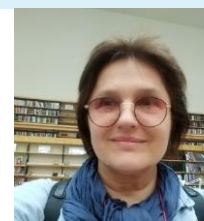


Гидрохимический режим озера Плещеево и его притоков

М.И. Андреева¹, А.А. Кочнев²,
Г.Д. Кузнецова³ *



¹ Национальный парк «Плещеево озеро», Переславль-Залесский (Ярославская обл.), Россия

² Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

³ Московский государственный университет геодезии и картографии, Москва, Россия

*srdc@miigaik.ru

Ключевые слова Плещеево озеро, гидрохимический мониторинг, гидрохимический режим, антропогенное загрязнение, диффузное загрязнение, биогенные элементы, геоинформационная система, ГИС

Аннотация В статье представлен анализ современного гидрохимического состояния Плещеева озера и его притоков на основе архивных данных Национального парка «Плещеево озеро» и результатов полевых исследований, проведенных в рамках проекта «Интеллектуальный хранитель Плещеева озера». Особое внимание уделено пространственно-временной динамике концентраций приоритетных загрязняющих веществ – фосфатов, нитритов, ионов аммония, железа, меди и нефтепродуктов. Проведена оценка степени превышения ПДК, а также выполнены расчёты интегральных годовых объёмов загрязнителей с последующей визуализацией в геоинформационной системе. Результаты указывают на устойчивое загрязнение ряда водотоков и юго-восточной части озера, связанное с антропогенными источниками.

1 Введение

Плещеево озеро – один из крупнейших водоёмов Центральной России, находящийся под значительным антропогенным воздействием, обусловленным как загрязнённым водным стоком, так и высоким диффузным загрязнением. Изучением экосистемы озера Плещеево системно занимаются сотрудники Института биологии внутренних вод РАН, по материалам их исследований опубликованы множество научных статей и несколько монографий, в которых представлены результаты многолетних комплексных исследований всех звеньев экосистемы озера [1]. Важным аспектом в исследовании озерной экосистемы является

наблюдение за гидрохимическим режимом озера. С одной стороны, загрязнение вод озера Плещеево несет непоправимый вред обитателям озера, в том числе переславской ряпушке, внесенной к Красную книгу РФ (2020), несет потенциальную угрозу охотничьи ресурсам и экосистеме водоема [2]. С другой стороны – является фактором, влияющим на качество жизни населения [3], поскольку озеро Плещеево является источником водоснабжения города Переславль-Залесский. Поэтому его санитарно-экологическое состояние, а также количественные и качественные оценки поступления загрязняющих веществ с речными водами представляют особый практический интерес.

С 1998 года лаборатория при Национальном парке «Плещеево озеро» ведёт регулярный ежемесячный мониторинг гидрохимического состояния водоёма. В рамках этой деятельности выполняется широкий спектр гидрохимических анализов, включая определение концентраций фосфат-ионов, нитритов и нитратов, аммонийного азота, растворённого кислорода, БПК₅, а также соединений меди, железа, нефтепродуктов и других веществ. За более чем два десятилетия наблюдений накоплен большой массив данных, требующих систематизации и актуализации, выявления наиболее ярких всплесков органических и химических загрязнений. В дополнение к существующим наблюдениям, в рамках настоящего исследования также были проведены работы с отбором проб на участках, не охваченных регулярным мониторингом со стороны Национального парка.

Целью данного исследования является обобщение и актуализация накопленных гидрохимических данных, а также формирование целостного представления о современном гидрохимическом состоянии Плещеева озера и его основных притоков.

2 Материалы и методы

В ходе гидрохимических исследований применялись референтные методики, регламентированные нормативными документами ПНДФ¹. Так, во время полевого выезда в рамках экспедиции «Интеллектуальный хранитель Плещеева озера» проводилось определение приоритетных загрязняющих веществ, поступивших в поверхностные воды и характеризующихся высокой подвижностью. Подобные показатели способны указывать на свежие эпизоды загрязнения, не подвергшиеся процессам естественного самоочищения. К числу таких компонентов были отнесены ионы аммония, нитриты и фосфаты, также дополнительно был определён водородный показатель pH.

Количественное определение ионов аммония (NH₄⁺) осуществлялось посредством добавления к пробе реактива Несслера с последующим фотометрическим анализом с использованием спектрофотометра. Нитриты (NO₂⁻) определялись по реакции с реактивом Грисса, также с применением спектрофотометрического метода. Содержание фосфатов (PO₄³⁻) оценивалось после введения смешанного реактива и аскорбиновой кислоты.

¹ Федеральная служба по надзору в сфере природопользования РОСПРИРОДНАДЗОР. Федеральный центр анализа и оценки техногенного воздействия <https://metod.fcao.ru/> [Дата обращения: 18.09.2025]

Измерение значения рН осуществлялось с использованием автоматического рН-метра. Остальные гидрохимические показатели качества вод (нефтепродукты, нитрат ионы, сульфаты, хлориды, железо, кальций, медь, цинк, кадмий, свинец и БПК₅) определялись сотрудниками лаборатории Национального парка посредством хроматографии или спектрофотометрическим анализом.

2.1 Архивные данные Национального парка «Плещеево озеро»

В рамках реализации проекта исследователям были предоставлены архивные данные ежемесячного гидрохимического мониторинга Национального парка «Плещеево озеро» в виде электронных таблиц формата .xlsx за период с 2011 по 2024 год. Массив данных включает в себя сведения о концентрациях загрязняющих веществ и их отношению к ПДК (предельно-допустимой концентрации для водоемов рыбохозяйственного значения), определенных в назначенных точках отбора проб для регулярного гидрохимического мониторинга (рис. 1). Дискретность определения загрязняющих веществ составляет 1 месяц за исключением случаев перемерзания (пересыхания) рек (например, Черноречка, Кухмарь и др.).

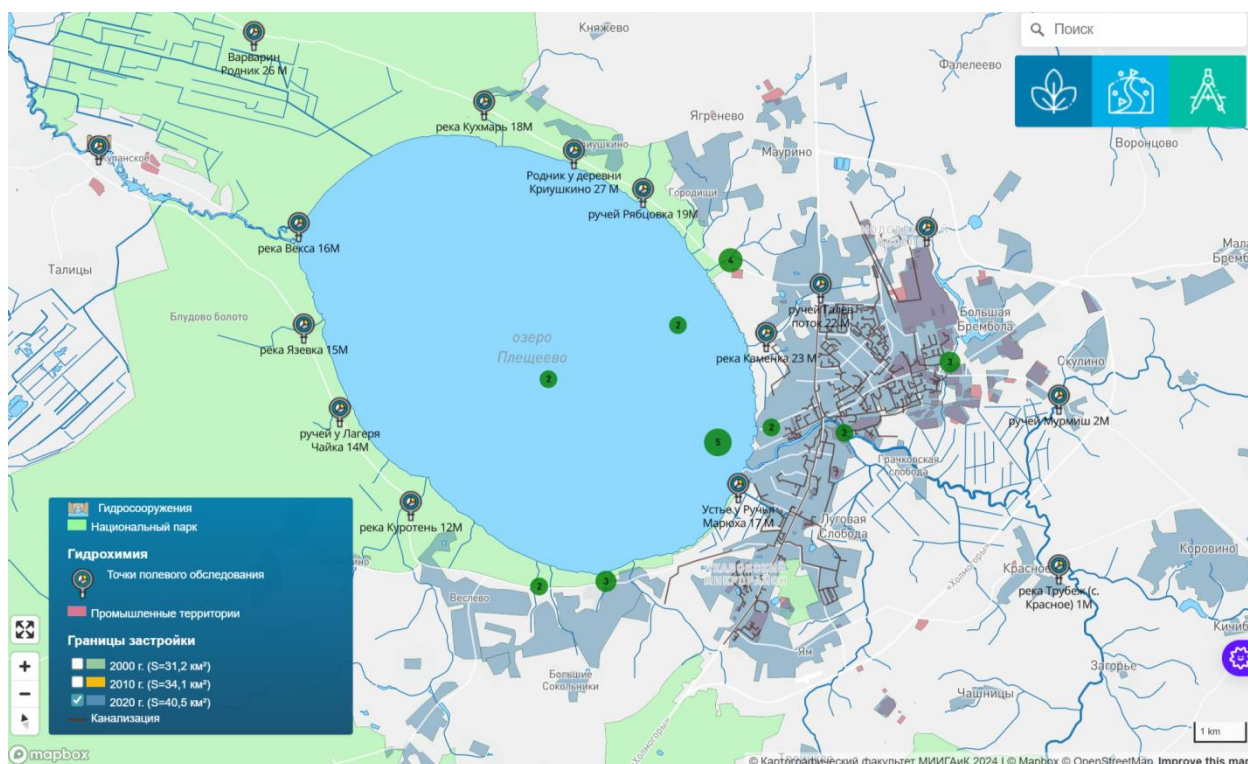


Рис. 1. Точки отбора проб сотрудниками Национального парка «Плещеево озеро» (гидрохимический мониторинг)

Fig. 1. Sampling points by employees of the Pleshcheyevo Lake National Park (hydrochemical monitoring)

Для оценки степени загрязнения была разработана система расчёта отношения среднегодовой концентрации вещества. Для этого брали среднюю концентрацию вещества по месяцам в течение года в отношении к максимально допустимой концентрации анализируемого показателя по ПДК рыбохозяйственного норматива, после чего

добавлялась ошибка гидрохимических анализов для значения ПДК согласно принятой методике измерения и определялись верхняя и нижняя границы ПДК. На основании этих расчётов определялись наиболее критичные превышения в разные годы мониторинга.

Визуализация данных в геоинформационной системе² осуществлялась по принципу градации уровня загрязненности в соответствии с сопоставлением среднегодовых концентраций загрязняющих веществ и ПДК. При этом использовалась цветная кодировка условных обозначений. Точки наблюдений, в которых среднегодовое значение концентрации исследуемого компонента не превышало установленные нормативы (ПДК минус ошибка измерения), обозначались зеленым цветом. Жёлтым цветом маркировались участки, характеризующиеся переходным состоянием. К ним относились случаи, при которых превышение ПДК наблюдались лишь эпизодически – в отдельные месяцы, а также значения, приближающиеся к пороговому уровню с учётом возможной погрешности гидрохимических методов анализа ($\text{ПДК} \pm \text{ошибка измерения}$). Красный (или оранжевый) цвет указывал на устойчивое превышение среднегодовой концентрации ($\text{ПДК} + \text{ошибка измерения}$), величина которого отражала кратность превышения установленного норматива.

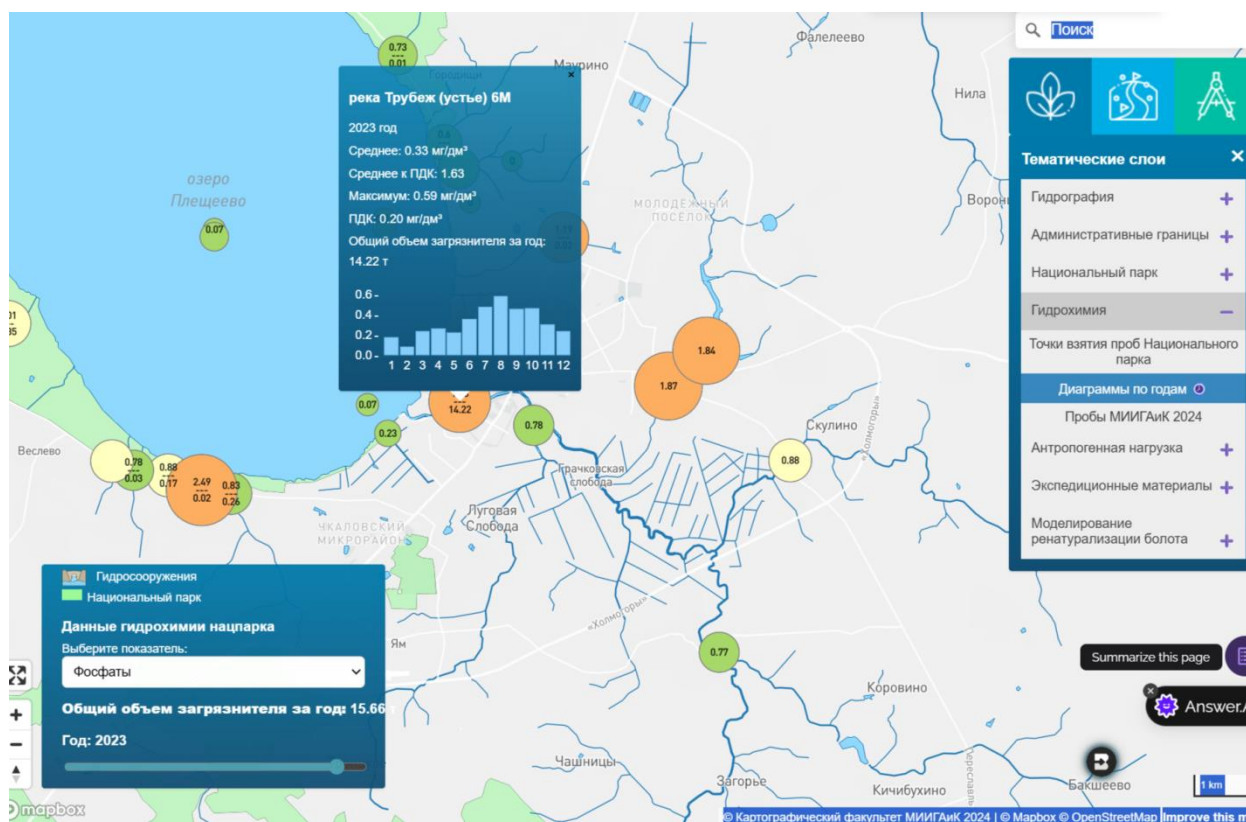


Рис. 2. Отображение концентраций загрязняющих веществ на интерактивной карте в геоинформационной системе.

Fig. 2. Displaying concentrations of pollutants on an interactive map in a geographic information system.

² Интерактивная карта «Интеллектуальный хранитель наследия «Плещеево озеро»
<https://kartfak.ru/development/pleshcheyevo/#9.74/56.7221/38.8622> Электронный ресурс [Дата обращения: 12.10.2025]

На рисунке 2 в качестве примера можно видеть отображение усредненных показателей концентрации фосфат-ионов в пробах воды озера «Плещеево» и притоках в 2023 году. Верхняя цифра – отношение концентрации загрязнителя к ПДК, нижняя – оценка суммарного количества загрязнителя, попавшее в озеро за 2023 год (в тоннах), рассчитанная как сумма по всем месяцам Σ [концентрация вещества * объем стока за месяц]. В данном случае можно видеть, что средняя концентрация ионов фосфатов в пробах в устье реки Трубеж составляет 1,63 ПДК (0,33 мг/дм³ при предельно допустимой концентрации 0,2 мг/дм³. Общий объем, «слитых» через Трубеж загрязнителей ионов фосфатов составил 14,22 т за 2023 год). На плашке представлено распределение концентрации загрязнителя по месяцам (мг/дм³).

2.2 Данные полевых исследований

Принцип выбора точек отбора проб в рамках полевых выездов основывался на предварительном анализе существующих данных: приоритет отдавался участкам, в которых ранее не проводились регулярные гидрохимические наблюдения со стороны Национального парка, однако имелись веские основания предположить повышенный уровень биогенных веществ.

Река Ветлянка. Берет начало в небольшом болоте на севере от г.Переславль-Залесский, протекает мимо городских очистных сооружений, далее – мимо большого производственного комплекса и впадает в р. Трубеж в районе Грачковской слободы.

Реки Кухмарь, Б. Слуда и ручей Рябцовка. Протекают в местах наиболее частого посещения туристами рекреационных территорий Национального парка.

Река Вёкса. Единственная река, вытекающая из озера Плещеево и протекающая далее через территорию Национального парка и д. Купанское, где расположена регулируемая плотина. Именно на этом участке в конце июля 2023 года наблюдалась «пробка» из отмерших масс цианобактерий *Gloeotrichia echinulata* и массовый замор рыбы.

Инициатива обследования данных участков исходила от администрации парка с целью получения более полной информации о состоянии воды, попадающей в озеро Плещеево и вытекающей из него. В качестве контрольных были выбраны точки из числа регулярного гидрохимического мониторинга, выполняемого Национальным парком ежемесячно. В соответствии с поставленной задачей было организовано несколько полевых выездов, в ходе которых осуществлялся отбор проб воды с последующим лабораторным анализом. В рамках полевых выездов исследование было сосредоточено вокруг биогенов, которые являются, прежде всего, результатом антропогенного воздействия и способствуют развитию сине-зеленых водорослей в озере Плещеево – фосфат-ионы, нитрит-ионы, ионы аммония.

Фосфат-ионы. Фосфаты способны проникать в поверхностные воды при выветривании ортофосфатных пород (апатитов, фосфоритов), при биохимической переработке останков

живых организмов: растений, насекомых, животных. Широко применяются в промышленности: их используют как пенящийся компонент мыломоющих средств, как ингибитор для предотвращения коррозии, для обезжиривания волокон. Больше всего фосфатов поступает в поверхностные воды от сельскохозяйственной деятельности (стока с сельскохозяйственных угодий, богатых фосфорными удобрениями), из промышленных стоков предприятий, от эрозии грунтов и регенерации донных минеральных отложений.

Нитрит-ионы. Присутствие нитрит-иона в природных водах обычно обусловлено фекальным загрязнением. В поверхностных водах, особенно в водоисточниках, находящихся вблизи населённых пунктов, нитрит-ион содержится часто, однако его количество, как правило, невелико – измеряется тысячными и сотыми долями мг/л и редко превышает несколько десятых мг/л. Естественным путём нитриты появляются в воде в результате биохимического окисления аммиака или восстановления нитратов: в поверхностных водах в присутствии достаточных количеств кислорода преобладают процессы биохимического окисления, вследствие чего восстановление нитратов с образованием нитритов протекает в условиях дефицита кислорода в придонных слоях воды и в донных отложениях. В целом, повышенные концентрации в воде могут свидетельствовать о загрязнении водоёма.

Ионы аммония. Причины загрязнения вод ионом аммония могут нести естественный и техногенный характер. К первым относится процесс гниения органики в донных отложениях реки или водоёма, в особенности в летний период, когда температура воды повышается и активизируется микробиологическая активность. К техногенным – различные аварии на очистных сооружениях, сброс в поверхностные воды хозяйственно-бытовых стоков, свалки бытовых отходов, а также попадание минеральных удобрений, содержащих аммоний.

В рамках полевого выезда в июле 2024 г. было отобрано 42 пробы воды из 30 точек на р. Ветлянка, р. Вёкса, р. Большая Слуда, р. Кухмарь, на ручье Рябцовка, а также в ливневых канавах и канавах временных водотоков, расположенных в черте города и выходящих к озеру. Всего проведено 168 измерений гидрохимических параметров, в 14 образцах из 42 были обнаружены превышения ПДК.

3 Результаты и обсуждение

3.1 Результаты визуализации и анализа архивных данных Национального парка в геоинформационной системе (ГИС)

Превышения ПДК фосфат-ионов в период с 2015 по 2024 год на регулярной основе зафиксированы в устье р. Трубезь, на притоках озера р. Кухмарь, р. Язёвка и р. Большая Слуда, а также в Матросском овраге в районе музейного комплекса Ботик Петра I. На рисунке 3 представлены результаты среднегодовой концентрации фосфат-ионов по результатам мониторинга 2024 года.

Загрязнение устьевой части р. Трубеж, по-видимому, обусловлено аккумуляцией фосфатов, транспортируемых с территории всего водосборного бассейна. Максимальное значение превышения ПДК ионов фосфатов в устье реки Трубеж отмечено в 2022 году – показатель превышен в 2,39 раза.

Реки Кухмарь и Язёвка характеризуется устойчиво повышенным фоновым содержанием фосфат-ионов, что может указывать на наличие регулярных поступлений загрязняющих веществ от застройки, расположенной выше по течению, так и в целом с территории бассейнов рек.

Повышенные концентрации фосфатов, зафиксированные в Матросском овраге вероятнее всего связаны с близостью городской застройки, не присоединенной к системе канализации.

Высокие концентрации фосфат-ионов также наблюдаются в пробах воды, взятых на реке Ветлянка (2 точки), в ручье Галев поток, а также в устье Черноречки, впадающей в Трубеж.

Следует отметить, что превышение концентрации фосфат-ионов на реке Ветлянке в районе дамбы (Большая Брембола) в 2024 году по данным Национального парка наблюдалось в январе-апреле, а также октябре-декабре, в то время как в мае-сентябре значения не превышали ПДК, что коррелирует с данными, полученными независимо во время полевых экспедиционных исследований³.

Концентрации нитрит-ионов в исследуемый период оставались в пределах допустимых значений. Исключения зафиксированы в мае 2019 года на р. Куротень, где показатель нитрит-ионов превысил ПДК в 1,41 раза, а также в устье р. Трубеж в 2024 году (в 1,89 раз), на р. Ветлянка (в 1,64 раза), которая впадает в р. Трубеж, в районе Большой Бремболы после прохождения обширной промышленной зоны (рис. 4). Нитриты-ионы очень неустойчивое соединение. Чаще всего они образуются в результате окисления азота как переходная форма перед образованием нитратов. Их наличие указывает на загрязнение водного объекта стоками.

Повышенные концентрации ионов аммония (рис. 5) отмечаются преимущественно в следующих притоках озера: реке Кухмарь, ручье Язёвка, ключе Гремяч, а также в устьевой части р. Ветлянка и вблизи её дамбы и в Галевом потоке. Во всех перечисленных точках наблюдений наблюдается устойчивое превышение ПДК в течение всего периода отбора проб. Характер распределения ионов аммония указывает на постоянное загрязнение, что, вероятно, обусловлено длительным воздействием точечных или диффузных антропогенных источников, таких как сточные воды бытового и сельскохозяйственного происхождения.

³ Исследовательский проект «Интеллектуальный хранитель наследия «Плещеево озеро»
<https://www.miigaik.ru/student-research-and-development-center/ekspeditsiya-pleshchevo-ozero/>.

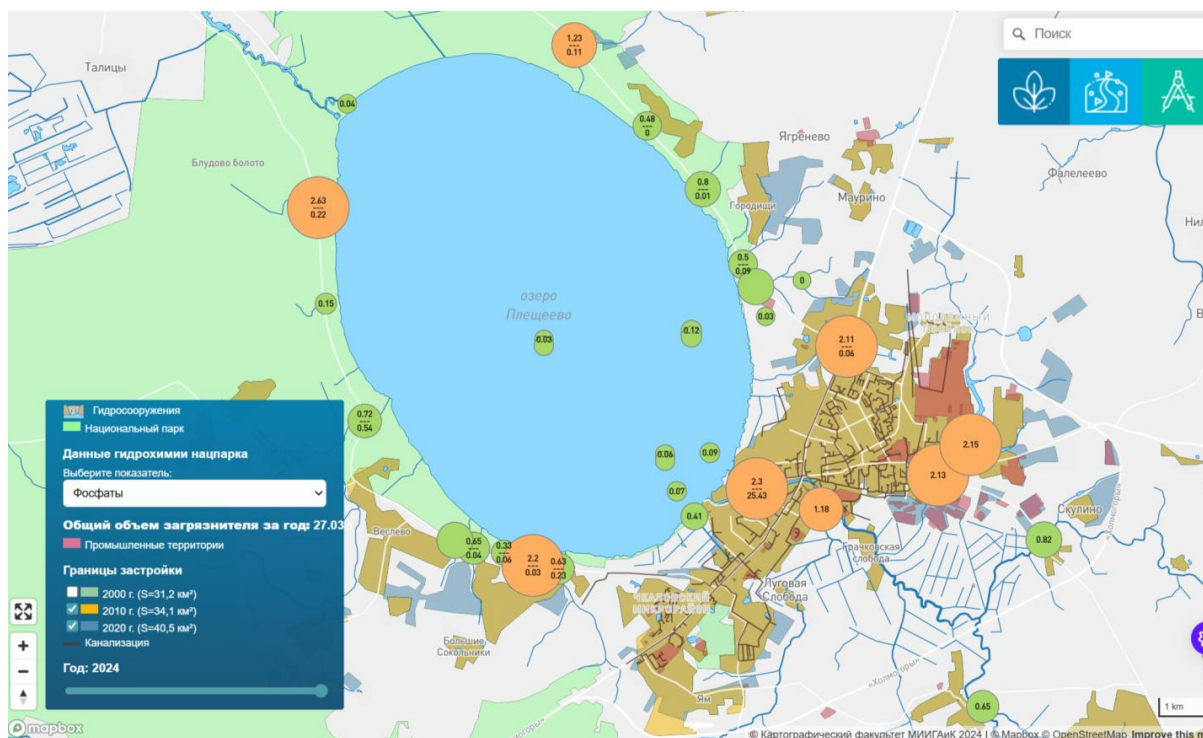


Fig. 3. Average annual excess of the maximum permissible concentration of phosphate ions according to the monitoring data of the National Park in 2024

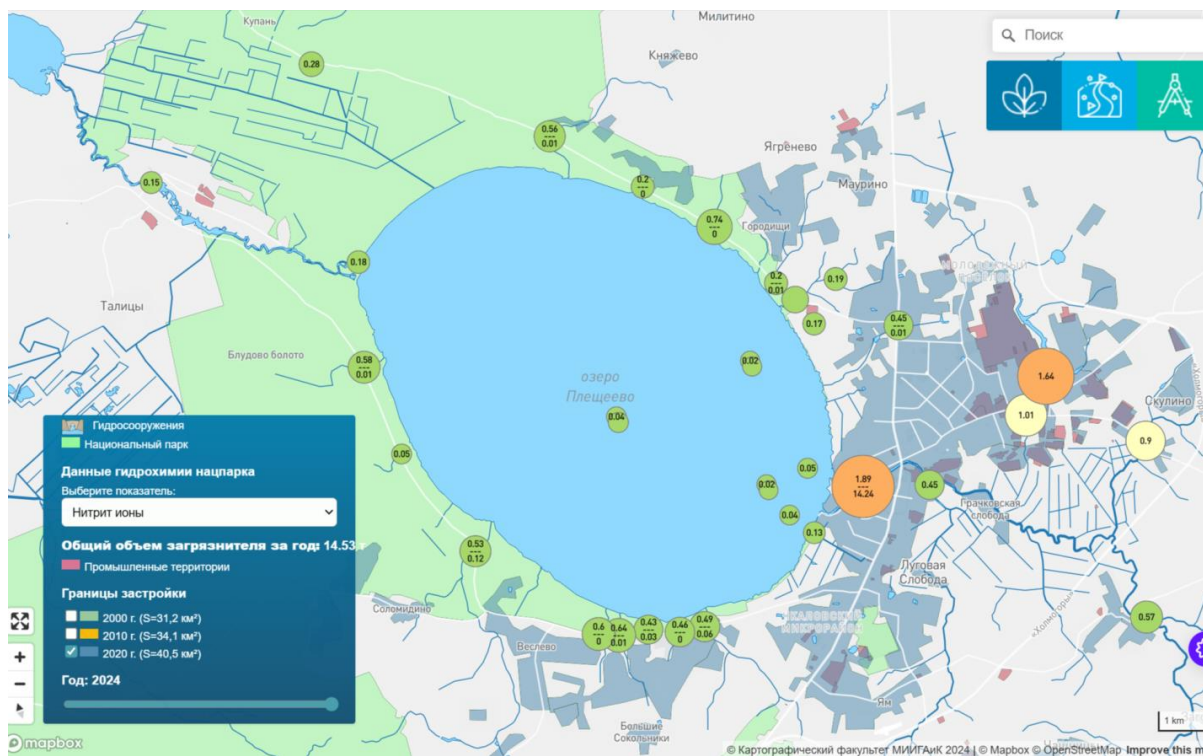


Fig 4. The average annual excess of the maximum permissible concentration of nitrite ions according to the monitoring data of the National Park in 2024

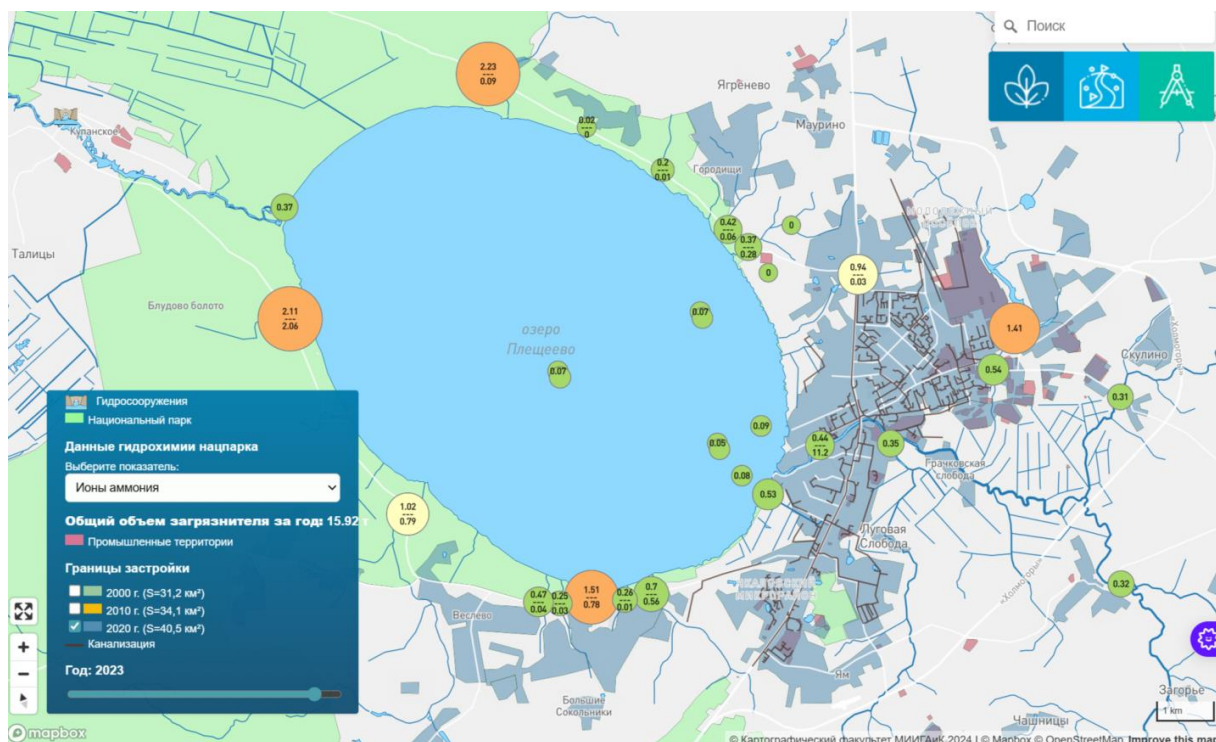


Рис. 5. Превышение ПДК ионов аммония в 2023 году

Fig. 5. Excess of the maximum permissible concentration of ammonium ions in 2023

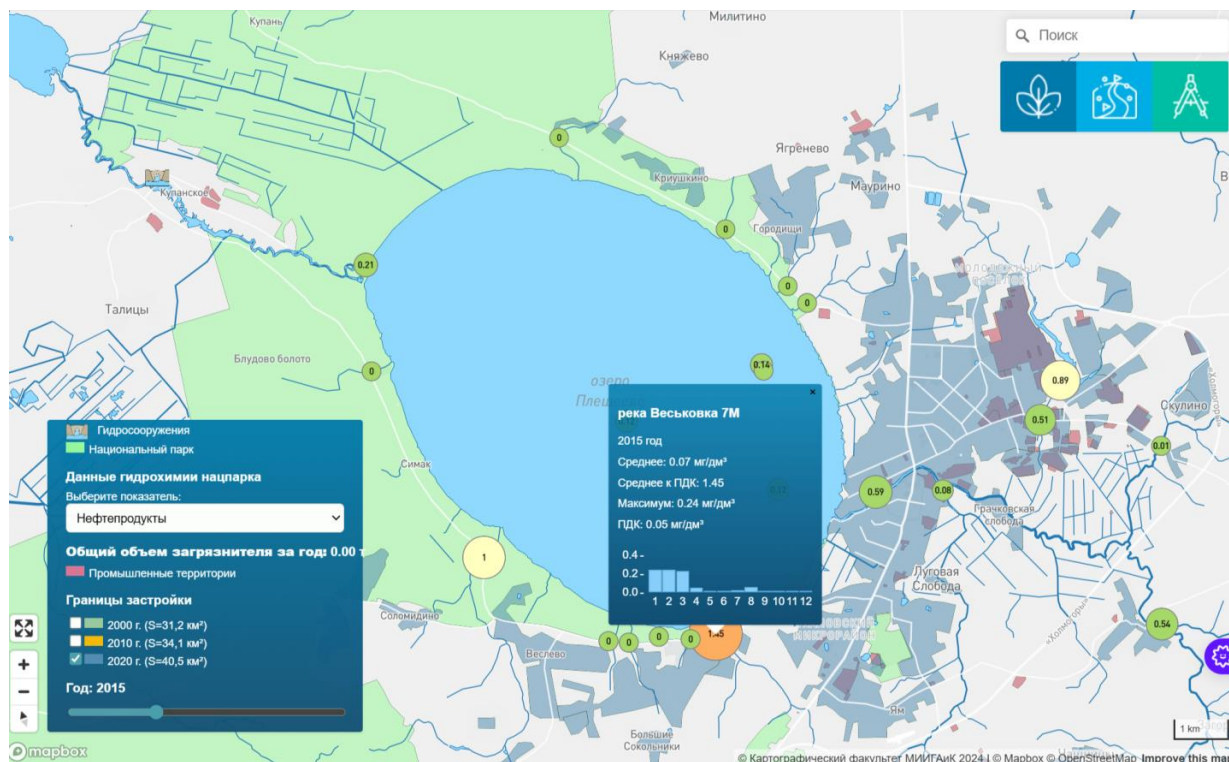


Рис. 6. Превышение ПДК нефтепродуктов на реке Веськовка в 2015 году

Fig. 6. Excess of the maximum permissible concentration of petroleum products on the Veskovka River in 2015

Превышения ПДК нефтепродуктов (рис. 6, 7) были зафиксированы в 2015 году на р. Веськовке (в 1,45 раз) и в 2017 году в устьевой части р. Ветлянки (в 2,46 раза). Основным

источником загрязнения, вероятно, является целенаправленный сброс сточных вод, содержащих нефтепродукты. Следует отметить, что превышения концентраций наблюдались преимущественно в осенне-зимний период (октябрь – март), т.е. до начала активной фазы половодья, что может дополнительно свидетельствовать о техногенном характере загрязнения в периоды низкой водности.

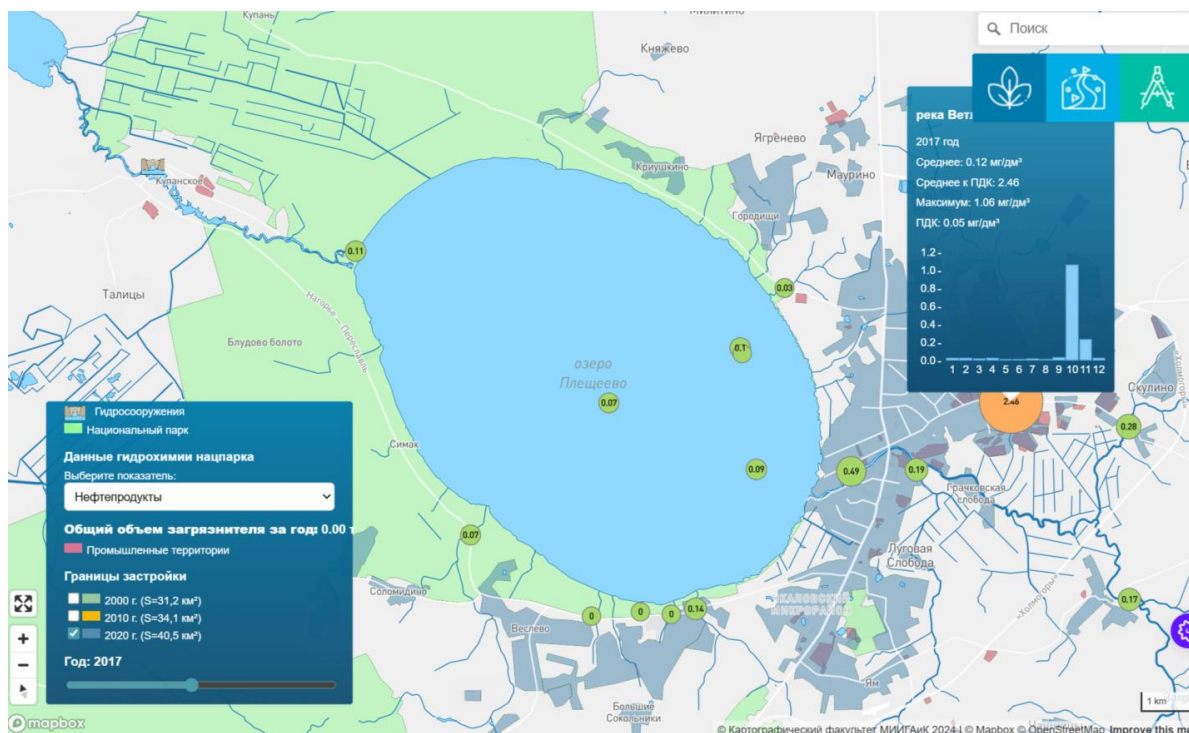


Рис. 7. Превышение ПДК нефтепродуктов на реке Ветлянка в 2017 году

Fig. 7. Excess of the maximum permissible concentration of petroleum products on the Vetlyanka Rive in 2017

Загрязнение воды ионами меди носит повсеместный характер (рис. 8). Так, по всем исследованным притокам зафиксированы превышения ПДК в среднем в 2-4 раза, а в отдельных случаях – в десятки и сотни раз. Наиболее экстремальное значение зарегистрировано в сентябре 2015 года на р.Куротень, где концентрация меди превысила установленный ПДК в 472 раза. Стабильно высокие фоновые значения наблюдаются в устье и вблизи дамбы р.Ветлянки, в устье р.Трубеж, а также в истоке р.Вёксы. В пробах, отобранных из озера, концентрации ионов меди несколько ниже, однако также превышают нормативы в 1,5 – 1,8 раза.

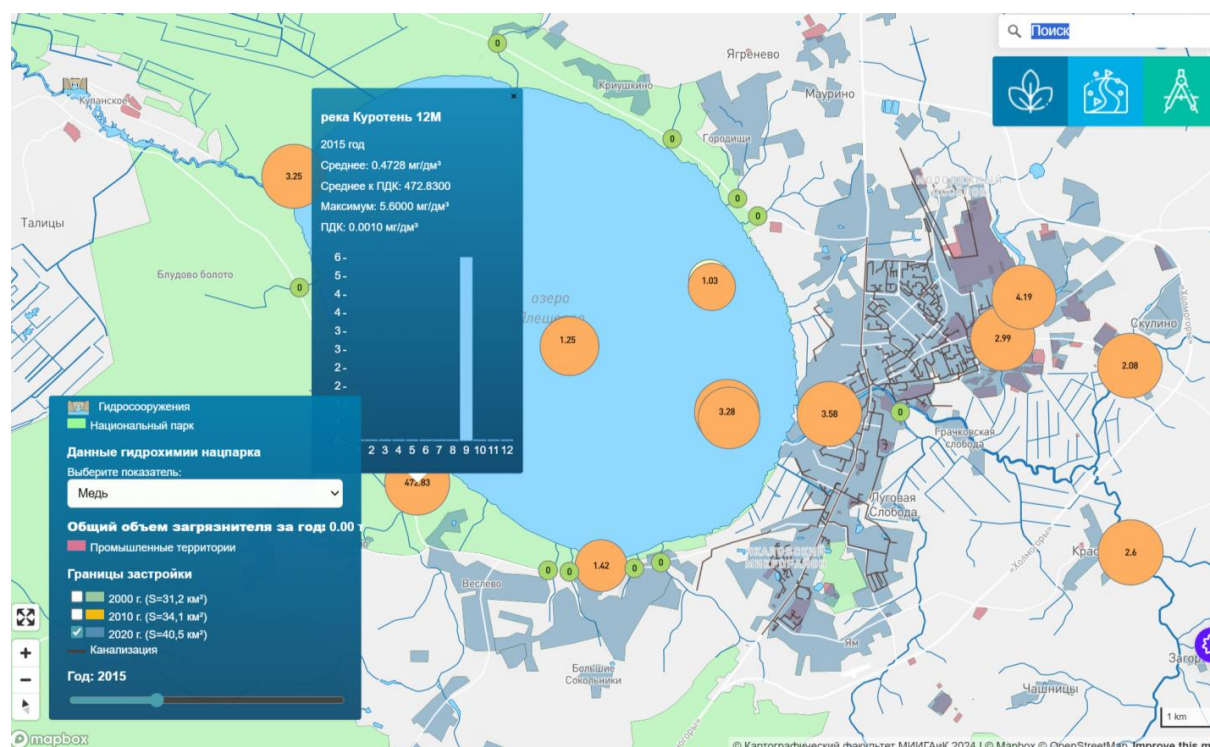


Рис. 8. Превышение ПДК ионов меди в 2015 г.

Fig. 8. Excess of the maximum permissible concentration of copper ions in 2015

Аналогичная ситуация наблюдается и в отношении ионов железа (рис. 9). В среднем по всем исследованным притокам концентрации железа превышали ПДК в 8-10 раз, а в отдельных случаях – до 68 раз (в частности, в 2017 году на р. Кухмарь). В водах озера превышения фиксировались до 2018 года включительно, достигая значения в 1,64 раза выше ПДК; в последующие года они не фиксировались, что может свидетельствовать о снижении уровня загрязнения и/или усилении эффекта разбавления.

Поскольку повышенное содержание меди и железа наблюдается практически во всех притоках, можно предположить, что это связано с питанием водоемов подземными стоками, дренирующими железо- и медь содержащие породы.

Так, по наблюдениям Национального парка, аномально повышенное содержание железа в пробах воды рек Язёвка (2017 год – 44,92 ПДК, 2021 – 25,5 ПДК, 2024 – 41,75 ПДК), Кухмарь (2017 год – 68,04 ПДК, 2021 – 2020 – 31,08 ПДК, 2021 – 32,2 ПДК) и ручья Гремяч (2019 год – 23,29 ПДК, 2022 год – 28, 92 ПДК) связаны с деятельностью бобров, которые строят плотины, в результате чего происходит обводнение прибрежных болотистых территорий с высоким содержанием гуминовых веществ в почве. В маломощных торфяниках восстановленное в минеральном слое железо может подтягиваться к верхнему аэрированному слою почвы, окисляться и осаждаться в нём.

Нельзя исключать и влияния антропогенного воздействия, обусловленного производственными и сельскохозяйственными сточными водами. Следует отметить, что железо, как один из макроэлементов, играет важную роль в питании водорослей, высших водных растений и других гидробионтов.

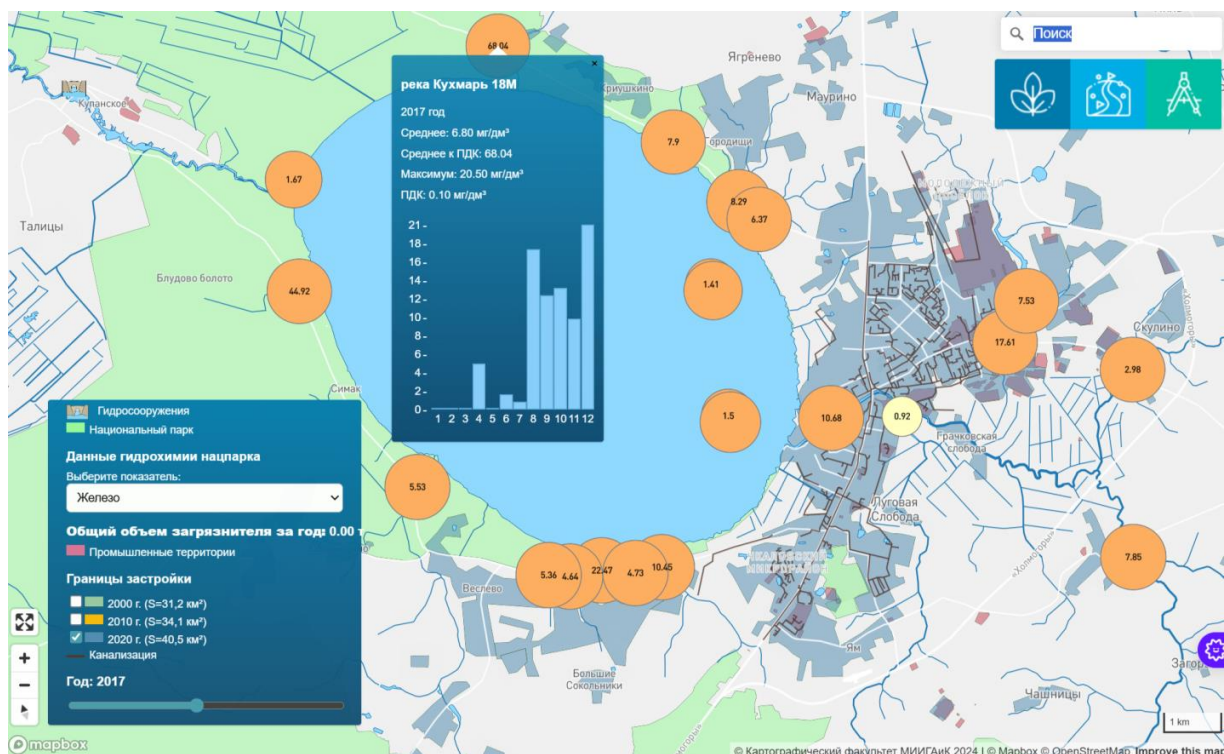


Рис. 9. Превышение ПДК ионов железа в 2017 г.

Fig. 9. Excess of the maximum permissible concentration of iron ions in 2017

3.2 Результаты полевых исследований

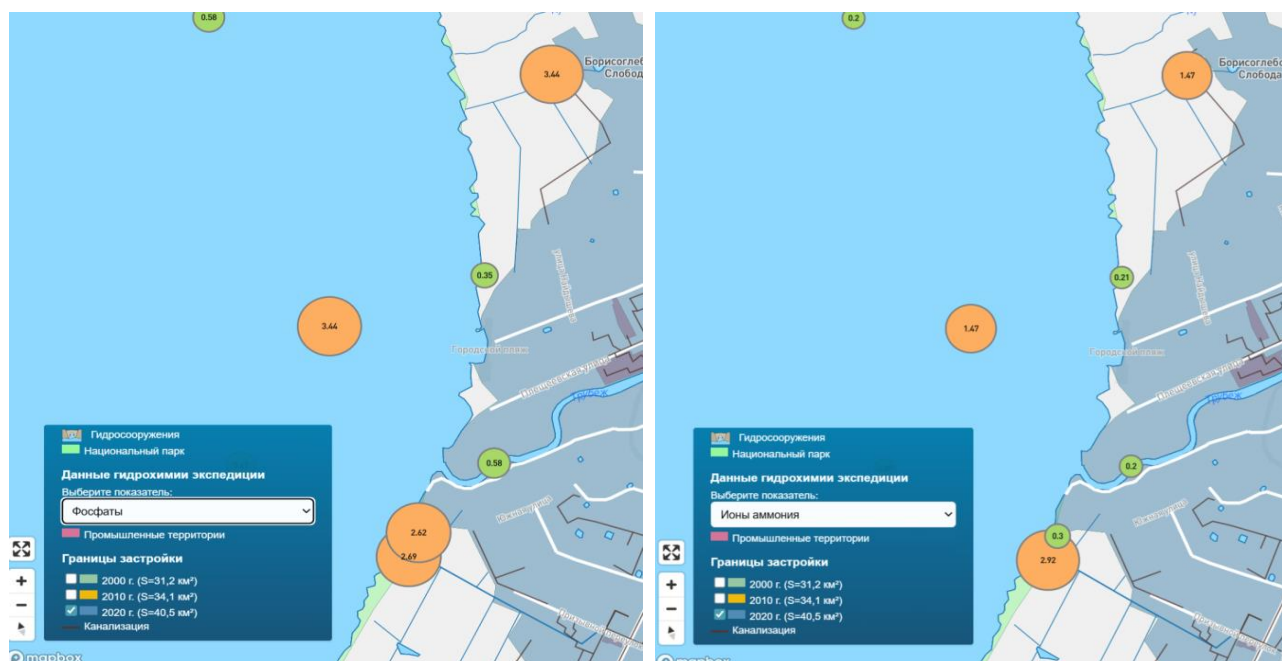


Рис. 10. Повышенное содержание фосфат-ионов (а) и ионов аммония (б) в пробах воды в ливневых канавах, июль 2024 году

Fig. 10. Increased content of phosphate ions (a) and ammonium ions (b) in water samples in storm ditches, July 2024

Результаты измерений вдоль водотока р. Ветлянка, начиная от истока в районе болота и до контрольной точки у плотины (Большая Брембола) показало повышенное содержание

всех биогенов, включая нитрит-ионы, в точках прохождения водотока вдоль городских очистных сооружений (рис. 11 а, b, с). Причиной такого уровня загрязнения является высокая антропогенная нагрузка на прилегающую территорию, включая поступление поверхностного стока, содержащего фосфорсодержащие соединения, в водоём, наличие локальных источников загрязнения, вероятно связанные с неэффективной работой очистных систем и поступлением недостаточно очищенных сточных вод в водотоки, а также сброс сточных вод в водотоки и озеро напрямую.

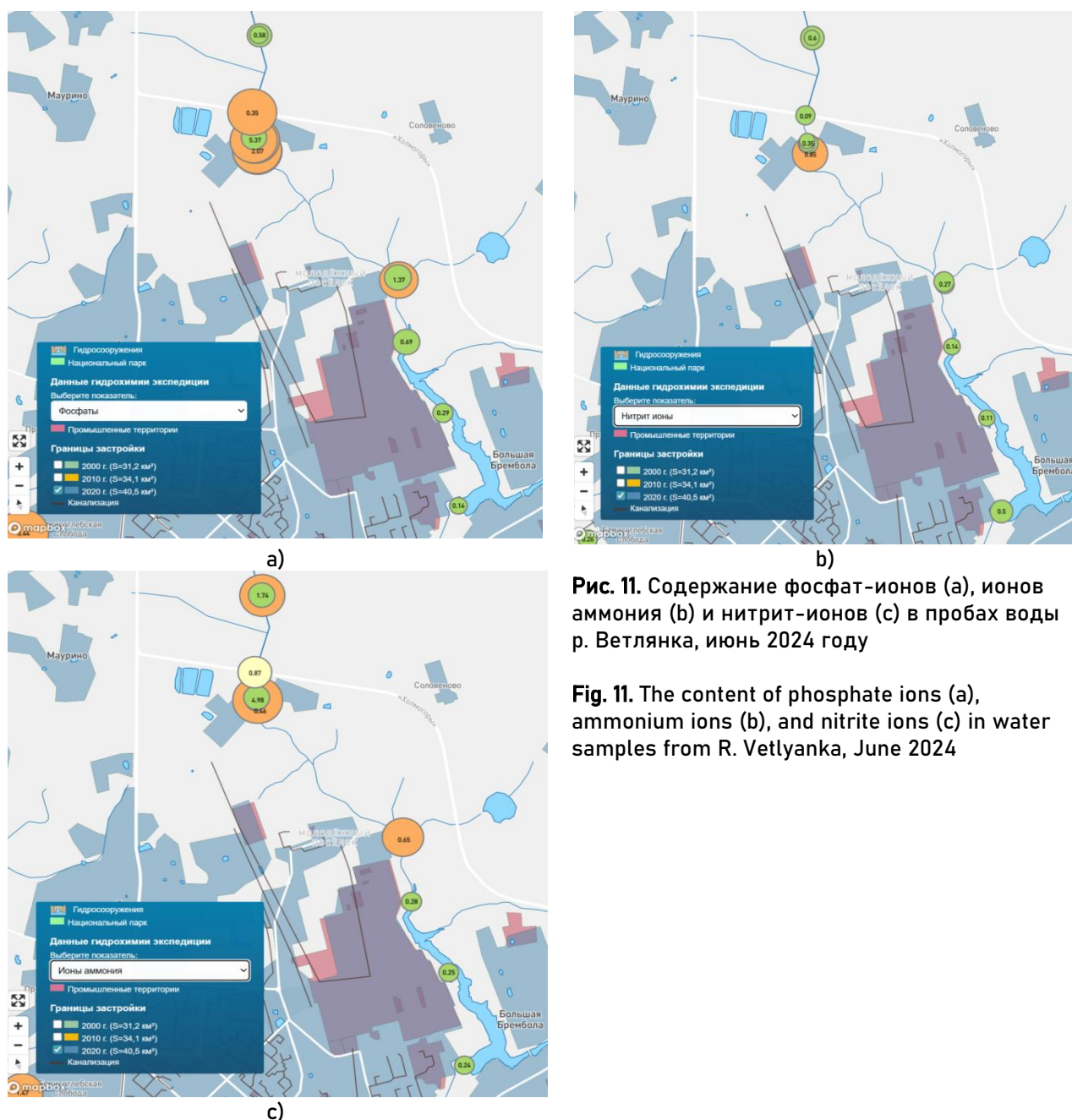


Рис. 11. Содержание фосфат-ионов (а), ионов аммония (b) и нитрит-ионов (с) в пробах воды р. Ветлянка, июнь 2024 году

Fig. 11. The content of phosphate ions (a), ammonium ions (b), and nitrite ions (c) in water samples from R. Vetlyanka, June 2024

3.3 Оценка выноса загрязняющих веществ за год

В ходе исследования проведена оценка интегрального годового стока загрязняющих веществ. Расчеты базировались на методике, предполагающей стабильность месячных

концентраций. Месячный массовый вынос для каждого загрязнителя определялся как произведение его средней концентрации на величину среднемесячного расхода воды. В случаях отсутствия данных о среднемесячном расходе использовалось значение среднегодового расхода. Суммирование месячных величин позволило получить итоговые значения годового стока, выраженные в тоннах в год. Результаты расчетов визуализированы в геоинформационной системе проекта⁴.

Наибольшие значения годового массового выноса загрязняющих веществ зарегистрированы в устьевом створе р. Трубезж, что обусловлено, в первую очередь, его доминирующей долей в суммарном поверхностном стоке в озеро Плещеево. В таблице 1 представлены сводные расчетные данные за период 2019-2024 гг., отражающие суммарный поступление биогенных элементов и нефтепродуктов в озеро Плещеево со всеми притоками, их вынос через р. Вёксу, а также разность этих показателей, характеризующую процессы аккумуляции.

Таблица 1. Оценка суммарного сброса биогенных загрязнителей и нефтепродуктов в озеро Плещеево за период 2019-2024 гг. (тонн в год).

Table 1. Assessment of the total discharge of biogenic pollutants and petroleum products into Lake Pleshcheyevo for the period 2019-2024.

	2019	2019 Разница «приток- исток», т	2020	2020 Разница «приток- исток», т	2021	2021 Разница «приток- исток», т	2022	2022 Разница «приток- исток», т	2023	2023 Разница «приток- исток», т	2024	2024 Разница «приток- исток», т
Фосфат-ионы (приток, т)	9	8	24	21	15	12	28	26	16	12	27	25
(исток, т)	1		3		3		2		4		2	
Нитрит-ионы (приток, т)	3	2	6	5	3	2	5	4	3	2	15	14
(исток, т)	1		1		1		1		1		1	
Нитрат-ионы (приток, т)	83	79	142	126	114	104	175	169	63	49	104	88
(исток, т)	4		16		10		6		14		16	
Ионы аммония (приток, т)	12	7	27	16	16	11	31	27	16	4	29	1
(исток, т)	5		11		5		4		12		28	
Нефтепродукты (приток, т)	0,9	0,3	0,6	0,1	1,0	0,5	0,9	0,3	1,1	0,3	0,2	-0,2
(исток, т)	0,6		0,5		0,5		0,6		0,8		0,4	

Необходимо подчеркнуть, что приведенные в таблице значения являются оценочными и не учитывают изъятие воды городским водозабором. Тем не менее, они выявляют устойчивую тенденцию: 1) объем выноса биогенных элементов (соединений азота и фосфора) достаточно велик; 2) значительная часть биогенных элементов, поступающих с водосборной площади, аккумулируется в экосистеме озера, что может играть определяющую роль в ухудшении экологического состояния озера Плещеево. Для установления дальнейшей судьбы этих загрязняющих веществ, изучения процессов их трансформации и идентификации зон и форм накопления (в толще воды или донных отложениях) требуются целенаправленные дополнительные исследования. Приоритетной

⁴ Интерактивная карта «Интеллектуальный хранитель наследия «Плещеево озеро» в ГИС <https://kartfak.ru/development/pleshcheyevo/#11.12/56.7379/38.8649/19.2/3>

задачей в данном направлении является комплексный анализ донных отложений лимнической системы озера и русловых отложений р. Вёксы.

4 Выводы

Проведенный анализ архивных материалов Национального парка «Плещеево озеро» и данных натурных наблюдений позволяет дать обобщенную характеристику современного гидрохимического состояния акватории озера Плещеево и его приточных систем. Установлены систематические превышения предельно допустимых концентраций (ПДК) для ряда показателей, включая ионы аммония, нитрит-ионы, фосфат-ионы, соединения меди и железа.

Зоны наиболее интенсивного загрязнения приурочены к устьевым участкам рек Трубеж и Ветлянка, а также к водотокам юго-восточной части водосборного бассейна, включая дренажно-мелиоративные каналы. В ряде пунктов наблюдения (р. Кухмарь, руч. Язёвка, Галев Поток и др.) зафиксированы аномально высокие концентрации загрязняющих веществ, что свидетельствует о наличии локальных источников поступления, в том числе неучтенных сточных вод. В целом, для водных объектов территории характерна устойчивая пространственно-временная неоднородность в распределении загрязняющих веществ.

В рамках действующей системы мониторинга сохраняется ряд нерешенных вопросов. В частности, недостаточно оценивается вклад диффузного (рассеянного) загрязнения, особенно в период весеннего снеготаяния, когда формируется значительный объем поверхностного стока с урбанизированных и агротехногенных территорий. Существующая наблюдательная сеть не обладает достаточной репрезентативностью, так как не охватывает все участки с потенциально высокой антропогенной нагрузкой, такие как временные водотоки и малые притоки, что исключает их из программы регулярного контроля. Идентификация диффузных источников загрязнения, оценка их влияния на экологическое состояние озера и создание эффективных водоохраных программ требуют разработки специальных проектов мониторинга с учетом гидрометеорологического режима и хозяйственной деятельности на территории водосборных бассейнов притоков озера. Мониторингу малых водосборов при этом должно быть уделено особое внимание, поскольку они являются наилучшими индикаторами антропогенного воздействия [4]. Поскольку организация геоэкологического мониторинга по любому из видов неконтролируемой антропогенной нагрузки является весьма сложной задачей, повысить эффективность оценки диффузного загрязнения позволит применение сочетания различных методов и подходов [5], таких как:

- организация комплекса наземных наблюдений и экспедиционных работ на ключевых участках водосборов боковых притоков и их устьях в периоды паводков и межени;
- сочетание методов дистанционного зондирования Земли, включая аэрофотосъемку с использованием БВС, и наземных наблюдений;

- совместное использование дистанционной, картографической информации, ГИС-технологий и соответствующих экспертных оценок (в условиях дефицита наземных данных).

Выполненная оценка баланса поступления и оттока загрязняющих веществ показала, что значительная часть биогенных элементов (фосфатов, нитритов, нитратов и аммония), поступающих в озеро с водами притоков, не выносится через р. Вёксу и аккумулируется в экосистеме водоема. Однако на текущем этапе исследований отсутствуют данные, позволяющие идентифицировать формы и зоны их накопления в донных отложениях или водной толще. Важной составной частью изучения данного вопроса является применение системного геоэкологического подхода, который позволяет выявить причинно-следственные взаимосвязи между водосбором, водными массами, донными осадками и биотой [6].

Для формирования целостной картины гидрохимического режима озера Плещеево необходима дальнейшая детализация исследований с расширением их программной и методической базы.

Благодарности

Данное исследование выполнено в рамках реализации проекта «Интеллектуальный хранитель наследия «Плещеево озеро» при финансовой поддержке Всероссийской общественной организации «Русское географическое общество» <https://rgo.ru/>. Авторы выражают благодарность декану картографического факультета Г.И.Загребину и магистрантке Е.А. Борисовой (МИИГАиК) за создание геоинформационной системы для анализа и визуализации данных мониторинга и полевых исследований озера Плещеево.

Библиография

1. Экосистема озера Плещеево. – Л.: Наука, 1989. – 264 с. ISBN 5-02-026582-9
2. Чугреев, М. К. Загрязнение Плещеева озера - потенциальная угроза охотничьим ресурсам и экосистеме водоёма / М. К. Чугреев, И. С. Ткачева, В. С. Воронцова // Инновационные исследования: проблемы внедрения результатов и тенденции развития: Сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции в 2 частях, Саратов, 27 декабря 2022 года. Том Часть 2. – Sterlitamak: Общество с ограниченной ответственностью "Агентство международных исследований", 2022. – С. 10-15. – EDN LELHGB.
3. Авраменко, М. В. Загрязнение вод как фактор, влияющий на качество жизни населения / М. В. Авраменко, Е. О. Смирнова // Актуальные проблемы отраслевой юридической науки: Сборник научных трудов по итогам XII Международной научно-практической конференции и III Международной научно-практической конференции, Владимир, 29 ноября – 01 декабря 2023 года. – Владимир: ООО ТСК "Копия-Сервис", 2023. – С. 172-176. – EDN PDCHWM.

4. Полянин, В. О. Мониторинг диффузного загрязнения / В. О. Полянин // Диффузное загрязнение водных объектов: проблемы и решения / Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт водных проблем РАН. – Москва: Российская академия наук, 2020. – С. 126-148. – EDN VVLLGP.

5. Критерии оценки экологического состояния водосборов малых рек и выноса биогенных веществ в Иваньковское водохранилище / Н.В. Кирпичникова, В.О. Полянин, И.Е. Курбатова, Ю.Д. Черненко // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2021. – № 6. – С. 81-105. – DOI 10.35567/1999-4508-2021-6-5. – EDN CCMNOZ.

6. Географические методы изучения экосистем внутренних водоемов. 300 лет Российской академии наук / С. А. Поддубный, В. В. Законнов, А. В. Кутузов [и др.]. – Ярославль: Филигрань, 2024. – 206 с. – EDN MVWTDQ.

The Hydrochemical Regime of Lake Pleshcheyevo and Its Tributaries

Marina I. Andreeva ¹, Artem A. Kochnev ², Galina D. Kuznetsova ³ *

¹ Pleshcheyevo Lake National Park, Pereslavl-Zalessky, Russia

² Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

³ Moscow State University of Geodesy and Cartography (MIIGAik), Moscow, Russia

*srdc@miigaik.ru

Keywords Pleshcheyevo lake, hydrochemical monitoring, hydrochemical regime, anthropogenic pollution, diffuse pollution, biogenic elements, geoinformation system, GIS

Abstract The article presents an analysis of the current hydrochemical state of Pleshcheyev Lake and its tributaries, based on archival data from the National Park and the results of field research conducted as part of the project "Intellectual Keeper of Pleshcheyev Lake". Special attention is given to the spatial and temporal dynamics of priority pollutants, such as phosphates, nitrites, ammonium ions, iron, copper, and petroleum products. An assessment of the excess of maximum permissible concentrations is carried out, along with calculations of the annual volumes of pollutants and their visualization in a geoinformation system. The findings indicate persistent pollution in several watercourses and in the southeastern part of the lake, likely originating from anthropogenic sources.

Acknowledgements

The analysis of archival data and publication of the article was carried out as part of the project "Intellectual Guardian of the Heritage of Pleshcheyevo Lake", with financial support from the All-Russian Public Organization "Russian Geographical Society" <https://rgo.ru/>.

We would like to express our gratitude to the Dean of the Cartography Faculty, Gleb I. Zagrebin, and master student Ekaterina A. Borisova (MIIGAik), for creating a geo-information system for analyzing and visualizing monitoring data and field research on Lake Pleshcheyevo.