

Гидрометеорология и экология. 2023. №73. С. 699—710.
Hydrometeorology and Ecology. 2023;(73):699—710.

ГЕОЭКОЛОГИЯ

Научная статья
556.555(282.257.583.1)«324»
doi: 10.33933/2713-3001-2023-73-699-710

Гидрологическая и гидрохимическая характеристика юго-западной части озера Ханка в зимний период 2016 г.—2023 г.

***Ольга Игоревна Катайкина, Владимир Иванович Матвеев,
Александр Леонидович Фигуркин***

Всероссийский институт рыбного хозяйства и океанографии, Тихоокеанский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»), Владивосток, Россия, olga.kataykina@tinro.ru

Аннотация. В статье рассматриваются особенности изменений гидрохимических характеристик в озере Ханка в зимний период года. Подо льдом прогреваются придонные воды за счет запаса тепла, накопленного грунтом в теплый период. При этом происходит активное развитие фитопланктона, вследствие чего относительное содержание растворенного кислорода может достигать 180 %. Высокие значения БПК₅ свидетельствуют о разложении большого количества органического вещества и окислении органики, поступающей в воду с бытовыми отходами. Наблюдается рост фосфатов, нитратов, нитритов и аммония, что вероятно связано с интенсивным использованием озера в последние годы.

Ключевые слова: озеро Ханка, температура, мощность ледяного покрова, растворенный кислород, биогенные вещества, трофность.

Для цитирования: Катайкина О. И., Матвеев В. И., Фигуркин А. Л. Гидрологическая и гидрохимическая характеристика юго-западной части озера Ханка в зимний период 2016 г.—2023 г. // Гидрометеорология и экология. 2023. № 73. С. 699—710. doi: 10.33933/2713-3001-2023-73-699-710.

GEOECOLOGY

Original article

Hydrological and chemical characteristics of the south-western part of Lake Khanka in winter, 2016—2023

Olga I. Kataykina, Vladimir I. Matveev, Alexander L. Figurkin

Research Institute of Fisheries and Oceanography, VNIRO, Pacific branch of VNIRO (TINRO), Vladivostok, Russia.

Summary. Hydrological and chemical conditions of Lake Khanka in winter season are considered on the data of surveys conducted in 2016—2023 and cited materials. The lake is completely covered by

ice in winter that potentially can worsen oxygenation of its waters. The thickness of ice related inversely on the mean air temperature in winter. The water temperature under the ice ranged from +0,2 to +1,5 °C and were rather stable at the depth below of 3,0–3,5 (+4,0-4,4 °C), with slow heightening to the bottom because of the heat return flux from the bottom grounds accumulated in warm season. In spite of the ice cover, high content of dissolved oxygen was observed in the water. It was accompanied with high values of biochemical oxygen demand indicating the water enrichment by phytoplankton that bloomed under the ice in conditions of sunny weather and high transparency of the ice. Extremely high water level prevailed in Lake Khanka in the late 2010s, but the level dropped in recent years. The lake is subjected to intensive agriculture and recreational exploitation after the distribution of “free hectares” that caused heightening the nutrients concentration, in particular inorganic forms of phosphorus and nitrogen.

Keywords: Lake Khanka, 兴凯湖 [Xīngkǎi Hú], water temperature, ice cover, dissolved oxygen, nutrients, trophicity.

For citation: Kataykina O. I., Matveev V. I., Figurkin A. L. Hydrological and chemical characteristics of the south-western part of Lake Khanka in winter, 2016-2023. *Gidrometeorologiya i Ekologiya = Journal of Hydrometeorology and Ecology*. 2023;(73):699—710. (In Russ.). doi: 10.33933/2713-3001-2023-73-699-710.

Введение

Мелководные замерзающие озера широко распространены в умеренной и субполярной зонах североамериканского и евразийского континентов. На территории США, Канады, североευропейских стран, России насчитывается более 600 000 таких озер, при этом регулярные гидрофизические наблюдения проводятся лишь на нескольких сотнях из них. Наименее изученным остается зимний режим таких озер, несмотря на то, что ледостав на них продолжается несколько месяцев и оказывает существенное влияние на состояние и функционирование их экосистем [1, 2]. Снежно-ледовый покров изолирует водоем от прямого воздействия атмосферы, исключает ветровое перемешивание, ограничивает проникновение солнечной радиации [3] и кислорода в водную толщу, определяет интенсивность фотосинтеза подо льдом весной [4]. В полной мере это относится и к озеру Ханка, которое представляет собой самый крупный мелководный водоем на Дальнем Востоке. Площадь поверхности воды непостоянна, она меняется в зависимости от климатических условий (максимум достигает 5010 км², а минимум — 3940 км²). Длина озера — около 90 км, наибольшая ширина — 67 км. В озеро Ханка впадает 24 реки, вытекает же только одна — Сунгача, которая соединяет его с Уссури, а та в свою очередь — с Амуром. Озеро Ханка является мелким водоемом со средней глубиной 4,5 м, максимальная глубина (при среднем уровне) составляет 6,5 м [5]. Межгодовые изменения колебания уровня воды в озере Ханка происходят с периодом 24—26 лет [6]. Высшие уровни наблюдаются на Ханке осенью, когда часто отмечаются сгонно-нагонные явления [7].

Усиленное внимание ученых к озеру Ханка в последнее время связано как с увеличением уровня озера, который в 2016 г. достиг максимального значения за весь период наблюдений, так и вследствие усиленного использования озера в рекреационном и рыбопромысловом направлении. Дальнейшее падение уровня озера и интенсификация его использования в рекреационном плане после 2016 г. однозначно будут влиять на гидрохимический режим озера. Экосистема озера слабоустойчива к антропогенным воздействиям, поэтому изменения в экосистеме озера

могут быть вызваны, как климатическими (природными) явлениями, так и антропогенными факторами. Неустойчивое относительное благополучие, наблюдаемое в годы экономического кризиса в России, в бассейне озера может исчезнуть [8].

В связи с этим чрезвычайно актуально для контроля качества воды в озере проводить систематические наблюдения за гидрохимическим составом.

В работах, посвященных гидрологическим и гидрохимическим условиям озера, рассмотрен в основном теплый период года [5, 8—11].

Озеро Ханка относится к эпитеплым озерам, вода в которых в течение всего безледного периода находится в состоянии гомотермии или слабовыраженной прямой стратификации. Летом донные отложения аккумулируют большое количество тепла, за счет которого обеспечивается зимний прогрев придонных слоев воды.

Зимний период — это одна из наиболее сложных фаз в жизни озер. Это время характеризуется наименьшим запасом воды в озере, ухудшением газообмена между атмосферой и водной толщей, а также снижением теплозапаса и уменьшением содержания растворенного кислорода, необходимого для нормальной зимовки гидробионтов. Данное обстоятельство и определило цель работы.

Материал и методика

Начиная с 2016 г., в феврале Тихоокеанский филиал ФГБНУ «ВНИРО» проводит наблюдения за гидрологическим и гидрохимическим режимами. Сбор гидрологической информации осуществлялся с помощью гидрологического зонда ASTD102-ALC-R02 в автономном режиме. Связь с зондом, выгрузка данных, перевод выходных данных в физические величины осуществлялся с использованием программных пакетов, прилагаемых к зонду. Пробы воды отбирали подо льдом и разливали в полиэтиленовые банки емкостью 0,5 л, транспортировали в холодильных ящиках (при температуре не выше 4 °С) в лабораторию для дальнейших исследований. Аналитическая работа проводилась в лаборатории промышленной океанографии Тихоокеанского филиала ВНИРО. В воде определялось содержание растворенного кислорода, взвешенных веществ, рН и биогенных элементов (фосфаты, силикаты, нитраты, нитриты, аммоний) согласно Руководству [12]. Дополнительно содержание растворенного кислорода определялось при помощи оптического датчика фирмы Rinko, показания которого сравнивались с определением растворенного кислорода методом Винклера. При этом коэффициент детерминации составил 0,916, поэтому для построения графиков вертикального распределения растворенного кислорода за основу брались показания зонда.

В теплое время года работы производились с мотобота [8]. Зимой выполнялся стандартный разрез, расположенный вблизи поселка Камень-Рыболов. Разрез располагался на расстоянии 500—600 м от берега, расстояние между станциями составляло 600—800 м. Общая длина разреза — около 2000 м. Координаты станций определялись при помощи JPS “GARMIN”. Ошибка определения не превышала 8 м. Схема гидрологического разреза показана на рис. 1.

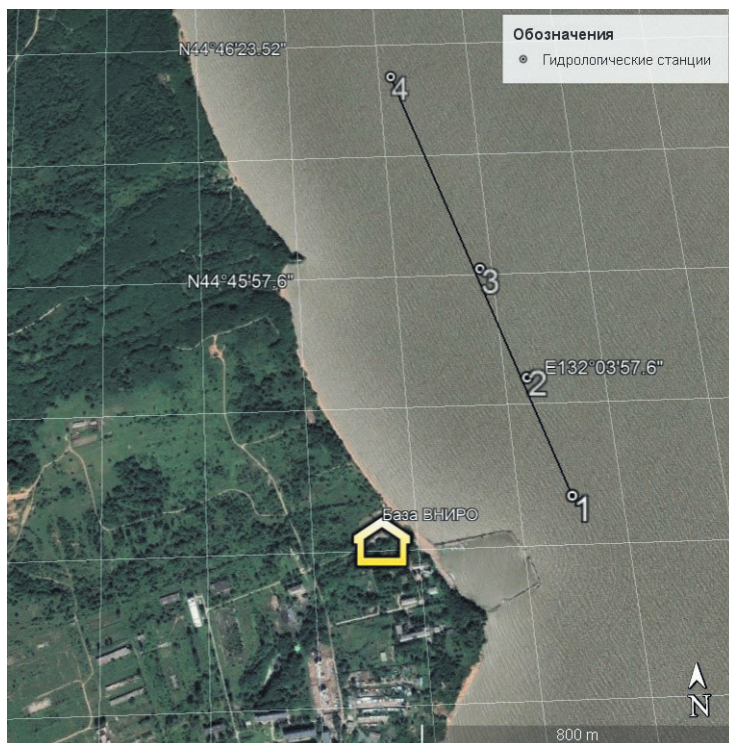


Рис. 1. Схема гидрологического разреза в феврале.

Fig. 1. Scheme of the surveyed area. Hydrological transect is shown in February.

Все работы выполнялись в основном во второй декаде февраля, что позволило исключить сезонную изменчивость. Только в 2016 г. и 2017 г. работы выполнялись еще в декабре. При дальнейшей обработке и построении рисунков и графиков использовались программа Excel, Ocean Data View, Статистика 10.

Результаты

Ледовый режим. Ханка замерзает во второй половине ноября, вскрывается в апреле. Мощность ледяного покрова зависит от суровости зимы. В целом, чем выше температура воздуха в зимние месяцы, тем меньше толщина ледяного покрова. Коэффициент детерминации зависимости мощности ледяного покрова от температуры воздуха составляет $R^2 = 0,90$. Наименьшая толщина льда в феврале за рассматриваемый период наблюдалась в 2019 г. (60 см), а наибольшая — в 2018 г. (100 см). Ветры, дующие в момент охлаждения поверхностного слоя до $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, несколько сдвигают сроки замерзания озера.

Температурный режим. Осенью в виду мелководности озера и вследствие вертикального перемешивания температура воды во всем слое практически

одинакова. Так, в октябре температура воды изменяется от 10,41 °С на поверхности до 10,38 °С у дна. С этого момента начинается интенсивное охлаждение водной массы, которая в начале ледостава обладает минимальным теплозапасом. В декабре температура воды с глубиной изменяется от 0,9 °С подо льдом до 1,6 °С у дна. После ледостава интенсивное охлаждение водной массы прекращается, водная масса озера характеризуется максимальным теплозапасом.

Роль сплошного ледового покрова весьма существенна в зимнем режиме водоема, так как теплообмен между водой и атмосферой должен происходить через толщу льда и снега, покрывающего лед [13]. Сразу после образования льда на поверхности озера теплообмен с атмосферой меняется кардинальным образом. Сквозь лед он возможен только посредством молекулярной диффузии тепла из воды в атмосферу. В этих условиях в тепловом балансе озера ведущую роль начинает играть поступление тепла из донных отложений. Водная масса озера начинает достаточно быстро прогреваться, и в феврале температура воды у дна на разрезе составляет 3,5—4,5 °С (рис. 2).

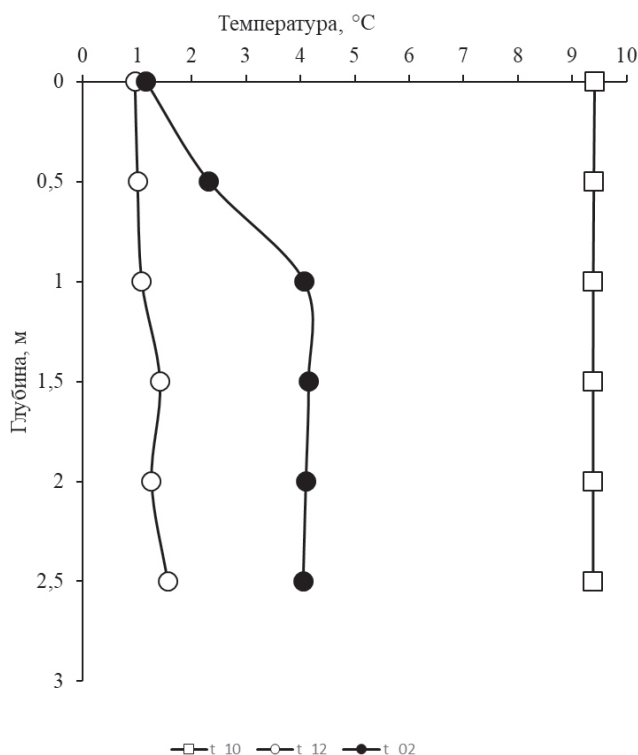


Рис. 2. Вертикальное распределение температуры воды на станции №4 в октябре (t₁₀) в декабре 2017 г. (t₁₂) и в феврале 2018 г. (t₀₂).

Fig. 2. Vertical distribution of water temperature at station №4 in October (t₁₀) in December 2017 (t₁₂) and February (t₀₂) 2018.

Накопление тепла донными отложениями происходит в течение весенне-летнего периода. Данные измерений на неглубоких озерах и водохранилищах показывают, что теплосодержание их водной толщи и деятельного слоя донных отложений соизмерим. Поток тепла на границе вода — донные отложения играет решающую роль в изменении термической структуры мелководных озёр в период ледостава. При наличии сплошного льда на поверхности озера, препятствующего потерям тепла в атмосферу, теплообмен с донными отложениями обуславливает повышение температуры водной толщи озёр. Зимой поток тепла направлен из донных отложений в воду [14]. Так, например, после относительно теплого лета 2021 г. температура воды у дна в феврале 2022 г. была на 0,5—1,0 °С выше, чем после относительно холодного 2016 г. При этом рост температуры после теплого лета наблюдался практически сразу подо льдом, после холодного — с 2 метров.

Распределение температуры воды на разрезе в феврале относительно равномерное. Температура воды подо льдом изменялась от +0,2 °С до +1,5 °С, а на глубине 3—3,5 м от 4,0 °С до 4,4 °С. Таким образом, повышение температуры у дна обусловлено прогревом придонных вод за счёт отдачи тепла, накопленного грунтом за теплые месяцы. При этом максимальная плотность пресной воды отмечается при температуре 4,0 °С, что препятствует вертикальному обмену.

Растворенный кислород. Важнейшим показателем биохимических процессов является растворенный в воде кислород. Известно, что содержание растворенного кислорода в воде во многом зависит от температуры воды. Чем выше температура, тем ниже содержание растворенного кислорода. Вследствие этого следует ожидать, что при более низких температурах его концентрация должна быть выше. Вместе с тем содержание кислорода в относительно теплом феврале 2022 г. было значительно выше, чем в феврале 2017 г. Содержание растворенного кислорода в 2022 г. изменялось от 13 до 18 мл/л, а в 2017 г. от 11 до 12 мл/л. При этом относительное его содержание в 2022 г. составляло 140—180 %, а в 2017 г. — 110—120 % (рис. 3).

Такая ситуация могла быть обусловлена следующими причинами. Снежный покров в течение зимы (если не успевает слежаться) сильными ветрами северного и северо-западного направления сносится в южную и восточную части озера Ханки, поэтому большая часть льда на акватории водоёма остаётся без снега либо со снежным покровом незначительной толщины. По той же причине из-за высокой прозрачности ледового покрова зимой в озере не прекращается массовое развитие фитопланктона, который выделяет достаточно кислорода для насыщения воды.

За весь период наших исследований относительное содержание растворенного кислорода в феврале подо льдом не опускалось ниже 120 %, а во всем слое было выше 100 % (рис. 4). Только в 2020 г. относительное содержание растворенного кислорода на разрезе в толще вод от поверхности до дна было близко к 100 %. Биохимическое потребление кислорода (БПК₂) в рассматриваемые годы подо льдом было достаточно высоким и изменялось от 4,6 до 5,8 мл/л. Такая ситуация могла быть обусловлена, с одной стороны, разложением достаточно большого количества органического вещества, образованного при фотосинтезе и находящегося в исследуемом районе, а с другой — окислением органики, поступающей в воду с бытовыми отходами.

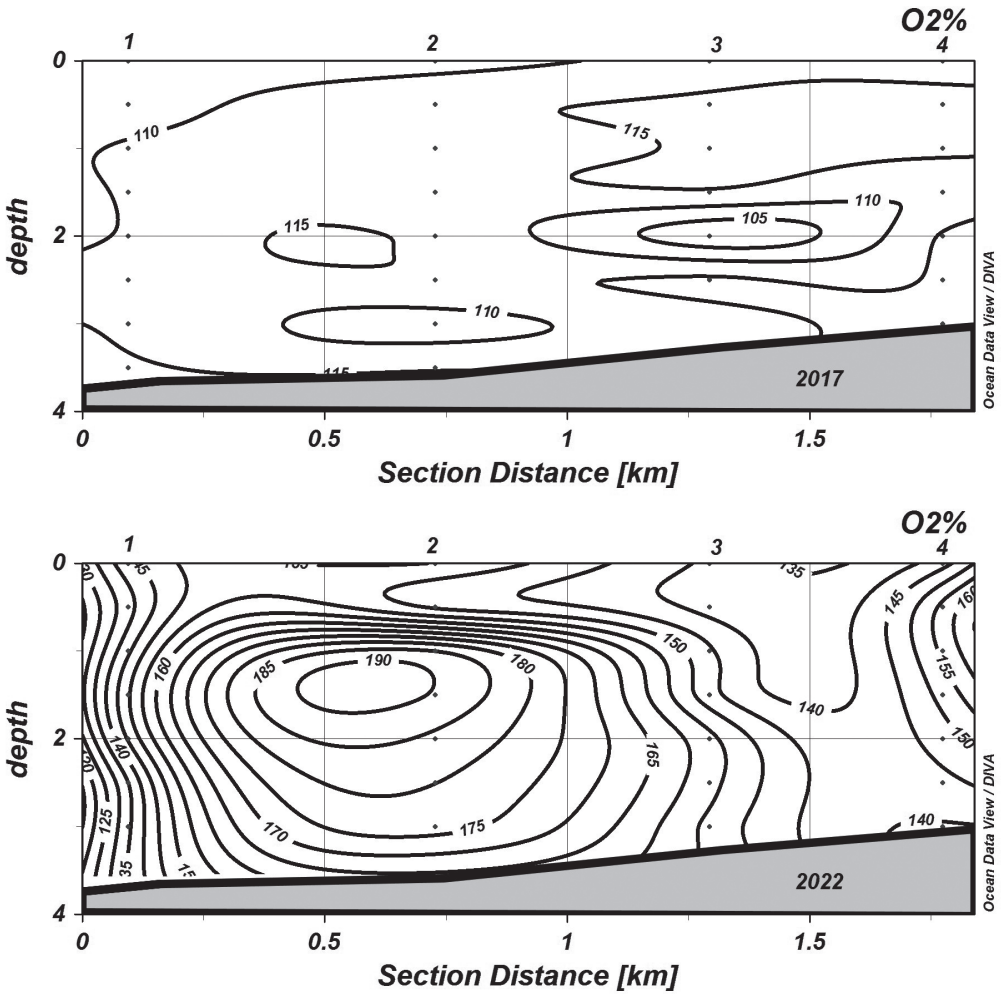


Рис. 3. Распределение относительного содержания растворенного кислорода (%) в феврале на разрезе в 2017 г. и 2022 г.

Fig. 3. Distribution of relative dissolved oxygen content (%) in February at transect in 2017 and 2022.

Поскольку озеро полностью покрыто льдом, который препятствует поступлению кислорода из атмосферы, то высокое относительное содержание в воде может быть обусловлено только фотосинтезом.

Подобные продукционные процессы в зимние месяцы наблюдаются и в многочисленных забайкальских озерах, где фитопланктон подо льдом активно развивается и образует зимние максимумы особенно в малоснежные зимы. Исследования забайкальских озер показывают, что развитие водорослей подо льдом зависит от интенсивности инсоляции и наличия питательных веществ [15].

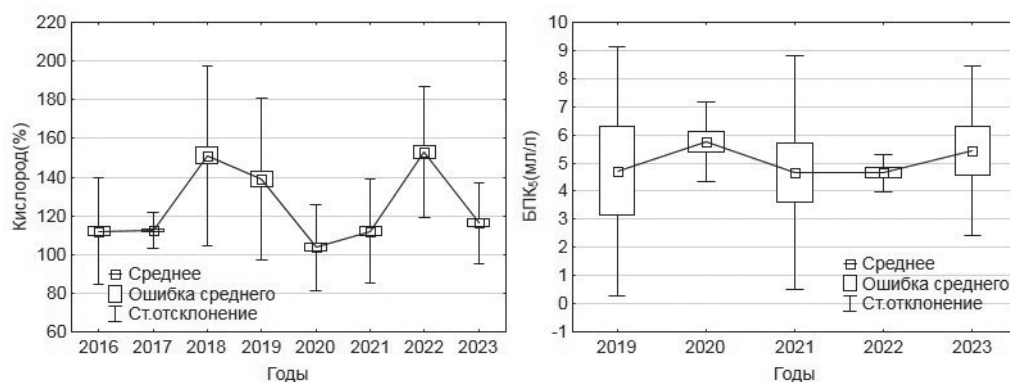


Рис. 4. Изменение среднего на разрезе относительного содержания растворенного кислорода (слева) и BPK₅ (справа) в феврале.

Fig.4. Dynamics of relative content of dissolved oxygen and biochemical oxygen demand under the ice in February.

Таким образом, вследствие высокой прозрачности ледового покрова в озере зимой не прекращается массовое развитие фитопланктона, и заморные явления из-за недостатка кислорода отмечаются крайне редко.

Заморные явления иногда отмечаются лишь в южной части озера Ханка, где из-за большого количества снега не всегда наблюдается цветение планктонных водорослей [16].

Биогенные вещества. Одной из главных проблем состояния вод озера является загрязнение биогенными веществами. Концентрации биогенных элементов азота и фосфора характеризуют трофность водоема. Наиболее сильно воды озера были загрязнены биогенными веществами в период с 1986 г. по 1989 г. В последующие 10 лет в результате уменьшения антропогенного воздействия и природно-обусловленного роста водности озера наметилась тенденция к снижению уровня его загрязнения, в том числе по содержанию биогенных веществ [9]. Исследования, проведенные в 1991 г. — 1993 г., показали, что по величине химического потребления кислорода класс воды изменяется от «предельно чистых» до «грязных» [8].

С 2015 г. на берегах озера Ханка впервые в практике России начали раздаваться бесплатные гектары, которые используются для строительства и расширения баз отдыха, развития сельского хозяйства и животноводства. Это обстоятельство во многом может повлиять на трофность озера. Как отмечалось на II Всероссийской конференции с международным участием «Трансграничное озеро Ханка: современное состояние и перспективы развития», неочищенные сточные воды промышленных и сельскохозяйственных предприятий являются ведущим антропогенным фактором, влияющим на экологическую обстановку в бассейне озера Ханка. Особую угрозу биоте данной территории и проживающему здесь населению составляют сбросы воды с участков рисосеяния.

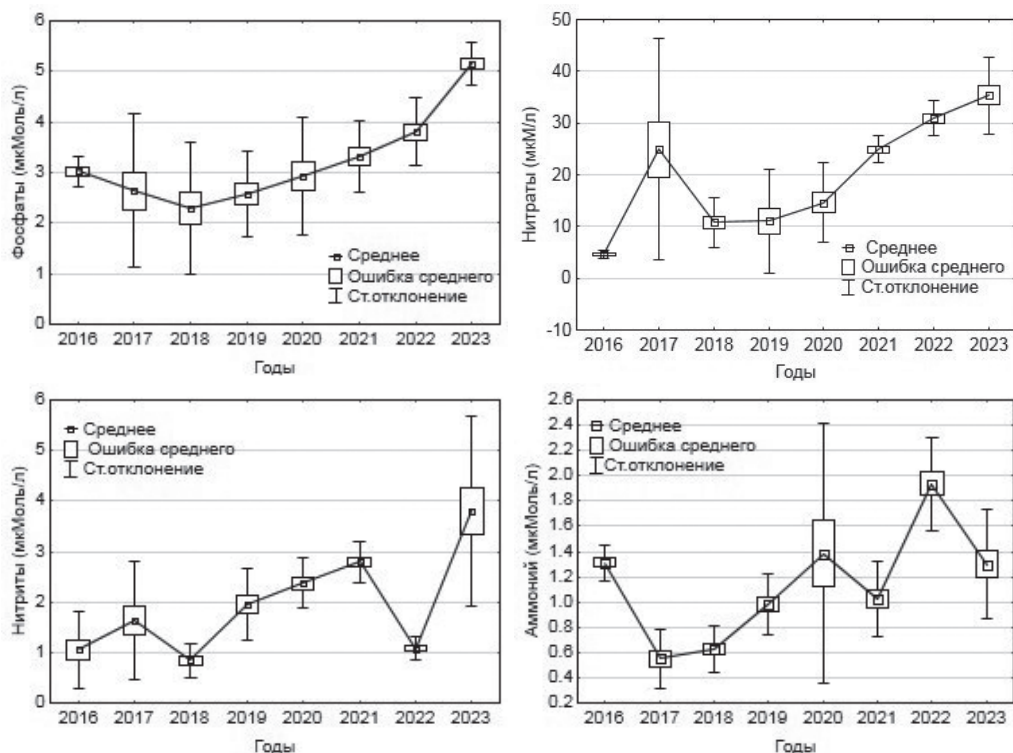


Рис. 5. Изменение среднего на разрезе относительного содержания фосфатов, нитратов, нитритов и аммония в феврале подо льдом.

Fig. 5. Dynamics phosphates, of nitrate, of nitrite and ammonium nitrogen concentration in February under ice.

Так, в последние годы отмечается рост фосфатов и нитратов (рис. 5). Уровень концентрации фосфатов в феврале с 2016 г. по 2023 г. увеличился почти в 3 раза, а уровень концентрации нитратов — в 5 раз.

Значительное количество загрязняющих веществ (аммоний, нитриты, фосфаты и др.) смывается с сельскохозяйственных территорий. В основном стоки, которые содержат высокую концентрацию органических веществ, биогенных элементов и других поллютантов, попадают в водоемы и водостоки без какой-либо очистки. Поступление в водоемы значительного количества биогенных веществ (азота, фосфора и других элементов в составе удобрений, отходов животноводства и т.д.) приводит к резкому возрастанию биомассы фитопланктона.

Известно, что аммоний является как первичным продуктом обмена веществ, так и последней стадией полной минерализации органических остатков. Нитриты образуются в результате окисления солей аммония, поэтому высокие их концентрации обнаруживаются в местах значительного скопления отмерших организмов.

Изменения аммония и нитритов в межгодовом аспекте не так значительны, как изменения фосфатов и нитратов, тем не менее, можно заметить рост их концентраций зимой в воде после 2017 г. (рис. 5).

Заключение

В целом, говорить о межгодовых изменениях за столь короткий промежуток не совсем корректно. В лучшем случае можно отметить тенденции, которые наблюдались в течение последних восьми лет. Тем не менее, проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы:

— Повышение температуры у дна обусловлено прогревом придонных вод за счет отдачи тепла, накопленного грунтом за теплые месяцы. При этом максимальная плотность пресной воды отмечается при температуре 4°C, что препятствует вертикальному обмену.

— Высокие концентрации растворенного кислорода и высокие значения БПК₅ в зимний период свидетельствуют о том, что подо льдом происходит активное цветение фитопланктона.

— Падение уровня озера и интенсивное его использование в рекреационном направлении после раздачи бесплатных гектаров приводит к росту содержания биогенных веществ, в частности, неорганических форм фосфора и азота.

— Поступление в водоемы значительного количества биогенных веществ (азота, фосфора и других элементов в составе удобрений, отходов животноводства, и т.д.) приводит к резкому возрастанию биомассы фитопланктона.

Высокие значения биохимического потребления кислорода (БПК₅) под льдом, с одной стороны, свидетельствуют о разложении достаточно большого количества органического вещества, образованного при фотосинтезе и находящегося в исследуемом районе, а с другой — об окислении органики, поступающей в воду с бытовыми отходами.

Список литературы

1. Здоровеннова Г. Э. Термическая структура мелководного озера в период ледостава: внутрисезонная и межгодовая изменчивость / Автореф. дис. канд. геогр. наук. Санкт-Петербург. 2007. 30 с.
2. Лобанов В. А., Горошкова Н. И., Стриженов А. В., Семенова Д. А. Влияние изменения климата на экстремальные гидрологические характеристики в бассейне реки Печоры // Гидрометеорология и экология. 2022. № 68. С. 435—452. Doi: 10.33933/2713-3001-2022-68-435-452.
3. Андреев О. М., Иванов Б. В. Параметризация переноса коротковолновой солнечной радиации в снежно-ледяном покрове // Метеорология и гидрология. 2003. № 2. С. 54—58.
4. Вологдин М. П. Гидрооптические особенности малых озер Забайкалья (на примере Ивано-Арахлейских). Новосибирск: Наука, 1981. 136 с.
5. Васильковский М. Г. Гидрологический режим озера Ханка. Л.: Гидрометеоиздат, 1978. 176 с.
6. Зуенко Ю. И., Шаповалов М. Е., Курносова А. С. Современные изменения уровня озера Ханка и их последствия для промысловых ресурсов // Известия ТИНРО. 2020. Т. 200. Вып. 4. С. 935—950. DOI: 10.26428/1606-9919-2020-200-935-950.
7. Ананьева Е. Е. Озеро Ханка: Колебания уровня и их причины // Астраханский вестник экологического образования. 2016. №4 (38). С. 48—57.
8. Семькина Г. И. Обзор состояния и загрязнения озера Ханка по материалам государственной сети наблюдений за загрязнением окружающей среды / Труды 2-ой Международной

- конференции проблемы сохранения водно-болотных угодий международного значения: озеро Ханка. Спасск-Дальний. 2006. С.190—201.
9. Апонасенко А. Д., Лопатин В. Н., Щур Л.А., Филимонов В. С. Оценка экологической ситуации и качества воды дальневосточного озера Ханка оптическими методами // Гидробиологический журнал. 1997. Т. 33, № 5. С. 54—63.
 10. Молокоедова Е. А. Экологическое состояние озера Ханка [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://primpogoda.ru/news/ecology/ekologicheskoe_sostoyanie_ozera_hanka (дата обращения 03.02.2022).
 11. Матвеев В. И., Курносова А. С., Катайкина О. И. Результаты гидрохимического мониторинга озера Ханка в 2016–2018 годах // Тихоокеанская география. 2020. № 3. С. 47—55. DOI: 10.35735/tig.2020.91.80.005.
 12. Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоемов и перспективных для промысла районов Мирового океана // М.: ВНИРО, 2003. 201 с.
 13. Белдеубаев Е. Е., Сальников В. Г. О сроках установления и разрушения ледяного покрова на озере Балхаш в современных климатических условиях // Гидрометеорология и экология. 2021. № 1. С. 6—16. DOI:10.54668/2789-6323-2021-100-1-6-16.
 14. Здоровеннова Г. Э., Гавриленко Г. Г., Пальшин Н. И. и др. Изменение теплопотока на границе вода-донные отложения в малом озере в течение года // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2020. Том 6 (16). Вып. 4. С.116—128. DOI: 10.37279/2309-7663-2020-6-4-116-128.
 15. Ривьер И. К. Особенности планктоценозов озер в разные экологические периоды (подледный и открытой воды) // Труды ИБВВ РАН. 2016. Вып. 74(77). С. 59—76.
 16. Барабанщиков Е.И., Кожевников Б.П. Динамика численности и биомассы зоопланктона открытой части озера Ханка // Известия ТИНРО. 1998. Т. 123. С. 362—374.

References

1. Zdrovennova G. E. *Termicheskaya struktura melkovodnogo ozera v period ledostava: vntrisezonnaya i mezhgodovaya izmenchivost'* = *Thermal structure of a shallow lake in the period of ice age: intra-seasonal and inter-annual variability*. Avtoref. dis. kand. geogr. nauk. St. Peterburg, 2007: 30 p. (In Russ.).
2. Lobanov V. A., Goroshkova N. I., Strizhenok A. V., Semenova D. A. Influence of climate change on extreme hydrological characteristics in the Pechora River basin. *Gidrometeorologiya i ekologiya = Hydrometeorology and ecology*. 2022; (68): (435—452). (In Russ.) Doi: 10.33933/2713-3001-2022-68-435-452.
3. Andreev O. M, Ivanov B. V. Parametrization of short-wave solar radiation transfer in snow and ice cover. *Meteorologiya i gidrologiya = Meteorology and Hydrology*. 2003; (2): (54—58). (In Russ.).
4. Vologdin M. P. *Gidroopticheskie osobennosti malyh ozer Zabajkal'ya (na primere Ivano-Arahlejskih = Hydro-optical features of small lakes of Transbaikalia (on the example of Ivano-Arakhlei)*. Novosibirsk: Nauka, 1981: 136 p. (In Russ.).
5. Vaskovsky M. G. *Gidrologicheskij rezhim oz. Hanka = Hydrological regime of the lake*. Khanka. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1978: 176 p. (In Russ.).
6. Zuenko Yu. I. Shapovalov M. E., Kurmosova A. S. Modern changes in the level of Lake Khanka and their consequences for commercial resources. *Izvestiya TINRO = News of TINRO*. 2020; 200(4): (935—950). (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2020-200-935-950.
7. Anan'eva E. E. Lake Khanka: Level fluctuations and their causes. *Astrahanskii vestnik ekologicheskogo obrazovaniya = Astrakhan Bulletin of Environmental Education*. 2016; 38(4): (48—57). (In Russ.).
8. Semykina G. I. Overview of the state and pollution of Lake Khanka based on the materials of the State Network of Environmental Pollution Observations. *Trudy 2-oi Mezhdunarodnoj konferencii problemy sohraneniya vodno-bolotnyh ugodij mezhdunarodnogo znacheniya: ozero Khanka = Proceedings of the 2nd International Conference on the Conservation of Wetlands of International Importance: Lake Khanka*. 2006: (190—201). (In Russ.).
9. Aponasenko A. D., Lopatin V. N., SHCHur L. A., Filimonov V. S. Assessment of the ecological situation and water quality of the Far Eastern Lake Khanka by optical methods. *Gidrobiologicheskij zhurnal = Hydrobiological Journal*. 1997; 33(5): (54—63). (In Russ.).

10. Molokoedova E. A. Ekologicheskoe sostoyanie ozera Khanka. Available at: https://prim Pogoda.ru/news/ecology/ekologicheskoe_sostoyanie_ozera_hanka (accessed on: 3.02.2022).
11. Matveev V. I., Kurnosova A. S., Kataykina O. I. Results of hydrochemical monitoring of Lake Khanka in 2016-2018. *Tihookeanskaya geografiya = Pacific Geography*. 2020; (3): (47—55). (In Russ.). DOI: 10.35735/tig.2020.91.80.005.
12. *Rukovodstvo po himicheskomu analizu morskikh i presnykh vod pri ekologicheskom monitoringe rybohozyajstvennykh vodoemov i perspektivnykh dlya promysla rajonov Mirovogo okeana = Guidelines for Chemical Analysis of Marine and Fresh Waters during Environmental Monitoring of Fishery Reservoirs and Areas of the World Ocean Promising for Fishing*. Moscow: VNIRO, 2003: 201 p. (In Russ.).
13. Beldeubaev E. E., Sal'nikov V. G. On the timing of the establishment and destruction of the ice cover on Lake Balkhash in modern climatic conditions. *Gidrometeorologiya i ekologiya = Hydrometeorology and ecology*. 2021; (1): (6—16). (In Russ.). DOI:10.54668/2789-6323-2021-100-1-6-16.
14. Zdorovenova G. E., Gavrilenko G. G., Pal'shin N. I. and etc. Change in heat flow at the water-bottom sediment boundary in the small lake during the year. *Geopolitika i ekogeodinamika regionov = Geopolitics and ecogeodynamics of regions*. 2020; 16(6): (116—128). (In Russ.). DOI: 10.37279/2309-7663-2020-6-4-116-128.
15. Riv'er I. K. Features of planktocenoses of lakes in different ecological periods (subglacial and open water). *Trudy IBVV RAN = Proceedings of the Institute of Internal Water Biology*. 2016; 74 (77): (59—76). (In Russ.).
16. Barabanshchikov E. I., Kozhevnikov B. P. Dynamics of the number and biomass of zooplankton in the open part of the lake Khanka. *Izvestiya TINRO = News of TINRO*. 1998; (123): (362—374). (In Russ.).

Сведения об авторах

Ольга Игоревна Катайкина, Всероссийский институт рыбного хозяйства и океанографии, Тихоокеанский филиал, специалист лаборатории промысловой океанографии, olga.kataykina@tinro.ru.

Владимир Иванович Матвеев, кандидат географических наук, Всероссийский институт рыбного хозяйства и океанографии, Тихоокеанский филиал, заведующий сектором мониторинга среды.

Александр Леонидович Фигуркин, кандидат географических наук, Всероссийский институт рыбного хозяйства и океанографии, Тихоокеанский филиал, заведующий сектором океанографии.

Information about authors

Olga Igorevna Kataykina, Specialist of the fishery oceanography Laboratory, Research Institute of Fisheries and Oceanography, VNIRO, Pacific branch of VNIRO, olga.kataykina@tinro.ru.

Vladimir Ivanovich Matveev, Ph.D. in Geography, Research Institute of Fisheries and Oceanography, VNIRO, Pacific branch of VNIRO, head of the environmental monitoring sector.

Alexander Leonidovich Figurkin, Ph.D. in Geography, Research Institute of Fisheries and Oceanography, VNIRO, Pacific branch of VNIRO, head of the Oceanography Sector.

Конфликт интересов: конфликт интересов отсутствует.

Статья поступила 14.04.2023

Принята к печати после доработки 22.11.2023

The article was received on 14.04.2023

The article was accepted after revision on 22.11.2023