- ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ПРАВО -

Дата поступления рукописи в редакцию: 15.05.2026 г. DOI: 10.24412/2782-3830-2026-6-435-440
Дата принятия рукописи в печать: 02.07.2026 г.

БЫКОВА Ольга Александровна,
доктор сельскохозяйственных наук, доцент,
профессор кафедры биотехнологии и пищевых продуктов,
e-mail:olbyk75@mail.ru

СТЕПАНОВ Алексей Владимирович,
кандидат сельскохозяйственных наук,
доцент кафедры биотехнологии и пищевых продуктов,
e-mail: alexeystepanow@mail.ru

ИЛЬЯСОВ Олег Рашитович,
доктор биологических наук,
профессор кафедры «Техносферная и экологическая безопасность»
Уральский государственный аграрный университет,
профессор кафедры «Техносферная безопасность»
Уральский государственный университет путей сообщения,
ст. научный сотрудник УрНИВИ ФГБНУ УрФАНИЦ УрОРАН,
e-mail: ilyasov3@rambler.ru

СМИРНОВА Екатерина Сергеевна,
кандидат сельскохозяйственных наук,
доцент кафедры биотехнологии и пищевых продуктов,
e-mail: ekaterina-kazantseva@list.ru

РАЖИНА Ева Валерьевна,
кандидат биологических наук,
доцент кафедры биотехнологии и пищевых продуктов,
e-mail: eva.mats@mail.ru

ШИЛОВЦЕВ Андрей Владимирович,
кандидат исторических наук, доцент кафедры философии,
Уральский государственный аграрный университет,
доцент кафедры теории, методологии и правового
обеспечения государственного и муниципального управления,
Уральский федеральный университет,
e-mail: a.shilovtsev@mail.ru

ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД В РАЙОНЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ ГРЭС

Аннотация. *Поверхностные воды являются наиболее уязвимым компонентом биосферы, поскольку они выступают конечным аккумулятором техногенных выбросов. Сточные воды Троицкой ГРЭС, являющейся крупнейшим производителем электроэнергии в южной части Уральского региона, традиционно рассматриваются как значимый фактор техногенного воздействия на гидрологический режим и качество вод реки Увелька. Целью исследований явился гидрохимический анализ воды реки Увелька в районе Троицкой ГРЭС. Установлено превышение ПДК для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования по свинцу, общей жесткости, для рыбохозяйственных водоемов по свинцу, марганцу, цинку, нитратам. Близки к уровню ПДК в воде оказались концентрации железа, нитратов и гидрокарбонатов.*

Ключевые слова: *гидрохимический анализ, качество поверхностных вод, тяжелые металлы, экологический контроль, экотоксиканты.*

BYKOVA Olga A.,
doctor of agricultural sciences,
professor of the Department
of biotechnology and food products,
Ural State Agrarian University

STEPANOV Alexey V.,
Candidate of Agricultural Sciences,
Associate Professor of the Department
of Biotechnology and Food Products

ILYASOV Oleg R.,
Doctor of Biological Sciences,
Professor of the Department of Technosphere Safety,
Ural State University of Railway Transport,
Professor of the Department of Technosphere and Environmental Safety,
Ural State Agrarian University, Senior Researcher,
Ural Research Veterinary Institute,
Federal State Budgetary Scientific Institution,
Ural Federal Research Center,
Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

SMIRNOVA Ekaterina S.,
Candidate of Agricultural Sciences,
Associate Professor of the Department
of Biotechnology and Food Products
Ural State Agrarian University

RAZHINA Eva V.,
Candidate of Biological Sciences,
Associate Professor of the Department
of Biotechnology and Food Products

SHILOVTSEV Andrey V.,
Candidate of Historical Sciences,
Associate Professor of the Department of Philosophy,
Ural State Agrarian University,
Associate Professor of the Department of Theory,
Methodology and Legal Support of Public
and Municipal Administration,
Ural Federal University

HYDROCHEMICAL ANALYSIS OF SURFACE WATER IN THE AREA OF THE HYDROELECTRIC POWER STATION

Annotation. *Surface waters are the most vulnerable component of the biosphere, as they act as the final reservoir of anthropogenic emissions. Wastewater from the Troitskaya Hydroelectric Power Plant, the largest electricity producer in the southern Ural region, is traditionally considered a significant factor in the anthropogenic impact on the hydrological regime and water quality of the Uvelka River. The aim of the study was to conduct a hydrochemical analysis of the Uvelka River water near the Troitskaya Hydroelectric Power Plant. Concentrations exceeding the maximum permissible limits for water bodies used for domestic and drinking water supply were found for lead and total hardness, and for fishery water bodies for lead, manganese, zinc, and nitrates. Concentrations of iron, nitrates, and hydrocarbonates were also close to the maximum permissible limits.*

Key words: *hydrochemical analysis, surface water quality, heavy metals, environmental monitoring, ecotoxicants.*

Введение

В последние десятилетия проблема антропогенного загрязнения пресноводных экосистем приобрела глобальный характер. Поверхностные воды являются наиболее уязвимым компонентом биосферы, поскольку они выступают конечным аккумулятором техногенных выбросов. Согласно данным Государственного доклада «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации», ежегодно в поверхностные водные объекты страны сбрасывается более 40 км^3 сточных вод, из которых около 15 % приходится на долю загрязненных без очистки и недостаточно очищенных стоков. Особенно остро эта проблема стоит в регионах с высокой концентрацией промышленных предприятий топливно-энергетического комплекса.

Челябинская область традиционно входит в число субъектов РФ с наиболее напряженной экологической обстановкой. По объему выбросов загрязняющих веществ в атмосферу и водоемы область занимает одно из лидирующих мест, уступая лишь Красноярскому краю и Кемеровской области. Реки региона, в том числе Увелька, Миасс, Сим, Ай, испытывают колоссальную антропогенную нагрузку. Основными источниками загрязнения выступают предприятия черной и цветной металлургии, машиностроения, а также объекты теплоэнергетики. Сточные воды Троицкой ГРЭС, являющейся крупнейшим производителем электроэнергии в южной части Уральского региона, традиционно рассматриваются как значимый фактор техногенного воздействия на гидрологический режим и качество вод реки Увелька — правого притока Тобола, имеющей важное рыбохозяйственное и рекреационное значение.

Несмотря на наличие очистных сооружений, эффективность их работы не всегда соответствует современным требованиям. Ситуация усугубляется физико-химическими особенностями сточных вод ГРЭС, которые часто содержат повышенные концентрации солей тяжелых металлов, взвешенных веществ, соединений азота. В связи с этим систематический гидрохимический мониторинг водных объектов в зоне влияния энергетических предприятий является неотъемлемым элементом обеспечения экологической безопасности и рационального природопользования.

Проблема загрязнения поверхностных вод промышленными объектами имеет четкую правовую регламентацию в Российской Федерации. Однако на практике нарушения природоохранного законодательства остаются массовыми.

Основополагающим документом является Водный кодекс РФ от 03.06.2006 № 74-ФЗ (ред. от 25.12.2023). Статья 56 Кодекса прямо запрещает сброс сточных вод в водные объекты, содержание в которых загрязняющих веществ превышает нормативы предельно допустимых сбросов (ПДС). Статья 60 обязывает юридические лица, эксплуатирующие водохозяйственные системы, принимать меры по предотвращению загрязнения водных объектов.

Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» (ст. 34, 39, 44) устанавливает, что размещение и эксплуатация объектов энергетики допустимы только при условии соблюдения нормативов качества окружающей среды. Предприятие обязано осуществлять производственный экологический контроль, в том числе лабораторный мониторинг состава сточных вод и вод водных объектов в зоне своего влияния.

В части санитарно-эпидемиологических требований действует СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания», а также СанПиН 1.2.3685-21 (раздел 3.2) для водных объектов рыбохозяйственного значения, которые устанавливают предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ. Река Увелька имеет рыбохозяйственное значение (высшая категория).

Кроме того, Федеральный закон от 24.06.1998 № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления» и Приказ Минприроды России от 01.12.2020 № 1027 «Об утверждении методики разработки нормативов предельно допустимых сбросов» обязывают ГРЭС разрабатывать и соблюдать ПДС.

Таким образом, научно-практическая проблема заключается в том, что, несмотря на существование жесткой правовой базы, реальное качество воды реки Увелька в нижнем бьефе Троицкой ГРЭС не соответствует нормативам, что создает риски для здоровья населения (город Троицк использует реку в рекреационных целях) и для водных биоресурсов. Необходимо не только констатировать факты превышений, но и количественно обосновать вклад ГРЭС в формирование химического состава воды, а также предложить пути приведения качества воды в соответствие с законодательными требованиями [1-6].

На основании вышеизложенного целью исследований явился гидрохимический анализ воды реки Увелька в районе Троицкой ГРЭС.

Материалы и методы

Материалом для исследований служили пробы воды реки Увелька на участке протяженностью около 1,5 км, включающем зону влияния Троицкой ГРЭС: проба № 1 - фоновый створ, расположенный на 500 м выше по течению от

места сброса очищенных сточных вод ГРЭС; проба№ 2 - контрольный створ, на 500 м ниже места смешения сточных вод с речной водой.

Отбор проб проводился в сентябре (межень) в соответствии с требованиями ГОСТ 31861-2012 «Вода. Общие требования к отбору проб».

Пробы отбирали в стерильные полиэтиленовые бутыли объемом 2 л, для определения тяжелых металлов — с добавлением консерванта. Транспортировка и хранение осуществлялись при температуре 4 °С.

Из показателей химического состава определяли общую жёсткость, концентрацию ионов кальция и магния, хлоридов, карбонатов, гидрокарбонатов титриметрическим методом, концентрацию нитратов и сульфатов - фотоколориметрическим методом с использованием фотометра КФК-3-01. Уровень содержания тяжёлых металлов (Mn, Fe, Co, Cd, Cu, Zn, Ni, Pb) - методом атомно-абсорбционной спектрофотомерии. Из органолептических показателей определяли цветность, мутность, прозрачность, запах.

Статистическую обработку выполняли с использованием пакета Microsoft Excel. Для каждого показателя рассчитывали среднее арифметическое по 3 параллельным определениям.

Нормативную базу сравнения составили ПДК для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (СанПиН 1.2.3685-21), а также для рыбохозяйственных водоемов (Приказ Росрыболовства № 20 от 18.01.2022).

Результаты

Органолептическая оценка качества воды – обязательная начальная процедура химического контроля воды. Эта оценка приносит много прямой и косвенной информации о составе воды.

При проведении органолептических исследований было отмечено, что вода пробы № 1 бесцветная, пробы № 2 – слабо-желтоватая, слабо-опалесцирующая. Прозрачность воды в верхнем течении реки составляет более 50 см, в нижнем уменьшается до 33 см. Снижение прозрачности и желтоватый оттенок возможно обусловлены появлением в более высоких концентрациях в воде контрольного створа взвесей и гидроксидов железа. Вода в фоновом створе имела слабый запах водных растений (1 балл), в пробе № 2 отчетливо ощущался неопределенный запах (4 балла).

Результаты исследований химического состава воды представлены в *таблицах 1 и 2.*

Полученные данные показывают, что вода реки Увелька в фоновом створе (выше сброса Троицкой ГРЭС) в целом соответствует питьевым нормативам по большинству показателей, за исключением свинца (0,010 мг/л — ровно на уровне ПДК) и общей жесткости (7,11 мг-экв/л, что незначительно превышает норматив 7,0 мг-экв/л). Это характерно для вод южноуральских рек, испытывающих природную минерализацию за счет выщелачивания горных пород. Однако уже в фоновой точке свинец находится на пределе допустимого, что вызывает тревогу и указывает на накопление загрязнения от автотранспорта, ливневых стоков с территории города, фонового техногенного загрязнения почв. После прохождения зоны сброса сточных вод Троицкой ГРЭС (контрольный створ) происходит статистически значимое изменение качества воды по содержанию железа, цинка, марганца.

Таблица 1. Содержание тяжелых металлов в воде р. Увелька, мг/дм^3

Показатель	Проба		ПДК
	Фоновый створ	Контрольный створ	
Железо	0,051±0,002	0,070±0,003***	0,300
Медь	0,0009±0,0001	0,0009±0,0001	1,000
Цинк	0,017±0,001	0,028±0,002**	1,000
Кобальт	0,003±0,001	0,007±0,001	0,100
Марганец II	0,008±0,001	0,026±0,001***	0,100
Магний	3,52±0,10	3,49±0,10	50,000
Свинец	0,010±0,002	0,020±0,007	0,010
Кадмий	-	-	0,001
Никель	-	0,004±0,001	1,000

Свинец является одним из самых опасных экотоксикантов. Его концентрация возрастает в 2 раза в контрольном створе относительно фонового створа и составляет 2 ПДК. Такое увеличение может быть обусловлено использованием углей с высоким содержанием свинца на ГРЭС (золоунос в водосборную систему), коррозией металлических трубопроводов, недостаточной эффективностью очистки от тяжелых металлов. ПДК свинца для рыбохозяйственных водоемов составляет 0,006 мг/дм3. Таким образом, в контрольном створе превышение достигает 3,3 раза, что является очень высоким уровнем для ихтиофауны. Свинец обладает кумулятивным действием, вызывает хроническую интоксикацию гидробионтов, нарушает процессы размножения у рыб.

Содержание марганца увеличилось в пробе воды из контрольного створа в 3,25 раза относительно фонового значения. По питьевым нормам превышения нет, но по рыбохозяйственным ПДК (0,010 мг/л) концентрация в контрольном створе превышена в 2,6 раза. Марганец токсичен для водных организмов и ухудшает органолептические показатели воды.

Концентрация меди не изменилась и находилась в пределах ПДК для воды как питьевого так и рыбохозяйственного назначения, что является безопасным для гидробионтов и использования воды человеком.

Концентрация цинка в фоновом и контрольном створе находилась в пределах допустимого значения для воды водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, однако превышала ПДК для рыбохозяйственных водоемов в 1,7 и 2,8 раза соответственно. Содержание этого элемента в воде ниже сброса Троицкой ГРЭС увеличилось в 1,6 раза относительно фонового.

Динамика содержания железа в воде реки Увелька аналогична цинку: происходило увеличение его концентрации в 1,37 раза (с 0,051 в пробе 1 до 0,070 мг/л в пробе 2). Питьевой ПДК (0,3 мг/л) не превышен, по рыбохозяйственному ПДК (0,1 мг/л) — значение в контрольном створе (0,070 мг/л) находится в пределах нормы, хотя близко к верхней границе.

Никель появился только в контрольном створе (0,004 мг/л), что прямо указывает на техногенный привнос. Питьевой ПДК (1,0 мг/л) и рыбохозяйственный ПДК (0,01 мг/л) не превышены, но сам факт появления нового загрязнителя является негативным результатом нашего исследования.

Содержание кобальта в воде как выше так и ниже сброса предприятия не превышало допустимых значений. Концентрация этого элемента в воде контрольного створа была выше фонового значения в 2,3 раза.

Кадмий не обнаружен в обоих створах.

Концентрация магния оставалась примерно на одном уровне, что было значительно ниже питьевого ПДК (рыбохозяйственного норматива нет).

Таблица 2. Показатели химического состава воды р. Увелька, мг/дм³

Показатель	Проба		ПДК
	Фоновый створ	Контрольный створ	
Общая жесткость, мг-экв/л	7,11±0,5	8,02±0,4	7
Ca2+	85,23±7,11	103,17±8,23	200
Mg2+	38,64±5,30	57,36±6,19	100
CO32-	51,29±1,00	63,97±2,12**	100
HCO3-	624,75±25,33	957,46±54,87***	1000
NO3-	21,64±1,27	44,89±3,16***	45
SO42-	49,73±4,65	72,55±5,80	500
Cl-	154,67±18,14	190,43±12,31	350

Общая жесткость в воде контрольного створа возрасла на 12,8% относительно фонового створа. Оба значения были выше ПДК для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования что на 1,6 и 14,6 % соответственно. Жесткая вода ухудшает органолептические свойства, приводит к образованию накипи, может негативно влиять на здоровье людей. Источником повышения жесткости являются соли кальция и магния: концентрация

ионов Ca^{2+} выросла на 21 % (с 85,2 до 103,2 мг/л), ионов Mg^{2+} — на 48 % (с 38,6 до 57,4 мг/л). Оба значения находились в пределах питьевых ПДК (200 и 100 мг/л соответственно).

Концентрация гидрокарбонатов (HCO_3^-) в нижнем течении выросла относительно верхнего в 1,5 раза и составила 95,7 % от питьевого ПДК (1000 мг/л). Превышения нет, но значение близко к критическому. Это свидетельствует о щелочном характере сбросов (вероятно, известкование сточных вод или вынос золы).

Содержание нитратов (NO_3^-) также увеличилось в воде ниже предприятия до 44,9 мг/л, что составило 99,8 % от питьевого ПДК (45 мг/л). Формально превышения нет, но такое приближение вызывает опасения. С учетом погрешности можно говорить о выходе на уровень ПДК. При переходе к рыбохозяйственным нормативам (для нитратов часто устанавливают 40 мг/л) в контрольном створе фиксируется превышение на 12 %. Нитратное загрязнение опасно для человека (метгемоглобинемия) и способствует эвтрофикации водоема.

После смешения речной воды со сброшенными водами предприятия количество сульфатов (SO_4^{2-}) в воде увеличилось на 46 % (с 49,7 до 72,6 мг/л), что далеко ниже питьевого ПДК (500 мг/л).

Количество хлоридов (Cl^-) в воде нижнего течения увеличилось на 23 % (с 154,7 до 190,4 мг/л) и было значительно ниже ПДК (350 мг/л).

Содержание карбонатов (CO_3^{2-}) в контрольном створе увеличилось относительно фонового значения на 24,8 % и находилось в пределах ПДК (100 мг/л).

Заключение

Проведенные гидрохимические исследования воды реки Увелька в районе Троицкой ГРЭС свидетельствуют о том, что качество воды в контрольном створе (ниже сброса ГРЭС) хуже, чем в фоновом. Установлено превышение ПДК для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования по свинцу, общей жесткости, для рыбохозяйственных водоемов по свинцу, марганцу, цинку, нитратам. Близки к уровню ПДК в воде оказались концентрации железа, нитратов и гидрокарбонатов.

Наибольшую экологическую опасность представляет комплексное действие тяжелых металлов. Даже при соблюдении питьевых нормативов по большинству показателей, рыбохозяйственные нормативы систематически нарушаются (свинец, марганец, медь, цинк). Это создает прямую угрозу для водных экосистем реки Увелька: снижение видового разнообразия, угнетение нереста, накопление токсикантов в гидробионтах и, по цепям питания, — риски для здоровья населения.

Список литературы:

[1] Зубарев В. А. Гидрохимические индексы оценки качества поверхностных вод // Региональные проблемы. 2014. №2. С. 71-77.

[2] Корнюхова О.В. мониторинг и оценка качества поверхностных вод Республики Казахстан // Сборник статей, посвященный 100-летию со дня образования Гидрохимического института, «Современные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод». Часть 2. – Ростов-на-Дону, 2020. С. 155-160.

[3] Бекешев Е., Бапышев А., Степанова Е., Ержанов Е., Кылышбай Ш. Гидрохимические характеристики и оценка качества поверхностных вод с использованием индекса качества воды // Вестник КазАТК. 2023. № 128(5). С. 504-513.

[4] Бондарев В.П., Иванова Е.А., Смирнов А.А. Оценка влияния гидроэлектростанций на химический состав поверхностных вод // Водное хозяйство России. 2021. № 3. С12-25.

[5] Зуева Н.В., Белякова А.М. Оценка качества воды городской реки по гидрохимическим индексам (на примере реки Охта, Санкт-Петербург) // Труды Карельского научного центра РАН. 2021. № 9. С. 72–84.

[6] Петин А.Н., Лебедева М.Г., Крымская О.В. (2006). Анализ и оценка качества поверхностных вод: учеб. пособие. Белгород: БелГУ, 252 с.

References:

[1] Zubarev V. A. Hydrochemical indices of surface water quality assessment//Regional problems. 2014. №2. S. 71-77.

[2] Kornyukhova O.V. monitoring and assessment of surface water quality in the Republic of Kazakhstan//Collection of articles dedicated to the 100th anniversary of the formation of the Hydrochemical Institute, “Modern problems of hydrochemistry and monitoring of surface water quality.” Part 2. - Rostov-on-Don, 2020. S. 155-160.

[3] Bekeshev E, Bapyshev A, Stepanova E, Yerzhanov E, Kylyshbai Sh. Hydrochemical characteristics and assessment of surface water quality using the water quality index//Vestnik KazATK. 2023. № 128(5). S. 504-513.

[4] Bondarev V.P., Ivanova E.A., Smirnov A.A. Assessment of the Impact of Hydroelectric Power Plants on the Chemical Composition of Surface Waters//Water Resources of Russia. 2021. № 3. S12-25.

[5] Zueva N.V., Belyakova A.M. Assessment of the water quality of the city river according to hydrochemical indices (on the example of the Okhta River, St. Petersburg)//Proceedings of the Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2021. № 9. S. 72-84.

[6] Petin A.N., Lebedeva M.G., Krymskaya O.V. (2006). Analysis and assessment of surface water quality: tutorial. Belgorod: BelSU, 252 p.