900 человек), но и туристов, паломников со всего мира. Забор воды осуществляется из Питьевого канала длиной около 2 км, соединяющего оз. Питьево и Святое. Вода в Питьево озеро в свою очередь поступает из оз. Средний Перт. Частично для нужд монастыря используется вода оз. Святое. Гидрохимические и гидробиологические показатели для этих водоемов определялись в 60-е годы XX века и начале 2000-х [2; 3]. Отклонение от нормативов качества питьевой воды в том или ином населенном пункте как вследствие природных факторов, так и антропогенной нагрузки может оказать пагубное воздействие на организм человека. Ведь вода относится к основным факторам, влияющим на здоровье людей. На мировом уровне Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) в 1984 г. был выпущен основной стандарт качества – «Руководство по контролю качества питьевой воды», на основании которого разрабатываются нормативы других государств [4]. В соответствии с частью 1 статьи 19 Федерального закона от 30 марта 1999 г. N 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» питьевая вода должна быть безопасной в эпидемиологическом и радиационном отношении, безвредной по химическому составу и должна иметь благоприятные органолептические свойства. В России существуют различные нормативные документы, регулирующие качество воды в зависимости от типа использования водоема.

Цель данной работы: на основе литературных источников и результатов, полученных в ходе полевых экспедиционных исследований, определить гидрохимические и гидробиологические показатели трех озер

(Средний Перт, Питьево и Святое) Большого Соловецкого острова и дать оценку качества воды этих водоемов.

Материалы и методы исследования

На выбранных для исследования водоемах с использованием эхолота Fishfinder 140 (Garmin) были осуществлены промеры глубин с координатной привязкой, определенной навигатором GPS 72 (Garmin). Для исследования на озерах выбраны 18 участков. Образцы проб воды отобраны горизонтальным поликарбонатным батометром на 5 л в конце июля – начале августа 2020 г. по акватории трех озер Большого Соловецкого острова (рисунок) с учетом особенностей рельефа дна или возможных источников антропогенного воздействия в соответствии с установленными нормативами. Оз. Питьево рассматривается в работе как водоем питьевого назначения, для оз. Средний Перт – рыбохозяйственного назначения, а оз. Святое определено как водоем двойного назначения. Выбор определяемых показателей из большого перечня определялся спецификой водоемов (практически отсутствие промышленных стоков) и их информативностью. На месте были осуществлены измерения быстро изменяющихся гидрохимических показателей с помощью рН-метра HI 83141 (Hanna); кондуктометра HI 8733 (Hanna) (рН, электропроводность), в экспедиционной лаборатории – цветности, растворенных форм металлов, сероводорода (спектрофотометр Unicо 1201). Анализ остальных образцов (щелочность, содержание биогенных элементов, тяжелых металлов (Ni, Pb, Cd, Zn, Cu, Cr, Co, Fe, Mn), ионов, нефтепродуктов, органических веществ) (рН-метра HI 83141, фотометр «Эксперт-03», атомно-абсорбционный спектрометр NovAA-315 SA, жидкостной хроматограф LC-20 Prominence, флюориметр 02-2M, TOC-Lcsn) и показателей зоопланктона в воде осуществлялся в стационарных лабораториях по общепринятым методикам с применением необходимой консервации и соблюдением сроков и способов хранения. Были определены в озерах главные ионы природной воды: анионы (HCO_3^- , Cl^- и SO_4^{2-}) и катионы (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ и K^+). Для определения класса воды был произведен расчет мг-экв/л для каждого иона, их процентное соотношение. Суммы главных катионов и анионов, выраженные в этих единицах, были близки между собой, минерализация воды (мг/л) для озер была рассчитана сложением концентраций этих главных ионов.



Карта-схема расположения объектов исследования

Оценка качества вод озера по показателям состояния зоопланктона проводилась с использованием метода индикаторных организмов Пантле и Бука в модификации Сладечека, по гидрохимическим показателям – в сравнении с допустимыми нормативами, в т.ч. предельно допустимыми концентрациями (ПДК) в зависимости от назначения водоема [5; 6]. ИЗВ вычислен по 6 компонентам (биогенные элементы, тяжелые металлы, нефтепродукты).

Результаты исследования и их обсуждение

Измерения глубин исследуемых озер показало наличие в каждом из них нескольких глубоководных участков, чередующихся с мелководными зонами. Результаты согласовались с данными, полученными в 2014 г. (предоставлены Ериной О.Н.). Отмечено увеличение максимальной глубины в озерах на момент проведения исследований, что связано с межгодовыми особенностями, обусловленными измене-

нием соотношения между поступлением и расходом воды.

Согласно имеющимся данным (табл. 1) исследуемые озера по классификации Иванова относятся к категории очень малых (0,1–1,0 км²), площадь зеркала не превышает 1 км²; по максимальной глубине – со средней (11–50 м) [7]. По показателю удельного водосбора (указывает на количественную связь озера с водосбором и рассчитывается как отношение площади водосбора к площади озера) к категории с очень большим – более 128 – оз. Питьево и Святое и с большим – 32–128 – оз. Средний Перт. Данный показатель выше для исследуемых водоемов по сравнению с озерами таежной природной зоны РФ и соседних Скандинавских стран (средний удельный водосбор для них – от 30 до 34) [8]. Связано это с созданием искусственной озерно-канальной системы на Бол. Соловецком острове, увеличившей взаимосвязь между соседними водоемами.

Таблица 1

Некоторые гидрологические и морфометрические характеристики исследуемых озер

Озеро	Площадь зеркала, км ² *	Длина, км*	Ширина, км*	Площадь водосбора, км ² *	Удельный водосбор*	Глубина макс, м	
Средний Перт	0,586	1,51	0,93	21,86	37	14,3*	14,5**
Питьевое	0,174	0,98	0,40	22,80	131	11,1	12,5
Святое	0,230	0,88	0,38	30,57	133	10,9	11,0

Примечание. * – данные предоставлены к.г.н. Ериной О.Н. (научным сотрудником кафедры гидрологии суши МГУ имени М.В. Ломоносова), измерения 06.2014;

** – результаты получены авторами 07-08.2020.

Таблица 2

Концентрация основных ионов в воде исследуемых озер (мг/л)

Озеро	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg	K ⁺
Средний Перт	12,23 ± 2,46	7,84 ± 0,30	3,67 ± 0,08	6,14 ± 0,12	2,82 ± 0,07	1,71 ± 0,04	0,52 ± 0,04
Питьевое	14,70 ± 1,54	8,06 ± 0,66	3,60 ± 0,34	5,95 ± 0,14	2,14 ± 0,16	1,38 ± 0,15	0,52 ± 0,02
Святое	15,40 ± 0,46	7,65 ± 0,76	6,09 ± 0,89	6,04 ± 0,28	4,36 ± 0,43	1,85 ± 0,06	0,97 ± 0,15

Гидрохимические показатели

Гидрохимический состав вод исследуемых озер представлен формулой Курлова. Минерализация – М, жесткость – Ж.

Оз. Средний Перт:

$$M\ 34.91\ Ж\ 0.28\ \frac{Cl_{44}\ HCO_3\ 40\ SO_4\ 16}{Na_{47}\ Mg_{26}\ Ca_{25}\ K_2}\ pH\ 6,19.$$

Оз. Питьевое:

$$M\ 36.35\ Ж\ 0.22\ \frac{HCO_3\ 44\ Cl_{42}\ SO_4\ 14}{Na_{52}\ Mg_{23}\ Ca_{22}\ K_3}\ pH\ 6,15.$$

Оз. Святое:

$$M\ 42.35\ Ж\ 0.37\ \frac{HCO_3\ 43\ Cl_{35}\ SO_4\ 22}{Na_{40}\ Ca_{33}\ Mg_{23}\ K_4}\ pH\ 6,16.$$

Воды оз. Средний Перт, Питьевое и Святое по минерализации были отнесены к категории ультрапресные (< 100 мг/л): оз. Средний Перт (34,91 ± 2,26), оз. Питьевое (36,35 ± 1,81), оз. Святое (42,35 ± 3,58), величина минерализации изменялась от 31,99 до 49,82 мг/л (оз. Святое); очень мягкие – жесткость не превышает 1,5 ммоль/л (допустимо до 7 ммоль/л) и по обоим показателям не превышают допустимых значений.

Воды озер относятся к хлоридно-карбонатному классу или карбонатно-хлоридному типу натриевой группы в отличие от пресноводных водоемов, расположенных в той же природной зоне, но вдали от морского побережья, для которых характерен гидрокарбонатный тип вод кальциевой группы.

Химический состав воды обусловлен малой мощностью рыхлых отложений, сла-

борастворимыми почвообразующими породами и сильно оподзоленными почвами [3], а на содержание и распределение ионов влияние оказывает морское окружение Бол. Соловецкого острова. Так, для воды оз. Святое концентрация ионов (табл. 2) по максимальным значениям превышает таковые для воды двух других.

Воду оз. Средний Перт по величине pH (6,19 ± 0,14) можно охарактеризовать как слабокислую, оз. Питьевое (6,15 ± 0,14) – слабокислую, оз. Святое (6,16 ± 0,11) – слабокислую. Допустимыми для водоемов питьевого назначения являются значения от 6 до 9, для водоемов рыбохозяйственного назначения этот показатель не нормируется [5; 6]. Минимальные значения pH отмечены в придонном слое воды на глубоководных участках оз. Средний Перт и на мелководье в заливишке оз. Питьевое.

Цветность воды была наибольшей в оз. Святое и составляла в среднем 97° , изменялась от 88 до 165° , и минимальной в оз. Питьевое – 43° , изменялась от 40 до 54° . Вода оз. Средний Перт занимает по цветности воды промежуточное положение – 52° , от 45 до 55° . Вода всех озер по цветности превышает установленный норматив, равный $20(35)^\circ$. Цветность воды поверхностных водоемов обусловлена содержанием гуминовых веществ и соединений железа. Вклад этих компонентов отчетливо прослеживается для воды оз. Святое. В этот водоем поступают воды еще из другой, восточной озерно-канальной системы, водосборные площади озер которой сильно заболочены – в этой части острова в советское время даже велись торфоразработки. Выявлена значимая корреляция ($r = 0,90$) и содержанием органического вещества (ОВ) (органического углерода, ТОС), что может служить свидетельством значительного вклада в ТОС именно гуминовых веществ. Для остальных озер взаимосвязь прослеживалась незначительно. В своем исследовании содержание ОВ мы оценивали не по косвенным показателям (перманганатной окисляемости и ХПК), а непосредственно определяли количество ТОС. В воде оз. Средний Перт содержание органического углерода составляло в среднем $10,78$ (от $9,64$ до $11,75$) мг/л, в оз. Питьевое – $10,26$ (от $9,94$ до $14,99$) мг/л, в оз. Святое – $14,58$ (от $13,75$ до $18,03$) мг/л. Как видно из приведенных данных, в воде оз. Святое определено и большее количество ТОС. По акватории озер ОВ распределено неравномерно, максимальное содержание отмечено на глубоководных участках и в заливах на мелководье. Для этих же участков зафиксировано и наименьшие значения pH (выявлена обратная корреляция между pH и ТОС $r = -0,60$). Отметим также тенденцию к увеличению количества ОВ в придонном слое воды по отношению к поверхности озера на глубоководных участках, что свидетельствует о его аккумуляции. Результаты определения неорганического углерода (вычислено из щелочности воды): оз. Средний Перт – $2,45$ (от $1,72$ до $2,77$) мг/л; оз. Питьевое – $2,94$ (от $2,42$ до $3,23$) мг/л; оз. Святое – $3,08$ (от $2,56$ до $4,11$) мг/л; при этом в придонном слое его количество меньше, чем на поверхности. Количество железа в воде было превышено ПДК (100 мкг/л) [8] для всех оз. Средний Перт и Святое: от 138 до 300 мкг/л и от 140 до 930 мкг/л соответственно; ПДК (300 мкг/л) на некоторых

участках оз. Питьевое: от 130 до 450 мкг/л. Содержание остальных тяжелых металлов в воде озер не превышало ПДК.

Содержание нефтепродуктов в воде озер были минимальным, близким к пределу обнаружения, на наиболее загрязненном участке около ДЭС на оз. Святое оно составляло $0,03$ мг/л, для оз. Питьевое и Средний Перт – максимальное значение $0,01$ мг/л, что не превышало ПДК $0,05$ – $0,1$ мг/л. Для двух последних озер ввиду отсутствия явно выраженного антропогенного воздействия под нефтепродуктами, скорее всего, определяются ароматические природные соединения.

Количество фосфатов в воде оз. Средний Перт в среднем составляло $3,88$, оз. Питьевое $3,42$, оз. Святое $5,05$ мкгP/л. Содержание не превышает ПДК. Содержание органического фосфора составляло от 42 до 82% валового, экстремумы выявлены в оз. Святое. В целом его количество увеличивалось на мелководных участках. Среди минеральных соединений азота в воде наибольшую часть составляли нитраты и аммоний. Содержание соединений азота не превышало ПДК для водоемов. Для оз. Средний Перт и Питьевое концентрации нитратов изменялись от 93 до 137 мкгN/л, аммония – от 11 до 42 мкгN/л; для оз. Святое – от 163 до 329 мкгN/л, аммония – от 10 до 18 мкгN/л. Содержание органического азота составляло от 29 до 60% от валового азота. При этом наблюдалось снижение доли органических соединений от поверхности ко дну на глубоководных участках озер, сопровождающееся увеличением содержания одновременно нитратов и аммонийного азота, что свидетельствует о наличии деструкции ОВ для оз. Средний Перт и Питьевое и возможном антропогенном воздействии для акватории оз. Святое.

Содержание сероводорода/гидросульфидов, являющихся еще одним маркером наличия в озере значительного количества ОВ, в оз. Питьевое и Средний Перт не превышало ПДК (не более 5 мкг/л), в оз. Святое концентрации этих соединений были выше ПДК (от 9 до 23 мкг/л). Значение этого показателя увеличивались к придонному слою на глубоководных станциях, что сопровождалось также увеличением содержания ОВ.

С использованием определенных в ходе исследования показателей, которые обычно характеризуют загрязнение водоема, был рассчитан индекс загрязнения вод (ИЗВ) для трех озер и по нему определено ее ка-

чество. Этот показатель для оз. Питьевое составил 0,44; оз. Средний Перт – 0,70; оз. Святое – 1,00. Вода двух первых озер может быть отнесена к классу чистых, вода оз. Святое – к пограничному классу между чистой и умеренно загрязненной.

Зоопланктон

В акватории оз. Средний Перт в период исследований было зарегистрировано 16 видов зоопланктона: *Rotifera* (коловратки) – 4, *Cladocera* (ветвистоусые ракообразные) – 6, *Copepoda* (веслоногие ракообразные) – 6. Зоопланктонное сообщество оз. Питьевое представлено 20 видами. На долю *Copepoda* приходилось 6 видов, *Cladocera* – 8 видов и *Rotifera* – 6 видов. В планктонной фауне оз. Святое отмечено 27 видов. Веслоногие ракообразные (*Copepoda*) представлены 7 видами, ветвистоусые ракообразные (*Cladocera*) – 10 видами и коловратки (*Rotifera*) – 10 видами. Видовое разнообразие определяли ветвистоусые ракообразные (клардоцеры). Доминирующие формы зоопланктона в озерах представлены в основном олиго- и олиго-β-мезосапробными видами.

Количественные показатели зоопланктона оз. Средний Перт и Питьевое невысоки и характерны для холодноводных олиготрофных озер. Значения численности и биомассы зоопланктонного сообщества оз. Средний Перт варьировали в пределах от 21,33 до 36,80 тыс. экз/м³ и от 0,10 до 0,29 г/м³ соответственно. Основной вклад в общую численность зоопланктона вносили коловратки (55% от общей численности), в биомассу – ветвистоусые (54% от общей биомассы) и веслоногие ракообразные (43% от общей биомассы). Для оз. Средний Перт наблюдается снижение средних показателей численности (в 1,5 раза) и биомассы (в 3 раза) по сравнению с предыдущими исследованиями [9].

По численности в оз. Питьевое, как и в оз. Средний Перт, доминировали коловратки (41% от общей численности), что свидетельствует об усилении загрязнения озер органическими соединениями. Основной вклад в общую биомассу вносили ветвистоусые (53% от общей биомассы) и веслоногие ракообразные (44% от общей биомассы). Значения численности и биомассы зоопланктона изменялись в пределах от 12,00 до 46,94 тыс. экз/м³ и от 0,22 до 0,57 г/м³.

По состоянию планктонных сообществ, согласно классификации С.П. Китаева

(2007) [10], оз. Средний Перт и Питьевое можно охарактеризовать как олиготрофные. Качество водных масс исследованных озер соответствовало α-олигосапробному (II класс – чистые воды). Индекс сапробности для оз. Средний Перт варьировал в пределах от 1,13 до 1,39; для оз. Питьевое от 1,11 до 1,29.

Количественные показатели численности и биомассы зоопланктонного сообщества оз. Святое значительно выше, чем для оз. Средний Перт и Питьевое, и варьировали в пределах от 32,51 до 156,00 тыс. экз/м³ и от 0,28 до 1,38 г/м³ соответственно. По численности в водоеме лидировали веслоногие и ветвистоусые ракообразные (36% и 35% от суммарной численности зоопланктона). Основной вклад в суммарную биомассу зоопланктона вносили ветвистоусые ракообразные (клардоцера). По состоянию планктонных сообществ оз. Святое можно охарактеризовать как олиготрофное с признаками мезотрофии. Усиление антропогенной нагрузки на водоем стало причиной увеличения средних значений численности и биомассы зоопланктона по сравнению с полученными ранее результатами почти в 2 раза [9]. Также отмечено повышение показателя сапробности, который по акватории оз. Святое изменялся в пределах от 1,39 до 1,52. Качество водных масс в зависимости от района исследований соответствовало α-олигосапробному классу (II класс – чистые воды) и β-мезосапробному классу (III класс – слабозагрязненные воды) (2 станции).

Заключение

Было установлено, что воды оз. Средний Перт, Питьевое и Святое по минерализации были отнесены к хлоридно-карбонатному классу или карбонатно-хлоридному типу натриевой группы, к категории ультрапресные (< 100 мг/л): оз. Средний Перт (34,91 ± 2,26), оз. Питьевое (36,35 ± 1,81), оз. Святое (42,35 ± 3,58), величина которой изменялась от 31,99 до 49,82 мг/л (оз. Святое); очень мягкие – жесткость не превышает 1,5 ммоль/л.

Цветность воды была наибольшей в оз. Святое и составляла в среднем 970, изменялась от 88 до 1650, и минимальной в оз. Питьевое – 430, изменялась от 40 до 540, вода оз. Средний Перт занимает по цветности воды промежуточное положение – 520, от 45 до 550. Вода всех озер по цветности превышает установленный норматив, равный 20°.

Содержание нефтепродуктов, биогенных элементов, тяжелых металлов, за исключением железа, в воде не превышает установленных нормативов. Наблюдалось снижение доли органических соединений от поверхности ко дну на глубоководных участках озер, сопровождающееся увеличением содержания минеральных форм, что свидетельствует о наличии деструкции ОВ для оз. Средний Перт и Питъевое, и возможном антропогенном воздействии для акватории оз. Святое.

Рассчитан индекс загрязнения вод (ИЗВ) для трех озер и по нему определено ее качество. Этот показатель для оз. Питъевое составил 0,44; оз. Средний Перт – 0,70; оз. Святое – 1,00. Вода двух первых озер может быть отнесена к классу чистых, вода оз. Святое – к пограничному классу между чистой и умеренно загрязненной (несколько участков). Приведенная оценка качества воды подтверждена и показателем сапробности.

Вследствие межгодовой изменчивости гидрохимических показателей и возрастающей антропогенной нагрузки на изученные водоемы необходимо продолжить мониторинговые исследования водных объектов Соловецкого архипелага.

Авторы выражают благодарность за всестороннюю помощь в экспедиционном исследовании на Соловках сотрудникам СГИАиПМЗ А.Я. Мартынову, А.Н. Соболеву; сотруднику МГУ им. М.В. Ломоносова Ериной О.Н. за представленные данные для исследуемых озер за 2014 г.

Исследование выполнено при поддержке гранта «Молодые ученые Поморья» № 06-2020а, частично в рамках госзадания ФГБУН «ФИЦКИА» УрО РАН № АААА-А18-118012390167-1.

Список литературы / References

1. Румянцев В.А., Кудерский Л.А. Ладожское озеро: общая характеристика, экологическое состояние // Общество. Среда. Развитие (Terra Humana), 2010. № 1. С. 171–182.
Rumyantsev V.A., Kudersky L.A. Lake Ladoga: general characteristics, ecological state // Obshchestvo. Sreda. Razvitiye (Terra Humana), 2010. No. 1. P. 171–182 (in Russian).
2. Природная среда Соловецкого архипелага в условиях меняющегося климата / Под ред. Ю.Г. Шварцмана, И.Н. Болотова. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 184 с.
The natural environment of the Solovetsky archipelago in a changing climate / Ed. Yu.G. Shvartsman, I.N. Bolotov. Yekaterinburg: UrO RAN, 2007. 184 p. (in Russian).

3. Грицевская Г.Л., Кыбелева 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.

- Gritsevskaya G.L., Kyabeleva G.K., Nikolaeva L.A., Semenov V.N. Hydrology and hydrochemistry of Solovetsky lakes // Solovetskiye ostrova: materialy po kompleksnomu izucheniyu ozer. Trudy SevNIORKH. T. 6. Petrozavodsk: Izd-vo Kareliya, 1972. P. 5–44 (in Russian).

4. Guidelines for drinking-water quality. World Health Organization incorporating first addendum. Vol. 1. Recommendations. 3rd ed. 2006. 595 p.

5. СанПиН 2.1.4.1074-01 Питъевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения. Постановление от 26 сентября 2001 года N 24. М., 2002. 46 с.

- SanPiN 2.1.4.1074-01 Drinking water. Hygienic requirements for water quality of centralized drinking water supply systems. Quality control. Hygienic requirements for ensuring the safety of hot water supply systems. Postanovleniye ot 26 sentyabrya 2001 goda N 24. M., 2002. 46 p. (in Russian).

6. Российская Федерация. Минсельхоз. Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/420389120> (дата обращения: 20.10.2020).

- Russian Federation. Ministry of Agriculture. On approval of water quality standards for water bodies of fishery significance, including standards for maximum permissible concentrations of harmful substances in the waters of water bodies of fishery significance. [Electronic resource]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/420389120> (date of access: 20.10.2020) (in Russian).

7. Мьякишева Н.В. Многокритериальная классификация озер. СПб.: Изд-во РГГМУ, 2009. 160 с.

- Myakishcheva N.V. Multi-criteria classification of lakes. SPb.: Izd-vo RGGMU, 2009. 160 p. (in Russian).

8. Удельный водосбор и показатель удельного водообмена. [Электронный ресурс]. URL: <https://ozera.info/lakes/about/science/limnology/specific-catchment-area> (дата обращения: 26.10.2020).

- Specific catchment and specific water exchange rate. [Electronic resource]. URL: <https://ozera.info/lakes/about/science/limnology/specific-catchment-area> (date of access: 26.10.2020) (in Russian).

9. Новосельцева Р.И., Русакова С.А. Зоопланктон озер Большого Соловецкого острова // Соловецкие острова. Материалы по комплексному изучению озер. Труды СевНИОРХ. Т. 6. Петрозаводск: Изд-во Карелия, 1972. С. 45–66.

- Novoseltseva R.I., Rusakova S.A. Zooplankton of the lakes of the Big Solovetsky Island // Solovetskiye ostrova. Materialy po kompleksnomu izucheniyu ozer. Trudy SevNIORKH. T. 6. Petrozavodsk: Izd-vo Kareliya, 1972. P. 45–66.

10. Китаев С.П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. 395 с.

- Kitaev S.P. Fundamentals of Limnology for hydrobiologists and ichthyologists. Petrozavodsk: Karel'skiy nauchnyy tsentr RAN, 2007. 395 p. (in Russian).