

Научная статья
 УДК 504.064.2
 EDN YJNHXW
 DOI 10.17150/2500-2759.2023.33(3).581-589



ГИДРОХИМИЯ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИССЛЕДОВАНИЙ 2022 ГОДА

М.А. Синякова^{1, 2}, Ю.В. Крылова³, С.Б. Екимова¹, А.М. Пономаренко¹,
В.А. Гребенников¹

¹ Санкт-Петербургский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (ГосНИОРХ имени Л.С. Берга), г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

² Санкт-Петербургский морской технический университет, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

³ Институт биологии внутренних вод имени И.Д. Папанина, Российская академия наук, пос. Борок, Ярославская область, Российская Федерация

Информация о статье

Дата поступления
20 марта 2023 г.

Дата принятия к печати
26 октября 2023 г.

Дата онлайн-размещения
26 октября 2023 г.

Ключевые слова

Онежское озеро;
 гидрохимические
 характеристики; фосфор
 минеральный; фосфор
 общий; ионы аммония; ионы
 тяжелых металлов; нефтяные
 углеводороды

Аннотация

Темой статьи являются результаты исследования гидрохимических характеристик воды Онежского озера в 2022 г. Часть гидрохимических параметров определяли зондами *in situ*, часть — в дальнейшем в лаборатории. Для большинства проб воды характерны: высокий уровень насыщения кислородом и pH, высокое содержание нефтяных углеводородов, но низкие концентрации биогенных элементов и растворенных форм тяжелых металлов. В то же время отмечены участки озера, где гидрохимические характеристики отличаются своеобразием. Высокая уязвимость экосистемы озера в сочетании с усиливающейся антропогенной нагрузкой обеспечивают актуальность мониторинга состояния вод Онежского озера.

Original article

HYDROCHEMISTRY OF LAKE ONEGA ACCORDING TO THE RESULTS OF RESEARCH IN 2022

Mariya A. Siniakova^{1, 2}, Julia V. Krylova³, Svetlana B. Ekimova¹,
Anna M. Ponomarenko¹, Viktor A. Grebennikov¹

¹ Saint Petersburg Branch of VNIRO (GosNIORKH named after L.S. Berg), Saint Petersburg, the Russian Federation

² Saint-Petersburg State Marine Technical University, Saint Petersburg, the Russian Federation

³ Papanin Institute for Biology of Inland Waters Russian Academy of Sciences, Village Borok, Yaroslavl Region, the Russian Federation

Article info

Received
March 20, 2023

Accepted
October 26, 2023

Available online
October 26, 2023

Keywords

Lake Onega; hydrochemical
 characteristics; mineral phosphorus;
 total phosphorus; ammonium
 ions; heavy metal ions; petroleum
 hydrocarbons

Abstract

The article presents the results of a study of the hydrochemical characteristics of the water of Lake Onega in 2022. Some of the hydrochemical parameters were determined by *in situ* probes, some later in the laboratory. Most samples are characterized by a high degree of oxygen saturation, a high pH level, low concentrations of biogenic elements and dissolved forms of heavy metal ions, but a sufficiently high content of petroleum hydrocarbons. At the same time, the areas of the lake where the hydrochemical characteristics differ in originality are marked. The high vulnerability of the lake ecosystem in combination with anthropogenic load, which may increase in the future, ensure the relevance of monitoring the state of the waters of Lake Onega.

Введение

Онежское озеро находится на территории республики Карелия. Объем водной массы достигает 295 м³, берега и ложе озера состоят из малорастворимых архейско-протерозойских пород — отчасти поэтому Онежское озеро является одним из наименее минерализованных озер мира [1]. Для озера в целом характерны низкие температуры воды, невысокие концентрации биогенных элементов, малые скорости биохимических процессов. Как многие северные экосистемы, Онежское озеро уязвимо перед органическим загрязнением [2]. В то же время оно имеет большую ценность для рыболовства и рыбоводства, так как важным фактором, влияющим на состояние озера в настоящее время, является наличие многочисленных форелевых хозяйств¹ [3]. Основное поступление антропогенного загрязнения исходит из городов, расположенных на северо-западном и северном побережье озера: Петрозаводск, Кондопога, Медвежьегорск. Объем сточных вод от этих источников последовательно нарастал до конца 1980-х гг., но затем стало сокращаться в связи с уменьшением производства. В настоящее время некоторое оживление промышленной деятельности в Северо-Западном регионе, в частности глубокая модернизация Онежского судостроительно-судоремонтного завода (ОССЗ) в Петрозаводске, может вновь привести к интенсификации загрязнения озера. Для сохранения этого уникального природного объекта необходимо его исследование, анализ происходящих изменений и прогноз возможных опасностей. В деятельности по изучению Онежского озера принимают активнейшее участие ученые Карельского научного центра РАН [2–8], в последнее время к изучению водоема присоединились ученые Санкт-Петербургского филиала Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (ГосНИОРХ имени Л.С. Берга) [9]. В ходе исследований, проходивших в 2022 г., был произведен отбор проб воды в различных частях акватории озера и проведен их гидрохимический анализ.

Материалы и методы

Отбор воды проводили в рамках программ исследований Санкт-Петербургского филиала Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и

океанографии (ГосНИОРХ имени Л.С. Берга) в сентябре 2022 г., на научно-исследовательском судне МК-501 «Протей» в трансевропейской экспедиции в рамках выполнения Государственного задания ФГБНУ «ВНИРО» (Госработа 5.2) на 2022 г., в соответствии с «Планом ресурсных исследований и государственного мониторинга водных биоресурсов на 2022 год» (п. 18). Схема станций отбора приведена на рисунке.

Непосредственно на месте, *in situ*, многопараметрическим зондом Aqua Troll 500 и океанографическим зондом SBE-19 V2 определяли температуру, электропроводность, минерализацию, концентрацию растворенного кислорода, процент насыщения кислородом. Измерения проводили на двух горизонтах: на поверхности (0,3 м) и в придонном горизонте; там же производили отбор проб воды батометром Рутнера для исследований в лабораторных условиях. В дальнейшем в Лаборатории рыбохозяйственной экологии определяли концентрации фосфора минерального и фосфора общего, аммонийного азота, растворенных форм тяжелых металлов — кадмия, свинца, меди, марганца (ТМ), нефтяных углеводородов (НУВ). Определение общего фосфора производили фотометрически, в соответствии с ГОСТом 18309-2014, методом Г, с персульфатом². Определение минерального фосфора — фотометрически, в соответствии с ГОСТом 18309-2014, методом Б³. Определение массовой концентрации металлов производили на атомно-абсорбционном спектрофотометре AA-7000 фирмы Shimadzu, согласно методике измерений № М-02-2406-13⁴. Определение НУВ в воде — методом ИК-спектроскопии в соответствии с ПНДФ 14.1:2:4.5-95⁵. ФГБНУ «ВНИРО», включая Санкт-Петербургский филиал, имеет лицензию на проведение наблюдений за состоянием окружающей

² РД 52.24.387-2019. Массовая концентрация фосфора общего и фосфора валового в водах. Методика измерений фотометрическим методом после окисления персульфатом калия / Росгидромет. Ростов-на-Дону, 2019. 28 с.

³ РД 52.24.382-2019. Массовая концентрация фосфатного фосфора в водах. Методика измерений фотометрическим методом / Росгидромет. Ростов-на-Дону, 2019. 31 с.

⁴ Методика количественного химического анализа. Определение металлов в питьевой, минеральной, природной, сточной воде и в атмосферных осадках атомно-абсорбционным методом. М 02-2406-13. СПб., 2013. 29 с.

⁵ Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации нефтепродуктов в питьевых, поверхностных и сточных водах методом ИК-спектроскопии. ПНДФ 14.1:2:4.5-95. М., 1995. 18 с.

¹ Карта рыбных хозяйств // Ассоциация форелеводств Карелии. URL <http://kareliatrout.ru/karta-rybnyh-hozjajstv>.

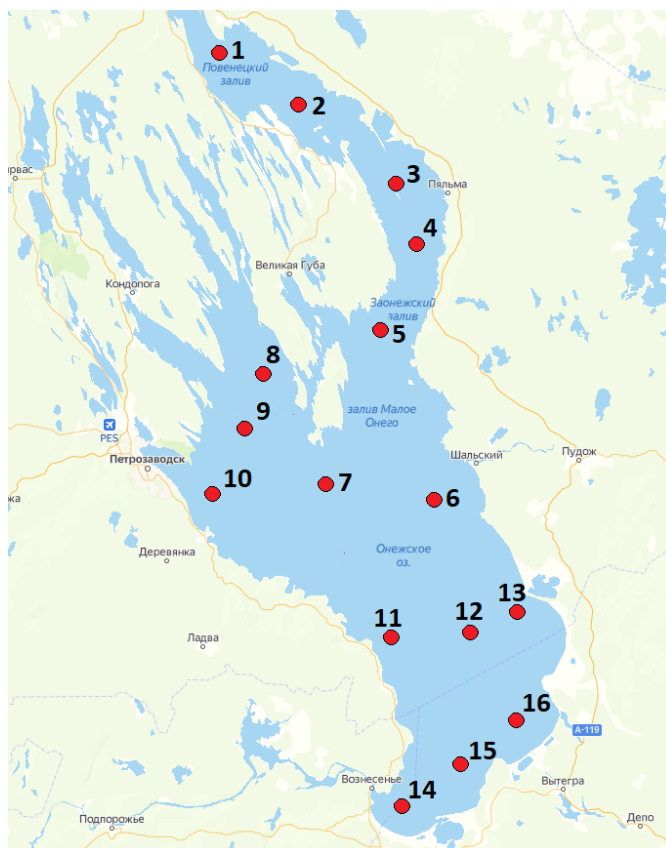
среды — физическими и химическими процессами, происходящими в водной среде, для определения уровня загрязнения водных объектов (в том числе по гидробиологическим показателям), а также на сбор, обработку, хранение, предоставление и распространение информации и информационной продукции, полученной в результате проведения указанных наблюдений.

Уровень трофии исследованных участков озера оценивали по содержанию общего фосфора с использованием критериев

общепринятой научной классификации Б. Карлсона [10], согласно которой интервал концентрации 0,00–0,012 мг Р/л соответствует олиготрофному уровню, 0,012–0,024 мг Р/л — мезотрофному, и 0,024–0,096 мг Р/л — эвтрофному.

Экспериментальные результаты и их обсуждение

Результаты определения гидрохимических характеристик *in situ* представлены в табл. 1.



Станции отбора проб на Онежском озере в 2022 г.

Таблица 1

Гидрологические и гидрохимические параметры, измеренные с помощью многопараметрических автоматических зондов *in situ* в экспедиции с 7 по 9 сентября 2022 г.*

Станция	Горизонт	T, оС	Эл, мкСм/см	Мн, г/дм ³	[O ₂], мг/дм ³	% нас [O ₂]	pH
1	пов.	12,9	79,9	0,052	10,4	99,6	8,1
	дно	8,5	67,7	0,044	10,6	93,7	7,9
2	пов.	13,05	67,5	0,043	10,4	98,9	8,2
	дно	11,8	65,4	0,042	10,3	95,7	7,9
3	пов.	13,3	59,7	0,038	10,4	99,3	8,0
	дно	12,8	57,8	0,037	10,4	98,1	7,8
4	пов.	10,1	55,2	0,035	11,2	99,7	7,6
	дно	9,5	54,9	0,035	11,3	99,3	7,6
5	пов.	9,8	55,6	0,036	11,4	100,3	7,6
	дно	9,6	55,1	0,035	11,4	99,7	7,5

Станция	Горизонт	T, °C	Эл, мкСм/см	Мн, г/дм ³	[O ₂], мг/дм ³	% нас [O ₂]	pH
6	пов.	10,2	55,4	0,036	11,3	100,5	8,0
	дно	11,2	53,8	0,035	11,6	96,9	7,8
7	пов.	8,2	56,1	0,036	11,8	100,5	7,7
	дно	7,08	54,03	0,035	12,0	98,8	7,6
8	пов.	9,9	56,1	0,036	11,4	100,2	7,9
	дно	7,03	54,5	0,035	11,6	96,03	7,7
9	пов.	13,07	47,1	0,0306	10,6	100,7	7,8
	дно	8,8	51,8	0,035	11,6	99,1	7,6
10	пов.	14,0	56,06	0,036	10,2	98,4	7,5
	дно	13,9	54,6	0,035	10,3	98,9	7,6
11	пов.	13,0	54,1	0,035	10,6	99,8	8,1
	дно	7,6	54,2	0,035	11,8	98,2	7,7
12	пов.	11,4	53,9	0,035	10,9	99,6	7,9
	дно	7,7	53,8	0,035	11,7	97,8	7,5
13	пов.	12,04	54,8	0,035	10,7	98,6	7,7
	дно	10,4	53,4	0,034	10,9	97,4	7,7
14	пов.	13,0	55,2	0,036	10,6	99,1	7,6
	дно	13,05	54,1	0,035	10,5	99,2	7,5
15	пов.	13,5	54,5	0,035	10,5	99,9	7,3
	дно	13,1	53,4	0,035	10,5	98,9	7,7
16	пов.	13,1	53,8	0,035	10,6	100,1	7,4
	дно	12,5	53,8	0,035	10,7	99,4	7,3
СМЗ		11,3	54,85	0,035	10,8	99,1	7,7

* Примечание: пов. — поверхностный горизонт (0,3 м); дно — придонный горизонт; T — температура; Эл — электропроводность; Мн — минерализация; [O₂] — концентрация растворенного кислорода; % нас [O₂] — процент насыщения кислородом; СМЗ — среднее медианное значение.

Температура воды на поверхности за период исследования была в интервале от 9,8 до 14°C, у дна — от 7,03 до 13,9°C при среднем медианном значении 11,3°C.

Концентрация растворенного кислорода менялась от 10,3 до 11,6 мг/дм³ и в среднем по озеру составляла 10,8 мг/л. Процент насыщения кислородом также был высок и менялся с 93,7 до 100,7 % при СМЗ 99,1 %. Таким образом, дефицит кислорода не характерен даже для придонных горизонтов: это указывает на улучшение состояния озера по сравнению с 2010-ми гг. [1].

Значения pH варьировали от 7,5 до 8,2 ед. при СМЗ 7,7, что указывает на интенсивное развитие фитопланктона и подтверждает тенденцию увеличения средних значений pH, отмеченную предыдущими исследованиями [1].

Таким образом, значения концентраций растворенного кислорода, процент насыщения кислородом и pH указывают на благоприятные условия среды обитания водных биологических ресурсов Онежского озера.

Концентрация минерализации варьировала от 0,034 до 0,052 г/дм³ с преобладанием самых высоких значений на станциях 1–3,

что, возможно, связано с особенностями данного района озера (Повенецкий залив и Заонежский залив на границе с Повенецким). При этом СМЗ минерализации по озеру составляло 0,035 г/дм³. В унисон с показателем минерализации варьировал показатель электропроводности: данный показатель менялся от 51,8 до 79,9 мкСм/см при СМЗ 54,85 мкСм/см.

Определение содержания биогенных элементов в воде позволило получить результаты, представленные в табл. 2.

Как видно из представленных результатов, концентрации минерального фосфора были незначительны и в ряде случаев находились ниже пределов обнаружения (<0,000 1). Концентрации общего фосфора менялись от 0,000 2 (ст. 14) до 0,073 мг Р/дм³ (ст. 11), однако в большинстве случаев находились в границах олиготрофии по градации Б. Карлсона⁶; в некоторых пробах концентрации общего фосфора характерны

⁶ РД 52.24.387-2019. Массовая концентрация фосфора общего и фосфора валового в водах. Методика измерений фотометрическим методом после окисления персульфатом калия.

Таблица 2

Содержание биогенных элементов в пробах воды, отобранных с 7 по 9 сентября 2022 г.

Станция	Горизонт	Фосфор минеральный, мг Р/дм ³	Фосфор общий, мг Р/дм ³	Аммоний, мг/дм ³
1	пов.	0,010 2	0,017	<0,01
	дно	0,000 8	0,008	<0,01
2	пов.	0,000 8	0,011	<0,01
	дно	0,000 3	0,056	<0,01
3	пов.	0,000 8	0,012	<0,01
	дно	0,000 7	0,005	<0,01
4	пов.	0,000 8	0,005	<0,01
	дно	0,000 7	0,012	<0,01
5	пов.	0,000 3	0,007	0,53
	дно	0,000 2	0,046	<0,01
6	пов.	0,000 5	0,015	<0,01
	дно	0,000 3	0,008	<0,01
7	пов.	0,000 3	0,033	<0,01
	дно	0,000 2	0,011	<0,01
8	пов.	0,000 2	0,012	<0,01
	дно	<0,000 1	0,012	<0,01
9	пов.	0,000 5	0,013	<0,01
	дно	0,000 5	0,008	<0,01
10	пов.	0,000 3	0,028	<0,01
	дно	0,000 2	0,015	<0,01
11	пов.	0,000 3	0,004	<0,01
	дно	0,000 3	0,073	<0,01
12	пов.	<0,000 1	0,024	<0,01
	дно	<0,000 1	0,008	<0,01
13	пов.	0,000 2	0,037	<0,01
	дно	<0,000 1	0,001 6	<0,01
14	пов.	0,000 3	0,009	<0,01
	дно	<0,000 1	0,000 2	<0,01
15	пов.	<0,000 1	0,008	<0,01
	дно	0,000 2	0,004	<0,01
16	пов.	0,000 3	0,020	<0,01
	дно	<0,000 1	0,009	<0,01
СМЗ	—	0,000 3	0,012 0	<0,01
ПДКвр	—	—	—	0,5

для мезотрофных или эвтрофных условий. Высокие концентрации общего фосфора, заметно выделяющиеся на общем фоне (выше СМЗ в 2–6 раз), были зафиксированы на шести станциях (ст. 2, 5, 7, 10, 11, 13), но в основном в придонном горизонте. В поверхностном слое была обнаружена концентрация, соответствующая эвтрофному уровню (0,028 мг Р/дм³) только на ст. 10. Это может объясняться влиянием г. Петрозаводска и нескольких прибрежных населенных пунктов (Деревянка, Деревянное, Ужесельга), а также хозяйств садкового форелеводства⁷ [3]. Относительно более высокое содержание общего фосфора в придонном слое воды по сравнению с поверхностным может объ-

ясняться различными причинами: седиментацией фосфоросодержащих соединений, или же наоборот, их выделением из донных отложений в воду. Ряд исследователей полагает, что в период активного развития региона в 80-х гг. XX в. поступающие со стоками промышленных и сельскохозяйственных организаций соединения фосфора аккумулировались в донных отложениях; в последующий период, сопровождавшийся снижением антропогенной нагрузки, возник обратный процесс — переход соединений фосфора из донных отложений в воду [8].

Концентрации аммонийного азота во всех пробах, кроме одной, находятся ниже пределов обнаружения. Значительное содержание NH_4^+ (выше ПДК_{вр}) отмечено только на ст. 5,

⁷ Карта рыбных хозяйств.

находящейся на акватории Заонежского залива, что в сочетании с значением концентрации общего фосфора позволяет допустить предположение о внешнем источнике поступления этих элементов в озеро. Результаты исследований, проведенных ранее другими авторами, согласуются с этим предположением [1]. Станция 5 находится в Заонежском заливе, который сообщается с Повенецким заливом, на побережье которого находится крупный промышленный центр — г. Медвежьегорск. Движение воды может приводить к выносу загрязняющих веществ из Повенецкого в Заонежский залив, а так как оба залива сравнительно узкие и неглубокие [1], рассеивание и «разбавление» загрязнений происходит не слишком интенсивно. Однако в целом можно

отметить, что содержание биогенных элементов в воде Онежского озера незначительно.

В табл. 3 представлены результаты определения ТМ и НУВ.

Концентрации растворенных форм ТМ не превышали ПДК_{вр}, за исключением ст. 1, 2, 3 и 14, где было выявлено превышение ПДК_{вр} меди в 4 раза (ст. 1), в 2 раза (ст. 2 и 3) и ПДК_{вр} марганца в 1,5 раза (ст. 4, 5). Это может быть связано с особенностями геохимической провинции района озера — Повенецкого и Заонежского заливов, имеющих особый химический состав донных отложений в глубоководных районах (повышенные уровни Cu, Mn и других микроэлементов) [1]. Не исключено и антропогенное воздействие, так как основные источники загрязнений озера

Таблица 3

**Концентрации тяжелых металлов и НУВ в пробах воды, отобранных
с 7 по 9 сентября 2022 г., мг/дм³**

Станция	Гори-зонт	Cd	Pb	Cu	Mn	НУВ
1	пов.	0,000 2	0,001 2	0,004 1	0,005	0,2
	дно	0,000 1	0,000 6	0,001 5	0,003 7	
2	пов.	0	0,001 3	0,002 3	0,005 3	0,21
	дно	0	0,000 6	0,001 8	0,003 8	
3	пов.	0,000 1	0,000 7	0,001 8	0,010 5	0,19
	дно	0	0,000 3	0,001	0,009 8	
4	пов.	0,000 1	0,000 5	0,001 3	0,015 2	0,18
	дно	0	0,000 5	0,001 1	0,009	
5	пов.	0,000 1	0,000 5	0,001 4	0,015 5	0,09
	дно	0	0,000 3	0,001	0,006 9	
6	пов.	0	0,000 5	0,001	0,004 6	0,05
	дно	0	0,000 4	0,000 8	0,008 3	
7	пов.	0	0,000 4	0,001 4	0,007 3	0,14
	дно	0	0,000 3	0,000 8	0,006	
8	пов.	0	0,000 3	0,001 4	0,002 8	0,12
	дно	0	0,000 3	0,000 8	0,006 6	
9	пов.	0	0,000 4	0,000 9	0,003 1	0,05
	дно	0	0,000 5	0,000 4	0,003 3	
10	пов.	0	0,000 5	0,001	0,004 1	0,03
	дно	0	0,000 3	0,001 3	0,002 7	
11	пов.	0	0,000 6	0,001 4	0,016 6	0,15
	дно	0	0,000 3	0,000 8	0,010 3	
12	пов.	0	0,000 4	0,000 9	0,007 6	0,15
	дно	0	0,000 2	0,000 7	0,012 1	
13	пов.	0,000 1	0,000 3	0,000 9	0,004 2	0,03
	дно	0	0,000 4	0,000 7	0,005 4	
14	пов.	0,000 1	0,000 5	0,000 9	0,004	0,17
	дно	0	0,000 3	0,004 5	0,002 7	
15	пов.	0,000 1	0,000 3	0,000 8	0,003 8	0,05
	дно	0	0,000 4	0,000 7	0,004 3	
16	пов.	0,000 1	0,000 3	0,000 8	0,003 3	0,1
	дно	0	0,000 4	0,000 8	0,003 4	
СМЗ		0	0,000 4	0,001	0,005 2	0,13
ПДК _{вр}		0,005	0,006	0,001	0,01	0,05

находятся на берегах его северо-западных заливов [2]. В южной части Онежского озера превышение ПДК_{вр} было выявлено только на ст. 14 и перед истоком р. Свирь и только по меди — в 4,5 раза. С большой долей вероятности это связано с изменениями состава воды на данном участке водоема под влиянием р. Вытегра при юго-восточных ветрах [11].

Средние медианные значения (СМЗ) ТМ по озеру были следующие: кадмия — 0,0, свинца — 0,004, меди — 0,001, марганца — 0,005 мг/дм³; все они меньше или равны ПДК_{вр}.

Концентрации НУВ в воде варьировались от 0,03 до 0,21 мг/дм³; как следствие, СМЗ концентраций нефтяных углеводородов составляло 0,12 мг/дм³, что более чем в 2 раза превышает ПДК_{вр} (0,05 мг/дм³). Следует учитывать, что в результате природных процессов в водных биоценозах могут образовываться низкомолекулярные органические вещества — метаболиты водорослей, структура которых сходна со структурой некоторых нефтяных углеводородов и аналитически определяются вместе с ними [12–17]. Признаком, косвенно указывающим на интенсивное развитие фитопланктона, служит высокий уровень pH (см. табл. 1) — можно предположить, что обнаруженные углеводороды являются внеклеточной продукцией водорослей. Кроме того, с 2009 г. до настоящего времени исследователями отмечается посту-

пление НУВ в залив в составе стока ливневой канализации. По мнению специалистов, речь идет о выносе накопленного на территории г. Петрозаводск загрязнения [3]. Таким образом, относительно высокое содержание НУВ может быть следствием антропогенного загрязнения, результатом продукционно-деструкционных биохимических процессов или итогом комбинации двух факторов.

Заключение

На геохимические характеристики любого водоема оказывают влияние многочисленные природные и антропогенные факторы, в результате взаимодействия которых формируется состояние водоема. Полученные результаты показывают благоприятное состояние Онежского озера на момент исследования: озеро является прохладным и маломинерализованным, для его вод характерна высокая степень насыщения кислородом. Концентрации аммонийного азота и ионов тяжелых металлов не превышают ПДК; концентрации общего фосфора позволяют отнести большую часть озера к олиготрофным зонам. Однако природный объект, в особенности объект северной природы, хрупок и уязвим перед неблагоприятным воздействием. Для сохранения Онежского озера необходимо проводить постоянный мониторинг его гидрохимических параметров.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Онежское озеро : атлас / отв. ред. Н.Н. Филатов. — Петрозаводск, Карел. науч. центр РАН, 2010. — 151 с.
2. Основы биомониторинга Онежского озера / Н.М. Калинин, Т.Н. Полякова, А.И. Сидорова [и др.]. — EDN WQTXLD // Научное обеспечение реализации «Водной стратегии Российской Федерации на период до 2022 года» : сб. науч. тр. Т. 1. — Петрозаводск, 2015. — С. 427–433.
3. Калинин Н.М. Экосистема Онежского озера: реакция водных сообществ на антропогенные факторы и климатические изменения / Н.М. Калинин, Е.М. Теканова, М.Т. Сярки. — EDN YNTYBN // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. — 2017. — № 1. — С. 4–16.
4. Фомина Ю.Ю. Современное состояние зоопланктона Петрозаводской губы Онежского озера и его отклик на изменение климата / Ю.Ю. Фомина, М.Т. Сярки. — DOI 10.17076/lim820. — EDN YKDXN // Труды Карельского научного центра РАН. — 2018. — № 9. — С. 54–64.
5. Биогенная нагрузка на Онежское озеро по данным натурных наблюдений / П.А. Лозовик, Г.С. Бородулина, Ю.В. Карпечко [и др.]. — DOI 10.17076/lim303. — EDN VZDZNH // Труды Карельского научного центра РАН. — 2016. — № 5. — С. 35–52.
6. Онежское озеро. Экологические проблемы / отв. ред. Н.Н. Филатов. — Петрозаводск : Карел. науч. центр РАН, 1999. — 293 с.
7. Белкина Н.А. Фосфор в донных отложениях Онежского озера / Н.А. Белкина. — EDN TKIUVL // Известия Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена. — 2015. — № 173. — С. 97–109.
8. Белкина Н.А. Распределение и трансформация нефтяных углеводородов в донных отложениях Онежского озера / Н.А. Белкина, А.В. Рыжаков, Т.М. Тимакова. — EDN ISJZIB // Водные ресурсы. — 2008. — Т. 35, № 4. — С. 472–481.
9. Синякова М.А. Биогенные элементы в воде и донных отложениях Онежского озера по результатам исследований 2021 и 2022 годов / М.А. Синякова, Ю.В. Крылова, Л.В. Бронникова. — EDN CZSVED // Вестник биотехнологии и физико-химической биологии им. Ю.А. Овчинникова. — 2023. — Т. 19, № 2. — С. 39–45.
10. Carlson R.E. Estimating Trophic State / R.E. Carlson // LakeLine. — 2007. — Vol. 27, no. 1. — P. 25–28.
11. Сабылина А.В. Химический состав воды Онежского озера и его притоков / А.В. Сабылина, П.А. Лозовик, М.Б. Зобков. — EDN NBSUQB // Водные ресурсы. — 2010. — Т. 37, № 6. — С. 717–729.

12. Коркишко Н.Н. Исследование воды озера методом высокоэффективной газожидкостной хроматографии / Н.Н. Коркишко, Ю.В. Крылова // Ладожское озеро — прошлое, настоящее, будущее / под ред. В.А. Румянцева, В.Г. Драбковой. — Санкт-Петербург, 2002. — С. 117–121.
13. Оценка современного экологического состояния Ладожского озера по токсикологическим и гидрохимическим показателям / Ю.В. Крылова, Е.С. Светашова, С.Б. Екимова [и др.]. — EDN KDHBIT // Антропогенное влияние на водные организмы и экосистемы : материалы VII Всерос. конф., Борок, 16–18 сент. 2020 г. — Борок, 2020. — С. 106–109.
14. Применение высокоэффективной газожидкостной хроматографии для изучения органических соединений различной природы в воде Ладожского озера и других водоемов его бассейна / Н.Н. Коркишко, Ю.В. Крылова, Е.А. Курашов [и др.]. — EDN XXEKEV // Экологическая химия. — 2001. — Т. 10. — № 2. — С. 89–108.
15. Крылова Ю.В. Закономерности процессов трансформации природных метаболитов в ладожском озере, определяемых методами газо-жидкостной хроматографии / Ю.В. Крылова, Н.Н. Коркишко // Ладожское озеро. Мониторинг, исследование современного состояния и проблемы управления Ладожским озером и другими большими озерами. — Петрозаводск, 2000. — С. 116–123.
16. Петрова Т.Н. Органическое вещество / Т.Н. Петрова, Н.В. Игнатъева. — EDN YRKTNM // Ладога. — Санкт-Петербург, 2013. — С. 202–211.
17. Куликова А.В. Экологическая характеристика гидрохимического качества площадей водосбора Онежского озера и управление стоками / А.В. Куликова, О.В. Горбунов, Е.Н. Конышева. — EDN WHKPIH // Символ науки: международный научный журнал. — 2016. — № 7-2. — С. 24–28.

REFERENCES

1. Filatov N.N. (ed.). *Onega Lake*. Petrozavodsk, Karel'skii nauchnyi tsentr RAN Publ., 2010. 151 p.
2. Kalinkina N.M., Polyakova T.N., Sidorova A.I., Syarki M.T., Tekanova E.M., Chekryzheva T.A. Basics of bio-monitoring of Lake Onega. Scientific support for the implementation of the "Water Strategy of the Russian Federation for the period until 2020". Petrozavodsk, 2015. Vol. 1, pp. 427–433. (In Russian). EDN: WQTXLD.
3. Kalinkina N.M., Tekanova E.M., Syarki M.T. Ecosystem of Lake Onega: response of aquatic communities to anthropogenic factors and climate change. *Vodnoe khozyaistvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie = Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*, 2017, no. 1, pp. 4–16. (In Russian). EDN: YNTYBN.
4. Fomina Yu.Yu., Syarki M.T. Modern State of Zooplankton and its Response to Climate Change in Petrozavodsk Bay of Lake Onego. *Trudy Karel'skogo nauchnogo centra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences*, 2018, no. 9, pp. 54–64. (In Russian). EDN: YKDXN. DOI: 10.17076/lim820.
5. Lozovik P.1, Borodulina G.1, Karpechko Yu.1, Kondratyev S.1, Litvinenko A.1, Litvinova I. Nutrient Load on Lake Onego According to Field Data. *Trudy Karel'skogo nauchnogo centra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences*, 2016, no. 5, pp. 35–52. (In Russian). EDN: VZDZNH. DOI: 10.17076/lim303.
6. Filatov N.N. (ed.). *Onega Lake. Ecological problems*. Petrozavodsk, Karel'skii nauchnyi tsentr RAN Publ., 1999. 293 p.
7. Belkina N.A. Phosphorus in the Sediments of the Lake Onega. *Izvestiya Rossiiskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. A.I. Gertsena = Herzen University Journal of Humanities & Science*, 2015, no. 173, pp. 97–109. (In Russian). EDN: TKIUVL.
8. Belkina N.A., Ryzhakov A.V., Timakova T.M. The Distribution and Transformation of Oil Hydrocarbons in Onega Lake Bottom Sediments. *Vodnye resursy = Water Resources*, 2008, vol. 35, no. 4, pp. 472–481. (In Russian). EDN: ISJZIB.
9. Sinyakova M.A., Krylova Yu.V., Bronnikova L.V. Biogenic Elements in Water and Bottom Sediments of Lake Onega based on the Results of Studies in 2021 and 2022. *Vestnik biotekhnologii i fiziko-khimicheskoi biologii im. Yu.A. Ovchinnikova = Yu.A. Ovchinnikov Bulletin of Biotechnology and Physical and Chemical Biology*, 2023, vol. 19, no. 2, pp. 39–45. (In Russian). EDN: CZSVED.
10. Carlson R.E. Estimating Trophic State. *LakeLine*, 2007, vol. 27, no. 1, pp. 25–28.
11. Sabylina A.V., Lozovik P.A., Zobkov M.B. Water Chemistry in Onega Lake and its Tributaries. *Vodnye resursy = Water Resources*, 2010, vol. 37, no. 6, pp. 717–729. (In Russian). EDN: NBSUQB.
12. Korkishko N.N., Krylova Yu.V. Study of lake water using high-performance gas-liquid chromatography. In Rumyantsev V.A., Drabkova V.G. (eds). *Lake Ladoga — Past, Present and Future*. Saint Petersburg, 2002, pp. 117–121. (In Russian).
13. Krylova Yu.V., Svetashova E.S., Ekimova S.B., Ponomarenko A.M., Kurashov E.A., Sinyakova M.A., Lyashenko G.F., Kolosovskaya E.V., Fisak E.M., Khodonovich V.V., Yavid E.Ya, Arshanitsa N.M., Romanov A.Yu. Assessment of the current ecological state of Lake Ladoga based on toxicological and hydrochemical indicators. Anthropogenic influence on aquatic organisms and ecosystems. *Materials of the VII All-Russian Conference, Borok, September 16–18, 2020*. Borok, 2020, pp. 106–109. (In Russian). EDN: KDHBIT.
14. Korkishko N.N., Krylova Yu.V., Kurashov E.A., Protopopova E.V., Marinich M.A., Voyakina E.Yu. Application of high-performance gas-liquid chromatography to study organic compounds of various natures in the water of Lake Ladoga and other reservoirs of its basin. *Ekologicheskaya khimiya = Environmental chemistry*, 2001, vol. 10, no. 2, pp. 89–108. (In Russian). EDN: XXEKEV.
15. Krylova Yu.V., Korkishko N.N. Patterns of transformation processes of natural metabolites in Lake Ladoga, determined by gas-liquid chromatography methods. *Ladoga lake. Monitoring, research of the current state and problems of management of Lake Ladoga and other large lakes*. Petrozavodsk, 2000, pp. 116–123. (In Russian).

16. Petrova T.N., Ignateva N.V. Organic matter. *Ladoga*. Saint Petersburg, 2013, pp. 202–211. (In Russian). EDN: YRKTNM.

17. Kulikova. A.V., Gorbunov O.V., Konysheva E.N. Ecological characteristics of the hydrochemical quality of the catchment areas of Lake Onega and wastewater management. *Simvol nauki: mezhdunarodnyi nauchnyi zhurnal = Symbol of Science: International Scientific Journal*, 2016, no. 7-2, pp. 24–28. (In Russian). EDN: WHKPIH.

Информация об авторах

Синякова Мария Александровна — кандидат химических наук, доцент кафедры эргономики, экологии и трудового права, Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, ведущий научный сотрудник Лаборатории рыбохозяйственной экологии, Санкт-Петербургский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (ГосНИОРХ имени Л.С. Берга), г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, e-mail: kafischem@yandex.ru, SPIN-код: 2411-1623, AuthorID РИНЦ: 436176.

Крылова Юлия Викторовна — кандидат географических наук, доцент, научный сотрудник, Институт биологии внутренних вод имени И.Д. Папанина, Российская академия наук, пос. Борок, Ярославская область, Российская Федерация, e-mail: juliakrylova@mail.ru, SPIN-код: 5433-4619, AuthorID РИНЦ: 64460.

Екимова Светлана Борисовна — главный специалист, Санкт-Петербургский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (ГосНИОРХ имени Л.С. Берга), Санкт-Петербург, Российская Федерация, e-mail: ekimova771@yandex.ru, SPIN-код: 1857-5162, AuthorID РИНЦ: 1031522.

Пономаренко Анна Михайловна — кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник Лаборатории рыбохозяйственной экологии, Санкт-Петербургский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (ГосНИОРХ имени Л.С. Берга), Санкт-Петербург, Российская Федерация, e-mail: kafischem@yandex.ru, SPIN-код: 7623-3890, AuthorID: 164388.

Гребенников Виктор Андреевич — аспирант, Санкт-Петербургский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (ГосНИОРХ имени Л.С. Берга), Санкт-Петербург, Российская Федерация, e-mail: vpauk@mail.ru, SPIN-код: 9653-8002, AuthorID РИНЦ: 1126152.

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования

Гидрохимия Онежского озера по результатам исследований 2022 года / М.А. Синякова, Ю.В. Крылова, С.Б. Екимова, А.М. Пономаренко, В.А. Гребенников. — DOI 10.17150/2500-2759.2023.33(3).581-589. — EDN YJNHXW // Известия Байкальского государственного университета. — 2023. — Т. 33, № 3. — С. 581–589.

Authors

Maria A. Sinyakova — Ph.D. in Chemistry, Associate Professor of the Department of Ergonomics, Ecology and Labor Law, Saint Petersburg State Marine Technical University, Leading Researcher, Laboratory of Fishery Ecology, Saint Petersburg Branch of All-Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography (GosNIORH named after L.S. Berg), Saint Petersburg, the Russian Federation, e-mail: kafischem@yandex.ru, SPIN-Code: 2411-1623, AuthorID RSCI: 436176.

Yulia V. Krylova — Ph.D. in Geography, Associate Professor, Researcher, Papanin Institute for Biology of Inland Waters Russian Academy of Sciences, village Borok, Yaroslavl region, the Russian Federation, e-mail: juliakrylova@mail.ru, SPIN-Code: 5433-4619, AuthorID RSCI: 64460.

Svetlana B. Ekimova — Chief Specialist, Saint Petersburg Branch of All-Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography (GosNIORH named after L.S. Berg), Saint Petersburg, the Russian Federation, e-mail: ekimova771@yandex.ru, SPIN-Code: 1857-5162, AuthorID RSCI: 1031522.

Anna M. Ponomarenko — Ph.D. in Biology, Leading Researcher, Laboratory of Fishery Ecology, Saint Petersburg Branch of All-Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography (GosNIORH named after L.S. Berg), Saint Petersburg, the Russian Federation, e-mail: kafischem@yandex.ru, SPIN-Code: 7623-3890, AuthorID RSCI: 164388.

Viktor A. Grebennikov — Ph.D. Student, Saint Petersburg Branch of All-Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography (GosNIORH named after L.S. Berg), Saint Petersburg, the Russian Federation, e-mail: vpauk@mail.ru, SPIN-Code: 9653-8002, AuthorID RSCI: 1126152.

Contribution of the Authors

The authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

For Citation

Sinyakova M.A., Krylova Yu.V., Ekimova S.B., Ponomarenko A.M., Grebennikov V.A. Hydrochemistry of Lake Onega According to the Results of Research in 2022. *Izvestiya Baikal'skogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of Baikal State University*, 2023, vol. 33, no. 3, pp. 581–589. (In Russian). EDN: YJNHXW. DOI: 10.17150/2500-2759.2023.33(3).581-589.