

Пространственно-временная оценка качества поверхностной воды в муниципальных водоемах г. Тюмени

Ю. В. Петров

Тюменский государственный университет,
Российская Федерация, 625002, Тюмень, ул. Осипенко, 2

Для цитирования: Петров, Ю. В. (2023). Пространственно-временная оценка качества поверхностной воды в муниципальных водоемах г. Тюмени. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле*, 68 (1), 103–121. <https://doi.org/10.21638/spbu07.2023.106>

Целью исследования является пространственно-временная оценка качества поверхностной воды для водоемов муниципального значения г. Тюмени в сложившихся условиях ведения городского хозяйства. По результатам оценки качества воды 16 муниципальных прудов и обводненных карьеров были разделены на группы. Отбор проб воды для проведения исследования выполнялся в период с 2018 по 2021 г., в весенние, летние и осенние даты, — всего 12 дат наблюдения. Анализируемые показатели: биохимическое потребление кислорода (БПК₅), химическое потребление кислорода (ХПК), сухой остаток, Fe_{общ.}, Zn, Na, хлорид-анионы. Результаты исследования: все муниципальные водоемы г. Тюмени за время исследования имели неоднократное превышение установленных значений предельно допустимых концентраций для водных объектов рыбохозяйственного значения по трем и более показателям. Большинство муниципальных объектов отнесены в группы высокоопасных водоемов, в них фиксировалось превышение значений предельно допустимых концентраций в воде по нескольким показателям, включая тяжелый металл Zn. К группе водоемов фоновой концентрации загрязнителей отнесен обводненный карьер «Ивовый», в котором превышения зафиксированы по БПК₅, ХПК и Fe_{общ.}, что характерно для тюменских природных условий. Обводненный карьер «Чистый» и пруд «На Дамбовской» отнесены к группе чрезвычайно опасных водоемов, для них характерно превышение значений ПДК в воде по всем показателям, за исключением сухого остатка. Обводненный карьер «Майский» отнесен к группе чрезвычайно опасных деградированных водоемов, так как за анализируемый временной период в нем было отмечено превышение значений ПДК в воде по всем показателям. На примере донных отложений пруда «Южный» показан частный срез соотношения содержания загрязнителей в двух точках отбора в границах муниципального водоема. По итогам исследования даны рекомендации для городских властей по проведению дифференцированного подхода к организации водопользования для водоемов из разных групп.

Ключевые слова: муниципальные водоемы, пруды, обводненные карьеры, тяжелые металлы, загрязнение, Тюмень.

1. Введение

На территории г. Тюмени зарегистрированы 17 водных объектов (Перечень водных объектов..., 2022), находящихся в муниципальной собственности городского округа (рис. 1). Из них 9 водоемов представляют собой обводненные карьеры, 8 — пруды. Данные водоемы выступают элементами сложившейся зелено-голубой

© Санкт-Петербургский государственный университет, 2023



Рис. 1. Водные объекты, находящиеся в муниципальной собственности городского округа г. Тюмень. Составлено по: (Геопортал..., 2022)

инфраструктуры (Петрашень и др., 2018), формирование которой во многом стало следствием стремительного роста людности города в XX и XXI вв. (Добрякова и Добряков, 2020; Преображенский, 2020).

Основным предназначением тюменских муниципальных водных объектов является обслуживание рекреационных запросов горожан¹, хотя во всех прудах и обводненных карьерах запрещено купание вследствие низкого качества поверхностных вод. Возникает парадоксальная ситуация: застройщики стремятся интегрировать водные объекты в состав жилых комплексов, антропогенная нагрузка на прилегающие урочища возрастает, а использовать купленный водоем по прямому назначению запрещено. Все это существенно снижает экономический потенциал

¹ ГОСТ 17.1.5.02-80. Охрана природы. Гидросфера. Гигиенические требования к зонам рекреации водных объектов. [online] Доступно на: <https://docs.cntd.ru/document/1200008296> [Дата доступа 01.04.2022].

водных объектов, использование их экологических функций, таких, например, как удержание питательных веществ, улавливание осадков или связывание углерода (Cereghino et al., 2014; Becerra-Jurado et al., 2012; Downing et al., 2008).

Как следствие, жители города активно и демонстративно используют водоемы для купания и рыбной ловли, устраивая пляжи прямо под ограничивающими знаками (Ларина и др., 2017; 2019). С одной стороны, это приводит к росту заболеваемости, а с другой — обводненный карьер или пруд начинают ассоциироваться у жителей с некультурным городским пространством (Келль, 2012). Очевидно, что требуется проведение восстановительных мероприятий для муниципальных водоемов, которые могут быть разработаны в силу специфики происхождения и местоположения каждого объекта индивидуально, с учетом «понимания факторов и процессов, регулирующих состав, структуру и динамику озерных сообществ» (Ахмедова и Расулова, 2009).

В рамках муниципального экологического надзора администрацией г. Тюмени проводится исследование гидрохимического состава 16 городских водоемов с 2018 г. (пруд «Лесной» отдан в аренду, поэтому учитывается в рамках отчетной документации водопользователя). Полученные в лабораториях результаты не позволяют выявить однонаправленные для всех объектов тренды по качеству поверхностной воды. Соответственно, для организации городского водопользования необходима группировка и разработка частных программ по организации восстановительных мероприятий по каждому водоему. Очевидно, что универсального и оперативного для всех городских водоемов решения нет, что существенно ограничивает целеполагание в органах местного самоуправления, а значит, ограничивает возможности долгосрочного планирования и муниципального программирования для финансирования комплексного развития системы городских водоемов.

Целью нашего исследования является пространственно-временная оценка качества поверхностной воды для водоемов местного значения г. Тюмени в сложившихся условиях ведения городского хозяйства. Соответствующие задачи: систематизация сведений по гидрохимическому составу городских водоемов и выявление пространственно-временных закономерностей по анализируемым показателям.

2. Материалы и методы

Материалы исследования: протоколы количественного химического анализа природной поверхностной воды (протоколы: ЗапСибЭкоЦентр, 2018); информационные отчеты о результатах качества поверхностной воды муниципальных водных объектов по итогам исследований 2019–2021 гг. (итоговые отчеты: Региональный аналитический центр, 2019; 2020; протоколы: Региональный аналитический центр, 2021; протоколы: Росводоканал, 2021)². Периоды отбора проб: май, июль — август, август — октябрь. Информационные отчеты подготовлены в рамках ежегод-

² Материалы, на основе которых было выполнено исследование, размещены после статьи в разделе «Источники». Перечисленные документы приводятся без указания электронного адреса, так как результаты отбора проб воды в городских прудах в официальных источниках не публикуются. В период купального сезона на сайте администрации размещается информация для граждан о состоянии водных объектов. Роспотребнадзор по результатам социально-гигиенического мониторинга на своем сайте также публикует информацию, основанную на полученных сезонных измерениях.

ных муниципальных контрактов, заказчиком работ выступал МКУ «ЛесПаркХоз». На примере одного водоема — пруда «Южный» — в 2021 г. выполнено лабораторное обследование донных отложений, подготовлены протоколы испытаний (протоколы: Региональный аналитический центр, 2021)³, заказчиком работ выступал департамент городского хозяйства администрации г. Тюмени.

Перечень муниципальных водоемов определен в составе реестра водных объектов, принадлежащих на праве собственности муниципальному образованию городской округ Тюмень⁴. Контуры водоемов сформированы путем оцифровки материалов дистанционного зондирования Земли в программном комплексе ArcGIS 10.2.1 for Desktop. Космоснимки встроены в модуль ArcGIS-online; в составе мозаики учтены материалы следующих сенсоров: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN и GIS User Community. Для сопоставления сведений о местоположении объектов пространственные контуры были соотнесены с земельными участками, представленными в составе публичной кадастровой карты (Публичная кадастровая карта, 2022). Сопоставление местоположения объектов с организацией природопользования на муниципальной территории проводилось путем сверки данных с серией тематических карт геопортала Тюменской области (Геопортал..., 2022).

В работе использованы картографический и исторический методы исследования. Разделение водоемов на группы выполнено на основе анализа превышения значений предельно допустимых концентраций (ПДК) водных объектов рыбохозяйственного значения по рассматриваемым показателям (табл. 1). Схожие подходы к проведению работ применяли отечественные и зарубежные исследователи (Даувальтер и др., 2021; Черных и Алтунин, 2015; Moiseenko, 2015; Skjelkvale et al., 2001; Verta et al., 1989; Lottig and Carpenter, 2012; Remor et al., 2018). Оценена динамика по следующим показателям, мг/дм³: биохимическое потребление кислорода (БПК₅), химическое потребление кислорода (ХПК), сухой остаток (минерализация), концентрация хлорид-аниона, Fe_{общ}, Na, Zn.

Таблица 1. Группировка муниципальных водоемов по результатам многолетнего мониторинга качества поверхностных вод в 2018–2021 гг.

№ группы	Наименование групп водоемов	Характеристика
1	Условно-безопасные	По всем показателям за весь период наблюдений нет превышений ПДК
2	Фоновой концентрации загрязнителей	Превышение ПДК по БПК ₅ , ХПК, Fe _{общ}
3	Высокоопасные	Превышение ПДК по БПК ₅ , ХПК, Fe _{общ} , Zn
4	Чрезвычайно опасные	Превышение ПДК по БПК ₅ , ХПК, Fe _{общ} , Na, Zn, хлорид-аниону
5	Чрезвычайно опасные деградированные	По всем показателям имеются превышения ПДК

³ См. предыдущее пояснение.

⁴ Приложение 2 к приказу от 07.06.2021 № 32-34-000268/21. [online] Доступно на: <https://www.tyumen-city.ru/win/download/34408> [Дата доступа 17.05.2022].

Таблица 2. Даты отбора проб поверхностных вод по годам

2018	2019	2020	2021
17.05	16–17.05	27.05	18–19.05
04.07	14.08	23.07	18–19.07
08.09	01.10	01.10	30.08

Отбор проб поверхностных вод был выполнен согласно ГОСТ 31861-2012 «Вода. Общие требования к отбору проб»⁵ и ГОСТ 17.1.5.05-85 «Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков»⁶ с применением телескопического пробоотборника из поверхностного слоя, с глубины около 0.3 м. Полученные значения соотносились со значениями предельно допустимых концентраций. Так как за время проведения экологического мониторинга произошли изменения нормативных правовых актов, то все полученные результаты за период были приведены к действующим редакциям.

В табл. 2 указаны все даты отбора проб на муниципальных водоемах. Каждый год их состояние фиксировалось в весенний, летний и осенний периоды, что позволило отразить половодье и межень. В 2021 г. дата последнего отбора была смещена из-за изменений порядка организации работ во время новой коронавирусной инфекции.

Отбор проб донных отложений был выполнен согласно ГОСТ 17.1.5.01-80 «Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность»⁷, глубина отбора составляла 5–20 см, дата отбора — 02.06.2021.

3. Результаты и обсуждение

В настоящее время администрацией г. Тюмени три раза в год проводится оценка степени загрязнения водоемов на основе значений по БПК₅, пороги между классами заданы в определенных интервалах (табл. 3). Полученные результаты позволяют каждый раз дифференцировать муниципальные водоемы по окисляемости как характеристике, отражающей общее содержание в воде химических веществ, преимущественно органических. В отдельные периоды определенных лет выделяются объекты, которые относятся к классу чистых. Например, в сентябре 2018 г. в пруду «Южный» значение по показателю биохимического потребления кислорода составило 0.93 мгО/дм³ (погрешность 0.13), что позволило исполнителям по муниципальному контракту отнести его к классу очень чистых водоемов (наилучшее значение в 2018 г. по данному показателю). Но при выборе за весь период наихудшего значения (табл. 3) у данного водоема были зафиксированы значения, которые позволяют относить водоем к грязным вследствие четырехкратного превышения показателя 2018 г. в июле 2021 г. — 4.27 мгО/дм³. Таким образом, даже в рамках

⁵ Доступно на: <https://docs.cntd.ru/document/1200097520> (дата обращения: 01.04.2022).

⁶ Доступно на: <https://docs.cntd.ru/document/1200008297> (дата обращения: 01.04.2022).

⁷ Доступно на: <https://docs.cntd.ru/document/1200012787> (дата обращения: 01.04.2022).

одного показателя на ограниченном временном отрезке отмечается высокая дифференциация значений, что подчеркивает необходимость систематизации и учета сведений в существенном временном диапазоне при диверсифицированном подходе рассматриваемых загрязнителей.

Таблица 3. Степень загрязнения водоемов в зависимости от величины БПК₅

БПК ₅ , мгО ₂ /дм ³	Степень загрязнения (классы водоемов)	Водоемы
0.5–1.0	Очень чистые	–
1.1–1.9	Чистые	–
2.0–2.9	Умеренно загрязненные	–
3.0–3.9	Загрязненные	Ч
4.0–10.0	Грязные	У, Б, Ш, СК, П, С, Мс, Ю, В, М, Н, И, Св
10.0	Очень грязные	Ст, К

Примечание. Б — пруд «Березовый»; В — пруд «Войновский»; И — обводненный карьер «Ивовый»; К — обводненный карьер «Ключевской»; М — обводненный карьер «Майский»; Мс — пруд «Мысовской»; Н — пруд «На Дамбовской»; П — пруд «Плехановский»; С — обводненный карьер «Садовый»; Св — обводненный карьер «Северный»; СК — обводненный карьер «Серебряные ключи»; Ст — пруд «Студенческий»; У — обводненный карьер «Утиный»; Ч — обводненный карьер «Чистый»; Ш — обводненный карьер «Школьный»; Ю — пруд «Южный».

Полученные результаты комплексной группировки муниципальных водоемов приведены в табл. 4. Во всех 16 муниципальных прудах и обводненных карьерах за время наблюдений зафиксировано неоднократное превышение предельно допустимых концентраций по нескольким показателям, поэтому ни один из объектов не попал в группу условно-безопасных водоемов. Наихудшая ситуация с качеством воды зафиксирована в обводненном карьере «Майский», в котором было превышение по всем рассматриваемым показателям. Следует отметить, что здесь не было зафиксировано превышение в моменте по всем показателям, оно было отмечено хотя бы раз за весь период наблюдений (табл. 5). Наиболее представленной оказалась группа высокоопасных водоемов. В нее вошли 12 муниципальных объектов, так как для них было характерно превышение по БПК₅, ХПК, Fe_{общ} и Zn. Наименее представленной оказалась группа водоемов фоновой концентрации загрязнителей — обводненный карьер «Ивовый».

Результаты схожих исследований в других регионах РФ, в Латинской Америке и Евразии показали аналогичную дифференциацию муниципальных водоемов с поправкой на особенности географической среды. В практической части исследований авторы рекомендовали ориентироваться на управление «непосредственно объектами природной среды» (Родионов и др., 2019; Wijava et al., 2013), что существенно увеличивает эффективность использования затрачиваемых муниципальных ресурсов (Fidelis and Rodrigues, 2019).

В работе (Ratie et al., 2019) отмечена закономерность приуроченности Fe (III) к поверхности берега реки. И так как металлы, связанные с оксигидроксидами Fe и органическим веществом, аккумулируются на береговой поверхности, то окси-

Таблица 4. Группы муниципальных водоемов г. Тюмени по качеству поверхностной воды (по результатам экологического мониторинга 2018–2021 гг.)

№ группы	Наименование водоема	Признаки отнесения
1	–	Во всех водоемах было зафиксировано превышение установленных ПДК
2	Обводненный карьер «Ивовый»	Превышение ПДК по БПК ₅ , ХПК, Fe _{общ}
3	Обводненный карьер «Северный», обводненный карьер «Утиный», пруд «Плехановский», пруд «Южный», обводненный карьер «Школьный», обводненный карьер «Ключевской», пруд «Мысовской», пруд «Войновский», пруд «Березовый», обводненный карьер «Серебряные ключи», пруд «Студенческий», обводненный карьер «Садовый»	Превышение ПДК по БПК ₅ , ХПК, Fe _{общ} , Zn
4	Обводненный карьер «Чистый», пруд «На Дамбовской»	Превышение ПДК по БПК ₅ , ХПК, Fe _{общ} , Zn, Na, хлорид-аниону
5	Обводненный карьер «Майский»	Превышение ПДК по всем рассматриваемым показателям

гидроксиды Fe выступают сезонными поглотителями металлов. Данная закономерность может быть использована для объяснения повышенной концентрации исследуемых загрязнителей в водоемах четвертой группы, расположенных в пойме р. Туры. Выявленная авторами исследования на примере Джамгаровского пруда Москвы (Роева и др., 2007) активизация процессов десорбции тяжелых металлов из донных отложений также фиксируется в водоемах Тюмени, что целесообразно закладывать при оценках результатов городского экомониторинга. В отличие от речных систем, обеспечивающих за счет проточности процесс очищения (Джамалов и др., 2021), пруды и обводненные карьеры характеризуются низким потенциалом самоочищения. Существующие механизмы очистки прудов основаны на проведении комплекса мероприятий, эффект от внедрения которых возникает со временем (Робертус и др., 2021).

Дифференциация авторами на семь групп водоемов в Мурманске (Даувальтер и др., 2021; Vazova, 2017; Dauvalter, 2020), на восемь групп в Москве (Власов и др., 2019) была проведена с учетом выявления первоисточников. Корректность выполненной дифференциации косвенно подтверждается исследованиями в соседней Финляндии (Verta et al., 1989). Влияние автотранспорта, который и для Тюмени является преобладающим источником загрязнения, рассмотрено исследователями в Норвегии (Andersson and Eggen, 2015), Бразилии (Friese et al., 2010).

С учетом выполненной группировки водоемов г. Тюмени целесообразно рассмотреть каждую из групп в отдельности для выработки прикладных задач.

В пятую группу включены чрезвычайно опасные деградированные водоемы. Отличительной характеристикой данной группы является наличие превышений значения ПДК по всем рассматриваемым показателям. По сравнению с другими водоемами только у объекта данной группы было зафиксировано превышение ПДК в воде по сухому остатку (или минерализация вод). Пороговое значение —

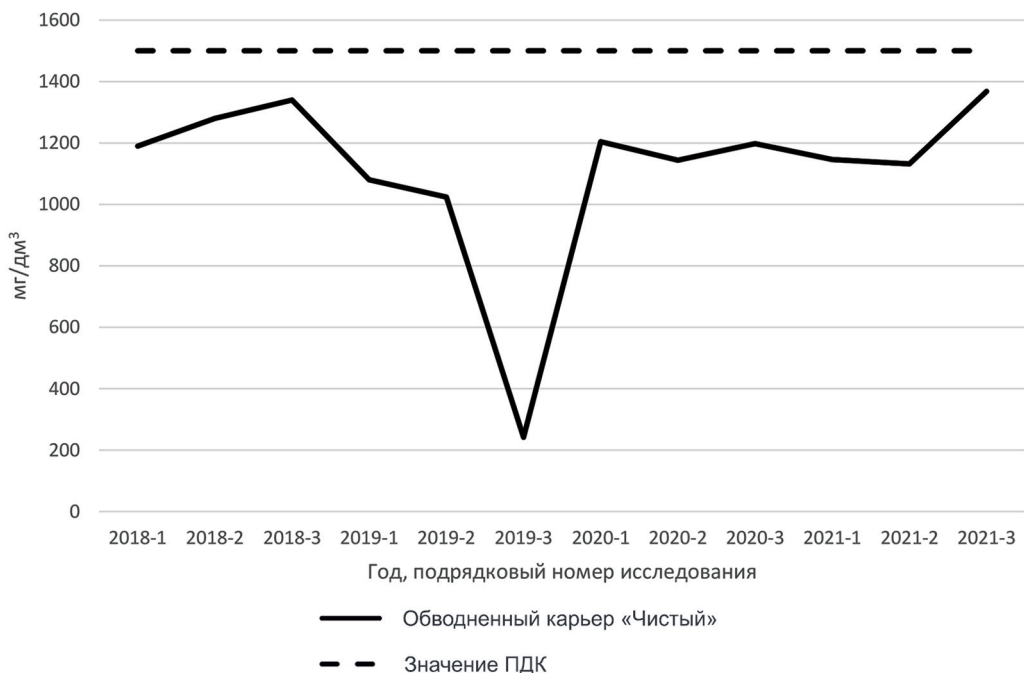


Рис. 2. Динамика значений минерализации у обводненного карьера «Чистый»

1500 мг/дм³. При данном показателе вода обводненного карьера «Майский» относится к солоноватой, олигогалобной зоне галобности. Соответственно, здесь мы имеем дело с качественной трансформацией природного объекта.

Несмотря на то что в данную группу попал только один объект, организацию водопользования на этом обводненном карьере целесообразно отнести к приоритетным видам деятельности местных властей. Во-первых, на современном этапе городского благоустройства обводненный карьер рассматривается как элемент селитебной восточной активно застраиваемой части города, что может усилить антропогенный пресс со стороны местных жителей, а также повысить риск для здоровья горожан, игнорирующих ограничения на запрет купания. Во-вторых, динамика повышения минерализации также отмечена у обводненного карьера «Чистый». В 2021 г. его характеристики оказались близки для включения в группу чрезвычайно опасных деградированных водоемов (рис. 2) (за весь период наблюдения только однажды значение минерализации было ниже 1000 мг/дм³, по всем остальным показателям также были отмечены превышения значений ПДК в воде).

Четвертую группу составляют чрезвычайно опасные водоемы. В составе группы пруд «На Дамбовской», расположенный в непосредственной близости от ТЭЦ-1, и обводненный карьер «Чистый». Отличительной характеристикой данной группы является наличие превышений значений ПДК в воде по Na и хлорид-аниону. При этом превышение значения ПДК в воде по концентрации обозначенных веществ существенно отличается для двух объектов.

У пруда «На Дамбовской» превышение было зафиксировано один раз за историю наблюдений (см. табл. 5): в один отбор проб в октябре 2019 г. и по Na, и по

Таблица 5. Наличие превышений предельно допустимых концентраций для рассматриваемых показателей поверхностной воды в муниципальных водоемах (по результатам экологического мониторинга 2018–2021 гг.)

ПДК	2018			2019			2020			2021		
	май	июль	сентябрь	май	август	октябрь	май	июль	октябрь	май	июль	август
БПК ₅	С, Ст	П, С, Св, Ст, У, Ч, Ш, Ю	С, Св	Б, В, И, М, Н, П, С, Св, СК, Ст, Ш	Б, В, К, М, Мс, Н, П, С, Св, Ш	В, К, Мс, П, С, СК, Ст, У, Ш, М, Ю	В, И, К, М, Н, П, Св, Ст, Ч	Б, В, И, М, Мс, Н, С, Св, Ст, У, Ш	В, И, К, М, Н, П, С, Св, Ст, Ш	Б, В, И, К, М, Мс, Н, П, С, Св, СК, Ст, У, Ш, Ю	Б, В, И, К, М, Мс, Н, П, С, Св, СК, Ст, У, Ч, Ш	Б, В, И, К, М, Мс, Н, П, С, Св, СК, Ст, У, Ч, Ш
ХПК	П, С, Св, Ст, У, Ч, Ю	П, С, Св, Ст, У, Ч, Ш, Ю	П, С, Св, У, Ч, Ю	В, И, К, М, Мс, Н, С, Св, Ст, Ю	Б, В, И, К, М, Мс, Н, П, С, Св, Ст, У, Ш, Ю	В, М	Б, В, И, К, М, Мс, Н, П, С, Св, СК, Ст, У, Ч, Ю	Б, В, И, К, М, Мс, Н, П, С, Св, СК, Ст, У, Ш, Ю	Б, В, И, К, М, Н, П, С, Св, Ст, Ш	Б, И, К, Мс, Н, С, Св, Ст, Ч, Ю	Б, В, И, К, М, Мс, Н, П, С, Св, СК, Ст, У, Ч, Ш	Б, В, И, К, М, Мс, Н, П, С, Св, СК, Ст, У, Ч, Ш, Ю
Fe	П, С, Св, Ч, Ш, Ю	П, С, Св, У, Ч, Ш	П, С, Св, Ст, У, Ч, Ш	Б, В, И, К, Мс, Н, П, С, СК, Ч, Ш, Ю	Б, В, И, К, М, Мс, П, Ч, Ш	Б, В, И, К, М, Мс, Н, П, С, Св, СК, Ст, У, Ч, Ш, Ю	Б, В, И, М, Мс, Н, П, С, Св, Ш	Б, В, И, К, М, Мс, Н, С, Св, Ст, Ч, Ш, Ю	Б, В, И, К, М, Мс, Н, П, С, Св, СК, Ст, У, Ч, Ш, Ю	Б, В, И, К, М, Мс, Н, П, С, Св, Ст, Ч, Ю	Б, В, И, К, М, Мс, Н, П, С, Св, СК, Ст, У, Ч, Ш, Ю	Б, В, И, К, М, Мс, Н, П, С, Св, СК, Ст, У, Ч, Ш, Ю
Сухой остаток	-	-	-	-	М	М	-	М	М	-	-	-
Zn	П, С, Св, Ст, У, Ч, Ш, Ю	П, С, Св, Ст, У, Ю	П, С, Св, Ст, У, Ч, Ш, Ю	К, Н, Св, СК, Ст, Ч	Б, М, СК	-	В, П, Ст, Ш	В	В	Б, Ю	В, П, Ш	В, К, М, Мс, СК
Na	Ч	Ч	Ч	Ч	М, Ч	М, Н	М, Ч	М, Ч	М, Ч	-	-	Ч
Хлорид-анион	Ч	Ч	Ч	Ч	М, Ч	М, Н	М, Ч	М, Ч	М, Ч	Ч	Ч	Ч

Примечание. Используемые в таблице сокращения пояснены в примечании к табл. 3.

хлорид-иону. Интересно, что в этот же отбор проб не было зафиксировано превышения у второго объекта данной группы — обводненного карьера «Чистый», хотя в остальное время наблюдений превышения отмечались. Возможно, имела место путаница с местом отбора проб со стороны исполнителя, что на сегодняшний день невозможно проверить. Но, исходя из презумпции экологической опасности, мы включаем объект в данную группу.

Обводненный карьер «Чистый» отличается значительным загрязнением, близким к полной деградации. Причиной столь существенного загрязнения данного водоема может быть влияние сложившейся ирригационной системы каналов, неорганизованных частных стоков и прилегающей автотрассы 71Н-1706. Решением для местных властей могло бы стать комплексное планирование организации водоснабжения населения и водопользователей с разграничением по источникам и водосбору: придорожные водосборы аккумулируются и подлежат последующему дренированию в речные экосистемы, дачные и полевые стоки — в канализационную систему.

Третья группа — высокоопасные водоемы. Это самая многочисленная группа водоемов. Отличительная характеристика группы — наличие превышений значительных ПДК в воде по Zn. С каждым годом номенклатура объектов с превышением по Zn изменяется (см. табл. 5): одни водоемы впервые попадают в эту группу, другие попадают в нее периодически — через определенные промежутки времени. Все это свидетельствует о наличии непостоянных источников загрязнения.

В 2021 г. было проведено исследование донных отложений пруда «Южный» (рис. 3). Результаты представлены в табл. 6. Аккумуляция цинка на примере одного временного среза у одного из объектов группы показала наибольшее превышение над фоном в сравнении с другими загрязнителями. Данные результаты соотносятся с ранее проведенными исследованиями городских водоемов в 2014 г. (Гузеева, 2014): донные отложения обводненного карьера «Школьный» были отнесены к умеренно опасной категории (суммарный показатель химического загрязнения $z_c = 17.21$), отмечено аккумулярование значительной части тяжелых металлов и нефтепродуктов.

Вторая группа представлена водоемом фоновой концентрации загрязнителей: сюда вошел обводненный карьер «Ивовый». Для данного объекта зафиксировано превышение значения ПДК в воде по $Fe_{общ}$, а также по БПК₅ и ХПК, что в целом характерно для района исследования. Выгодой географического положения данного объекта выступают близость к паркам нового микрорайона (сквер «Казачьи Луга») и удаленность от основных городских источников загрязнения, а также трасс интенсивного движения.

4. Заключение

Таким образом, по итогам анализа данных экологического мониторинга 2018–2021 гг. тюменские муниципальные водоемы дифференцированы на четыре группы (рис. 4). Не выявлено ни одного водоема, в котором не было бы превышений предельно допустимых концентраций по рассматриваемым семи показателям.

Обводненный карьер «Майский» отнесен к группе чрезвычайно опасных деградированных водоемов, так как за анализируемый временной период в нем были

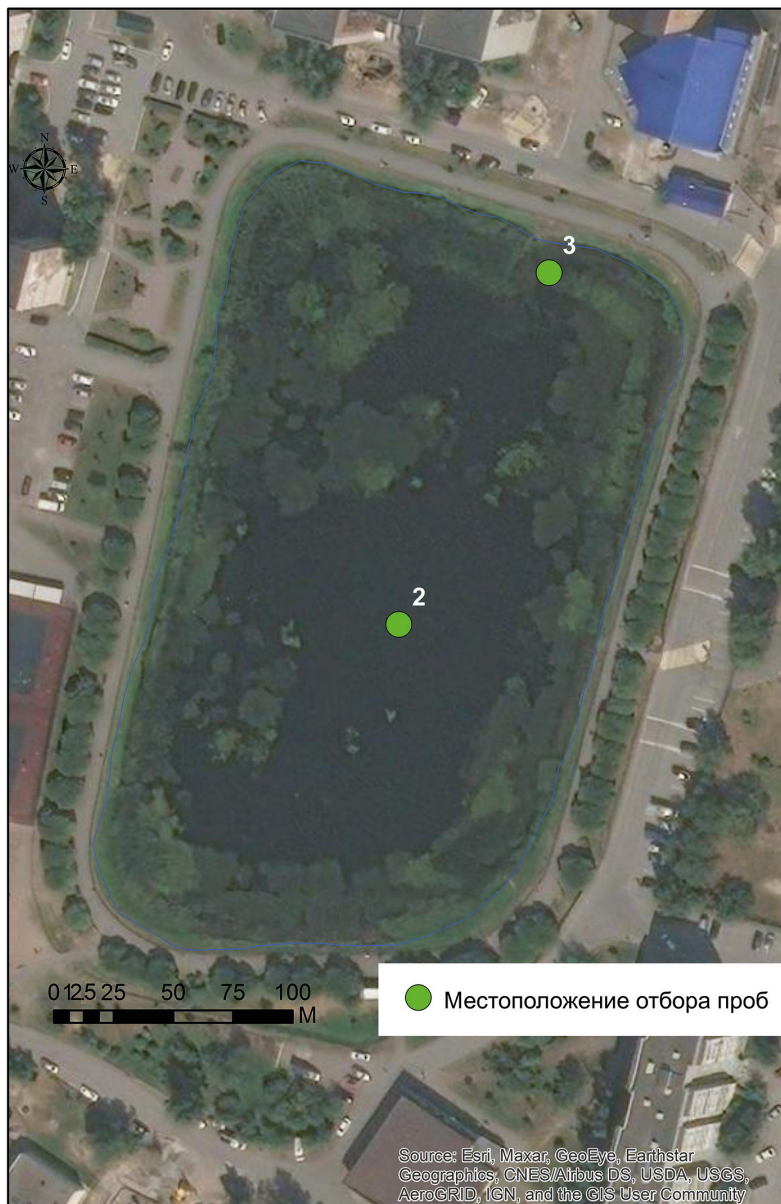


Рис. 3. Местоположение отбора проб донных отложений у пруда «Южный» в 2021 г.:
2 — центр; 3 — северный берег. Составлено по: (Геопортал..., 2022)

отмечены превышения значений ПДК в воде по всем показателям. Для водоемов данной группы необходим отказ от их интеграции в селитебную среду, переход на режим полного запрета водопользования и регулярного экологического мониторинга. При достижении положительного результата (опреснении водоема и снижении загрязнения по тяжелым металлам и хлоридам) — проведение рекультивации.

Таблица 6. Соотношение результатов количественного химического анализа по донным отложениям пруда «Южный», мг/кг

Места отбора	Ртуть	Бенз(а)пирен	Кадмий*	Медь*	Мышьяк	Нефтепродукты	Свинец*	Хром*	Цинк*
Фон	0.0104	0.005	0.050	2.75	1.06	50	4.2	5.4	5.1
Центр п. «Южный»	0.0220	0.005	0.050	3.13	1.19	50	6.3	15.2	12.5
<i>Кратность фону</i>	<i>2.1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1.1</i>	<i>1.1</i>	<i>1</i>	<i>1.5</i>	<i>2.8</i>	<i>2.5</i>
Северный берег п. «Южный»	0.0121	0.005	0.050	4.5	1.29	50	8.2	11.3	14.6
<i>Кратность фону</i>	<i>1.2</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1.6</i>	<i>1.2</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>2.1</i>	<i>2.9</i>

* Валовая форма.

Обводненный карьер «Чистый» и пруд «На Дамбовской» отнесены к группе чрезвычайно опасных. Первый водоем требует принятия комплекса отдельных мероприятий, прежде всего связанного с организацией водопользования на прилегающей территории — в дачном, полевом, инфраструктурном хозяйстве. Существующая ирригационная сеть вследствие износа и изменения режима функционирования требует соответствующей оценки и технического перевооружения. Без реализации данного инвестиционного решения остальные мероприятия будут приносить только кратковременный результат. Для второго водоема требуется продолжение проведения мониторинговых наблюдений, которые при сохранении характеристик последних двухлетних циклов замеров позволят перевести объект в группу высокоопасных водоемов.

К группе водоемов фоновой концентрации загрязнителей отнесен обводненный карьер «Ивовый», в котором превышения зафиксированы по БПК₅, ХПК и Fe_{общ.}, что характерно для тюменских природных условий (Аширбакиева и др., 2006; Корчина и др., 2010). Объект целесообразно сохранить в текущем ландшафтном окружении, без усиления антропогенного пресса со стороны горожан.

Большинство муниципальных прудов и обводненных карьеров отнесены к группе высокоопасных водоемов, в которых присутствуют превышения предельно допустимых концентраций по цинку. Для организации водопользования на водоемах данной группы необходимо проведение регулярных исследований по донным отложениям, которые могут выступать источником вторичного загрязнения. Частный единичный пример исследования донных отложений пруда «Южный» отразил существенную аккумуляцию загрязнителей в сравнении с городским фоном. Одним из мероприятий, ранее предложенных (Гузеева, 2014), но не реализованных, является проведение «дополнительного озеленения вдоль береговой линии водоемов для защиты от загрязняющих веществ, поступающих с автомагистралей и территории строительства».

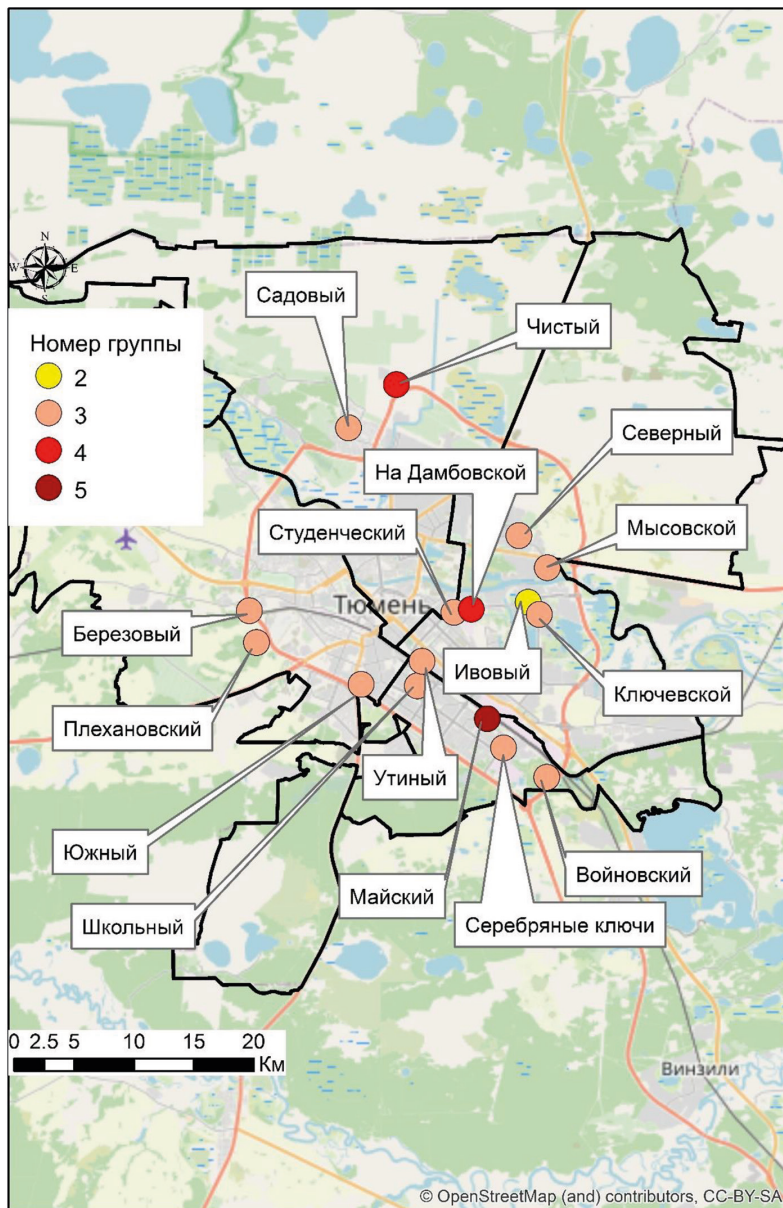


Рис. 4. Группы муниципальных водоемов по качеству поверхностной воды.
Составлено по: (Геопортал..., 2022)

В целом для устойчивого водопользования муниципальными водоемами необходимо проведение регулярных и соотносимых исследований с их последующим анализом и корректировочное планирование. Происхождение тюменских муниципальных водоемов связано с деятельностью человека, каждый объект создавался под воздействием определенных хозяйственных и природных обстоятельств, поэтому организация муниципального водопользования должна отражать данную

специфику. Предложенное разделение водоемов на группы может служить направлением для организации дифференцированного управления тюменскими муниципальными водоемами.

Источники

- ЗапСибЭкоЦентр (2018). *Протокол КХА. Вода природная поверхностная.* (№ 179 Впр/18 от 24.05.2018). [отчет] Тюмень.
- ЗапСибЭкоЦентр (2018). *Протокол КХА. Вода природная поверхностная.* (№ 180 Впр/18 от 24.05.2018). [отчет] Тюмень.
- ЗапСибЭкоЦентр (2018). *Протокол КХА. Вода природная поверхностная.* (№ 181 Впр/18 от 24.05.2018). [отчет] Тюмень.
- ЗапСибЭкоЦентр (2018). *Протокол КХА. Вода природная поверхностная.* (№ 182 Впр/18 от 24.05.2018). [отчет] Тюмень.
- ЗапСибЭкоЦентр (2018). *Протокол КХА. Вода природная поверхностная.* (№ 183 Впр/18 от 24.05.2018). [отчет] Тюмень.
- ЗапСибЭкоЦентр (2018). *Протокол КХА. Вода природная поверхностная.* (№ 184 Впр/18 от 24.05.2018). [отчет] Тюмень.
- ЗапСибЭкоЦентр (2018). *Протокол КХА. Вода природная поверхностная.* (№ 185 Впр/18 от 24.05.2018). [отчет] Тюмень.
- ЗапСибЭкоЦентр (2018). *Протокол КХА. Вода природная поверхностная.* (№ 186 Впр/18 от 24.05.2018). [отчет] Тюмень.
- ЗапСибЭкоЦентр (2018). *Протокол КХА. Вода природная поверхностная.* (№ 649 Впр/18 от 11.07.2018). [отчет] Тюмень.
- ЗапСибЭкоЦентр (2018). *Протокол КХА. Вода природная поверхностная.* (№ 650 Впр/18 от 11.07.2018). [отчет] Тюмень.
- ЗапСибЭкоЦентр (2018). *Протокол КХА. Вода природная поверхностная.* (№ 651 Впр/18 от 11.07.2018). [отчет] Тюмень.
- ЗапСибЭкоЦентр (2018). *Протокол КХА. Вода природная поверхностная.* (№ 652 Впр/18 от 11.07.2018). [отчет] Тюмень.
- ЗапСибЭкоЦентр (2018). *Протокол КХА. Вода природная поверхностная.* (№ 653 Впр/18 от 11.07.2018). [отчет] Тюмень.
- ЗапСибЭкоЦентр (2018). *Протокол КХА. Вода природная поверхностная.* (№ 654 Впр/18 от 11.07.2018). [отчет] Тюмень.
- ЗапСибЭкоЦентр (2018). *Протокол КХА. Вода природная поверхностная.* (№ 655 Впр/18 от 11.07.2018). [отчет] Тюмень.
- ЗапСибЭкоЦентр (2018). *Протокол КХА. Вода природная поверхностная.* (№ 656 Впр/18 от 11.07.2018). [отчет] Тюмень.
- ЗапСибЭкоЦентр (2018). *Протокол КХА. Вода природная поверхностная.* (№ 1003 Впр/18 от 17.09.2018). [отчет] Тюмень.
- ЗапСибЭкоЦентр (2018). *Протокол КХА. Вода природная поверхностная.* (№ 1004 Впр/18 от 17.09.2018). [отчет] Тюмень.
- ЗапСибЭкоЦентр (2018). *Протокол КХА. Вода природная поверхностная.* (№ 1005 Впр/18 от 17.09.2018). [отчет] Тюмень.
- ЗапСибЭкоЦентр (2018). *Протокол КХА. Вода природная поверхностная.* (№ 1006 Впр/18 от 17.09.2018). [отчет] Тюмень.
- ЗапСибЭкоЦентр (2018). *Протокол КХА. Вода природная поверхностная.* (№ 1007 Впр/18 от 17.09.2018). [отчет] Тюмень.
- ЗапСибЭкоЦентр (2018). *Протокол КХА. Вода природная поверхностная.* (№ 1008 Впр/18 от 17.09.2018). [отчет] Тюмень.
- ЗапСибЭкоЦентр (2018). *Протокол КХА. Вода природная поверхностная.* (№ 1009 Впр/18 от 17.09.2018). [отчет] Тюмень.
- ЗапСибЭкоЦентр (2018). *Протокол КХА. Вода природная поверхностная.* (№ 1010 Впр/18 от 17.09.2018). [отчет] Тюмень.

- Региональный аналитический центр (2019). *Итоговый отчет. О результатах оценки качества поверхностной воды муниципальных водных объектов на территории города Тюмени в мае 2019 года.* [отчет] Тюмень.
- Региональный аналитический центр (2019). *Итоговый отчет. О результатах оценки качества поверхностной воды муниципальных водных объектов на территории города Тюмени в августе 2019 года.* [отчет] Тюмень.
- Региональный аналитический центр (2019). *Итоговый отчет. О результатах оценки качества поверхностной воды муниципальных водных объектов на территории города Тюмени в октябре 2019 года.* [отчет] Тюмень.
- Региональный аналитический центр (2020). *Итоговый отчет. О результатах оценки качества поверхностной воды муниципальных водных объектов на территории города Тюмени в мае 2020 года.* [отчет] Тюмень.
- Региональный аналитический центр (2020). *Итоговый отчет. О результатах оценки качества поверхностной воды муниципальных водных объектов на территории города Тюмени в июле 2020 года.* [отчет] Тюмень.
- Региональный аналитический центр (2020). *Итоговый отчет. О результатах оценки качества поверхностной воды муниципальных водных объектов на территории города Тюмени в сентябре 2020 года.* [отчет] Тюмень.
- Региональный аналитический центр (2021). *Протокол испытаний. Донные отложения (№ 4107 от 15.06.2021).* [отчет] Тюмень.
- Региональный аналитический центр (2021). *Протокол испытаний. Донные отложения (№ 4108 от 15.06.2021).* [отчет] Тюмень.
- Региональный аналитический центр (2021). *Протокол испытаний. Донные отложения (№ 4109 от 15.06.2021).* [отчет] Тюмень.
- Росводоканал (2021). *Итоговый отчет. О результатах оценки качества поверхностной воды муниципальных водных объектов. 25.05.2021.* [отчет] Тюмень.
- Росводоканал (2021). *Итоговый отчет. О результатах оценки качества поверхностной воды муниципальных водных объектов. 13.07.2021.* [отчет] Тюмень.
- Росводоканал (2021). *Итоговый отчет. О результатах оценки качества поверхностной воды муниципальных водных объектов. 16.08.2021.* [отчет] Тюмень.

Литература

- Ахмедова, Г. А. и Расулова, М. М. (2009). Состояние малых озер в урбанизированных ландшафтах и их защита в условиях антропогенной нагрузки (на примере озер Ак-Гель и Большое Турали). *Юг России: экология, развитие*, 4 (4), 134–138.
- Аширбакиева, Г. С., Просвиркина, Н. М., Ривкина, Т. В. (2006). Определение содержания металлов в водной системе Иртыш — Тобол. *Аналитика и контроль*, 10 (1), 60–63.
- Власов, Д. В., Шинкарева, Г. Л., Касимов, Н. С. (2019). Металлы и металлоиды в донных отложениях водоемов восточной части Москвы. *Вестник Московского университета. Серия 5. География*, 4, 53–52.
- Геопортал Тюменской области (2022). [online] Доступно на: <https://gis.72to.ru/> [Дата доступа 17.05.2022].
- Гузеева, С. А. (2014). Экологическое состояние поверхностных вод и донных отложений озер г. Тюмени. *Вестник КрасГАУ*, 95 (8), 134–139.
- Дауалыгер, В. А., Служковский, З. И., Денисов, Д. Б., Черепанов, А. А. (2021). Особенности химического состава воды городских озер Мурманска. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле*, 66 (2), 252–266. <https://doi.org/10.21638/spbu07.2021.204>
- Джамалов, Р. Г., Власов, К. Г., Григорьев, В. Ю., Галагур, К. Г., Решетняк, О. С., Сафронова, Т. И. (2021). Масштаб и многолетняя динамика загрязнения бассейна Оки. *Вода и экология: проблемы и решения*, 2 (86), 40–53. <https://doi.org/10.23968/2305-3488.2021.26.2.40-53>
- Добрякова, В. А. и Добряков, А. Б. (2020). Моделирование изменения численности населения с учетом положения муниципальных образований в системе расселения (на примере Тюменской

- области). *ИнтерКарто. ИнтерГИС*, 26 (1), 215–227. <https://doi.org/10.35595/2414-9179-2020-1-26-215-227>
- Кель, Л. С. (2012). Искусственные водные экосистемы как элементы экологического дизайна производства. *Вода: химия и экология*, 50 (8), 110–114.
- Корчина, Т. Я., Корчин, В. И., Кушникова, Г. И., Янин, В. Л. (2010). Характеристика природных вод на территории Ханты-Мансийского автономного округа — Югры. *Экология человека*, 8, 9–12.
- Ларина, Н. С., Устименко, А. А., Гусельников, В. Л., Пинигина Е. П. (2017). Геохимический мониторинг городского пруда «Южного» (г. Тюмень). *Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование*, 3 (3), 8–22. <https://doi.org/10.21684/2411-7927-2017-3-3-8-22>
- Ларина, Н. С., Устименко, А. А., Фахретдинов, А. В. (2019). Химико-экологическая оценка состояния пруда Южный (г. Тюмень). *Вода: химия и экология*, 7–9, 123–128.
- Перечень водных объектов, находящихся в муниципальной собственности города Тюмени (2022). [online] Доступно на: <https://www.tyumen-city.ru/win/download/34408/> [Дата доступа 17.05.2022].
- Петрашень, Е. П., Сперанская, В. С., Кузьмина, А. О. (2018). Деструктивные ландшафты в контексте городского общественного пространства. Проблемы реабилитации, адаптации и интеграции. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Искусствоведение*, 8 (4), 693–714. <https://doi.org/10.21638/spbu15.2018.410>
- Преображенский, Ю. В. (2020). Экономико-географическое и сетевое положение крупнейших российских городов в постсоветский период. *Географический вестник*, 52 (1), 84–95. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2020-1-84-95>
- Публичная кадастровая карта (2022). [online] Доступно на: <https://pkk.rosreestr.ru/#search/65.64951699999888,122.73014399999792/4/@2y1wvgtgr> [Дата доступа 17.05.2022].
- Робертус, Ю. В., Пузанов, А. В., Кивацкая, А. В., Любимов, Р. В. (2021). Экологические последствия реабилитации Манжерокского озера (Республика Алтай). *Вода и экология: проблемы и решения*, 1(85), 41–49. <https://doi.org/10.23968/2305-3488.2021.26.1.41-49>
- Родионов, В. З., Дрегуло, А. М., Кудрявцев, А. В. (2019). Влияние антропогенной деятельности на экологическое состояние рек Ленинградской области. *Вода и экология: проблемы и решения*, 4 (80), 96–108. <https://doi.org/10.23968/2305-3488.2019.24.4.96-108>
- Роева, Н. Н., Исправникова, В. В., Бекетова, А. Б. (2007). Донные отложения как депонирующая среда для загрязняющих веществ. *Известия высших учебных заведений. Серия: химия и химическая технология*, 50 (12), 118–120.
- Черных, О. Н. и Алтунин, В. И. (2015). Особенности технического мониторинга прудов на территории центра Москвы. *Природообустройство*, 1, 66–71.
- Andersson, M. and Eggen, O. A. (2015). Urban contamination sources reflected in inorganic pollution in urban lake deposits, Bergen, Norway. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 17, 854–867. <https://doi.org/10.1039/C4EM00614C>
- Bazova, M. M. (2017). Specifics of the elemental composition of waters in environments with operating mining and ore-processing plants in the Kola North. *Geochemistry International*, 55, 131–143. <https://doi.org/10.1134/S0016702917010025>
- Becerra-Jurado, G., Harrington, R., Kelly-Quinn, M. (2012). A review of the potential of surface flow constructed wetlands to enhance macroinvertebrate diversity in agricultural landscapes with particular reference to Integrated Constructed Wetlands (ICWs). *Hydrobiologia*, 692, 121–130. <https://doi.org/10.1007/s10750-011-0866-2>
- Cereghino, R., Boix, D., Cauchie, H.-M., Martens, K., Oertli, B. (2014). The ecological role of ponds in a changing world. *Hydrobiologia*, 723, 1–6. <https://doi.org/10.1007/s10750-013-1719-y>
- Dauvalter, V. A. (2020). Geochemistry of Lakes in a Zone Impacted by an Arctic Iron-Producing Enterprise. *Geochemistry International*, 58, 933–946. <https://doi.org/10.1134/S0016702920080042>
- Downing, J. A., Cole, J. J., Middelburg, J. J., Striegl, R. G., Duarte, C. M., Kortelainen, P., Prairie, Y. T., Laube, K. A. (2008). Sediment organic carbon burial in agriculturally eutrophic impoundments over the last century. *Global Biogeochemical Cycles*, 22, GB1018. <https://doi.org/10.1029/2006GB002854>
- Fidelis, T. and Rodrigues, C. (2019). The integration of land use and climate change risks in the Programmes of Measures of River Basin Plans — assessing the influence of the Water Framework Directive in Portugal. *Environmental Science & Policy*, 100, 158–171. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.06.013>

- Friese, K., Schmidt, G., Lena, J. C., Nalini Jr, H. A., Zachmann, D. W. (2010). *Limnologica*, 40 (2), 114–125. <https://doi.org/10.1016/j.limno.2009.12.001>
- Lottig, N. R. and Carpenter, S. R. (2012). Interpolating and forecasting lake characteristics using long-term monitoring data. *Limnology and Oceanography*, 57 (4), 1113–1125. <https://doi.org/10.4319/lo.2012.57.4.1113>
- Moiseenko, T. I. (2015). Impact of geochemical factors of aquatic environment on the metal bioaccumulation in fish. *Geochemistry International*, 53 (3), 222–233. <https://doi.org/10.1134/S001670291503009X>
- Ratie, G., Vantelon, D., Lotfi Kalahroodi, E., Bihannic, I., Pierson-Wickmann, A. C., Davranche, M. (2019). Iron speciation at the riverbank surface in wetland and potential impact on the mobility of trace metals. *Science of The Total Environment*, 651(1), 443–455. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.143>
- Remor, M. B., Sampaio, S. C., Rijk, S. D., Boas, M. A. V., Gotardo, J. T., Pinto, E. T., Schardong, F. A. (2018). Sediment geochemistry of the urban Lake Paulo Gorski. *International Journal of Sediment Research*, 33 (4), 406–414. <https://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2018.04.009>
- Skjeltkvale, B. L., Andersen, T., Fjeld, E., Mannio, J., Wilander, A., Johansson, K., Jensen, J. P., Moiseenko, T. (2001). Heavy Metal Surveys in Nordic Lakes; Concentrations, Geographic Patterns and Relation to Critical Limits. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 30 (1), 2–10. <https://doi.org/10.1579/0044-7447-30.1.2>
- Verta, M., Tolonen, K., Simola, H. (1989). History of heavy metal pollution in Finland as recorder by lake sediments *Science of the Total Environment*, 87–88, 1–18. [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(89\)90222-2](https://doi.org/10.1016/0048-9697(89)90222-2)
- Wijaya, A. R., Ouchi, A. K., Tanaka, K., Cohen, M. D., Sirirattanachai, S., Shinjo, R., Ohde, S. (2013). Evaluation of heavy metal contents and Pb isotopic compositions in the Chao Phraya River sediments: Implication for anthropogenic inputs from urbanized areas, Bangkok. *Journal of Geochemical Exploration*, 126–127, 45–54. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2012.12.009>

Статья поступила в редакцию 17 мая 2022 г.
Статья рекомендована к печати 9 января 2023 г.

Контактная информация:

Петров Юрий Владимирович — y.v.petrov@utmn.ru

Spatial and temporal assessment of surface water quality in municipal water bodies of the city of Tyumen

Yu. V. Petrov

University of Tyumen,
2, ul. Osipenko, Tyumen, 625002, Russian Federation

For citation: Petrov, Yu. V. (2023). Spatial and temporal assessment of surface water quality in municipal water bodies of the city of Tyumen. *Vestnik of Saint Petersburg University. Earth Sciences*, 68 (1), 103–121. <https://doi.org/10.21638/spbu07.2023.106> (In Russian)

The purpose of the study is a spatio-temporal assessment of the quality of surface water for water bodies of municipal importance in Tyumen in the current conditions of urban economy. A grouping of 16 municipal ponds and waterlogged quarries was carried out according to the results of the water quality assessment. The period of water sampling for the study: 2018–2021; spring, summer and autumn dates of each year of study, a total of 12 observation dates. Analyzed indicators: biochemical oxygen consumption (BOD₅), chemical oxygen consumption (COD), dry residue, General, Zn, Na, chloride-anions. The results of the study: all municipal reservoirs of Tyumen during the study had repeatedly exceeding the established values of the maximum permissible concentrations for water bodies of fishery significance in three or more indicators. Most municipal facilities are included in the group of highly hazardous reservoirs,

characterized by fixing the excess of the MPC value in water for several indicators, including the heavy metal Zn. The group of reservoirs of the background concentration of pollutants includes the watered quarry “Willow”, in which exceedances were recorded for BOD₅, COD and Fe, which is typical for Tyumen natural conditions. The waterlogged quarry “Chisty” and the pond “On Dambovskaya” are classified as extremely dangerous reservoirs, they are characterized by the presence of exceeding the values of the MPC in the water for all indicators, with the exception of the dry residue. The waterlogged quarry “Maisky” is classified as a group of extremely dangerous degraded reservoirs, since during the analyzed time period it recorded exceedances of the MPC values in the water for all indicators. On the example of bottom sediments of the pond “Yuzhny”, a partial section of the ratio of pollutant content at 2 sampling points within the boundaries of the municipal reservoir is shown. Based on the results of the study, recommendations are given for the city authorities to conduct a differentiated approach to the organization of water use for water bodies from different groups.

Keywords: municipal reservoirs, ponds, flooded quarries, heavy metals, pollution, Tyumen.

References

- Akhmedova, G. A. and Rasulova, M. M. (2009). The Condition of Small in Urban Landscapes and their Protection in Conditions of Anthropogenic Load (by the Example of the Lakes Ak-Gel and Bolshoe Turali). *South of Russia: ecology, development*, 4 (4), 134–138. (In Russian)
- Ashirbakieva, G. S., Prosvirkina, N. M., Rivkina, T. V. (2006). The definition of concentration of metals to water system Irtysh-Tobol. *Analytics and Control*, 10 (1), 60–63.
- Becerra-Jurado, G., Harrington, R., Kelly-Quinn, M. (2012). A review of the potential of surface flow constructed wetlands to enhance macroinvertebrate diversity in agricultural landscapes with particular reference to Integrated Constructed Wetlands (ICWs). *Hydrobiologia*, 692, 121–130. <https://doi.org/10.1007/s10750-011-0866-2>
- Cereghino, R., Boix, D., Cauchie, H.-M., Martens, K., Oertli, B. (2014). The ecological role of ponds in a changing world. *Hydrobiologia*, 723, 1–6. <https://doi.org/10.1007/s10750-013-1719-y>
- Chernykh, O. N. and Altunin, V. I. (2015). Special Features of Technical Monitoring of Ponds on the Territory of the Center of Moscow. *Environmental Management*, 1, 66–71. (In Russian)
- Guzeeva, S. A. (2014). Ecological condition of the Surface waters and bottom sediments of Tyumen city lakes. *The Bulletin of KrasGAU*, 95 (8), 134–139. (In Russian)
- Dauvalter, V. A., Slukovskii, Z. I., Denisov, D. B., Cherepanov, A. A. (2021). Features of the chemical composition of water in the urban lakes of Murmansk. *Vestnik of Saint Petersburg University. Earth Sciences*, 66 (2), 252–266. <https://doi.org/10.21638/spbu07.2021.204> (In Russian)
- Dobryakova, V. A. and Dobryakov, A. B. (2020). Modeling of temporal development of population taking into account the situation of municipalities in the resettlement system (according to the example of the Tyumen Region). *InterCarto. InterGIS*, 26 (1), 215–227. <https://doi.org/10.35595/2414-9179-2020-1-26-215-227> (In Russian)
- Downing, J. A., Cole, J. J., Middelburg, J. J., Striegl, R. G., Duarte, C. M., Kortelainen, P., Prairie, Y. T., Laube, K. A. (2008). Sediment organic carbon burial in agriculturally eutrophic impoundments over the last century, *Global Biogeochemical Cycles*, 22, GB1018. <https://doi.org/10.1029/2006GB002854>
- Dzhamalov, R. G., Vlasov, K. G., Grigorev, V. Y., Galagur, K. G., Reshetnyal, O. S., Safronova, T. I. (2021). Scale and long-term dynamics of Oka river basin pollution. *Water and ecology*, 2 (86), 40–53. <https://doi.org/10.23968/2305-3488.2021.26.2.40-53>
- Geoportal of the Tyumen region (2022). [online] Available at: <https://gis.72to.ru/> [Accessed 17.05.2022].
- Kell, L. S. (2012). Artificial aquatic ecosystems as elements of environmental design. *Water: chemistry and ecology*, 50 (8), 110–114. (In Russian)
- Korchina, T. Ya., Korchin, V. I., Kuchnikova, G. I., Yanin, V. L. (2010). Description of natural waters on territory of Khanty-Mansi Okrug. *Human ecology*, 8, 9–12. (In Russian)
- Larina, N. S., Ustimenko, A. A., Gusel'nikov, V. L., Pinigina, E. P. (2017). Geochemical Monitoring of the Yuzhny Pond in Tyumen. *Tyumen State University Herald. Natural Resource Use and Ecology*, 3 (3), 8–22. <https://doi.org/10.21684/2411-7927-2017-3-3-8-22> (In Russian)

- Larina, N. S., Ustimenko, A. A., Fahretdinov, A. V. (2019). Chemical and ecological assessment of the Condition of the Pond Yuzhny (Tyumen). *Water: chemistry and ecology*, 7–9, 123–128. (In Russian) List of water bodies owned by the city of Tyumen (2022). [online] Available at: <https://www.tyumen-city.ru/win/download/34408/> [Accessed 17.05.2022].
- Lottig, N. R. and Carpenter, S. R. (2012). Interpolating and forecasting lake characteristics using long-term monitoring data. *Limnology and Oceanography*, 57 (4), 1113–1125. <https://doi.org/10.4319/lo.2012.57.4.1113>
- Moiseenko, T. I. (2015). Impact of geochemical factors of aquatic environment on the metal bioaccumulation in fish. *Geochemistry International*, 53 (3), 222–233. <https://doi.org/10.1134/S001670291503009X>
- Petrashen, E. P., Speranskaya, V. S., Kuzmina, A. O. (2018). Destructive Landscapes in the Context of Public Urban Space: Issues of Rehabilitation, Adaptation and Integration. *Vestnik of Saint Petersburg University. Arts*, 8 (4), 693–714. <https://doi.org/10.21638/spbu15.2018.410> (In Russian)
- Preobrazhenskiy, Yu. V. (2020). Economic-geographical and network position of the largest Russian cities in the post-soviet period. *Geographical bulletin*, 52 (1), 84–95. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2020-1-84-95> (In Russian)
- Public cadastral map (2022). [online] Available at: <https://pkk.rosreestr.ru/#search/65.64951699999888,122.73014399999792/4/@2y1wvgyr> [Accessed 17.05.2022]. (In Russian)
- Robertus, Y. V., Puzanov, A. V., Kivatskaya, A. V., Lyubimov, R. V. (2021). Environmental consequences of lake Manzherok rehabilitation (Altai Republic). *Water and ecology*, 1 (85), 41–49. <https://doi.org/10.23968/2305-3488.2021.26.1.41-49>
- Rodionov, V. Z., Dregulo, A. M., Kudryavtsev, A. V. (2019). Anthropogenic impact on the ecological state of rivers in the Leningrad region. *Water and ecology*, 4 (80), 96–108. <https://doi.org/10.23968/2305-3488.2019.24.4.96-108>
- Roeva, N. N., Ispravnikova, V. V., Beketova, A. B. (2007). Bottom sediment as depositing medium for polluting substances. *Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Seriya: khimiia, khimicheskaiia tekhnologiia*, 50 (12), 118–120.
- Skjelkvale, B. L., Andersen, T., Fjeld, E., Mannio, J., Wilander, A., Johansson, K., Jensen, J. P., Moiseenko, T. (2001). Heavy Metal Surveys in Nordic Lakes; Concentrations, Geographic Patterns and Relation to Critical Limits. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 30 (1), 2–10. <https://doi.org/10.1579/0044-7447-30.1.2>
- Skvortsova, E. (2016). Pond “Chisty” can become a free swimming area. [online] Vslukh.ru. Available at: https://vsluh.ru/novosti/obshchestvo/prud-chisty-mozhet-stat-besplatnoy-zonoy-dlya-kupaniya_297625/ [Accessed 17.05.2022].
- Verta, M., Tolonen, K., Simola, H. (1989). History of heavy metal pollution in Finland as recorder by lake sediments. *Science of the Total Environment*, 87–88, 1–18. [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(89\)90222-2](https://doi.org/10.1016/0048-9697(89)90222-2)
- Vlasov, D. V., Shinkareva, G. L., Kasimov, N. S. (2019). Metals and metalloids in bottom sediments of lakes and ponds of the eastern part of Moscow. *Moscow University Bulletin. Series 5. Geography*, 4, 43–52.

Received: May 17, 2022
Accepted: January 9, 2023

Author's information:

Yuriy V. Petrov — y.v.petrov@utmn.ru