

УДК 556.332.65:556.55

DOI: <https://doi.org/10.26456/2226-7719-2025-1-25-40>

Особенности гидрохимического режима ледниковых озер внутри верховых болот на террасах Иваньковского водохранилища²

Е.Е. Лапина¹, В.В. Кудряшова¹, А.Б. Комиссаров²

¹ФГБУН Институт водных проблем Российской академии наук, г. Конаково

²ФГБУ «Центральное управление по гидрометеорологии и мониторингу
окружающей среды», г. Тверь

Обобщены результаты исследований трех малоизученных озер внутри верховых болот на террасах Иваньковского водохранилища. Определены морфометрические характеристики озер, выявлены сезонные изменения гидрохимического режима. Установлено, что химический состав вод озер определяется составом атмосферных осадков. За период 2001 – 2024гг. состав вод озер изменился с $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ на $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$ и $\text{HCO}_3\text{-Mg-Ca}$.

Ключевые слова: *сезонный гидрохимический режим, малые озера, болотные воды, магний.*

Введение и постановка проблемы

В Тверской области озера занимают 1,4 % всей территории, а собственно болота, среди которых преобладают верховые – 7% [22]. Озерно-речные системы и крупные отдельные водоемы, в основном приуроченные к возвышенной части области, как объекты рекреации и рыбоводства испытывают антропогенное воздействие и регулярно контролируются экологическими службами.

Иваньковское водохранилище расположено в низинной юго-восточной части области. Здесь чаще встречаются одиночные малые (с площадью зеркала менее 1,0 км²) внутриболотные озера ледникового генезиса. В силу своей труднодоступности они практически не исследованы (оз. Аксеново, Близнецы, Вышнево и др.).

Ледниковые озера представляют интерес как элемент общей экосистемы бассейна Верхней Волги. Они не испытывают прямого антропогенного влияния, эволюционируют в естественных условиях, являются типичными и могут использоваться в качестве фоновых объектов.

² Работа выполнена в рамках темы № FMWZ-2025-0002 Государственного задания ИВП РАН (122041100236-4).

Исследованные озера интересны тем, что одновременно являются частью отдельной болотной экосистемы и элементом геоморфологической структуры речной долины, поскольку их котловины прорезают аллювиальные отложения надпойменных террас Ивановского водохранилища.

Цель работ – изучение гидрохимического режима озер внутри болот и определение источников их водного питания. Объектом послужили Шумновские Большое и Малое озера, в дальнейшем – Большое ($56^{\circ}43'83''\text{с.ш.}, 36^{\circ}53'23''\text{в.д.}$) и Малое ($56^{\circ}43'42''\text{с.ш.}, 36^{\circ}52'52''\text{в.д.}$), и озеро Климошино ($56^{\circ}53'28''\text{с.ш.}, 36^{\circ}51'4''\text{в.д.}$). Обзорная схема местоположения озер дана на рис. 1.



Рис. 1. План-схема участка работ.

Условные обозначения: 1 – болота, 2 – озера, 3 – населенные пункты, 4 – линия разреза I-I

В плане озера округлые, берега низкие, изрезаны слабо. Все озера расположены в одноименных болотах верхового типа (Шумновское площадью – 234 га, Климошинское – 1574 га [24]). Озера сопоставимы в силу расположения в аналогичных климатических, геологических и ландшафтных условиях.

Наиболее детально авторами изучены Шумновские озера, которым в 1992 году присвоен статус ООПТ – особо охраняемой природной территории по ботаническому профилю [19]. Они расположены в 7 км от

г. Конаково и в 4,5 км – от уреза Волги, сброс воды происходит в Федоровский залив.

Берега Большого озера окаймляют тростник и камыш, с юго-восточной стороны есть песчаная отмель. Малое озеро частично перекрыто сплавиной. Изучение картографических материалов показало, что Большое и Малое озера раньше представляли собой один водоем. На топографической карте А.М. Менде 1853 года озера объединены перемычкой и окружены болотами [23]. Согласно космоснимкам Шумновского болота (2007) расстояние между озерами в субширотном направлении составляет 280 м [26].

Климошинское озеро, также отмеченное на картах XIX века, находится в 16 км от Конаково, расстояние до уреза Волги составляет пять км, из озера вытекает ручей Ильматка.

В соответствии с лимнологическими и гидрологическими классификациями озера имеют ледниковое происхождение, первичные, котловинного типа, малой и умеренной гумификации, сточные, стадия развития – зрелость [6, 11, 27].

Климат региона – умеренно-континентальный, среднемесячная температура самого теплого месяца +17,8, холодного (-9,8°C), количество осадков превышает испарение и составляет 593 мм [14].

Геолого-гидрогеологические условия

Водосборная площадь озер входит в бассейн Иваньковского водохранилища. Она охватывает часть III надпойменной террасы (цокольной) и древних аллювиальных террас Волги, где, по предположениям В.И. Маевского, простиралась долина Пра-Волги [12]. Шумновские озера расположены в междуречье Донховка-Волга, оз. Климошино – Созь-Волга. В геологическом строении водосборного бассейна озер участвуют аллювиальные отложения а(3t)III, мощностью 2–8 м, представленные песками, с галькой и гравием в основании [1]. Пески залегают на флювиогляциальных отложениях – fIIIms, с невыдержанной мощностью 1-5 м, выполненных супесями и пылеватыми суглинками, их подстилают бурые суглинки московской морены gIIIms. Разрез по линии I-I представлен на рис. 2.

Из разреза видно, что Большое озеро прорезает песчаную толщу на полную мощность, нижняя часть котловины залегает в суглинках; Малое озеро заполняет верхнюю часть толщи аллювия. Озеро Климошино приурочено к древнеаллювиальным погребенным долинам [12, 21].

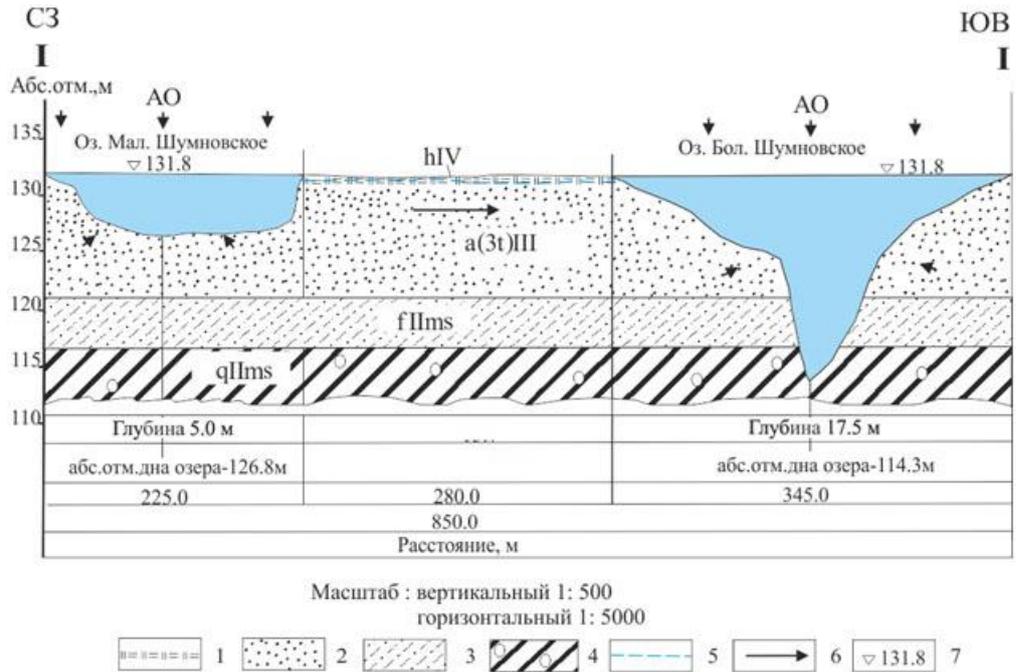


Рис. 2. Схематический геологический разрез по линии I-I.
 Условные обозначения: 1 – торф, 2 – песок, 3 – супеси, 4 – суглинки,
 5 – уровень грунтовых вод, 6 – направление разгрузки и потока грунтовых вод, 7 – отметка уреза воды

В песках и супесях залегает аллювиально-флювиогляциальный водоносный горизонт, с коэффициентом фильтрации k_f 0,1–1,0 м/сут [20]. Водовмещающие породы сложены песками слабо глинистыми, слоистыми, с гравием и галькой в основании. Питание происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков и восходящей фильтрации из ниже залегающих водоносных слоев, разгрузка – испарением, разбором из колодцев, в гидрографическую сеть [7, 8].

Методика и материалы

В основу работы легли режимные наблюдения (период 15 лет) авторов и открытые данные геологических фондов. Режимными объектами являются родник в борту надпойменной террасы и **дрена на юго-востоке Шумновского болота**. Озера исследовались эпизодически в разные сезоны в период 2001–2024гг., всего совершено 11 выездов. Пробы воды на химический анализ в теплый период отбирали с поверхности в прибрежной части водоема. Зимой бурили коловоротом лунки и батометром (МБ-48 морской опрокидывающийся) отбирали пробы из поверхностных и придонных слоев. При глубине более 10,0 м,

шаг отбора составлял 1,0–3,0 м. В зимний период портативным Ен-метром фирмы Hanna in situ измеряли редокс-потенциал.

Одновременно с опробованием озер отбирали пробы дренажных, болотных и грунтовых вод, в зимний период – гидрохимической лаборатории Ивановской научно-исследовательской станции ИВП РАН по стандартным методикам [13].

В пробах определяли электропроводность (ЭПР) и рН (потенциометрически), цветность (колориметрически по Pt-Co шкале), перманганатную окисляемость (ПО) – по Кубелю, общее железо ($Fe_{общ}$) с фенантронилом. Солевой состав (HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+}) определен титрованием, Na^+ и K^+ – методом пламенной фотометрии, хлориды – аргентометрически, сульфаты (SO_4^{2-}) – турбидиметрически с $BaCl_2$. Высокоцветные болотные воды перед анализом обрабатывались посредством УФ-излучения. Определение марганца (Mn) проводилось фотометрически с использованием формальдоксима.

Зимой 2014/2015 на озерах выполнены промерные работы, в результате которых определена форма котловин и составлена батиметрическая схема (рис. 3).

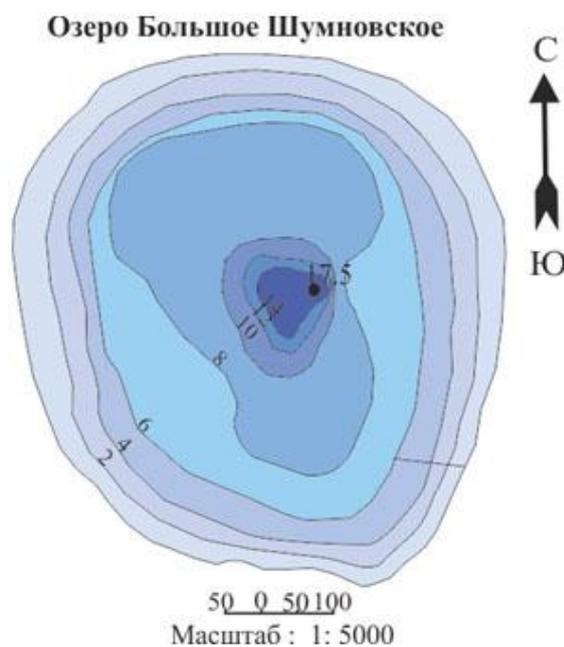


Рис. 3. Батиметрическая схема, оз. Большое, зимняя межень

В табл. 1 представлены основные морфометрические характеристики озер. Площадь зеркала рассчитана методом палетки, объем – усеченного конуса, высота над уровнем моря снята с карты масштаба 1: 100000 [4].

Таблица 1

Морфометрические характеристики озер

Название озера	Площадь, м ²	Объем, тыс. м ³	Длина, м	Н _{макс.} , м *	Высота, м БС	Периметр, м
Большое	95067	780,1	404	17,5	131,8	1195
Малое	49851	102,8	252	5,0	131,8	751
Климошино	88623	167,4	336	5,1	137,1	1041

(* Н_{макс} – максимальная глубина)

В июле 2024 г. провели гидролого-гидрохимическую съемку радиального характера по акватории Большого озера с отбором проб по вертикальному профилю в центральной части с шагом 2 м, после глубины 10,0 м – с шагом 1,0 м; по периметру водоема по сторонам света на расстоянии 100 м от уреза – с шагом 3 м.

Результаты исследования

Воды исследованных озер мало различаются между собой, они маломинерализованные, очень мягкие, слабокислые и нейтральные. По всей поверхности акватории химический состав озерных вод мало отличается и подо льдом, и в летнюю межень.

В сводной табл. 2 представлен диапазон показателей химического состава озер в зимнюю и летнюю межень периода 2012–2014 гг. в сравнении с составом атмосферных осадков, болотных и дренажных вод, грунтовых вод из колодца в д. Шумново глубиной 4 м.

Таблица 2

Диапазон показателей химического состава (мг/дм³) озерных вод (поверхность, 2012–2014) и состав атмосферных осадков, болотных и грунтовых вод

Показатель	родник	Снег	«окно»	Дрена	Колодец	зимняя межень	летняя межень
pH	7,4	5,5	5,25	6,2	7,69	6,1-7,26	6,46-7,87
ЭПР, мS/m	30,2	2,0	3,46	8,8	64,9	1,1-4,2	2,1-4,0
ПО, мгО/дм ³	1,3	1,9	58,5	56,6	6,0	10,3-16,0	9,8-13,0
Цветность, град	7	3	360	250	13	33-70	35-55
НСО ₃ ⁻ , мг/дм ³	159	9,2	12,2	43	369	6,0-30,5	6,0-24,4
Са ⁺² , мг/дм ³	44	1	3,0	15,4	90,0	0,1-7,6	3,1-4,2
Мg ⁺² , мг/дм ³	7,3	2,4	0,6	7,2	23,9	0,1-3,0	0,6-1,8
SO ₄ ⁻² , мг/дм ³	14	3,3	1,9	12,0	22,3	0,1-7,0	0,7-6,1
Cl ⁻ , мг/дм ³	3,5	1,3	0,6	1,3	6,4	1,3-4,2	0,7-5,3
Na ⁺ + K ⁺ , мг/дм ³	3,4	1,4	1,6	2,0	19,5	1,4-16,5	1,0-4,5
Fe ²⁺ , мг/дм ³	0,15	0,1	0,26	1,01	0,1	0,2-0,28	0,07-0,1
Минерализация	230	19	20	81	539	20-47	17-37

Химический состав вод озер в течение года почти идентичен составу атмосферных осадков, кроме цветности. Диапазон рН осадков за этот период составил 5,5 – 6,9. В грунтовых водах концентрация ионов HCO_3^- , Ca^{+2} и Mg^{+2} на порядок выше, чем в болотных и атмосферных, поэтому маркерами притока грунтовых вод считается повышение этих показателей в сочетании с падением цветности [8].

Цветность – показатель содержания в природных водах растворенного органического вещества. Ее величина в грунтовых водах и осадках варьирует от 0 до 20 град, в болотных водах – от 300 град.

По всей площади Шумновского болота состав его вод меняется от сульфатного класса в северной части, где находятся озера до гидрокарбонатного на юго-западе. Дренажные воды гидрокарбонатного класса, ряд катионов – переменный с преобладанием иона Ca^{2+} или Na^+ , реже Mg^{2+} . Начиная с экстремально маловодного 2014 в катионном ряду болотных вод преобладает магний. Дренажные воды имеют HCO_3^- – Ca – Mg состав, в «окнах» болота Mg преобладает. Такое смещение связано с влиянием атмосферных осадков и с последствиями засушливых лет, что требует детального изучения [9].

В табл. 3 представлены результаты анализов проб, отобранных по прямому профилю из пробуренных у озер вручную временных скважин глубиной 1 м летом 2016 г.

Таблица 3

Химический состав прибрежных грунтовых вод, вскрытых на створе временных скважин ручного бурения у оз. Большое Шумновское, июль 2016 г.

Показатель	Ед. измерения	Оз. Климошино	Большое озеро, профиль скважин		
		Скважина, устье 500 м от уреза	Расстояние от устья скважины до уреза, м		
			5,0	25,0	500,0
рН	Ед. рН	4,0	3,84	3,53	3,81
ЭПР	mS/m	7,9	6,0	17,6	12,7
Цветность	Градус	380	600	700	1500
ПО	мг О/дм ³	96,5	67,5	131,2	246
Ca^{2+}	мг/дм ³	4,2	4,8/	8,0	12,8
Mg^{2+}	мг/дм ³	4,76	0	0	3,84
$\text{Fe}_{\text{общ}}$	мг/дм ³	0,69	0,57	0,57	3,04
SO_4^{-2}	мг/дм ³	13,0	1,7	27,0	0,2
Минерализация	г/дм ³	0,024	0,008	0,050	0,021

Болотные воды обогащены органическим веществом, бурого цвета; с высоким содержанием соединений железа, в них нарушен баланс между катионами и анионами. В катионном ряду в 25-тиметровой зоне вокруг озера отсутствует магний, но больше сульфатов, чем в других скважинах. Из анализа вскрытых вод следует,

что в окружающих озера болотах и подстилающих грунтах содержатся воды кислые (рН в пределах 3,8–4,5), очень мягкие, сульфатного класса (по О.А. Алекину).

По тепловому режиму озера относятся к водоемам умеренных широт. Летом в Большом озере на центральной вертикали перепад температур равнялся 17°C: минимальная температура у дна составила 8,4°C, максимальная – 25,7°C на поверхности. Зимой по всей глубине перепад температур составил 1–2°C, увеличиваясь в направлении дна.

Ход кривых температуры, концентраций Са и Mg на центральной вертикали в оз. Большое летом 2024 показан на рис. 4.

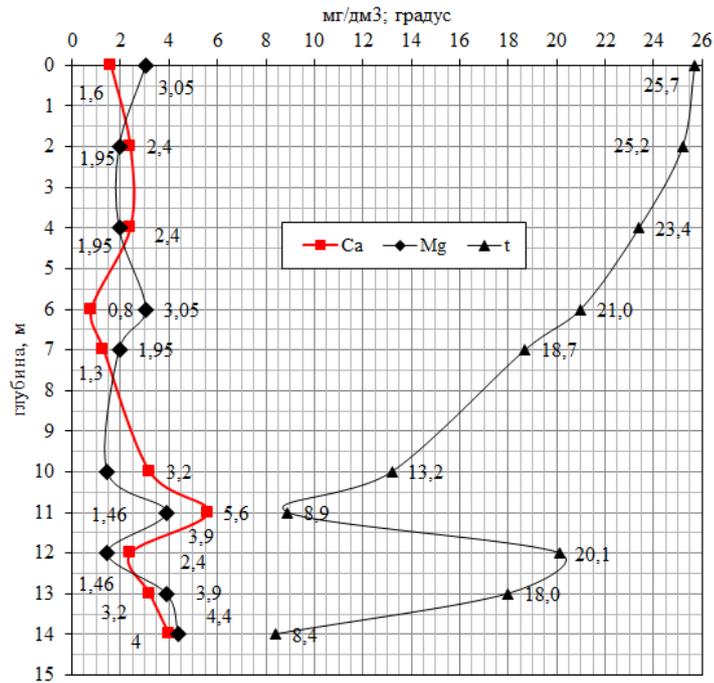


Рис. 4. Распределение температуры, кальция и магния на центральной вертикали, оз. Большое, июль 2024

Наиболее глубокое Большое озеро имеет прямую стратификацию и три стандартных слоя, которые маркируются температурой, редокс-потенциалом Eh и сочетанием компонентов химического состава. В таблице 4 показана динамика температур и Eh на центральном профиле в зимнюю межень.

Придонный минимум Eh связан с микробиальными процессами потребления кислорода в иловом слое. При отборе проб воды в придонном горизонте ощущается запах сероводорода. В неглубоких озерах водная масса по величине Eh практически однородна.

Таблица 4
Вертикальное распределение температур и величины Eh в озерах,
зимняя межень

	Оз. Большое, 17.02.2012			Оз. Малое, 17.2.2012		Оз. Климошино, 4.12.14	
Глубина	0,2	8,0	16,0	0,2	5,0	0,2	5,1
T°C	+0,1	+1,0	+3,2	+0,1	+2,2	0	+1,0
Eh, мВ	+107	+135	-125	+81	+94	+101	+124

По поверхности акватории химический состав озерных вод почти однороден, по глубине состав меняется, причем наблюдаемые закономерности одинаковы во всех озерах.

На рис. 5 показаны кривые концентраций ионов HCO_3^- , Ca^{2+} и Mg^{2+} на центральной вертикали, оз. Большое, зимняя межень.

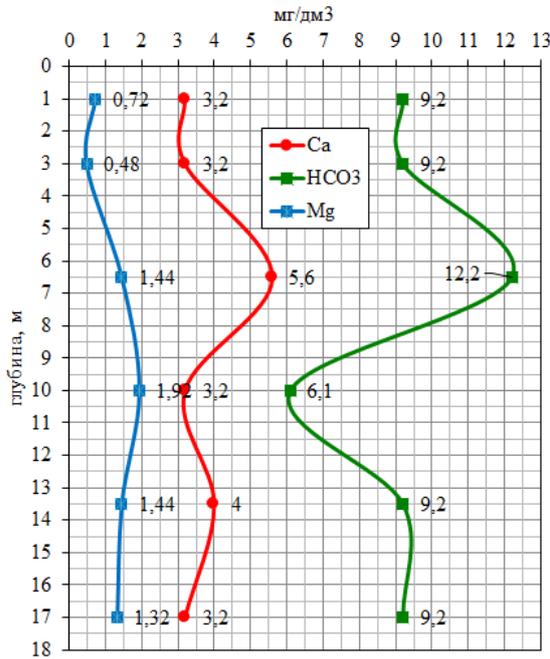


Рис. 5. Распределение по глубине кальция, магния и HCO_3^- -иона в Большом озере, центральная часть, зимняя межень

И зимой, и летом в слое воды 5–7 м установлен рост концентраций солей жесткости (см. рис. 4, 5). Фактически растут содержания маркеров грунтовых вод, при этом цветность меняется синхронно в противофазе: в 1 м от поверхности она составила 43 град. по Pt-Co шкале, в точке 6,5 м резко снизилась до 30 град, у дна достигла 65 град. Аналогичная картина наблюдается и на центральной вертикали в Климошино, где на глубине 4,5 м цветность равна 30, у дна и поверхности ближе к 40 град на фоне роста минерализации в точке снижения цветности.

Максимум концентрации HCO_3^- -иона приходится на среднюю часть толщи воды, что может быть связано как с разгрузкой грунтовых вод, так и с результатом окисления органических веществ на границе, окисленной и восстановленной зон из-за биохимических процессов [16]. Рост содержания компонентов химического состава на глубинах 10-16 м более чем в 2,5 раза по сравнению с верхним слоем в небольших озерах отмечается и другими исследователями, однако причиной роста считаются только биохимические процессы [2].

Летом 2024 г. (рис.4) в направлении дна температура сначала снижалась плавно, но в точке 11 м произошел скачок с ее падением от 13,2 до 8,9°C. Такой перепад возможен при явлении термоклина [27]. В то же время в разрезе (рис. 2) на глубине 9,0–12,5 м в подошве аллювиальных песков залегают галька и гравий с глинистым цементом. Из этого слоя может поступать подток грунтовых холодных вод, так как его $k_f = 30$ м/сут. Расположенные ниже флювиогляциальные супеси и залегающие выше мелкие глинисто-иловатые пески имеют $k_f 0,1-1,0$ м/сут [1, 8].

Кроме температуры и солей жесткости, резко меняются содержания Mn – в 4 раза, Fe – в 2 раза, на 50 град возрастает цветность (рис. 6). Ионы Ca и Mg могут вымываться из обломков карбонатов, Fe и Mn – из скрепляющих гальку и гравий глин, то есть налицо стандартный набор ионов, характерный для водовмещающих базальных конгломератов.

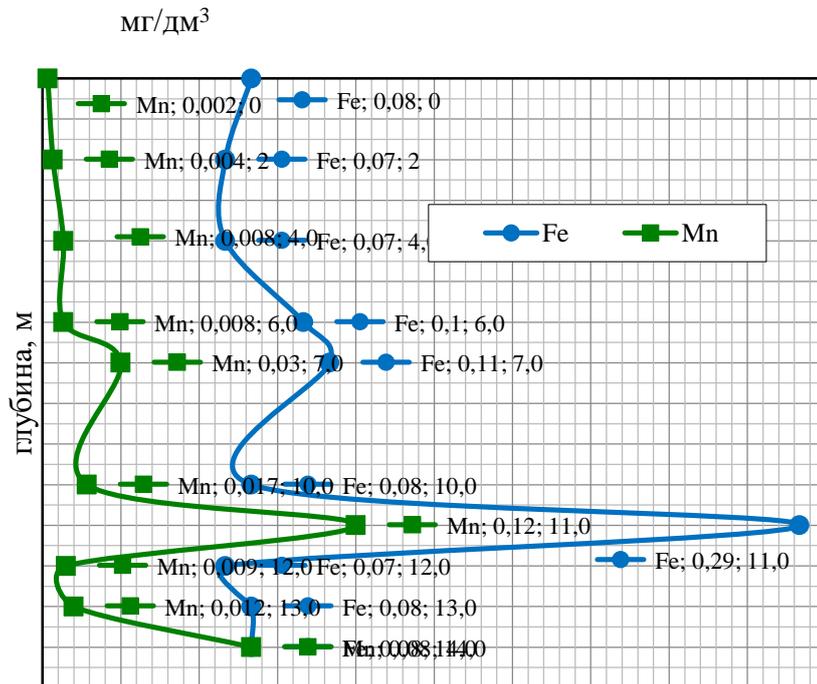


Рис. 6. Распределение ионов Fe^{2+} и Mn^{2+} по центральной вертикали, оз. Большое, летняя межень 2024 г.

В Большом озере зимой в придонном слое происходит накопление марганца (от 0,17 у поверхности до 0,25 мг/дм³ у дна) и железа (от 0,2 до 0,7 мг/дм³), что может быть связано с обогащенностью этими компонентами бурых московских суглинков в ложе озера.

Из изложенного следует, что на глубине 9–12 м может наблюдаться подток холодных грунтовых вод и термоклин, поэтому синергизм этих факторов следует учитывать при исследовании биоты озер и интерпретации полученных данных.

Концентрации компонентов состава озер, не связанные с подземным притоком, по глубине почти не меняются; у дна накапливаются сульфаты, органические и биогенные вещества

Анализ имеющихся данных по биогенным веществам показал, что на протяжении 23-х лет содержание азота и фосфора в воде озер не изменилось. Ход внутрigoдовой динамики соединений обычный – летом их концентрация минимальна, к концу зимы возрастает, особенно в придонной части. Среди форм минерального азота преобладает нитратная по всей вертикали. Однократно подо льдом в оз. Малое зафиксирована концентрация аммонийного азота 2,5 мг/дм³ при диапазоне его значений 0,14–1,12, что мы связываем с притоком болотных вод из-за предыдущих ливней.

В процессе изучения собранных материалов определены источники водного питания озер. Это атмосферные осадки на зеркало, болотные воды и прямой приток подземных вод.

Подземный сток в зоне активного водообмена в районе работ состоит из грунтовых безнапорных, межморенных и напорных вод известняков верхнего карбона. Изучение гидрогеологических разрезов территории показало, что абсолютные отметки напора известняков на водоразделе Волга–Донховка равны 113,8 м, отметки дна Большого озера – 114,3 м, следовательно, приток глубоких вод в его ложе отсутствует [15].

По низкой минерализации и мягкости, за исключением величины цветности состав озерных вод наиболее приближен к атмосферным осадкам. Однако зимой, когда осадков нет, общая минерализация увеличивается вдвое, что может происходить и за счет внутриводоемных процессов, и при притоке подземных вод.

Визуально в Большом озере наблюдается разгрузка грунтовых вод в виде ключей, бьющих в ноги при купании. Однако субаквальная разгрузка является наиболее слабо изученным элементом водного баланса и не поддается прямым измерениям [3].

Гидрологи считают, что величина подземной составляющей в водном балансе озер ничтожна, поэтому ее относят к невязке баланса 2 % [25]. Анализ химического состава озер приводит к выводу, что разгрузка грунтовых вод имеет место, но не превышает невязки баланса.

Кроме атмосферных осадков и грунтовых вод, озера питают стоковые болотные и обратные воды. Они на фоне относительно низкого количества растворенных органических веществ и малой минерализации озер резко повышают их цветность, изменяют рН и снижают величину минерализации. Во время половодья и паводков, при подъеме уровня озерные воды поступают в грунты берегов, выполненные сфагновыми мхами и верховым торфом (см. табл. 3).

Слаборазложившийся верховой торф обладает высокой влагоемкостью (до 1700 % в расчете на вес абсолютно сухого вещества) и отдает не более 2–10% от имеющейся влаги [17]. Из литературы известно, что горизонтальный K_{ϕ} зависит от степени разложения и ботанического состава торфа. Наибольшей водопроницаемостью отличается моховой очес ($K_{\phi} 1 - 5 * 10^{-5}$ м/с, или 0,864 – 4,32 м/сут), а для верхового торфа Тверской области при степени разложения более 10% рекомендуемая минимальная расчетная величина $K_{\phi} 0.1 * 10^{-5}$ м/с, или 0,085 м/сут [18]. Обратные кислые сульфатные воды поступают в чашу, однако их количество крайне мало.

Отклик озер на поверхностный сток с болот подтверждается резким изменением цветности в октябре 2001 г. в Малом озере по сравнению с сентябрем (возросла с 30 до 75 град), что можно объяснить экстремальным количеством дождей в июле 2001 г. (130 мм при норме 75 мм). За тот же период величина цветности в Большом озере не изменилась (в силу разбавления осадками и большего объема).

За весь период наблюдений в целом цветность в озерах не изменилась и осталась и зимой, и летом в пределах 30–35 град. Самая низкая минерализация выявлена в оз. Климошино (11–17), самая высокая в оз. Малое – летом 17–27, зимой 38–47 мг/дм³.

Предыдущими исследованиями установлено, что за 20 лет (1999 – 2019) в грунтовых водах террас Ивановского водохранилища произошел рост магния. Статистическая обработка данных режимных наблюдений за аллювиальными водами (родник) выявила прирост магния на 1,0% в год [10]. Прирост приурочен к теплему периоду года.

Летом 2024 г. воды оз. Большое по центральной вертикали имели в основном $\text{HCO}_3 - \text{Mg} - \text{Ca}$ состав, зимой 2019г. состав определен как $\text{HCO}_3 - \text{Ca} - \text{Mg}$, придонная часть в обоих случаях имеет по анионам $\text{SO}_4 - \text{HCO}_3$, по катионам $\text{Mg} - \text{Ca}$ и Ca состав соответственно. Постепенное замещение в катионном ряду кальция магнием наглядно представлено в табл. 5.

За период наблюдений преобладающий состав озерных вод остался гидрокарбонатным, но ранее доминирующий катион Ca сменился на $\text{Ca} - \text{Mg}$ и $\text{Mg} - \text{Ca}$ ряды. На поверхности химический состав вод иногда изменяется на $\text{SO}_4 - \text{HCO}_3$ с неустойчивым преобладанием сульфат – иона. При опробовании через месяц снова доминирует ион HCO_3^-

Таблица 5

Динамика рН, цветности, ионного состава вод оз. Малое, поверхность, и атмосферных осадков

Время отбора	рН	Цветность	Ионный состав, % - моль/дм ³ *
Малое озеро			
X.2001	6,65	75	M _{0,03} HCO ₃ 69/Ca61
XI.2014	6,9	52	M _{0,05} HCO ₃ 78/Ca62 Mg 28
VI.2016	7,08	35	M _{0,02} HCO ₃ 71/Ca42 Mg 34
VI.2019	7,87	35	M _{0,027} HCO ₃ 50/Ca43Mg42
Атмосферные осадки			
Дождь, д. Белавино	6,77	4	M _{0,039} HCO ₃ 64/Ca45Mg45
Снег, край болота	6,9	3	M _{0,014} HCO ₃ 48/Ca42Mg29

Примечание. * по Курлову граница 25 %

Выводы

Включенные в болотную экосистему озера характеризуются устойчивостью. За 23 года остались на прежнем уровне величины цветности, минерализации, содержание биогенных веществ.

Стабильны выявленные закономерности: зимой возрастает минерализация в 1,5–2 раза, в придонном слое накапливаются сульфаты, азот, фосфор, железо и марганец, органические вещества. Летом наблюдаются минимальные содержания биогенных веществ.

Изученные озера в силу замедленной эволюции могут использоваться при моделировании как исходные объекты.

Химический состав вод озер формируется под влиянием атмосферных осадков. Поступление подземных и болотных вод имеет место, но на уровне невязки баланса. На фоне низкой минерализации и светлководности озер приток может влиять на ионный состав и внутриводоемные процессы.

За период 2001–2024 гг. состав вод озер изменился с HCO₃-Ca на HCO₃-Ca-Mg и HCO₃-Mg-Ca.

При интерпретации исследований следует принимать во внимание геолого-гидрогеологической условия озерной экосистемы. Если котловина озера пререзает водоносный аллювиальный горизонт на полную мощность, химический состав подземного притока нарушает сложившийся гидрохимический режим. При расчетах притока используется средний k_f (здесь 1 м/сут), однако нижнюю часть аллювиальных толщ слагают базальные конгломераты с k_f около 30 м/сут. С притоком вымываются ионы марганца, железа, кальция и магния, поступление которых сдвигает создавшееся для деятельности биоты равновесие.

При исследовании ледниковых озер междуречий важно учитывать наличие древнеаллювиальных террас, сложенных промытыми кварцевыми песками. Такое строение способствует малой минерализованности и низкой цветности, как в оз. Климошино, где пределы минерализации составляют 11–17 мг/дм³, а цветность – 35 град.

Список литературы

1. Ахметьева Н.П., Лола М.В., Горецкая А. Загрязнение грунтовых вод удобрениями. М.: Наука, 1991. 100 с.
2. Баянов Н.Г., Г.А. Юлова. К вопросу о происхождении и современном экологическом состоянии некоторых озер Нижегородского Заволжья. Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. № 1. 2001. с. 91-102.
3. Бородулина Г.С. Роль подземного стока в формировании химического состава воды озер бассейна Онежского озера. Труды Карельского научного центра РАН. № 4. 2011. С. 108-115
4. Верхняя Волга. Ивановское и Угличское водохранилища. Новгородское гос. геодезическое предприятие. Топографическая карта м-ба 1: 100 000. 2001 г.
5. Всеволожский В.А. Основы гидрогеологии. Учебник. М.: Изд-во МГУ, 1991. 351 с.
6. Иванов К.Е. Водообмен в болотных ландшафтах. Л., 1975. 281 с.
7. Ковалевский В.С. Комбинированное использование ресурсов поверхностных и подземных вод. М.: Научный мир, 2001. 332 с.
8. Лапина Е.Е., Ахметьева Н.П., Кудряшова В.В. Родники долины верхней Волги: условия формирования, режим, охрана. Тверь. ООО «Купол». 2014. 256 с.
9. Лапина Е.Е. Динамика гидрохимического состава выработанных верховых болот (Тверская область) // Мат-лы конф. «XI Галкинские чтения», СПб: БИН РАН, С. 130 – 131.
10. Лапина Е.Е., В.В.Кудряшова, Л. Э.Лапина. Изменения химического состава грунтовых вод вокруг Ивановского водохранилища за 20 лет//Экологический мониторинг и моделирование экосистем. 2023. № 1–2. С.18–37.
11. Лесненко В.К., В.Н.Абросов. Озера Псковской области. Псков. 1973. 153 с.
12. Маевский В.И. Дочетвертичный рельеф Калининской области// Ученые записки. Т. 68. Калинин: КГУ, 1969. С. 161–170.
13. Методы исследования качества воды водоемов // Новиков Ю.В. и др. М., Медицина, 1990. 400 с.
14. Мирзоев Е. С., Мирзоев А. Е. Конаковский район. Краеведческий справочник. Тверь, 1995. 330 с.
15. Михайлова Т.А. Справочник по гидрогеологическим условиям сельскохозяйственного водоснабжения территории Конаковского района Калининской области. М., 1968 (Фонды ГУЦР). 47 с.
16. Никаноров А. М. Гидрохимия. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 348 с.
17. Ниценко А.А. Краткий курс болотоведения. М. Высшая школа. 1967. 148 с.

18. Рекомендации по проектированию и строительству осушительной сети на сильнообводненных торфяных залежах /Е.Т. Базин, В. И. Косов, В.Г. Степаничев. Ю.Ф. Павозков, О.Н. Задеренко, под ред. В.Н. Колесина. КПИ, Калинин, 1985. 78 с.
19. Паспорт на особо охраняемые природные территории (памятник природы Шумновские озера). Федеральная служба лесного хозяйства. 1992. 5 с.
20. Пояснительная записка к листу 0 -37-XXV, масштаб 1: 200 000 / Бородин Н.Г. и др. Конаковский, Кимрский и Калининский район. Фонды ГУЦР. 1976.
21. Природа и хозяйство Калининской области. Ученые записки естественно-географического факультета. Калинин, 1960. 652 с.
22. Тверская область. Энциклопедический справочник. Тверь: Тверское обл. книжно-журнальное изд-во, 1994. 328 с.
23. Топографическая двухверстная карта А.М. Менде <https://retromap.ru/141853>
24. Торфяные месторождения Калининской области. Кн. 1. М.1974.
25. Самохин А.А., Н.Н.Соловьева, А.М.Догановский. Практикум по гидрологии. Л., Гидрометеиздат,1980. 295 с.
26. Шумновское болото, космоснимок 2007 г. <https://www.google.com/intl/ru/earth/>
27. Эдельштейн К.К. Гидрология озер и водохранилищ. Учебник для вузов. М.: Издательство «Перо», 2014. 399 с.

Авторы выражают благодарность за помощь в отборе проб н.с. гидрологу Т. Н. Плахуте и водителю А. Ю. Косогорову.

Об авторах

ЛАПИНА Елена Егоровна – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник ФГБУН Институт водных проблем РАН, филиал «Иваньковская научно-исследовательская станция» (171251, г. Конаково, ул. Белавинская, д. 61-А, e-mail: khelena1974@mail.ru), ORCID: 0000-0002-7760-4553, SPIN-код: 4749-0134.

КУДРЯШОВА Вера Вадимовна – младший научный сотрудник ФГБУН Институт водных проблем РАН, филиал «Иваньковская научно-исследовательская станция» (171251, г. Конаково, ул. Белавинская, д. 61-А, e-mail: verakud2008@mail.ru), ORCID: 0009-0002-4780-1561, SPIN-код: 7387-0066.

КОМИССАРОВ Алексей Борисович – гидрохимик лаборатории мониторинга загрязнения окружающей среды Тверского ЦГМС(170006, г. Тверь, ул. Ефимова, д. 61, e-mail: Sirsimova@mail.ru), ORCID: 0000-0002-7760-4553, SPIN-код: 9043-8828.

Features of glacier lakes hydrochemical regime inside bogs of the Ivankovo reservoir terraces

E.E. Lapina¹, V.V. Kudrjashova¹, A. B. Komissarov²

¹Water Problems Institute of of the Russian Academy of Sciences, Konakovo

²Russian Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring,
Tver

The article presents the results of studies of three small lakes inside raised bogs on the terraces of the Ivankovo Reservoir. The morphometric characteristics and seasonal features of the hydrochemical regime are determined. It is found that the chemical composition of the lake waters is determined by the composition of atmospheric precipitation. Over the period 2001–2024, the composition of the lake waters changed from $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ to $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$ and $\text{HCO}_3\text{-Mg-Ca}$.

Keywords: *seasonal hydrochemical regime, small lakes, bog waters, magnesium.*

Рукопись поступила в редакцию 23.11.2024

Рукопись принята к печати 28.11.2024