УДК 556.5 *https://doi.org/10.35567/19994508-2026-2-104-121*

Оригинальная статья/Original paper

Антропогенное воздействие на реку Исеть (Свердловская область)

С. Ю. Скрипченко[1], К. А. Наливайко[1], В. С. Семенищев[1], М. С. Скрипченко[2], А. А. Ульянова[3]

k.a.nalivaiko@urfu.ru

[1] *Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия*
[2] *МАОУ-СОШ № 156, г. Екатеринбург, Россия*
[3] *МАОУ Лицей № 88, г. Екатеринбург, Россия*

АННОТАЦИЯ

Актуальность. В Национальном экологическом рейтинге регионов РФ Свердловская область находится на последнем месте. Это связано в том числе и с высокой степенью загрязненности рек региона. Регулярный мониторинг качества поверхностных вод позволяет оценить эффективность существующих мер борьбы с экологически опасными факторами, а также разработать новые, более действенные способы снижения антропогенной нагрузки на речные системы. **Методы.** Для исследования были отобраны пробы воды р. Исети на участке в 65 км от оз. Исетское до г. Арамиля. Определение химического состава проб воды проводили методами атомно-эмиссионной и масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой, потенциометрии и титриметрии. Для определения радиологических показателей использовали альфа- и бета-радиометрию. **Результаты.** Установлено, что вода относится к гидрокарбонатно-кальциевому классу. Общая минерализация воды р. Исети в среднем составляет 341 мг/дм^3. По общей жесткости вода в реке мягкая (0,68–1,88 °Ж), pH находится в интервале 7,0–7,6. Значения удельной суммарной альфа- и бета-активности воды не превышают соответственно 0,2 и 1,0 Бк/дм^3. В воде р. Исети зафиксировано превышение ПДК Cu, Fe, Zn, V, Se, Hg, Tl, PO_4^{3-}, NO_3^-. По маршруту отбора проб точки превышения нормативов качества воды коррелируют с местами размещения в бассейне реки промышленных объектов, химическая природа поллютантов соотносится с особенностями применяемых ими технологических схем переработки исходного сырья и получения готовой продукции. Вода в р. Исети относится к 3-му классу (разряд «б») и является «очень загрязненной».

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: река Исеть, антропогенное воздействие, химический состав, поллютанты, качество воды, удельная суммарная активность воды, Свердловская область

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (тема № FEUZ-2026-0010).

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Скрипченко С. Ю., Наливайко К. А., Семенищев В. С., Скрипченко М. С., Ульянова А. А. Антропогенное воздействие на реку Исеть (Свердловская область) // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2026. № 2. С. 104–121. https://doi.org/10.35567/19994508-2026-2-104-121; EDN: KEEKOB

© Скрипченко С. Ю., Наливайко К. А., Семенищев В. С., Скрипченко М. С., Ульянова А. А., 2026

Anthropogenic impact on the Iset River (Sverdlovsk region)

Sergey Yu. Skripchenko, Ksenia A. Nalivaiko[1], Vladimir S. Semenishchev[1], Mikhail S. Skripchenko[2], Amira A. Ulianova[3]

k.a.nalivaiko@urfu.ru

[1]*Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia*
[2]*The State Secondary School № 156, Ekaterinburg, Russia*
[3]*Lyceum № 88, Ekaterinburg, Russia*

ABSTRACT

Actuality. The National Environmental Rating ranks Sverdlovsk Region the last among the regions of the Russian Federation because of many factors, particularly due to the high degree of pollution of the region's rivers. Regular monitoring of water quality in surface water bodies makes it possible to assess the effectiveness of existing measures to reduce environmentally hazardous factors, as well as to develop new, more effective ways to reduce anthropogenic pressure on river systems. **Methods.** In this study, water samples of the Iset River were taken at a site 65 km from the lake Isetskoye to Aramil. The chemical composition of water samples was determined by atomic emission and mass spectrometry with inductively coupled plasma, potentiometry and titrimetry. Alpha and beta radiometry was used for determination of radiological parameters of the water samples. **Results.** It was found that the water belonged to the calcium hydrocarbonate class. The total salinity of the Iset water averaged 341 mg/dm^3. According to the total hardness, the water in the river is soft (34–94 ppm), its pH was within the range of 7.0–7.6. The values of the gross alpha and beta activity of the water did not exceed 0.2 and 1.0 Bq/dm^3, respectively. The concentrations of Cu, Fe, Zn, V, Se, Hg, Tl, PO_4^{3-}, and NO_3^- in some points of Iset River exceeded the maximum permissible limits. Along the sampling route, the points of exceeding water quality standards correlated with the locations of industrial facilities in the Iset basin, and the chemical nature of pollutants correlates with the specifics of their technological schemes for processing raw materials and obtaining finished products. The water in the Iset River belongs to the 3rd class (category "b") and is very polluted.

KEYWORDS: Iset River; anthropogenic impact; chemical composition; pollutants; water quality; gross alpha and beta activity; Sverdlovsk region.

FINANCING: This work was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (theme № FEUZ-2026-0010).

FOR CITATION: Skripchenko S. Yu., Nalivaiko K. A., Semenishchev V. S., Skripchenko M. S., Ulianova A. A. Anthropogenic impact on the Iset River (Sverdlovsk region). *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management.* 2026. No. 2. P. 104–121. https://doi.org/10.35567/19994508-2026-2-104-121; EDN: KEEKOB

ВВЕДЕНИЕ

Екатеринбург является административным центром Уральского федерального округа и Свердловской области. В рейтинге городов-миллионников России он находится на третьем месте по площади и на четвертом по

численности населения. Екатеринбург является ключевым промышленным и научно-культурным центром страны. Однако в различных экологических рейтингах город и регион в целом находятся далеко не на первых местах. По итогам 2025 г. Свердловская область, включая столицу Урала, заняла последнее, 83-е место в Национальном экологическом рейтинге регионов РФ, составленном организацией «Зеленый патруль»[1]. При его формировании учитывалось состояние воздуха, водоемов и уровень промышленного загрязнения окружающей среды. Одной из определяющих причин такого положения Свердловской области в экологическом рейтинге является низкое качество поверхностных вод. Основу водной системы региона формируют реки Исеть, Пышма, Тавда, Тура, Чусовая и Уфа. И все они включены в список наиболее загрязненных водных объектов России[2,3,4,5,6].

Река Исеть – главная водная артерия Екатеринбурга. Она является левым притоком р. Тобол, впадающей в Иртыш. Общая протяженность Исети – 606 км. Истоком реки является оз. Исетское, расположенное на территории г. Среднеуральска и выполняющее функцию водохранилища. В озеро впадают многочисленные реки и ручьи, питающие р. Исеть. Именно на участке от истока до Екатеринбурга река испытывает основную антропогенную нагрузку. Причиной этого является не только мегаполис, но и его города-спутники (Арамиль, Верхняя Пышма и Среднеуральск), где находятся крупные предприятия химической отрасли, черной и цветной металлургии, тяжелого машиностроения [1–8].

Чистые поверхностные воды являются основой здоровья и процветания любого города. Однако уровень значимости качества воды еще более возрастает, если речь идет о столице такого стратегически важного для страны региона, как Свердловская область. Это понимают и власти региона, и представители промышленности. Несмотря на неблагоприятную экологическую остановку в Свердловской области, она занимает первые места в рейтинге субъектов Российской Федерации по затратам бизнеса на природоохранную деятельность[7] [3, 4]. Ключевым аспектом в достижении цели снижения уровня загрязненности региона является проведение регулярного

1 Экологический рейтинг субъектов Российской Федерации: Общероссийская общественная организация «Зеленый патруль». Официальный сайт. Режим доступа: https://greenpatrol.ru/tpost/7gsxl6ehp1-natsionalnii-ekologicheskii-reiting-regi (дата обращения: 12.12.2025).

2 О состоянии окружающей среды на территории Свердловской области в 2024 году: государственный доклад / Правительство Свердловской области, Министерство природных ресурсов и экологии Свердловской области. Екатеринбург, 2025. 368 с.

3 Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2024 год / М: Росгидромет, 2025. 225 с.

4 Количество экстремальных загрязнений рек и водоемов возросло в полтора раза. Режим доступа: https://finexpertiza.ru/press-service/researches/2024/kol-ekstr-zagr-rek-vozroslo/ (дата обращения: 12.12.2025).

5 Качество поверхностных вод Российской Федерации. Ежегодник 2024 / 2025. 451 с.

6 Качество поверхностных вод Российской Федерации. Информация о наиболее загрязненных водных объектах Российской Федерации (Приложение к ежегоднику 2024). 2025. 157 с.

7 Приложение к сборнику (информация в разрезе субъектов Российской Федерации и по ОКВЭД2) 2024. Росстат. Режим доступа: https://www.rosstat.gov.ru/folder/210/document/13209 (дата обращения: 12.12.2025).

мониторинга качества атмосферного воздуха, подземных и поверхностных вод. Важно, чтобы это происходило не только силами надзорных служб, но и при активном участии общественности, представителей научного и промышленного сообществ. Это позволит увеличить площадь исследуемых территорий, оперативно выявлять источники загрязнения окружающей среды и устранять последствия их воздействия, а также определить эффективность применяемых методов очистки сточных вод и газовых выбросов, что крайне важно для усовершенствования существующих и разработки новых способов охраны экосистем от промышленных загрязнений.

Все это определяет актуальность представленной в статье работы, в рамках которой были проведены физико-химические исследования воды р. Исети. Определены концентрации в воде целого ряда неорганических компонентов, включая основные анионы, тяжелые и цветные металлы, радиоактивные и редкоземельные элементы (РЗЭ), драгоценные металлы (Ag, Au и металлы платиновой группы – МПГ). Кроме того, установлены уровни общей минерализации, жесткости и цветности воды, показатели ее радиационной безопасности. В результате рассчитан удельный комбинаторный индекс загрязненности воды (УКИЗВ) р. Исети и на его основании определено ее качество.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Пробы воды из р. Исети отбирали маршрутным порядком в ходе полевых изысканий в сентябре 2025 г. на участке от ее истока (оз. Исетское) до г. Арамиля. Протяженность маршрута – 65 км. На этом участке реки расположены четыре водохранилища: Верх-Исетский пруд, Городской пруд, Нижне-Исетский и Арамильский пруды. Пробы отбирали в прибрежье реки из поверхностного горизонта воды (0,1–0,3 м).

Количественный элементный анализ проб воды проводили методами атомно-эмиссионной спектрометрии и масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой с использованием приборов Optima 2100 DV и NexION 350X (Perkin Elmer, США).

Определение в воде фторид-, хлорид- и нитрат-ионов (F^-, Cl^- и NO_3^-), а также катиона аммония (NH_4^+) осуществляли потенциометрическим методом с применением ион-селективных электродов PerfectION F (Mettler Toledo, США), ЭЛИС-131Cl (ИТ, Россия), ЭЛИС-121NO_3 (ИТ, Россия) и ЭЛИС-121NH_4 (ИТ, Россия), электрода сравнения ЭСР 10101 (ИТ, Россия), иономеров Five easy plus (Mettler Toledo, США) и Мультитест ИПЛ-301 (НПП «СЕМИКО», Россия) [9].

Определение концентрации карбонат- и бикарбонат-ионов в пробах воды проводили методом титрования в две стадии. На первом этапе устанавливали концентрацию карбонат-ионов (CO_3^{2-}) с использованием ин-

дикатора фенолфталеина. На второй стадии определяли содержание в образцах бикарбонат-ионов (HCO_3^-) с применением индикатора метилового оранжевого[8].

Жесткость воды рассчитывали на основе содержания в пробе ионов магния и кальция в соответствии с ГОСТ 31954-2012[9]. Цветность воды определяли в единицах Хазена (платино-кобальтовая шкала) в соответствии с ГОСТ 29131-91[10].

Определение показателя pH воды проводили с применением иономера Мультитест ИПЛ-301 (НПП «СЕМИКО», Россия) и pH-электрода ЭСК-10303/4 (ИТ, Россия). При этом предварительно осуществляли градуировку иономера с использованием буферных растворов со значениями pH, равными 4,01, 6,86 и 9,18.

Определение удельной суммарной альфа- и бета-активности образцов воды выполняли в соответствии с аттестованной методикой[11]. Аликвоту речной воды упаривали досуха в стеклянном стакане. Полученный сухой остаток переносили в стандартную латунную кювету, распределяли равномерно по поверхности и фиксировали его массу. Подготовленные пробы измеряли на полупроводниковом альфа-бета-радиометре УМФ-2000 (НПП «Доза», Россия). Объем аликвоты составлял 400 см^3. Каждую пробу измеряли на радиометре дважды по 5000 с.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рисунке представлена карта отбора проб воды из р. Исети. Для отбора образцов были определены 12 точек, 7 из них расположены в черте Екатеринбурга, 3 – в районе Арамиля, 2 – возле истока реки. В табл. 1 и табл. 2 представлены результаты анализа проб воды, включающие содержание неорганических компонентов в изученных образцах и значения их показателя pH. Согласно результатам проведенных исследований, вода в Исети относится к гидрокарбонатному классу с изменяющимся катионным составом при доминировании кальция. Содержание HCO_3^- находится в интервале 168–267 мг/дм^3, SO_4^{2-} – в интервале 27–65 мг/дм^3. Средние концентрации Ca, Na и Mg в образцах воды составляют соответственно 14,2, 11,3 и 8,4 мг/дм^3. Общая минерализация вод Исети лежит в диапазоне от 261 до 507 мг/дм^3 и в целом возрастает по течению реки (табл. 1). Величина pH изученных образцов речной воды составляет от 7,06 до 7,53, что со-

8 Титриметрические методы анализа: уч.-метод. пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета. 2011. 100 с.

9 ГОСТ 31954-2012. Вода питьевая. Методы определения жесткости. Введ. 01.01.2014. М. 2018. 23 с.

10 ГОСТ 29131-91. Продукты жидкие химические. Метод измерения цвета в единицах Хазена (платино-кобальтовая шкала). Введ. 01.01.1993. М. 2004. 4 с.

11 Методика выполнения измерений суммарной альфа- и бета-активности водных проб альфа-бета радиометром УМФ-2000 (МВИ SARC 13.1.001-05/97).

ответствует установленным нормативам[12]. Изменения этого параметра по течению реки не носят системного характера. По общей жесткости вода в Исети мягкая. Значение этого показателя напрямую связано с уровнем минерализации вод и составляет 0,68–1,88 °Ж.



Рисунок. Карта отбора проб воды из реки Исети
Figure. The Iset River water sampling map

12 Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения: Приказ Росрыболовства от 26.05.2025 № 296. Российская газета. 03.06. 2025 г.

Таблица 1. Физико-химические показатели воды р. Исети
Table 1. Physical/chemical parameters of the Iset River water

Точки отбора проб воды	Общая минерализация, мг/дм^3	Жесткость, °Ж	pH	Цветность, ° (Pt-Co шкала)
I1	261	0,68	7,12	10
I2	273	0,96	7,06	50
I3	264	1,07	7,53	50
I4	262	1,08	7,34	60
I5	305	1,19	7,34	60
I6	319	1,39	7,47	50
I7	315	1,42	7,30	10
I8	412	1,88	7,29	40
I9	353	1,87	7,47	30
I10	426	1,69	7,29	30
I11	507	1,72	7,18	30
I12	390	1,79	7,33	30

Цветность воды в Исети по платиново-кобальтовой шкале (шкале Хазена) в среднем составляет 37,5 °. При этом максимальные значения этого показателя (50–60 °) установлены в центральной части Екатеринбурга, где вода имеет цвет от желтоватого до желтого. Это превышает нормативы качества вод хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования[13], установленные в зависимости от их назначения на уровне 5–30 ° цветности. Река Исеть подпитывается водами из болотистых местностей, что насыщает ее сильно влияющими на цветность гуминовыми и фульвокислотами (продуктами разложения органики). В зависимости от их концентрации речная вода по цвету может быть от слабо желтой до коричневой. Желтовато-коричневые тона придают воде также окисленные формы железа и марганца, неизменно присутствующие в уральских реках. Рост цветности воды Исети в центре Екатеринбурга связан и с незаконными или неисправными сливами через городскую ливневую канализацию. Случаи такого антропогенного воздействия на водный объект регулярно фиксируются, при этом их индикатором является окрашивание воды в реке в фиолетовый, коричневый и даже в черный цвета. В итоге цветность Исети определяют не только неорганические вещества (Fe и Mn) и природные гуминовые соединения, но и компоненты отходов жизнедеятельности и бытовой химии.

В образцах воды р. Исети по целому ряду загрязняющих веществ наблюдается превышение норм ПДК, установленных для поверхностных вод рыбохозяйственного значения или хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования[12,13] (табл. 2). В ходе проведенных исследований

13 СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

обнаружены точки с концентрацией больше нормированного предельного значения таких компонентов, как Zn (1,4–1,5 ПДК), V (1,0–1,6 ПДК), Se (1,2–7,3 ПДК), Hg (1,25 ПДК), Tl (2,08 ПДК), PO_4^{3-} (1,2–2,1 ПДК) и NO_3^- (1,3–1,5 ПДК). На всем изученном участке реки в водах зафиксировано превышение ПДК меди в 2,0–7,9 раза и железа в 1,3–5,7 раза.

Концентрации большинства неорганических компонентов подвержены воздействию антропогенных факторов и зависят от точки отбора пробы воды. Они возрастают в образцах, взятых в зоне влияния на водный объект промышленных предприятий, и снижаются в пробах воды, отобранных за их пределами. Условно все изученные образцы воды р. Исети по содержанию и природе поллютантов можно разделить на три группы. К первой группе относятся пробы из оз. Исетское и в точках на подходе к Екатеринбургу (I1–I3). Во вторую группу входят образцы, отобранные в границах территории Екатеринбурга (I4–I9). Третья группа включает пробы воды из р. Исети в районе г. Арамиля (I10–I12).

На берегу оз. Исетское расположен г. Среднеуральск, на территории которого работает ряд машиностроительных, металлообрабатывающих и металлургических предприятий: ООО «Уральский электродный завод», ООО «Среднеуральский завод металлоконструкций», ООО «Среднеуральский электро-механический завод». Кроме того, в озеро впадают реки, протекающие или берущие свое начало в районе г. Верхняя Пышма. К их числу относится, например, р. Мулянка, истоком которой является Молебское болото. Оно находится в зоне антропогенного влияния ряда металлургических, химических и машиностроительных заводов Верхней Пышмы, таких как ОАО «Уралэлектромедь», ОАО «Уралредмет», АО «Екатеринбургский завод по обработке цветных металлов», ОАО «Уральский завод химических реактивов» и ООО «Уральские локомотивы». Кроме того, расстояние от этих предприятий до оз. Исетское составляет менее 10 км, что не исключает их прямого воздействия на экологию водоема. Высокая концентрация промышленных объектов вблизи истока Исети и природа связанных с ними загрязняющих веществ, обусловленная спецификой их производств (табл. 3), в большинстве своем и определили особенности химического состава вод реки на изученном участке.

Среди всех исследованных образцов в пробах воды первой группы (I1–I3) зафиксировано наибольшее содержание Cu, Fe, Mn, Pb, F^-, K, РЗЭ и благородных металлов, а также обнаружено превышение ПДК ртути и таллия. Это подтверждает взаимосвязь концентрации этих поллютантов в водах Исети с близостью расположения соответствующих отходообразующих предприятий.

Екатеринбург входит в пятерку крупных городов России, которые активно ведут работу по переносу заводов и фабрик из центральных районов на

Таблица 2. Химический состав воды р. Исети (жирным шрифтом выделено превышение ПДК)

Table 2. Chemical composition of the Iset River water (exceeding the maximum permissible concentration in bold)

Комп.	Точки отбора проб воды											
	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9	I10	I11	I12
Макрокомпоненты, мг/дм³												
HCO_3^-	183	198	191	183	206	206	198	267	214	198	267	168
SO_4^{2-}	27,0	33,3	32,6	37,1	49,2	54,1	54,2	58,0	54,6	63,1	64,7	61,6
NO_3^-	21,4	8,76	6,36	7,12	8,16	9,76	11,4	12,7	13,5	**52,5**	**58,5**	**52,5**
Cl^-	3,16	5,75	7,42	7,30	9,70	13,4	14,8	28,5	27,3	55,4	58,2	51,6
Ca	7,62	11,2	11,7	11,0	12,6	14,6	15,2	18,4	18,3	16,6	16,1	16,7
Na	5,36	6,46	4,74	6,60	8,83	9,57	9,21	10,4	9,5	21,8	22,8	19,9
Mg	3,69	4,94	5,98	6,46	6,83	8,03	8,08	11,7	11,6	10,4	11,2	11,6
K	8,73	1,96	1,51	2,13	1,99	1,84	1,97	1,93	1,95	5,08	5,48	4,73
Микрокомпоненты, мкг/дм³												
PO_4^{3-}	20,0	30,1	21,1	11,3	21,1	37,2	26,8	66,1	72,3	**785**	**1231**	**1002**
Si	388	1299	2557	602	956	1217	1378	2101	1846	1760	2101	1969
Fe	**139**	**350**	**567**	**205**	**229**	**256**	**277**	**333**	**337**	**307**	**295**	**320**
Sr	117	142	139	149	157	243	245	295	226	191	184	196
NH_4^+	360	96,0	75,6	70,3	70,7	71,8	73,2	66,9	84,2	209	204	178
F^-	143	28,4	38,7	47,6	62,6	126	99,0	62,8	143	55,8	70,4	75,5
Br	25,7	26,8	22,8	25,3	28,9	26,7	28,9	32,8	36,6	36,3	39,3	39,0
Ba	30,0	35,9	22,6	31,1	28,1	27,8	28,0	28,8	29,3	14,5	11,7	12,9
I	11,9	12,9	9,15	14,5	16,0	18,9	18,3	18,6	19,5	38,5	37,2	34,6
Al	6,87	21,2	24,4	5,11	5,05	6,29	2,30	2,73	1,54	3,78	2,13	2,78
Zn	3,11	2,83	3,09	3,29	2,31	4,88	6,83	6,80	4,40	**14,7**	**15,0**	**14,6**
Se	1,75	0,97	1,16	1,65	1,07	1,65	1,94	**2,52**	1,12	**10,1**	**10,2**	**14,5**
Cu	**4,63**	**5,06**	**7,83**	**2,41**	**2,38**	**2,79**	**2,53**	**3,97**	**2,34**	**3,54**	**2,02**	**2,80**
Rb	2,69	2,28	1,55	1,84	2,28	<ПО	2,04	0,06	1,79	4,77	6,24	3,44
Li	1,66	2,14	2,04	1,94	2,13	2,39	2,45	2,55	2,44	3,05	2,94	3,18
Ti	0,29	1,15	1,63	0,14	0,56	0,54	0,86	1,09	0,92	3,93	5,76	5,08
Ni	2,98	1,23	1,33	0,45	1,18	0,79	0,71	1,29	1,53	3,87	3,57	3,02
Cr	1,48	1,92	2,04	1,50	1,67	1,81	2,86	2,17	1,63	1,60	1,33	1,50
As	1,67	1,58	1,93	1,52	1,47	1,32	1,35	1,40	1,50	1,89	2,05	1,81
∑РЗЭ	2,84	2,92	4,02	1,24	1,19	1,30	1,52	1,64	1,39	1,30	1,41	1,19
Микрокомпоненты, нг/дм³												
U	192	346	638	2940	626	4610	625	748	589	382	418	449
Mo	892	515	566	644	952	911	940	942	969	935	846	797
V	486	347	477	255	422	488	569	**1050**	957	**1350**	**1540**	**1440**
Sb	441	398	360	391	362	406	513	1358	408	592	557	568
Zr	757	657	562	250	633	375	114	231	229	229	107	159
Te	2,0	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	3,0	3,0	<ПО	675	771	580
Ag	772	315	126	39	61	44	19	29	19	18	13	9,0
∑МПГ	20	13	14	16	14	14	9,0	23	13	124	48	103
Tl	**208**	39	34	27	24	16	13	14	10	7,0	11	7,0
Hg	<ПО	<ПО	**13**	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО
Th	42	29	31	6,0	4,0	4,0	3,0	7,0	6,0	2,0	2,0	3,0

Суммарное содержание W, Co, Pb, Mn, Bi, Cd, Re, Cs, Sn, Ta, Nb, Hf, Be, In, Au менее 1 мкг/дм³
< ПО – ниже предела обнаружения 0,001 мкг/дм³

окраины или за пределы мегаполиса. В случае столицы Свердловской области большинство предприятий перемещают свое производство в города-спутники Екатеринбурга – Верхнюю Пышму, Березовский, Среднеуральск и Арамиль. За последние 20 лет с карты города исчезло 45 промышленных объектов. Это не только позволило преобразить архитектурный облик, но и существенно улучшить экологическую ситуацию в столице Свердловской области. Сокращение в городской черте числа источников промышленных сбросов отразилось и на химическом составе проб воды, отобранных на территории Екатеринбурга. Несмотря на превышение ПДК Cu и Fe, содержание этих металлов в образцах второй группы (I4–I9) в несколько раз меньше, чем в пробах, взятых у истока реки и на подходе к городу (I1–I3). Ниже в этих пробах концентрация и многих других неорганических компонентов. При этом общая минерализация вод по течению реки возрастает, что связано с ростом содержания макрокомпонентов (Na, Ca, Mg, SO_4^{2-}, Cl^-, NO_3^-) и обусловлено стоками предприятий жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ).

Таблица 3. Типичные загрязняющие вещества различных отраслей промышленности [10]
Table 3. Typical pollutants from various industries [10]

Отрасли промышленности	Основные загрязняющие вещества
Черная металлургия	Mn, Cr, V, Fe, W
Цветная металлургия	Zn, Pb, Cr, Ni, Cu, Sb, Ag, Mg, Cd, In, Bi, Sn, As, Ti, W, Mo, B
Машиностроение и металлообработка	Zn, Pb, Cr, Ni, Cu, W, Sn, Co, Mo, V, Sb, Mn, Bi, Se
Химическая	S, N, W, Hg, Cd, Sb, Sn, Hf, Ag, Zn, Sn, Cu, Bi, Pb, Nb, Mo, Ni, орг. соединения
Энергетика (в т. ч. АЭС)	S, V, Ni, Ge, Fe, S, N_2O, CO, ^{60}Co, ^{134}Cs, ^{137}Cs, ^{131}I
Производство строительных материалов	As, Pb, Hg, F, CO

Немаловажным фактором уменьшения концентрации одних неорганических веществ и роста других в отобранных в городской черте пробах воды является наличие на этом участке Исети сразу трех водохранилищ. Верх-Исетский, Городской и Нижне-Исетский пруды являются искусственными стоячими водоемами и замедляют поток реки. Это в первую очередь способствует разложению микроорганизмами органических загрязнителей и осаждению взвешенных частиц. Переходят в осадок и некоторые металлы. Причины этого процесса – их адсорбция на поверхности донных частиц (в основном глинистых минералов), комплексообразование с органическими компонентами (с гуминовыми и фульвокислотами) и формирование малорастворимых соединений (гидроксидов, карбонатов, фосфатов, сульфатов). При этом в большинстве случаев все эти механизмы являются обратимыми. Ранее накопленные в отложениях вещества могут растворяться при изменении условий (pH, температуры, окислительно-восстанови-

тельного потенциала среды), в результате превышения сорбционной емкости донных частиц или замещения поллютатов более активными ионами (например, катионы кальция и аммония могут вытеснять адсорбированные тяжелые металлы). Все это приводит к вторичному загрязнению поверхностных вод и нарушению закономерностей распределения загрязняющих компонентов по течению реки [11–14].

Пробы воды р. Исети, отобранные в районе г. Арамиля (I10–I12), характеризуются превышением ПДК не только Cu и Fe, но и Zn, Se, V, PO_4^{3-} и NO_3^-. Ванадий, селен и фосфор, как и титан, никель, теллур, рубидий, повышенное содержание которых также отмечено в исследованных образцах, применяют для легирования металлов. Цинк используют для защиты сталей от коррозии (цинкование). Нитраты служат компонентами флюсов при сварке и пайке металлов, улучшая качество шва. Фосфаты цинка являются основой растворов для подготовки металлических поверхностей к окраске и для получения износостойких покрытий. Фосфатирующие растворы могут включать и нитраты, они ускоряют реакцию и формируют мелкокристаллическую структуру покрытия. Зафиксированная высокая концентрация неорганических компонентов в пробах воды обусловлена антропогенным воздействием на водный объект машиностроительных, металлообрабатывающих и металлургических предприятий, расположенных в бассейне р. Исети на участке от Екатеринбурга до Арамиля: АО «Уральский завод химического машиностроения», ООО «Уральский завод металлоизделий», ООО «Завод индукционного оборудования», ООО «Завод стального проката», ООО «Арамильский завод металлоконструкций», ООО «Уральский завод деталей трубопроводов», АО «Арамильский завод передовых технологий».

Повышенное содержание фосфора и нитратов в водах реки может быть связано и с сельскохозяйственной деятельностью, осуществляемой вблизи водного объекта. Содержащие остатки фосфорных и нитратных удобрений стоки с полей, а также отходы животноводческих комплексов являются распространенной причиной высокой концентрации фосфат- и нитрат-ионов в поверхностных водах [15–20]. При этом чрезмерное обогащение воды фосфором и азотом приводит к эвтрофикации рек. Это влечет за собой бурный рост водорослей, кислородное голодание, массовую гибель рыбы и других водных организмов[14] [21–25]. Если от истока реки до выхода с Нижне-Исетского пруда вода в Исети относится по содержанию фосфора еще к олиготрофной категории (менее 150 мкг/дм^3 PO_4^{3-}), то в районе Арамиля происходит ее эвтрофикация.

Показатели радиационной безопасности всех изученных образцов воды не превышают нормативных значений, установленных для вод хозяйствен-

14 РД 52.24.643-2002. Методические указания. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. Спб: Гидрометеоиздат, 2002. 49 с.

но-питьевого и культурно-бытового водопользования[15]. Контрольные уровни для удельной суммарной альфа-активности (A_α) и удельной суммарной бета-активности (A_β) составляют соответственно 0,2 и 1,0 Бк/дм^3. По течению реки эти показатели изменяются в узком диапазоне без какой-либо выраженной закономерности (табл. 4). Концентрация урана в водах Исети в среднем составляет 1,05 мкг/дм^3, тория – 0,012 мкг/дм^3 (табл. 2), что в сумме соответствует удельной альфа-активности порядка 0,026 Бк/дм^3.

Таблица 4. Удельная суммарная альфа- (A_α) и бета-активность (A_β) воды р. Исети
Table 4. Specific total alpha (A_α) and beta activity (A_β) of the Iset River water

Точки отбора проб воды	Удельная суммарная активность, Бк/дм^3 (±Δ – абсолютная погрешность измерений, P = 0,95)	
	A_α	A_β
I1	0,079 ± 0,045	0,090 ± 0,032
I2	< 0,031	0,028 ± 0,025
I3	0,044 ± 0,037	0,165 ± 0,035
I4	0,069 ± 0,046	0,063 ± 0,031
I5	< 0,034	0,666 ± 0,048
I6	< 0,035	0,069 ± 0,026
I7	< 0,033	0,102 ± 0,026
I8	< 0,038	0,089 ± 0,032
I9	< 0,036	0,093 ± 0,032
I10	< 0,045	0,125 ± 0,034
I11	0,116 ± 0,066	0,125 ± 0,034
I12	0,004 ± 0,065	0,115 ± 0,034

Согласно проведенным расчетам, удельный комбинаторный индекс загрязненности воды р. Исети на изученном участке составляет 3,37. Критических показателей загрязненности в исследованных пробах речной воды не обнаружено. В соответствии с классификацией по значению УКИЗВ вода в Исети относится к 3-му классу (разряд «б») и является «очень загрязненной»[14].

ВЫВОДЫ

Вода р. Исети относится к гидрокарбонатному классу с изменяющимся катионным составом при доминировании кальция. Общая минерализация воды в среднем составляет 341 мг/дм^3. По общей жесткости вода в реке мягкая (0,68–1,88 °Ж), величина pH находится в интервале 7,0–7,6. Показатели радиационной безопасности воды р. Исети не превышают нормативных значений, установленных для вод хозяйственно-питьевого и культурно-

15 МУ 2.6.1.2719-10. Методические указания. Радиационный контроль и гигиеническая оценка источников питьевого водоснабжения и питьевой воды по показателям радиационной безопасности. Оптимизация защитных мероприятий источников питьевого водоснабжения с повышенным содержанием радионуклидов.

бытового водопользования. Цветность воды в Исети в среднем составляет 37,5 ° (Pt-Co шкала). Высокое значение этого показателя обусловлено сочетанием природных факторов и значительного антропогенного воздействия.

В ходе проведенных исследований в водах Исети на всем изученном участке реки установлено превышение ПДК Cu (в 2,0–7,9 раза) и Fe (в 1,3–5,7 раза). В ряде точек зафиксировано высокое содержание Zn (1,4–1,5 ПДК), V (1,0–1,6 ПДК), Se (1,2–7,3 ПДК), Hg (1,25 ПДК), Tl (2,08 ПДК), PO_4^{3-} (1,2–2,1 ПДК) и NO_3^- (1,3–1,5 ПДК). Повышенное содержание в воде неорганических компонентов обусловлено производственной деятельностью предприятий металлургического, химического и машиностроительного комплексов Екатеринбурга и его городов-спутников. По маршруту отбора проб точки превышения нормативов качества воды коррелируют с местами размещения в бассейне Исети промышленных объектов, а химическая природа поллютантов соотносится с особенностями применяемых ими технологических схем переработки исходного сырья и производства готовой продукции.

На изученном участке реки вода характеризуется как «очень загрязненная». Несмотря на отсутствие критических показателей загрязненности, текущая антропогенная нагрузка оценивается как высокая и стабильная. Она носит характер хронического техногенного воздействия, ограничивающего потенциал самоочищения экосистемы и требующего мер по контролю за сточными водами.

Научная новизна работы заключается в расширенном анализе воды на компоненты, не нормируемые в водных объектах рыбохозяйственного значения, включая радиоактивные металлы и РЗЭ. Такой подход позволил выявить скрытые угрозы, не фиксируемые стандартным мониторингом. В частности, у истока реки была установлена высокая концентрация токсичного и склонного к биоаккумуляции таллия. А зафиксированное значительное превышение фоновых значений для РЗЭ (0,6 мкг/дм³) и Ag (< 0,1 мкг/дм³) представляет серьезную опасность для гидробионтов (рыб, микропланктона и простейших). Кроме того, анализ воды на радиоактивные элементы позволил определить причину формирования ее удельной альфа-активности.

Дальнейшие исследования будут сосредоточены на оценке роли донных отложений как аккумулятора металлов и источника вторичного загрязнения. Кроме того, планируется расширение мониторинговой сети вниз по течению до г. Каменск-Уральского для полноты анализа пространственной трансформации качества воды р. Исети. Однако уже сейчас можно говорить о том, что для эффективного снижения уровня загрязненности реки необходим комплексный подход. В первую очередь требуется проведение глубокой модернизации очистных сооружений промышленных объектов и предприятий ЖКХ с внедрением новых, более эффективных технологий очистки сточных вод.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

CONFLICT OF INTERESTS
The authors declare no relevant conflict of interests.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кулешова Г. И. Научно-инновационный комплекс как один из базовых факторов трансформации каркаса расселения на примере СТП Свердловской области. Предпосылки включения научно-инновационного комплекса в базовые факторы трансформации региональной системы расселения // Academia. Архитектура и строительство. 2020. № 3. С. 98–105. https://doi.org/10.22337/2077-9038-2020-3-98-105
2. Астафьева О. В., Дерягина С. Е. Экологический мониторинг – необходимый элемент в системе обеспечения экологической безопасности неблагополучных территорий (Свердловская область) // Экология и промышленность России. 2016. Т. 20. № 6. С. 58–62. https://doi.org/10.18412/1816-0395-2016-6-58-62
3. Старцева О. П. Переход к модели устойчивого роста Свердловской области // Управление устойчивым развитием. 2023. № 5 (48). С. 27–33. https://doi.org/10.55421/2499992X_2023_5_27
4. Фельдман М. А., Тимин А. А. Экологическая политика в Свердловской области: проблема совершенствования инструментов // Управленческое консультирование. 2018. № 10 (118). С. 133–142. https://doi.org/10.22394/1726-1139-2018-10-133-142
5. Медведева И. В., Амирова Е. В., Студенок Г. А., Цейтлин Е. М., Медведева О. М. Воздействие предприятий горно-металлургического комплекса Свердловской области на окружающую среду и направления его снижения // Известия УГГУ. 2023. №. 4 (72). С. 116–126. https://doi.org/10.21440/2307-2091-2023-4-116-126
6. Боброва З. М., Ильина О. Ю., Студенок Г. А., Цейтлин Е. В. Воздействие предприятий минерально-сырьевого комплекса Урала на водные ресурсы // Известия УГГУ. 2016. № 1 (41). С. 62–66.
7. Oznobikhina L. A. Pollution of ecosystem water resources in the Ural Federal District // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 1045. P. 012125. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1045/1/012125
8. Розенталь О. М., Федотов В. Х. Исследование закономерностей вариации показателей качества воды реки Исеть с использованием нейросетевых методик // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2023. № 6. С. 33–43. https://doi.org/10.35567/19994508_2023_6_3
9. Prkić A., Giljanović J., Bralić M., Boban K. Direct potentiometric determination of fluoride species by using ion-selective fluoride electrode // International Journal of Electrochemical Science. 2012. Vol. 7. No. 2. P. 1170–1179. https://doi.org/10.1016/S1452-3981(23)13404-3
10. Каримова О. А., Миняева Ю. В., Четверикова А. В. Влияние антропогенных факторов на водные ресурсы промышленно развитых районов Северо-Западного федерального округа (на примере Ленинградской области) // Научное обеспечение реализации «Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 года»: сб. научных трудов, Петрозаводск, 2015. Т. 1. С. 155–161.
11. Савостикова О. Н., Ушакова О. В., Трегубова Л. Ю. Мониторинг химического и биологического состава придонного ила (обзор литературы) // Гигиена и санитария. 2022. № 101 (5). С. 511–514. https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-5-511-514
12. Наумов Ю. А. Об особенностях загрязнения поверхностных вод на территории Дальнего Востока России // Ойкумена. Регионоведческие исследования. 2021. № 3. С. 102–112. https://doi.org/10.24866/1998-6785/2021-3/102-112

13. Закруткин В. Е., Гибков Е. В., Решетняк О. С., Решетняк В. Н. Донные отложения как индикатор первичного и источник вторичного загрязнения речных вод углепромышленных территорий Восточного Донбасса // Известия Российской академии наук. Сер. географическая. 2020. № 84 (2). С. 259–271. https://doi.org/10.31857/S2587556620020168
14. Опекунов А. Ю., Опекунова М. Г., Джораева А. Н. Фракционирование металлов в донных осадках рек Санкт-Петербурга // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2024. № 69 (1). С. 166–184. https://doi.org/10.21638/spbu07.2024.109
15. Неваев А. С. Анализ эффективности методов экологического мониторинга поверхностных водоемов в условиях их эвтрофирования со стороны объектов сельского хозяйства (обзор) // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024. Т. 25. № 6. С. 969–987. https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.969-987
16. Bijay-Singh, Craswell E. Fertilizers and nitrate pollution of surface and ground water: an increasingly pervasive global problem // SN Applied Sciences. 2021. No. 3. Vol. 518. https://doi.org/10.1007/s42452-021-04521-8
17. Sukharevich V. I., Polyak Y. M. Global occurrence of cyanobacteria: causes and effects (Review) // Inland Water Biology. 2020. No. 13. P. 566–575. https://doi.org/10.1134/S1995082920060140
18. Щукина Д. А., Чукина Н. В., Малева М. Г., Борисова Г. Г. Адаптивные реакции адвентивного вида Lemna gibba в условиях загрязнения водной среды // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2020. № 1. С. 108–123. https://doi.org/10.35567/1999-4508-2020-1-7
19. Golterman H. L., de Oude N. T. Eutrophication of lakes, rivers and coastal seas. In: water pollution // Water Pollution. 1991. Vol. 5/5A. Springer, Berlin: Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-46685-7_3
20. 20 Li C., Shen J., Feng J., Chi L., Wang X. Variations of phosphorus in sediments and suspended particulate matter of a typical mesotrophic plateau lake and their contribution to eutrophication // Scientific Reports. 2024. No. 14. P. 26551. https://doi.org/10.1038/s41598-024-77866-w
21. Сафиуллин Э. М., Ладыгина О. В., Насибов Т. Р., Насырова Л. А. Исследование эвтрофикации реки Волга через анализ биогенных нагрузок притоков рек Ярославля с применением ГИС // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2025. № 5 (157). С. 193–204. https://doi.org/10.17122/ntj-oil-2025-5-193-204
22. Сазонов А. А., Лисина А. А., Ерина О. Н., Фролова Н. Л., Ломаков О. И., Платонов М. М. Синхронные исследования качества воды реки Волги // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2024. № 5. С. 98–114. https://doi.org/10.35567/19994508-2024-5-98–114
23. Huang J., Zhang Y., Arhonditsis G.B., Gao J., Chen Q., Peng J. The magnitude and drivers of harmful algal blooms in China's lakes and reservoirs: A national-scale characterization // Water Research. 2020. Vol. 181. P. 115902. https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115902
24. Melaram R., Newton A.R., Chafin J. Microcystin contamination and toxicity: implications for agriculture and public health // Toxins. 2022. No. 14 (5). P. 350. https://doi.org/10.3390/toxins14050350
25. Ding Y., Xu H., Deng J., Qin B., He Y. Impact of nutrient loading on phytoplankton: a mesocosm experiment in the eutrophic Lake Taihu, China // Hydrobiologia. 2019. No. 829. P. 167–187. https://doi.org/10.1007/s10750-018-3830-6

REFERENCES

1. Kuleshova G. I. Scientific and innovative complex as a basic factor of transformation of the settlement framework on the example of the Scheme of Territorial Planning of the Sverdlovsk region. Prerequisites for the inclusion of the scientific and innovative complex in the basic factors of transformation of the regional settlement system. *Academia. Architecture and construction.* 2020. No. 3. P. 98–105. (In Russ.). https://doi.org/10.22337/2077-9038-2020-3-98-105

2. Astafyeva O. V., Deryagina S. E. Environmental monitoring as an essential element in the system of environmental safety areas of concern (Sverdlovsk Oblast). *Ecology and Industry of Russia*. 2016. Vol.20. No. 6. P. 58–62. (In Russ.). https://doi.org/10.18412/1816-0395-2016-6-58-62
3. Startseva O. P. Transition to the sustainable growth model of the Sverdlovsk region. *Managing sustainable development.* 2023. Vol. 5. No. 48. P. 27–33. (In Russ.). https://doi.org/10.55421/2499992X_2023_5_27
4. Feldman M. A., Timin A. A. Ecological policy in the Sverdlovsk region: problem of improving instruments. *Administrative Consulting.* 2018. No. 10 (118). P. 133–142. (In Russ.). https://doi.org/10.22394/1726-1139-2018-10-133-142
5. Medvedeva I. V., Amirova E. V., Studenok G. A., Tseitlin E. M., Medvedeva O. M. Impact of enterprises of the mining and metallurgical complex of the Sverdlovsk region on the environment and directions of its reduction. *News of the Ural State Mining University.* 2023. Vol. 4 (72). P. 116–126. (In Russ.). https://doi.org/10.21440/2307-2091-2023-4-116-126
6. Bobrova Z. M., Ilina O. Yu., Studenok G. A., Tseytlin E. M. Impact of enterprises of Ural mineral resource complex on water resources. *News of the Ural State Mining University.* 2016. No. 1 (41). P. 62–66. (In Russ.).
7. Oznobikhina L.A. Pollution of ecosystem water resources in the Ural Federal District. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.* 2022. Vol. 1045. P. 012125. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1045/1/012125
8. Rosenthal O. M., Fedotov V. K. Investigation of patterns of variation in water quality indicators of the Iset River with the use of neuronet methods. *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management.* 2023. No. 6. P. 33–43. (In Russ.). https://doi.org/10.35567/19994508_2023_6_3
9. Prkić A., Giljanović J., Bralić M., Boban K. Direct potentiometric determination of fluoride species by using ion-selective fluoride electrode. *International Journal of Electrochemical Science.* 2012. Vol. 7. No. 2. P. 1170–1179. https://doi.org/10.1016/S1452-3981(23)13404-3
10. Karimova O. A., Minyaeva Yu. V., Chetverikova A. V. The influence of anthropogenic factors on the water resources of industrially developed areas of the Northwestern Federal District (on the example of the Leningrad Region). *Scientific support for the implementation of the Water Strategy of the Russian Federation for the period up to 2020.* Petrozavodsk, July 06-11, 2015. Vol. 1. P. 155–161. (In Russ.).
11. Savostikova O. N., Ushakova O. V., Tregubova L. Yu. Monitoring of Chemical and Biological Composition of Bottom Silt. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal).* 2022. Vol. 101. No. 5. P. 511–514. (In Russ.). https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-5-511-514
12. Naumov Yu.A. On the features of surface water pollution in the Russian Far East. *Ojkumena. Regional researches.* 2021. No. 3. P. 102–112. (In Russ.). https://doi.org/10.24866/1998-6785/2021-3/102-112
13. Zakrutkin V. E., Gibkov E. V., Reshetnyak O. S., Reshetnyak V. N. River sediments as river waters' primary pollution indicator and secondary pollution source in East Donbass coal-mining areas. *Russian Academy of Science news bulletin. Series: Geography.* 2020. Vol. 84. No. 2. P. 259–271. (In Russ.). https://doi.org/10.31857/S2587556620020168
14. Opekunov A. Yu., Opekunova M. G., Jorayeva A. N. Fractionation of metals in bottom sediments of St. Petersburg rivers. *Newsletters of Saint Petersburg University. Earth Science.* 2024. Vol. 69. No. 1. P. 166–184. (In Russ.). https://doi.org/10.21638/spbu07.2024.109
15. Nevaev A. S. Effectiveness analysis of surface reservoirs environmental monitoring methods in conditions of their eutrophication by agricultural facilities. *Agricultural Science of the Euro-North-East.* 2024. Vol. 25. No. 6. P. 969–987. (In Russ.). https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.969-987
16. Bijay-Singh, Craswell E. Fertilizers and nitrate pollution of surface and ground water: an increasingly pervasive global problem. *SN Applied Sciences.* 2021. Vol. 3. No. 518. https://doi.org/10.1007/s42452-021-04521-8

17. Sukharevich V. I., Polyak Y. M. Global occurrence of cyanobacteria: causes and effects (Review). *Inland Water Biology.* 2020. No. 13. P. 566–575. https://doi.org/10.1134/S1995082920060140
18. Shchukina D. A., Chukina N. V., Maleva M. G., Borisova G. G. Adaptive reaction of the adventive species *Lemma gibba* to water pollution. *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management.* 2020. No. 1. P. 108–123. (In Russ.). https://doi.org/10.35567/1999-4508-2020-1-7
19. Golterman H. L., de Oude N. T. Eutrophication of lakes, rivers and coastal seas. In: water pollution. *Water Pollution.* 1991. Vol. 5/5A. https://doi.org/10.1007/978-3-540-46685-7_3
20. Li C., Shen J., Feng J., Chi L., Wang X. Variations of phosphorus in sediments and suspended particulate matter of a typical mesotrophic plateau lake and their contribution to eutrophication. *Scientific Reports.* 2024. No. 14. P. 26551. https://doi.org/10.1038/s41598-024-77866-w
21. Safiullin E.M., Ladygina O.V., Nasibov T.R., Nasyrova L.A. Investigation of the Volga River Eutrophication on the Basis of Analysis of Biogenic Loads of Yaroslavl River Tributaries Using GIS. *Problems of gathering, treatment and transportation of oil and oil products.* 2025. Vol. 5. No. 157. P. 193–204. (In Russ.). https://doi.org/10.17122/ntj-oil-2025-5-193-204
22. Sazonov A. A., Lisina A. A., Erina O. N., Frolova N. L., Lomakov L. I., Platonov M. M. Synchronous studies of the Volga River water quality. *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management.* 2024. No. 5. P. 98–114. (In Russ.). https://doi.org/10.35567/19994508-2024-5-98–114
23. Huang J., Zhang Y., Arhonditsis G. B., Gao J., Chen Q., Peng J. The magnitude and drivers of harmful algal blooms in China's lakes and reservoirs: A national-scale characterization. *Water Research.* 2020. Vol. 181. P. 115902. https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115902
24. Melaram R., Newton A.R., Chafin J. Microcystin contamination and toxicity: implications for agriculture and public health. *Toxins.* 2022. Vol. 14. No. 5. P. 350. https://doi.org/10.3390/toxins14050350
25. Ding Y., Xu H., Deng J., Qin B., He Y. Impact of nutrient loading on phytoplankton: a mesocosm experiment in the eutrophic Lake Taihu, China. *Hydrobiologia.* 2019. No. 829. P. 167–187. https://doi.org/10.1007/s10750-018-3830-6

Сведения об авторах:

Скрипченко Сергей Юрьевич, канд. техн. наук, доцент, кафедра редких металлов и наноматериалов, Физико-технологический институт, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина», Россия, 620062, г. Екатеринбург ул. Мира, 19; https://orcid.org/0000-0002-7564-886X; e-mail: uran233@mail.ru

Наливайко Ксения Андреевна, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, кафедра редких металлов и наноматериалов, Физико-технологический институт, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина», Россия, 620062, г. Екатеринбург ул. Мира, 19; https://orcid.org/0000-0001-9483-373X; e-mail: k.a.nalivaiko@urfu.ru

Семенищев Владимир Сергеевич, канд. хим. наук, доцент, кафедра радиохимии и прикладной экологии, Физико-технологический институт, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19; https://orcid.org/0000-0002-5269-2294; e-mail: vovius82@mail.ru

Скрипченко Михаил Сергеевич, учащийся, МАОУ-СОШ № 156, Россия, 620103, г. Екатеринбург ул. Эскадронная, д. 24; https://orcid.org/0009-0002-0332-7837; e-mail: skripa2409@mail.ru

Ульянова Амира Алексеевна, учащаяся, МАОУ Лицей № 88, Россия, 620062, г. Екатеринбург, пр. Ленина, 64А; e-mail: miruse4ka@gmail.com

About the authors:

Sergey Yu. Skripchenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Department of Rare Metals and Nanomaterials, Institute of Physics and Technology, B.N. Yeltsin Ural Federal University, Russia, 620062, Mira St., 19, Ekaterinburg; https://orcid.org/0000-0002-7564-886X; e-mail: uran233@mail.ru

Ksenia A. Nalivaiko, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Department of Rare Metals and Nanomaterials, Institute of Physics and Technology, B.N. Yeltsin Ural Federal University, Russia, 620062, Mira St., 19, Ekaterinburg; https://orcid.org/0000-0001-9483-373X; e-mail: k.a.nalivaiko@urfu.ru

Vladimir S. Semenishchev, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Chair of Radiochemistry and Applied Ecology, Institute of Physics and Technology, B.N. Yeltsin Ural Federal University, Russia, 620062, Mira St., 19, Ekaterinburg; https://orcid.org/0000-0002-5269-2294; e-mail: vovius82@mail.ru

Mikhail S. Skripchenko, school student, The State Secondary School № 156, Russia, 620103, Eskadronnaya St., 24, Ekaterinburg; https://orcid.org/0009-0002-0332-7837; e-mail: skripa2409@mail.ru

Amira A. Ulianova, school student, Lyceum № 88, Russia, 620062, Lenin Avenue, 64A, Ekaterinburg; e-mail: miruse4ka@gmail.com

Поступила в редакцию / Received 16.02.2026.
Поступила после рецензирования / Revised 02.03.2026.
Принята к публикации / Accepted 01.04.2026.