

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ХИМИЧЕСКОГО И БИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВА И ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВОДНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ МАЛОГО ОЗЕРА В СЕВЕРО-ЗАПАДНОМ ПРИЛАДОЖЬЕ

Зырянова Д. С., Немчинова А. В., Дмитриев В. В.

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, email: levienche13@gmail.com

Аннотация. Целью работы являлась оценка экологического состояния водоема. Под оценкой экологического состояния понималась параметрическая оценка состояния водоема, характеризующая его пригодность для жизни организмов-гидробионтов (биоцентризм) и/или для использования человеком (обществом) в различных целях (антропоцентризм). В июне 2023 г были рассмотрены пространственно-временные особенности распределения химического и биологического состава и физические свойства воды в озере Суури (Ленинградская область, район п. Кузнечное). Выявлены высокие значения прозрачности воды (до 2,7 м) и малое содержание минерального фосфора (менее 0,01 мгР/л). Выполнены наблюдения за первичной продукцией и деструкцией органического вещества в озере, содержанием хлорофилла. Рассматривается оценка качества воды в озере на основе различных методов. По индексу Вудивисса качество воды в озере соответствует II классу (чистая). По индексу сапробности по зоопланктону вода относится к левой границе III класса. Аналогичный результат был получен на основе двух авторских моделей-классификаций качества М1 (левая граница II класса качества) и М2 (середина II класса). Сравнение результатов интегральной оценки качества воды в озере Суури за 2017-2023 гг. показало, что использование разных моделей-классификаций, ориентированных на 5 классов качества с расхождением в числе параметров (от 8 до 14) и в перечне параметров оценивания до 50-60%, не приводит к сильному расхождению в полученных результатах. Качество воды в озере в летнее время года за последние 6 лет относится к II классу качества – левой границе III класса. Выполнена проверка влияния числа параметров и уровней свертки показателей на полученные результаты интегральной оценки качества воды в озере.

Ключевые слова: малые озера северо-западного Приладожья, пространственно-временная изменчивость, оценка качества воды, интегральная оценка, модель интегральной оценки качества воды

SPATIAL AND TEMPORAL VARIABILITY OF THE CHEMICAL AND BIOLOGICAL COMPOSITION AND PHYSICAL PROPERTIES OF THE AQUATIC ECOSYSTEM OF A SMALL LAKE IN THE NORTHWESTERN LADOGA REGION

Zyryanova D. S. Nemchinova A.V., Dmitriev V. V.

Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, email: levienche13@gmail.com

Annotation. The purpose of the work was to assess the ecological condition of the reservoir. The assessment of the ecological state was understood as a parametric assessment of the state of a reservoir, characterizing its suitability for the life of aquatic organisms (biocentrism) and/or for human (society) use for various purposes (anthropocentrism). In June 2023, the spatial and temporal features of the distribution of chemical and biological composition and physical properties of water in Lake Suuri (Leningrad region, Kuznechnoye settlement area) were considered. High values of water transparency (up to 2.7 m) and a low content of mineral phosphorus (less than 0.01 mg/l) were revealed. Observations were made on the primary production and destruction of organic matter in the lake, the content of chlorophyll. The assessment of the water quality in the lake based on various methods is considered. According to the Woodiwiss index, the water quality in the lake corresponds to Class II (clean). According to the zooplankton saprobity index, water belongs to the left boundary of Class III. A similar result was obtained on the basis of two author's models-the M1 quality classifications (the left boundary of the II quality class) and M2 (the middle of the II class). A comparison of the results of the integrated assessment of water quality in Lake Suuri for 2017-2023 showed that the use of different classification models focused on 5 quality classes with a discrepancy in the number of parameters (from 8 to 14) and in the list of assessment parameters up to 50-60% does not lead to a strong discrepancy in the results obtained. The water quality in the lake in the summer for the last 6 years belongs to the II quality class – the left border of the III class. The influence of the number of parameters and levels of convolution of indicators on the results of the integrated assessment of water quality in the lake was verified.

Key words: small lakes of the northwestern Ladoga region, spatial and temporal variability, water quality assessment, integrated assessment, integrated water quality assessment model

Введение. Факторами формирования химического и биологического состава, а также физических свойств водных экосистем малых озер являются климатические условия,

геологический состав пород и деятельность человека на водосборе. Кроме того, последний фактор может влиять на два предыдущих. Малые озера и их водные экосистемы достаточно чувствительны к изменениям упомянутых факторов, они являются индикаторами процессов, происходящих на водосборе. Особенно актуальным в наше время является вопрос, связанный с влиянием изменения климатических условий и антропогенных факторов на водные экосистемы, выделение антропогенных составляющих на фоне естественных изменений. В связи с этим существует необходимость изучения и выявления пространственно-временной изменчивости химического и биологического состава воды, а также физических свойств водных экосистем малых водоемов, для этого необходимо проведение мониторинга, составными частями которого являются наблюдение, оценка и прогноз состояния системы в целом, получение информации о компонентах и скоростях процессов массообмена внутри экосистемы, влиянии факторов среды на эти процессы, исследования интегративных свойств присущих системе в целом (устойчивости системы к внешним воздействиям).

Настоящая статья является первой из трех работ, заявленных авторами на «Студенческий Форум 2024». В ней речь пойдет о первых этапах мониторинга состояния озерной экосистемы малого озера. Водно-экологические исследования в районе северо-западного Приладожья начали активно развиваться на факультете географии и геоэкологии ЛГУ-СПбГУ (сегодня – Институт наук о Земле СПбГУ) в середине 1980-х гг. С начала 1990-х гг. результаты этих исследований начали публиковаться в открытой печати. Исследование водной экосистемы оз. Суури (Большое Волковское) обсуждалось в работах 2010-2014 гг., 2016-2021 гг. и в последние годы [1,2]. В работе [3] обобщены данные о наблюдениях, собранных на оз. Суури и в проливе Лехмалахти Ладожского озера в летний период с 2009 по 2019 гг.

В настоящее время разработка и апробация новых методов оценки качества и токсического загрязнения природных вод является важной научной задачей. Зарубежные исследования ЕС в наши дни нацелены на выполнение европейской Рамочной Директивы по водным ресурсам (РДВ, WFD) для того, чтобы гарантировать доступность населению воды высокого качества [2]. В статье [4] авторы отмечают важность оценки и анализа качества воды в озерах, в рамках исследований ими были использованы различные методы, в их числе интегральный индекс качества воды «Гиперион» (Huperion). В состав индекса качества авторы включили: рН воды, растворенный кислород, мутность, электропроводность, жесткость, щелочность, содержание натрия, биохимическое потребление кислорода, содержание нитратов и нитритов, коэффициент опасности (оценивался по максимальной заявленной концентрации вещества в воде и/или донных отложениях, согласно экологическому руководству или принятому эталону). Для оценки качества воды с точки зрения устойчивого

водоснабжения был разработан специальный индекс качества воды WSI [5], который прошел апробацию на реках Таиланда. В основе индекса лежат тринадцать параметров, в перечень которых вошли химические и физические показатели. Можно отметить, что во многих странах оценка качества воды до начала 2000-х гг., часто выполнялась без учета биологических индикаторов и индексов, хотя уже тогда у нас в стране и в восточной Европе были известны и применялись в практике гидробиологических работ индексы сапробности, токсобности, сапротоксобности, олигохетные и хирономидные и другие индексы. Но, например, в наши дни в работе [6], среди 20 параметров, входящих в балльно-индексную оценку качества воды, присутствуют ХПК, хлорофилл- α , БПК₅, имеющие отношение к оценке качества воды на основе методов биологического контроля.

Согласно Седьмой программе действий в области окружающей среды (Seventh Environment Action Program) к 2020 году качество воды для купания должно соответствовать стандарту «excellent» (отлично) или «good» (хорошо). Благодаря реконструкции канализационных систем, улучшению очистки сточных вод, сокращению загрязнений сельскохозяйственных территорий качество воды для купания в странах ЕС со временем улучшается. В США отмечена та же тенденция. В 2018 году вода для купания в странах ЕС соответствовала стандартам «excellent», «good» and «sufficient» (отличная, хорошая, нормальная) на 95,4 % [7,8]. Важно, что исследования качества воды должны проводить в течение 4 лет. Основной индикатор качества воды для купания в странах ЕС – *Intestinal enterococci* и *Escherichia coli* [9].

В отечественной литературе достаточно часто оценка качества воды в водоемах выполнялась на основе, введенного в 1988 г. индекса загрязненности вод ИЗВ [10-12], пока на смену ему не пришел удельный комбинаторный индекс загрязненности воды (УКИЗВ) — относительный комплексный показатель степени загрязненности поверхностных вод. Еще одним направлением современных исследований, для которого необходимы результаты первичного экологического мониторинга водных объектов, является оценка экосистемных услуг. В работе [13] рассмотрен инструментарий оценки уровня соответствия экосистемных услуг поверхностных водных объектов задачам устойчивого развития региона. Автором на основе [14] сформирована система индикаторов оценки потенциала экосистемных услуг водных объектов; определены критерии соответствия экосистемных услуг водных объектов целям устойчивого развития на примере Ростовской области.

Целью данной работы является выявление пространственно-временной изменчивости химического и биологического состава и физических свойств водной экосистемы малого озера Суури в Северо-западном Приладожье на основе данных, полученных авторами в июне 2023 года. **Задачами** работы являются: 1 – выявление и оценка распределения физических свойств

озера в пространстве и внутри суток по данным 2023 года; 2 – изучение химического и биологического состава водной экосистемы озера Суури за 2023 год; 3 – оценка качества воды в озере на основе индикаторного подхода и на основе разработанных авторами композитных индексов качества воды.

Материалы и методы. В качестве ключевого района в Северо-западном Приладожье было рассмотрено оз. Суури, где в период с 21 по 22 июня 2023 г. были проведены суточные наблюдения с интервалом 6 часов (горизонты 0, 1, 2, 3, 4 м), также была выполнена съемка озера в 18 точках 22 июня 2023 г. (изменялись характеристики воды на поверхностном и придонном горизонтах). Наблюдались следующие характеристики: глубина (м), температура воды (°C), прозрачность воды (м), содержание в воде растворенного кислорода (в мг/л и в процентах насыщения), электропроводность воды (мкСм/см), водородный показатель pH, содержание в воде минерального фосфора (мг P-PO₄/л), содержание в воде аммонийного азота (мг N-NH₄/л). Также проводились продукционные наблюдения и наблюдения за составом фито-, зоопланктона и макрозообентоса.

Для визуализации полученных данных были построены графики вертикального распределения, изоплеты и карты, характеризующие пространственную и временную (рис.1 и рис.2) изменчивость состава свойств воды озера Суури. Авторами были проведены основные гидробиологические исследования на озере Суури, выполнен расчет показателя биоразнообразия. Были отобраны количественные пробы на хлорофилл с приповерхностного горизонта озера с теневой стороны лодки. Также выполнялся отбор проб зоопланктона. Количественная проба была отобрана интегральным способом (отбор производился от глубины 4 метра до поверхности воды) с помощью планктонной сети Апштейна. Полученные данные о физических свойствах, химическом и биологическом составе воды позволили на следующем этапе также выполнить оценку качества воды на основе индикаторного подхода и интегральной оценки по двум классификациям с одним и двумя уровнями свертки показателей.

Результаты исследования и их обсуждение. По результатам батиметрической съемки средняя глубина озера составила 2,64 м, максимальная глубина - 5,42 м, в озере в целом выделяется центральная глубоководная зона вдоль северного и северо-восточного побережья вытянутая в направлении ССЗ-ВЮВ. Средняя прозрачность в 2023 г составила 2,75 м. Было установлено, что термоклин находится на глубинах 2-3 м. В данном слое наблюдался наибольший температурный скачок (в среднем 3,72 °C). В вечерние часы 18:00 на поверхности наблюдались наибольшие температуры (22,6 °C), наименьшие – в утренние часы (20,8 °C). При анализе содержания в воде O₂ было рассчитано среднее значение его содержания в воде – 69,9 %. Минимальные концентрации O₂ наблюдались на дне, поскольку фотосинтез на большой

глубине отсутствует, а процессы деструкции и минерализации органического вещества и нитрификация требуют значительного расхода кислорода. По результатам наблюдений рН на разных горизонтах можно сделать вывод о том, что воды оз. Суури имеют нейтральную реакцию. Водородный показатель в озере незначительно изменялся в окрестности среднего значения 7,53 (от 7,06 до 7,76). Изменение этой характеристики с глубиной было незначительным. Стоит отметить, что в приповерхностном и придонном горизонтах этот показатель отклоняется в сторону увеличения рН, преимущественно в зарастающих мелководных заливах, что говорит о развитии процесса эвтрофирования в этих зонах.

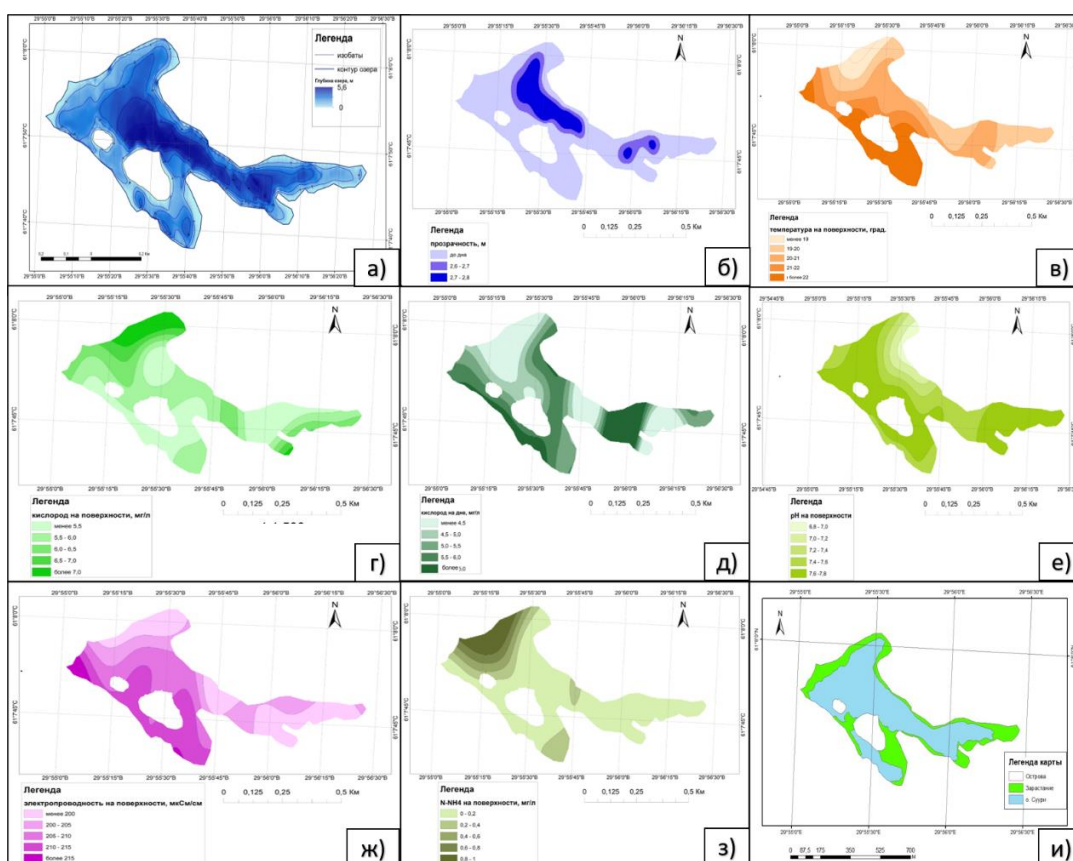


Рисунок 1. Пространственное распределение характеристик оз. Суури (а – батиметрический план; б - распределение прозрачности по акватории озера; в - распределение температуры воды в приповерхностном слое воды; г - распределение содержания кислорода в мг/л на поверхности озера; д - распределение содержания кислорода в мг/л на дне озера; е - распределение рН на поверхности озера; ж – распределение электропроводности воды на поверхности озера; з - распределение содержания аммонийного азота на поверхности озера; и – зарастание озера в июне 2023 г.)

Средняя величина электропроводности в придонном слое была меньше, чем в поверхностном (189 и 205 мкСм/см соответственно). Содержание в воде минерального фосфора во время проведения всех видов работ не превышало 0,01 мгР/л. Содержание аммонийного азота на разных горизонтах по результатам наблюдений на суточной станции можно назвать неоднородным. Изменения отмечены как по глубине, так и внутри суток с разбросом от 0,01 до 0,44 мг N-NH₄/л, среднее значение составило 0,068 мг N-NH₄/л.

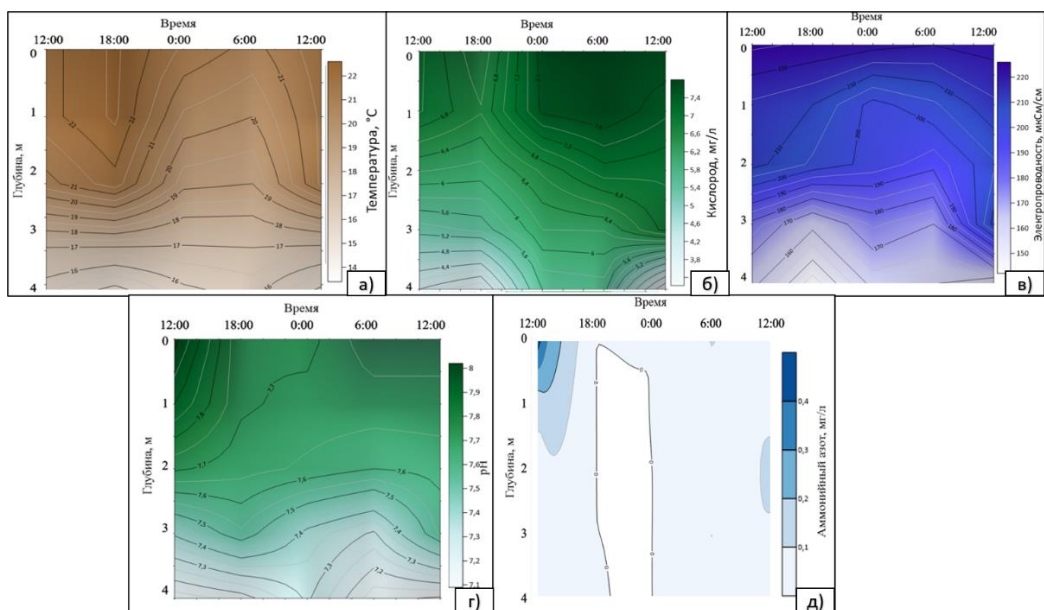


Рисунок 2. Временная изменчивость характеристик (а – температуры; б – кислорода; в – электропроводности; г – водородного показателя pH; д – аммонийного азота)

Было также выяснено, что в составе фитопланктона преобладали диатомовые водоросли, а значение концентрации хлорофилла «а» составляло 1,57 мг/л. Анализ и отбор качественных проб на зообентос позволил рекогносцировочно оценить качество воды в озере по биотическому индексу Вудивисса. В результате исследования пробы зообентоса были найдены водяной ослик одного вида и личинка ручейника, при этом отсутствовали гаммарусы, личинки веснянок и поденок. Таким образом, величина биотического индекса составила 7. Это позволило отнести качество воды в озере к II классу качества – чистые (правая граница). На основе исследования и обработки проб зоопланктона было выявлено, что самым распространенным таксоном являлись коловратки (род *Keratella*), а самым редко встречающимся – вид *Eudiaptomus gracilis*, отряда *Copepoda* (было обнаружено всего 2 особи). Общая численность зоопланктона составила 62841 экз./м³. Расчёт индекса Шеннона (H) показал, что в оз.Суури в конце июня 2023 г. H=2,09. Это меньше, чем в июле 2019 г. (2,6) и в июле 2021 г. (3,2). Также был определен индекс сапробности озера по зоопланктону, его значение составило 1,60, что позволило отнести воду озера к III классу сапробности, ближе к границе с II классом, при ширине класса 1,51 – 2,50 (β-мезосапробная зона).

Для интегральной оценки качества воды были разработаны две модели-классификации. Первая (M1, рис.3) основана на применении 8 признаков и одноуровневой свертке при вычислении интегрального показателя качества воды. При использовании для оценки качества ранее описанных физических, химических и биологических характеристик (рис.3) воды озера по величине интегрального показателя (ИПК) в 2023 году были отнесены к II классу качества воды (чистые). Значение ИПК составило 0,151, II класс (левая граница класса).

Признаки	Класс качества				
	Очень чистые I	Чистые II	Умерен. загрязн. III	Загрязн. IV	Грязные V
1. pH	8.0-7.0 0 - 0,25	7.0-6.0 0,25-0,50	6.0-5.6 0,50-0,60	5.6-5.3 0,60-0,68	5.3-4 0,68-1
2. Прозрачность воды по диску Секки, м	3.0 - 2.0 0 - 0,33	2.0 - 0.7 0,33 - 0,77	0.7 - 0.5 0,77 - 0,83	0.5 - 0.3 0,83 - 0,90	0.3 - 0 0,90 - 1
3. Удельная электропроводность воды, мкСм/см	0 - 150 0 - 0,15	150 - 250 0,15 - 0,25	250 - 300 0,25 - 0,30	300 - 500 0,30 - 0,50	500 - 1000 0,50 - 1
4. Фосфор фосфатный PO ₄ , мгР/л	0.000-0.005 0 - 0,01	0.005-0.03 0,01 - 0,05	0.03-0.1 0,05 - 0,17	0.1-0.3 0,17 - 0,50	0.3-0.6 0,50 - 1
5. Аммонийный азот NH ₄ , мгN/л	0.00-0.05 0 - 0,01	0.05-0.20 0,01 - 0,04	0.20-0.50 0,04 - 0,10	0.50-2.50 0,10 - 0,50	2.50-5.00 0,50 - 1
6. БПК ₅ , мг O/л	0.0-0.4 0 - 0,04	0.4-1.2 0,04 - 0,12	1.2-2.1 0,12 - 0,21	2.1-7.0 0,21 - 0,70	7.0-10.0 0,70 - 1
7. O ₂ , % насыщения	110-99 0 - 0,1	99-91 0,1-0,17	91-71 0,17-0,35	71-41 0,35-0,63	41-0 0,63-1
8. Концентрация С1 "а", мкг/л	0-3 0 - 0,05	3-8 0,05 - 0,13	8-15 0,13 - 0,25	15-30 0,25 - 0,50	30-60 0,50 - 1
Интегральный показатель качества воды (ИПК)	0 - 0,12	0,12 - 0,25	0,25 - 0,35	0,35 - 0,61	0,61 - 1,00

Рисунок 3. Интегральная оценка качества воды по модели М1 (В числителе – границы класса, в знаменателе – нормированные значения границ)

Вторая модель-классификация (М2, рис.4) подразумевала использование субиндексов и двухуровневую свертку показателей: гидрофизические критерии (ИПК1), гидрохимические и токсикологические критерии и индексы (ИПК2), гидробиологические критерии и индексы (ИПК3). Сначала выполнялся расчет субиндексов, а затем рассчитывается интегральный показатель качества (ИПК) как средневзвешенное по всем субиндексам. По результатам расчетов ИПК равен 0,238, что соответствует середине II класса качества воды (чистые).

№	Критерий	Класс качества				
		Очень чистые I	Чистые II	Умерен. загрязн. III	Загрязн. IV	Грязные V
Гидрофизические критерии						
1	Прозрачность	3.0 - 2.0 0 - 0,33	2.0 - 0.7 0,33 - 0,77	0.7 - 0.5 0,77 - 0,83	0.5 - 0.3 0,83 - 0,90	0.3 - 0 0,90 - 1
2	Электропроводность	0 - 150 0 - 0,15	150 - 250 0,15 - 0,25	250 - 300 0,25 - 0,30	300 - 500 0,30 - 0,50	500 - 1000 0,50 - 1
3	Взвесь	5-9 0-0,014	9-14 0,014-0,030	14-30 0,030-0,085	30-100 0,085-0,322	100-300 0,322-1
ИПК1		0-0,165	0,165-0,350	0,350-0,405	0,405-0,574	0,574-1
Гидрохимические и токсикологические критерии и индексы						
4	pH	8.0-7.0 0-0,25	7.0-6.0 0,25-0,50	6.0-5.6 0,50-0,60	5.6-5.3 0,60-0,68	5.3-4 0,68-1
5	Мин. фосфор Р-PO ₄	0.005-0.015 0-0,010	0.015-0.050 0,010-0,045	0.050-0.200 0,045-0,196	0.200-0.500 0,196-0,497	0.500-1.00 0,497-1
6	N-NH ₄	0.05-0.1 0-0,010	0.1-0.2 0,010-0,030	0.2-0.5 0,030-0,091	0.5-2.5 0,091-0,495	2.5-5.0 0,495-1
7	O ₂ %	110-100 0-0,111	100-90 0,111-0,222	90-70 0,222-0,444	70-40 0,444-0,778	40-20 0,778-1
8	БПК ₅	0.0-0.4 0,00 - 0,04	0.4-1.2 0,04 - 0,12	1.2-2.1 0,12 - 0,21	2.1-7.0 0,21 - 0,70	7.0-10.0 0,70 - 1
9	Комбинир. риск	0.00-0.040 0-0,040	0.040-0.090 0,040-0,090	0.09-0.16 0,090-0,160	0.16-0.26 0,160-0,260	0.26-1.00 0,260-1
ИПК2		0-0,077	0,077-0,168	0,168-0,284	0,284-0,568	0,568-1
Гидробиологические критерии и индексы						
10	Концентрация С1 "а", мкг/л	0-3 0,00 - 0,05	3-8 0,05 - 0,13	8-15 0,13 - 0,25	15-30 0,25 - 0,50	30-60 0,50 - 1
11	Индекс сапробности	0-0.5 0-0,125	0.5-1.5 0,125-0,375	1.5-2.5 0,375-0,625	2.5-3.5 0,625-0,875	3.5-4.0 0,875-1
12	Индекс Вудивисса	15-10 0-0,333	10-6 0,333-0,600	6-4 0,600-0,733	4-2 0,733-0,867	2-0 0,867-1
13	Индекс BMWP	200-150 0-0,263	150-100 0,263-0,526	100-50 0,526-0,789	50-16 0,789-0,968	16-10 0,968-1
14	Индекс ASPT	6.0-5.4 0-0,200	5.4-4.8 0,200-0,400	4.8-4.2 0,400-0,600	4.2-3.6 0,600-0,800	3.6-3.0 0,800-1
ИПК3		0-0,194	0,194-0,406	0,406-0,599	0,599-0,802	0,802-1
Интегральный показатель качества ИПК		0,0-0,145 $\Delta = 0,072$ ср. = 0,072	0,145-0,308 $\Delta = 0,163$ ср. = 0,226	0,308-0,429 $\Delta = 0,121$ ср. = 0,368	0,429-0,648 $\Delta = 0,219$ ср. = 0,538	0,648-1,0 $\Delta = 0,352$ ср. = 0,824

Рисунок 4. Интегральная оценка качества воды по модели М2 (В числителе – границы класса, в знаменателе – нормированные значения границ)

По результатам интегральной оценки качества воды в оз.Суури по М1 и М2 получено:

1 – расчеты ИПК воды в 2023 г. по двум классификациям, имеющим разное число учитываемых параметров (расхождение учитываемых параметров – 57,6 %), выявили попадание в один класс качества (II);

2 - выявлена неопределенность в результатах оценки качества воды не только при покомпонентной оценке, но и на основе отдельных субиндексов. В М2 интегральная оценка показала, что различные критерии качества дали разный вклад в интегральную оценку качества (от I до III-IV кл.). По гидрофизическим характеристикам (ИПК1) вода в оз. Суури входит в класс очень чистых вод (I), по гидрохимическим и токсикологическим (ИПК2) – в класс чистых (II), и по гидробиологическим (ИПК3) – в класс умеренно-загрязненных вод (III).

3 – интегральный показатель качества воды последнего уровня свертки для М2 при равновесном учете субиндексов оказался близок к середине II класса. Придание большего веса ИПК3 при задании большего приоритета этому субиндексу приведет в итоге к сдвигу ИПК ближе к правой границе II класса.

4 – выявлены различия в результатах оценки качества воды при использовании разных моделей интегрального оценивания. Например, ИПК по М1 в 2023 г. был ближе к левой границе класса чистых вод (II), а при оценке по М2 – был ближе к середине II-го класса. Данное различие обусловлено тем, что в М1 было использовано меньшее количество гидробиологических критериев, но именно они, агрегированные в субиндекс ИПК3, понизили итоговый класс качества в М2.

5 – сравнение с ранее выполненными исследованиями по интегральной оценке качества воды в озере Суури в 2017-2019, 2021 и 2023 гг. [2] показало, что использование разных моделей-классификаций, ориентированных на 5 классов оценки качества с расхождением в числе параметров (8-14) и в перечне параметров, выбранных для оценки качества воды до 50-60%, не приводит к значительному расхождению в полученных результатах. В 2017 г при числе параметров 10 ИПК=0,270 (IIIл); в 2018 г (10), ИПК=0,337 (III л); в 2019 г (13), ИПК=0,231 (IIIп); в 2021 г (11), ИПК=0,300 (IIIл); в 2023 г (14), ИПК=0,238 (IIIс). Показано, что сравнивать результаты оценки качества воды, полученные по разным моделям-классификациям, следует не по значениям величин ИПК, а по попаданию ИПК в определенный класс качества с учетом близости к левой или правой его границе, или к середине класса.

Заключение. В ходе исследования были рассмотрены пространственно-временные распределения физических свойств, химического и биологического состава воды в озере Суури, которое находится на территории Северо-западного Приладожья. Были выявлены основные особенности распределения данных показателей в пространстве и времени.

Наиболее интересным стало то, что в ходе наблюдений было зафиксировано малое содержание фосфора (менее 0,01 мгР/л). В период наблюдений преобладающим видом в составе фитопланктона являлись диатомовые водоросли. Общая численность зоопланктона составила 62841 экз./м³. Расчёт индекса Шеннона (H) показал, что в оз.Суури в конце июня 2023 г. H=2,09. Это меньше, чем в июле 2019 г. (2,6) и в июле 2021 г. (3,2). Полученные результаты наблюдений позволили оценить качество воды на основе покомпонентного подхода и на основе разных композитных индексов. Согласно биотическому индексу, (индекс Вудивисса) качество воды в озере соответствует II классу (чистая). Однако данный индекс применим для водотоков, и может занижать результаты для озера. Оценка качества воды по индексу сапробности для зоопланктона показала самый худший результат – левая граница III класса. Тот же результат был получен с помощью авторских моделей-классификаций M1 (левая граница II класса) и M2 (середина II класса). Сравнение с ранее выполненными исследованиями по интегральной оценке качества воды в озере Суури показало, что использование разных моделей-классификаций не приводит к сильному расхождению в полученных результатах. Таким образом, качество воды в озере в летнее время года относится за последние 6 лет к II классу – левой границе III класса.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант № 23-27-10011, и при финансовой поддержке Санкт-Петербургского научного фонда.

Литература

1. Дмитриев В.В., Четверова А.А., Поважный В.В., Кузнецова М.Р., Седова С.А., Вакула Е.Н., Колупаева А.Д., Маринина С.В., Пашовкина А.А., Корнаухов И.Д. Мониторинг малых озера Северо-Западного Приладожья: современные инновации и результаты // Озера Евразии: проблемы и пути их решения: Материалы II Международной конференции, Ч.1 (г. Казань, 19–24 мая 2019 года). Казань: Издательство Академии наук РТ, 2019. С. 70-76.
2. Архипов Д.Э., Едемский К.Е., Кожевникова С.И., Дмитриев В.В. Развитие мониторинга водных объектов на основе интегральной оценки экологического статуса и моделирования экологических функций // European Journal of Natural History. 2022. №2. С. 31-37
3. Седова С.А., Дмитриев В.В., Четверова А.А. База данных для выявления экологического статуса и факторов массообмена в водной экосистеме на примере озера "Суури" (lake-suuri-ecosystem) Свидетельство о регистрации базы данных RU 2019621679, 26.09.2019. Заявка № 2019621570 от 13.09.2019. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41182581> (дата обращения 05.12.23).
4. Bhatia, R., Jain, D. Water quality assessment of lake water: a review // Sustain. Water Resour. Manag. 2016. №2. С. 161-173.

5. Prakirake, C., Chaiprasert, P., Tripetchkul, S. Development of specific water quality index for water supply in Thailand. // Songklanakarin Journal of Science and Technology. 2009. №31. С. 91-104.
6. Wu J., Xue C., Tian R., Wang S. Lake water quality assessment: a case study of Shahu Lake in the semiarid loess area of northwest China // Environmental Earth Sciences. 2017. № 76(5).
7. European Environment Agency, European bathing water quality in 2018. Report 3. 2019.
8. European Environment Agency, Council Directive 2006/7/EC concerning the management of bathing water quality and repealing Directive 76/160/EEC // EU, OJ L 64, 4.3. 2006. p. 37-51.
9. Чекмарева Е.А. Качество воды рекреационно-доступных водоемов и водотоков ЦФО России // Вода: Химия и экология. 2019. №10-12. С. 68-73.
10. Трошенко Е.В., Середовских Б.А. Качество водных объектов в бассейне реки Аган. // XXI Всероссийская студенческая научно-практическая конференция Нижневартковского Государственного Университета: сборник статей (г. Нижневартовск, 2–3 апреля 2019 года). Нижневартовск: Нижневартковский государственный университет, 2019. С. 301-307.
11. Чернышева С.И. Оценка качества вод естественных водных объектов по гидрохимическим и гидробиологическим индексам. // XIX международная научная школа-конференция студентов и молодых ученых "экология Южной Сибири и сопредельных территорий: сборник конференции в 2 томах (г. Абакан, 02–04 декабря 2015 года). Абакан: Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова, 2015. С. 198.
12. Вишневецкий В.Ю. Попружный В. М. Оценка качества воды в районах водозаборов города Таганрога по гидрохимическим показателям. // Инженерный вестник Дона. 2014. №4-2(32).
13. Чернова О. А. Экосистемные услуги водных объектов в обеспечении устойчивого развития региона // Регионология. 2022. Т. 30, № 3. С. 586–601. doi: <https://doi.org/10.15507/2413-1407.120.030.202203.586-601>
14. Alary V., Messad S., Aboul-Naga A., Osman M., Abdelsabour T., Salah A., Juanes X. Multi-Criteria Assessment of the Sustainability of Farming Systems in the Reclaimed Desert Lands of Egypt. Agricultural Systems. 2020;183. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102863>