



Хлыстов И.А.¹, Харькова П.К.¹, Новосельцева Е.Е.¹, Самылкин А.А.^{1,2}, Штин Т.Н.¹,
Сахаутдинова Р.Р.¹, Кондакова Л.В.¹, Шевчик А.А.¹, Гурвич В.Б.¹

Зависимость качества питьевой воды от трофического статуса питьевого водоисточника

¹ФБУН «Екатеринбургский медицинский научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий» Роспотребнадзора, 620014, Екатеринбург, Россия;

²ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России, 620028, Екатеринбург, Россия

РЕЗЮМЕ

Введение. Вследствие климатических изменений и увеличения антропогенного воздействия ожидается рост числа эвтрофицированных водоёмов, что может отразиться на качестве питьевой воды. В настоящее время гигиеническая оценка при выборе хозяйственно-питьевых водоисточников не учитывает их экологического состояния.

Цель работы — сравнительный анализ воды водоисточника и питьевой воды с применением различных критериев трофности и загрязнения.

Материалы и методы. Проанализированы по гигиеническим и экологическим показателям физико-химические свойства воды поверхностного водоисточника до и после водоподготовки в разные сезоны за трёхлетний период. Трофность и загрязнение водоисточника определены в соответствии с имеющимися в литературе критериями. Для оценки прогноза отнесения гигиенических и экологических показателей водоисточника к типам трофности и загрязнения применён канонический дискриминантный анализ.

Результаты. Выявлены сезонные изменения содержания форм азота и растворённого кислорода в водоисточнике. Обнаружены сезонные превышения ПДК в воде водоисточника по БПК₅ (1,5 раза), ХПК (1,1–3,8 раза), растворённому кислороду (2–2,9 раза) и в питьевой воде по перманганатной окисляемости (1,1–2 раза), мутности (1,2–2,6 раза). Трофический статус водоисточника был олиготрофным, мезотрофным, эвтрофным; уровень загрязнения варьировал от очень чистого до грязного. При олиготрофии водоисточника показатель перманганатной окисляемости питьевой воды превысил ПДК в 1,1 раза. Экологический тип воды водоисточника, характеризуемый как очень чистый (по минеральному азоту) либо олиготрофный (по БПК₅), не соответствовал критериям безопасности и пригодности воды по гигиеническим нормативам.

Ограничения исследования. Данное исследование не имеет ограничений.

Заключение. В систему гигиенической оценки воды должны быть включены показатели трофности и компоненты, связанные с происходящими в водоисточниках биологическими процессами.

Ключевые слова: источники питьевого водоснабжения; трофический статус; загрязнённость; дискриминантный анализ; водоподготовка; питьевая вода

Соблюдение этических стандартов. Исследование не требует представления заключения комитета по биомедицинской этике или иных документов.

Для цитирования: Хлыстов И.А., Харькова П.К., Новосельцева Е.Е., Самылкин А.А., Штин Т.Н., Сахаутдинова Р.Р., Кондакова Л.В., Шевчик А.А., Гурвич В.Б. Зависимость качества питьевой воды от трофического статуса питьевого водоисточника. *Гигиена и санитария*. 2025; 104(10): 1277–1283. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-10-1277-1283> <https://elibrary.ru/olospp>

Для корреспонденции: Хлыстов Иван Андреевич, e-mail: hlistovia@ymrc.ru

Участие авторов: Хлыстов И.А., Гурвич В.Б. — концепция и дизайн исследования, написание и редактирование текста, сбор данных литературы; Харькова П.К., Новосельцева Е.Е., Самылкин А.А. — обработка материала, сбор данных литературы; Штин Т.Н., Кондакова Л.В. — сбор и обработка материала; Сахаутдинова Р.Р. — написание и редактирование текста; Шевчик А.А. — статистическая обработка данных. Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи и ответственность за целостность всех её частей.

Благодарности. Авторы выражают благодарность старшему научному сотруднику отдела токсикологии и биопрофилактики В.Г. Панову за помощь в статистической обработке данных.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Поступила: 15.07.2025 / Принята к печати: 15.10.2025 / Опубликовано: 14.11.2025

Ivan A. Khlystov¹, Polina K. Kharkova¹, Elizaveta E. Novoseltseva¹, Aleksey A. Samylkin^{1,2},
Tatiana N. Shtin¹, Renata R. Sakhautdinova¹, Lidiya V. Kondakova¹, Anastasia A. Shevchik¹,
Vladimir B. Gurvich¹

Dependence of drinking water quality on the trophic status of the drinking water source

¹Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers, Yekaterinburg, 620014, Russian Federation;

²Ural State Medical University, Yekaterinburg, 620028, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Due to the climate change and increased anthropogenic impact, a gain in the number of eutrophic water bodies is expected, which may affect the quality of drinking water. Currently, the hygienic assessment conducted for selection of domestic and drinking water sources neglect their ecological state.

The aim of the study. To compare the composition of water in the water source with that of treated water using various trophicity and pollution criteria.

Materials and methods. We have analyzed physicochemical characteristics of surface and treated water in different seasons over a three-year period. The trophicity and pollution of the water source were assessed in accordance with the criteria available in literature. We used the canonical discriminant analysis to evaluate the forecast for assigning quality and safety indicators of the water source to trophicity and pollution types.

Results. We revealed seasonal changes in the levels of nitrogen forms and dissolved oxygen in the water source. We also established the seasonal excess of maximum allowable concentrations (MAC) for BOD₅ (1.5 times), COD (1.1 to 3.8 times), and dissolved oxygen (2.0 to 2.9 times) in the water source and for permanganate index (1.1 to 2.0 times) and turbidity (1.2 to 2.6 times) in treated water. The trophic status of the water source was oligotrophic, mesotrophic, and eutrophic; the pollution level varied from very clean to dirty. In case of oligotrophy of the water source, the permanganate index in drinking water demonstrated a 1.1-fold excess of the MAC. The ecological type of water source characterized as very clean (in terms of mineral nitrogen) or oligotrophic (in terms of BOD₅) did not meet the established criteria for water quality and safety.

Limitations. This study has no limitations.

Conclusion. The system of water quality and safety assessment should include trophicity indicators and components associated with biological processes occurring in water sources.

Keywords: drinking water supply sources; trophic status; pollution; discriminant analysis; water treatment; drinking water

Compliance with ethical standards. This study does not require the conclusion of a biomedical ethics committee or other documents.

For citation: Khlystov I.A., Kharkova P.K., Novoseltseva E.E., Samylin A.A., Shtin T.N., Sakhaudina R.R., Kondakova L.V., Shevchik A.A., Gurvich V.B. Dependence of drinking water quality on the trophic status of the drinking water source. *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian journal*. 2025; 104(10): 1277–1283. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-10-1277-1283> <https://elibrary.ru/olospp> (In Russ.)

For correspondence: Ivan A. Khlystov, e-mail: hlistovia@ymrc.ru

Contribution: Khlystov I.A., Gurvich V.B. — study conception and design, draft manuscript preparation and editing, bibliography compilation and referencing; Kharkova P.K., Novoseltseva E.E., Samylin A.A. — data processing, bibliography compilation and referencing; Shtin T.N., Kondakova L.V. — data collection and processing; Sakhaudina R.R. — draft manuscript preparation and editing; Shevchik A.A. — statistical data analysis. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of its final version.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Funding. The study had no sponsorship.

Acknowledgment. The authors express their gratitude to V.G. Panov, the senior researcher of the Department of toxicology and bioprophylaxis for help in statistical processing of data.

Received: July 7, 2025 / Accepted: October 15, 2025 / Published: November 14, 2025

Введение

За последние 50 лет увеличился объём сбросов сточных вод, ускорились темпы урбанизации и сельскохозяйственного производства, что усилило процессы эвтрофикации — накопление биогенных элементов (особенно азота и фосфора) в стоячих и проточных водоёмах [1, 2]. Факторами эвтрофикации выступают климатические (повышение температуры), гидрологические (скорость течения, расход реки), химические (изменение солёности, щёлочности и углекислого газа), биологические (видовой состав, продуктивность) и антропогенные процессы [1, 3]. Увеличение скорости эвтрофикации сверх естественного уровня может приводить к нежелательным последствиям для естественных экосистем [4], в частности нехарактерному для того или иного сезона года повышению содержания биогенных элементов в водоёмах. Вызванный эвтрофикацией рост биомассы фитопланктона и биологической продуктивности водных экосистем приводит к образованию токсичных метаболитов [5], зачастую не исследуемых.

Качество и безопасность воды для человека оцениваются по целому ряду показателей, при этом гигиенические нормативы для некоторых из них применяются только к водным источникам и не применимы к питьевой воде¹. Некоторые показатели (например, БПК₅, ХПК, растворённый кислород, минеральные формы азота и фосфора) также служат индикаторами эвтрофикации и уровня загрязнения водоёмов [6]. Эвтрофикация оценивается по нескольким интегральным и гигиеническим показателям с применением ряда критериев [6–10]^{2,3}. По этой причине водоём может быть отнесён к разным типам трофности и загрязнения [11], что будет серьёзным препятствием при выборе водозабора для питьевого водоснабжения. Однако в нормативных правовых

актах^{4,5,6} отсутствуют требования к выбору, оценке пригодности водных объектов и организации мониторинга с учётом эвтрофикации. При недостаточном контроле за водоподготовкой и эвтрофикацией водозабора существует риск попадания в питьевую воду биогенных элементов и органических соединений, взвешенных веществ и увеличения цветности⁷. В связи с этим применение комплексной многофакторной оценки типов воды представляется информативным для оценки состояния водоёма, прогнозирования динамики показателей в новых условиях и разработки управленческих решений по внедрению, улучшению методов очистки.

Цель работы — сравнительный анализ состава воды водозабора и питьевой воды с применением различных критериев трофности и загрязнения для выбора и эксплуатации источников хозяйственно-питьевого водоснабжения.

Материалы и методы

Объект исследований — вода поверхностного хозяйственно-питьевого водозабора (водохранилище на р. Чусовой) и питьевая вода после водоподготовки. В 2022–2024 гг. был проведён ежемесячный мониторинг двух типов воды по физико-химическим показателям: цветность, мутность, перманганатная окисляемость (ПО), сухой остаток, жёсткость, общий (растворённый) органический углерод ($C_{орг}$), водородный показатель (рН), нитраты (NO_3^-), нитриты (NO_2^-), аммоний (NH_4^+), полифосфаты ($n(PO_3) \cdot H_2O$). В образцах воды из водозабора также были определены биохимиче-

¹ СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». [Электронный ресурс]. Доступ из справ.-правовой системы Техэксперт.

² Р 52.24.844–2016 Оценка трофического статуса водных объектов по дистанционной спектрометрической информации видимого диапазона электромагнитного спектра. [Электронный ресурс]. Доступно: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293745/4293745812.pdf> (дата обращения: 03.06.2025 г.)

³ РД 52.24.661–2004 Рекомендации. Оценка риска антропогенного воздействия приоритетных загрязняющих веществ на поверхностные воды суши (не применяется с 01.01.2023 г.). [Электронный ресурс]. Доступ из справ.-правовой системы Техэксперт.

⁴ Федеральный закон «О водоснабжении и водоотведении» от 07.12.2011 г. № 416-ФЗ (с изменениями на 8 августа 2024 г.) (редакция, действующая с 1 января 2025 г.). [Электронный ресурс]. Доступ из справ.-правовой системы Техэксперт.

⁵ Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ (с изменениями на 8 августа 2024 г.) (редакция, действующая с 1 марта 2025 г.). [Электронный ресурс]. Доступ из справ.-правовой системы Техэксперт.

⁶ СанПиН 2.1.3684–21 Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий. [Электронный ресурс]. Доступ из справ.-правовой системы Техэксперт.

⁷ Говорова Ж.М., Магомедов З.Р. Технология подготовки питьевых вод из маломощных эвтрофированных водоёмов. *Вестник МГУ*. 2009; (3): 99–106.

ское (БПК5) и химическое (ХПК) потребление кислорода, растворённый кислород (раств. O_2). Температура воды (t) измерялась в момент отбора.

На основании представленных в литературе моделей и классификаций [6–10] были определены трофический статус водоисточника (показатели: NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , минеральный азот, рН) и уровень загрязнения (показатели: индекс загрязнения питательными веществами — NPI , индекс нитрификации — $I_{нитр}$, растворённый кислород, ХПК, БПК5, NH_4^+). Минеральный азот ($N_{мин}$) рассчитывался суммой массовых концентраций нитратов, нитритов, аммония. Индекс загрязнения питательными веществами рассчитывался по формуле (1):

$$NPI = \frac{C(NO_3^-)}{ПДК(NO_3^-)} + \frac{C(n(PO_3^-) \cdot H_2O)}{ПДК(n(PO_3^-) \cdot H_2O)}, \quad (1)$$

где C — массовая концентрация ионов. Индекс нитрификации рассчитывался по формуле (2):

$$I_{нитр} = \frac{C(NO_3^-)}{N_{мин}}. \quad (2)$$

С помощью канонического дискриминантного анализа в программе Statistica 6 была выполнена оценка принадлежности гигиенических и экологических показателей водоисточника к типам трофности и загрязнения воды. Объединяющая (категориальная) переменная соответствовала типу трофности, загрязнения воды согласно существующим в литературе классификациям; независимые переменные были представлены значениями пятнадцати показателей. Качество дискриминации оценивалось по лямбде Уилкса (λ Уилкса), частной лямбде и уровню p , визуальному анализу расположения корреляционных эллипсов на графиках, а также по расстоянию Махаланобиса. Оценена связь процессов эвтрофикации и загрязнения с качеством питьевой воды. Проведена гигиеническая оценка качества воды в соответствии с требованиями санитарного законодательства¹.

Результаты

В табл. 1 представлены результаты исследований физико-химических показателей воды. В период с лета 2022 по осень 2023 г. уровень рН в воде поверхностного водоисточника был 8,0 и выше, тогда как значения показателя зимой, весной 2022 г., а также в течение всех сезонов 2024 г. были ниже 8,0. В период 2022–2023 гг. уровень рН повышался с весны до лета, а к осени снижался; в 2024 г. значение показателя увеличивалось с весны по осень. Содержание растворённого O_2 было максимальным во все зимние периоды, а также весной 2022, 2023 гг. Максимальный уровень NO_3^- был выявлен зимой и весной 2022 г., NO_2^- — летом 2023 г., NH_4^+ — весной 2022-го и летом 2024 г., $n(PO_3^-) \cdot H_2O$ — зимой 2023/2024 гг. и 2024 г. Зимой 2022 г. были определены наименьшие за весь период исследований значения уровня цветности, мутности, ПО, $C_{орг}$, БПК5, ХПК. Летом 2024 г. были обнаружены максимальные значения показателей: цветность, ПО, $C_{орг}$, ХПК, сухой остаток, NH_4^+ . Осенью 2022 и 2024 гг. происходило снижение содержания всех форм азота; в противоположность этому осенью 2023 г. содержание NO_3^- и NH_4^+ в водоисточнике повышалось. Концентрации $n(PO_3^-) \cdot H_2O$ увеличивались с весны по осень в течение трёх лет исследований. Гигиенические нормативы в воде поверхностного водоисточника были превышены по показателям: БПК5 весной 2022 г. (в 1,5 раза), а также ХПК (в 1,1–3,8 раза) и растворённому кислороду (в 2–2,9 раза) практически в течение всего периода наблюдений.

В течение всего периода исследований температура питьевой воды увеличивалась в 1,1–11,3 раза, а уровень рН не изменялся. Было выявлено увеличение концентраций веществ в питьевой воде по сравнению с водоисточником: сухого остатка в 1,4 раза зимой 2022/2023 гг., NO_2^- в диапазоне от 2,1 до 12,9 раза с весны 2022-го по лето 2023 г.,

NH_4^+ в 1,2 раза весной и 2,7 раза осенью 2024 г., $n(PO_3^-) \cdot H_2O$ в 1,8 раза весной 2023 г. При этом гигиенические нормативы в питьевой воде были превышены по показателям: ПО — весной 2022 г. (на уровне ПДК), зимой 2022/2023 г. (в 1,2 раза), весной 2023 г. (в 2 раза) и летом 2024 г. (в 1,1 раза); мутность — осенью 2022 г. (в 1,2 раза) и летом 2024 г. (в 2,6 раза). В питьевой воде превышения гигиенических нормативов были выявлены в отношении показателей, уровень которых не увеличивался по сравнению с водоисточником, но для которых не установлены ПДК в питьевых водоёмах.

Трофический статус воды в поверхностном водоисточнике был оценён как олиготрофный, мезотрофный, эвтрофный (табл. 2). Уровень загрязнения воды менялся от очень чистого и незагрязнённого до очень грязного; воде одного и того же сезона соответствовали разные характеристики продукционных свойств и загрязнения. На основании классификации типов трофности и загрязнения по содержанию NH_4^+ вода водоисточника при мезотрофии и эвтрофии была отнесена к загрязнённой, а при олиготрофии и мезотрофии — к очень чистой, чистой и умеренно загрязнённой. В некоторые сезоны качество воды по предложенным критериям оценить не удалось. Ввиду применимости оценочных критериев к состоянию водоисточника только в определённые сезоны года либо невозможности охвата критериями всего диапазона значений показателей дальнейшее математическое моделирование проведено с учётом типа трофности (по критериям NO_2^- , $N_{мин}$) и уровня загрязнения (по критерию БПК5).

Были установлены 5 предикторов, вносящих вклад в дискриминирующую модель типов трофности по критерию содержания NO_2^- (λ Уилкса: 0,29633; $\text{арргох. } F(10,46) = 3,8502$; $p < 0,05$). Наименьшие значения частной лямбды ($p < 0,05$) выявлены у показателей NO_2^- и t . Наибольшее значение коэффициента корреляции с первой дискриминантной функцией выявлено у показателя NO_2^- (–0,74). Максимальное расстояние Махаланобиса было выявлено между группами «эвтрофия» и «олиготрофия» (8,62), минимальное — между группами «мезотрофия» и «олиготрофия» (1,85). На графике эллипсы каждого типа воды перекрывали друг друга (см. рисунок на вклейке).

Классификация состава воды по типам трофности в соответствии с критерием содержания NH_4^+ позволила установить 12 предикторов, вносящих вклад в дискриминирующую модель (λ Уилкса: 0,0675; $\text{арргох. } F(24,34) = 4,036$; $p < 0,05$). Наименьшие значения частной лямбды ($p < 0,05$) выявлены у показателей NH_4^+ , раст. O_2 , рН, БПК5, t , ХПК, цветности, ПО. Наибольшее значение коэффициента корреляции с первой дискриминантной функцией выявлено у показателя NH_4^+ (0,27). Максимальное расстояние Махаланобиса было выявлено между группами «эвтрофия» и «олиготрофия» (35,76), минимальное — между группами «мезотрофия» и «олиготрофия» (8,28). На графике эллипсы групп «эвтрофия» и «олиготрофия» не пересекались, тогда как эллипс группы «мезотрофия» пересекал каждый из них (см. рисунок на вклейке).

Классификация состава воды по типам загрязнения в соответствии с критерием уровня БПК5 (λ Уилкса: 0,03603; $\text{арргох. } F(20,36) = 7,6823$; $p < 0,05$) позволила установить 10 предикторов, вносящих вклад в модель. Наименьшие значения частной лямбды ($p < 0,05$) выявлены у показателей БПК5, NH_4^+ . Наибольшее значение коэффициента корреляции с первой дискриминантной функцией выявлено у показателя БПК5 (0,72). Максимальное расстояние Махаланобиса было выявлено между группами «очень чистые» и «умеренно загрязнённые» (153,20), минимальное — между группами «чистые» и «очень чистые» (36,51). На графике эллипсы групп «чистые» и «очень чистые» пересекаются. Вследствие малого числа наблюдений эллипс у группы «умеренно загрязнённые» ($n = 2$) не сформирован, а группа «грязные» ($n = 1$) была исключена из анализа.

При статистической обработке данных установлена наилучшая дискриминация групп трофности и загрязнения по критериям $N_{мин}$ и БПК5. Большую часть исследуемого периода (21 мес) вода в поверхностном питьевом водоисточ-

Таблица 1 / Table 1

Физико-химические показатели воды поверхностного хозяйственно-питьевого водоисточника и питьевой воды
Physicochemical indices of surface water from a household and drinking water source and treated water

Показатель Index	Тип воды Type of water	Годы / Years								
		2022			2023			2024		
		Мин Min	Макс Max	Сред Mean	Мин Min	Макс Max	Сред Mean	Мин Min	Макс Max	Сред Mean
t, °C	1	0.10	22.00	7.99	0.10	19.00	6.00	0.10	21.80	7.20
	2	0.50	21.50	8.71	0.50	20.00	7.27	0.80	22.00	7.59
Цветность, °Ц Color, TCU	1	17.00	94.37	41.81	20.00	62.00	30.45	13.70	248.00	105.03
	2	0.50	10.36	6.24	4.70	26.55	9.36	2.50	14.60	8.15
Мутность, ЕМФ Turbidity, FTU	1	1.24	19.00	8.18	2.95	29.00	10.64	7.00	45.41	16.79
	2	0.00	8.70	0.94	0.00	5.56	0.71	0.00	20.40	2.26
ПО, мгО/дм³ PI, mg O/dm³	1	0.55	21.28	8.51	4.50	15.60	7.45	3.80	30.00	14.93
	2	0.30	8.74	3.71	2.02	21.20	6.11	1.60	6.10	3.72
Сухой остаток, мг/дм³ Dry residue, mg/dm³	1	92.00	206.00	132.00	94.00	179.00	131.35	141.40	194.00	168.49
	2	80.00	192.00	127.50	95.00	196.00	129.47	145.30	200.00	171.04
Жёсткость, °Ж Hardness, dGH	1	0.92	5.70	2.61	0.60	2.30	1.47	0.95	2.60	1.92
	2	1.04	5.70	2.40	0.70	2.10	1.46	0.88	2.70	1.97
Сорг, мг/дм³ Corg, mg/dm³	1	9.43	18.30	12.31	12.00	22.12	17.13	4.50	39.90	24.94
	2	5.71	14.16	8.86	6.80	23.40	13.88	10.80	22.10	15.63
рН, ед. pH, units	1	7.40	8.30	7.79	7.60	8.30	8.03	6.82	7.91	7.51
	2	6.90	8.20	7.50	7.40	8.40	7.85	6.76	7.77	7.38
БПК 5, мг О/дм³ BOD5, mg O/dm³	1	0.60	6.00	1.59	0.50	1.80	1.07	1.20	1.80	1.54
	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ХПК, мг О/дм³ COD, mg O/dm³	1	13.00	37.00	24.00	14.00	31.00	19.00	17.00	84.00	30.42
	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Раств. О₂, мг/дм³ Dissolved oxygen, mg/dm³	1	7.60	12.40	10.05	7.60	12.00	9.88	4.90	11.30	9.03
	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—
NO₃⁻, мг/дм³ mg/dm³	1	0.00	9.68	1.93	0.00	1.95	0.62	0.58	3.00	1.73
	2	0.00	0.20	0.07	0.00	1.37	0.50	0.56	2.20	1.39
NO₂⁻, мг/дм³ mg/dm³	1	0.00	0.25	0.08	0.00	0.40	0.12	0.01	0.30	0.05
	2	0.00	1.29	0.65	0.00	1.29	0.28	0.00	0.02	0.01
NH₄⁺, мг/дм³ mg/dm³	1	0.00	1.48	0.42	0.00	0.27	0.09	0.00	1.41	0.37
	2	0.11	0.36	0.22	0.00	0.11	0.03	0.00	1.07	0.35
n(PO₃) · H₂O, мг/дм³ mg/dm³	1	0.00	0.19	0.05	0.02	0.15	0.07	0.00	0.24	0.10
	2	0.00	0.12	0.03	0.01	0.11	0.07	0.00	0.11	0.04

Примечание. Годовые значения показателей представлены как минимальное, максимальное, среднее; 1 — водоисточник; 2 — питьевая вода; «—» — измерения не проводились.
Note: Annual indices values are presented as minimum, maximum, mean; 1 — water source; 2 — drinking water; "—" — no measurements taken.

нике соответствовала эвтрофному типу. В условиях эвтрофии уровень цветности, мутности, ПО, сухого остатка, Сорг, NO₃⁻, NO₂⁻, NH₄⁺, n(PO₃) · H₂O в водоисточнике был максимальным по сравнению с мезотрофией и олиготрофией. Уровень pH был одинаков для мезотрофного и олиготрофного типов воды и выше, чем у олиготрофного. Содержание NO₂⁻ было наибольшим в олиготрофном типе воды водоисточника; при мезотрофии уровень жёсткости был максимальным. Среднее значение температуры воды водоисточника в условиях эвтрофии было ниже в 1,7–1,4 раза по сравнению с другими типами трофического статуса. Обнаружены превышения ПДК у ХПК (в 1,2–1,9 раза) и показателя растворённого кислорода (в 1,9–2,5 раза) в водоисточнике при всех типах трофности, а также у показателя ПО (в 1,1 раза) в питьевой воде при олиготрофии водоисточника.

В течение 21-го месяца из 36 вода в водоисточнике соответствовала категории «чистая» и характеризовалась максимальными значениями показателей мутности, сухого остатка, Сорг, а в получаемой из неё питьевой воде также наблюдались наиболее высокие значения этих показателей. В период, когда водоисточник характеризовался очень чистой водой по критерию БПК₅, в питьевой воде были обнаружены наименьшие уровни показателей ПО, «жёсткость», NO₃⁻, NH₄⁺, а концентрация NO₂⁻ была выше по сравнению с водоисточником в 10 раз. Обнаружено превышение ПДК в водоисточнике: у показателя БПК₅ в грязной и умеренно загрязнённой воде (от 1 ПДК до трёх раз); у ХПК (в 1,1–2,4 раза) и показателя растворённого кислорода (в 2,3–2,6 раза) при всех типах загрязнения воды.

Таблица 2 / Table 2

Состояние воды поверхностного хозяйственно-питьевого водоисточника по критериям трофности и загрязнения

The state of water in the surface domestic and drinking water source by trophicity and pollution criteria

Год Year	Сезон года Year season	Критерии трофического статуса Trophic status criteria					Критерии уровня загрязнения Pollution level criteria					
		NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	N _{мин} N _{min}	pH	NPI	I _{нтр} I _{nitr}	раств. O ₂ dissolved oxygen	ХПК COD	БПК5 BOD5	NH ₄ ⁺
2022	Зима / Winter	М	Э	М	Э	—	НЗ	ЗГ	Ч	Г	ОЧ	ЗГ
	Весна / Spring	Э	Э	Э	Э	—	НЗ	ЗГ	—	ОГ	УЗ	ЗГ
	Лето / Summer	М	Э	Э	Э	М	НЗ	ЗГ	Ч	ОГ	Ч	ЗГ
	Осень / Fall	—	—	Э	Ол	—	НЗ	—	—	ОГ	ОЧ	—
2022–2023	Зима / Winter	Ол	Э	М	М	—	НЗ	ОГ	Ч	ОГ	ОЧ	ОЧ
2023	Весна / Spring	Ол	Э	Э	М	—	НЗ	Г	—	ОГ	Ч	Ч
	Лето / Summer	—	—	Э	Ол	Э	НЗ	—	УЗ	ОГ	Ч	—
	Осень / Fall	Ол	Э	М	М	—	НЗ	Г	—	ОГ	ОЧ	УЗ
2023–2024	Зима / Winter	М	Э	М	Э	—	НЗ	УЗ	УЗ	ОГ	ОЧ	УЗ
2024	Весна / Spring	М	Э	М	Э	—	НЗ	ЗГ	—	ОГ	Ч	ЗГ
	Лето / Summer	Э	Э	Э	Э	М	НЗ	ЗГ	Ч	ОГ	Ч	ЗГ
	Осень / Fall	Ол	Э	Ол	Э	—	НЗ	УЗ	—	ОГ	Ч	УЗ
	Зима / Winter	М	Э	М	Э	—	НЗ	УЗ	УЗ	ОГ	Ч	УЗ

Примечание. М — мезотрофия; Э — эвтрофия; Ол — олиготрофия; ОГ — очень грязные; Г — грязные; ЗГ — загрязнённые; УЗ — умеренно загрязнённые; Ч — чистые; ОЧ — очень чистые; НЗ — не загрязнён (по критерию *NPI*; согласно [9]); «—» — тип трофности, загрязнения по выбранному критерию определить не удалось.

Note: М — mesotrophy; Э — eutrophy; Ол — oligotrophy; ОГ — very dirty; Г — dirty; ЗГ — polluted; УЗ — moderately polluted; Ч — clean; ОЧ — very clean; НЗ — not polluted (according to the *NPI* criterion; according to [9]); "—", trophicity or pollution type according to the selected criterion could not be determined.

Таким образом, гигиеническая оценка водоисточника проведена по семи нормативным показателям из 15 исследованных в нём; оценка уровня трофности и загрязнения водоисточника проведена по 11 критериям (показателям), 7 из которых имеют гигиенические нормативы, три показателя были интегральными (определялись расчётным путём), а один показатель (NH₄⁺) использовался для оценки трофности и загрязнения. Гигиеническая оценка питьевой воды проведена по 10 нормативным показателям из 12 исследованных в ней. При этом превышения гигиенических нормативов в воде водоисточника выявлены во всех категориях трофности и загрязнения, тогда как в питьевой воде превышение установлено однократно.

Обсуждение

Реки представляют собой открытые термодинамические системы, способные непрерывно обмениваться веществом и энергией с окружающей средой, и выступают маркерами любых изменений, вызванных глобальным потеплением, землепользованием, загрязнением окружающей среды [12]. Была установлена связь между антропогенной нагрузкой, нарушением биологического круговорота веществ и эвтрофированием водоисточников. Содержащиеся в воде микроводоросли и продукты их жизнедеятельности не всегда эффективно удаляются методами микрофильтрации, коагуляции, хлорирования при подготовке питьевой воды⁸. Для поверхностных водоисточников Свердловской области характерно повышенное природное содержание гуминовых и фульвовых кислот,

влияющих на органолептические показатели воды, а также железа и марганца⁹. Основными причинами увеличения цветности, мутности и содержания органических веществ в изучаемом водном объекте являются региональные особенности формирования состава поверхностных вод с учётом климатических условий и гидрологического режима.

Наблюдаемое снижение концентраций NH₄⁺ и NO₃⁻ в летнее время может происходить вследствие его потребления гидробионтами [13]. Восстановленные соединения азота (в первую очередь аммиак) последовательно окисляются до нитрита и нитрата в результате нитрификации. Маркерами окисления NH₄⁺ до NO₂⁻ и NO₃⁻ в результате нитрификации выступают снижение pH и щёлочности¹⁰. Одновременное повышение pH и концентрации NO₂⁻ в изучаемом водоисточнике в летнее время в течение 2022–2024 гг. противоречит данному суждению. Однако было обнаружено, что pH, растворённый кислород, летучие жирные кислоты, фосфаты играют роль в накоплении нитрита, что является результатом дифференциального ингибирования или нарушения связи различных этапов как в нитрификации, так и в денитрификации [14]. Ион нитрита — один из самых токсичных компонентов для водной среды. При достаточном количестве кислорода в водоёме

⁸ Никонов Б.И., Гурвич В.Б., Баевский А.М., Борзунова Е.А. Проблема обеспечения населения Свердловской области доброкачественной питьевой водой. *Гигиена и санитария*. 1996; (2): 5–7.

⁹ О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Свердловской области в 2023 году: Государственный доклад — Екатеринбург: Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Свердловской области; 2024. 262 с. Доступно: https://www.66.rosпотребнадzor.ru/c/document_library/get_file?uuid=0432a3c6-299e-4329-b142-7d28a40c1c76&groupId=10156 (дата обращения: 12.06.2025 г.)

¹⁰ Nitrification. U.S. Environmental Protection Agency [Электронный ресурс]. Доступно: https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-09/documents/nitrification_1.pdf (дата обращения: 10.06.2025 г.)

нитриты образуются путём биохимического окисления, тогда как в условиях дефицита кислорода осуществляется восстановление NO_3^- до NH_4^+ , исключая образование промежуточных ионов NO_2^- [15]. Дефицит кислорода наблюдался в эвтрофированных и сильно загрязнённых органическими соединениями водоёмах, а также в конце длительного подлёдного периода. Уменьшение концентрации растворённого O_2 до 2 мг/дм³ вызывает массовую гибель рыб и других гидробионтов¹¹. Ежегодные концентрации растворённого O_2 в зарегулированном на р. Чусовой водохранилище были максимальными в зимнее время, а летом несколько снижались. Однако снижение этого показателя не достигало критичного для водной биоты уровня, а максимальная степень загрязнения водоёма в летнее время, согласно проведённой по данному показателю оценке, была умеренной.

Изменение отношения азота и фосфора означает дефицит либо избыток элемента питания, ответственного за ускорение процессов эвтрофикации и цветения водорослей [16]¹², следовательно, поступление азота и фосфора запускает процессы цветения. Наряду с этими биогенными элементами предикторами и индикаторами эвтрофикации выступали: биомасса водорослей, уровень хлорофилла-а, ПО, растворённый O_2 , БПК, ХПК, $C_{\text{орг}}$, растворённые твёрдые вещества (TDS), pH, освещённость и скорость течения [1, 17]. Ряд индикаторных показателей, отражающих химические и биологические процессы, в частности эвтрофикацию и цветение, не имеет гигиенических нормативов для источников централизованного водоснабжения населения: $C_{\text{орг}}$, ПО, цветность, мутность. Как было показано в работе [18], образующийся в результате неполного сгорания углеродсодержащего материала чёрный углерод может быть носителем различных питательных веществ и увеличивать первичную продуктивность водоёмов. Поэтому формы углерода необходимо учитывать при оценке эвтрофикации. Согласно результатам ранее проведённых исследований воды из хозяйственно-питьевого водохранилища на нижегородском участке р. Чусовой, пиковое значение концентрации $C_{\text{орг}}$ (36 мг/дм³)

было выявлено в январе 2021 г. [19]. В текущем исследовании концентрации $C_{\text{орг}}$ в зимний период не поднимались до пиковых значений, но летом 2024 г. были сопоставимы с ранее опубликованными данными.

Содержание взвешенных веществ нормируется только в поверхностных водоисточниках¹ и в то же время служит индикатором качества водоподготовки. Изменение климата и антропогенная деятельность могут повлиять на продуктивность фитопланктона в пресноводных экосистемах, но последствия такого взаимодействия сложны и недостаточно изучены [20]. В нашем исследовании сезонную зависимость в отношении большинства показателей было трудно установить, а в некоторых случаях динамика показателей за один год не повторялась в другие периоды. Отсутствие сходимости между характеристиками сезонного состояния воды свидетельствует о несовершенстве применяемых методов оценки экологического состояния водных объектов и одновременно подтверждает многообразие природных и антропогенных факторов, приводящих к формированию воды определённого состава, различной доступности питательных элементов для биоты, биологической продуктивности водоёма и, как следствие, гигиенической безопасности воды. Установленные по ряду экологических критериев уровни трофности и загрязнения расходятся с результатами гигиенической оценки, в результате которой были выявлены превышения ПДК.

Таким образом, в сложившейся системе государственного регулирования гигиеническая оценка при выборе хозяйственно-питьевых водоисточников не учитывает их экологического состояния. Применённые в настоящем исследовании математический аппарат и подход к выбору критериев эвтрофикации и уровня загрязнения можно использовать при выборе и эксплуатации источников хозяйственно-питьевого водоснабжения водоёмов в условиях климатических изменений и антропогенного воздействия. Система гигиенической оценки воды должна учитывать показатели трофности водоёмов и компоненты, связанные с происходящими в водоисточниках биологическими процессами.

Заключение

Выбор водных объектов для использования в качестве питьевых водоисточников должен проводиться с учётом показателей трофности. При осуществлении мониторинга показателей качества и безопасности питьевой воды необходимо учитывать биогенные элементы и продукты метаболизма водной биоты.

Литература

(п.п. 1–5, 9, 12, 14, 15–18, 20 см. References)

6. Логинова Е.В., Лопух П.С. *Гидроэкология: курс лекций*. Минск; 2011. <https://elibrary.ru/grlfiw>
7. Трифонова Т.А., Чеснокова С.М., Савельев О.В. Оценка уровня трофности и самоочищающей способности малого водотока по гидрохимическим показателям (на примере р. Рпень). *Юг России: экология, развитие*. 2021; 16 (2): 88–97. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2021-2-88-97>
8. Дмитриев В.В., Дмитриев Н.В., Воскресенская В.А., Фролова А.Д., Кожеко Ю.Р. Развитие методологии интегральной оценки экологической целостности геосистем. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2014; (8–1): 78–85. <https://elibrary.ru/sfwcfr>
10. Злышко А.С., Чеснокова С.М., Бородин И.А. Антропогенная трансформация и самоочищающая способность малой реки. *Теоретическая и прикладная экология*. 2012; (3): 44–9. <https://elibrary.ru/oiiuyk>
11. Яценко-Степанова Т.Н., Немцева Н.В., Игнатенко М.Е. Основные подходы к определению трофности природных водоёмов. *Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН*. 2014; (1): 1–7. <https://elibrary.ru/scvgrp>
13. Минеева Н.М., Поддубный С.А., Степанова И.Э., Цветков А.И. Абиотические факторы и их роль в развитии фитопланктона Нижней Волги. *Биология внутренних вод*. 2023; (1): 53–64. <https://doi.org/10.31857/S0320965223010114>
19. Хлыстов И.А., Харьков П.К., Бугаева А.В., Замолотских Т.В., Штин Т.Н., Гурвич В.Б. Определение индикативных показателей для организации мониторинга источников питьевого водоснабжения при изменении климатических условий. *Здоровье населения и среда обитания – ЗНУСО*. 2022; (9): 84–90. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-9-84-90>

References

1. Kakade A., Salama E.S., Han H., Zheng Y., Kulshrestha S., Jalalah M., et al. World eutrophic pollution of lake and river: Biotreatment potential and future perspectives. *Environ. Technol. Innov.* 2021; 23: 101604. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101604>
2. Zhou J., Leavitt P.R., Zhang Y., Qin B. Anthropogenic eutrophication of shallow lakes: Is it occasional? *Water Res.* 2022; 221: 118728. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118728>
3. Yang X.E., Wu X., Hao H.L., He Z.L. Mechanisms and assessment of water eutrophication. *J. Zhejiang Univ. Sci. B*. 2008; 9(3): 197–209. <https://doi.org/10.1631/jzus.B0710626>
4. Akinawo S.O. Eutrophication: Causes, consequences, physical, chemical and biological techniques for mitigation strategies. *Environ. Chall.* 2023; 12: 100733. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2023.100733>

Original article

5. Sahu N., Maldhure A., Labhasetwar P. Management of cyanobacteria and cyanotoxins in drinking water: A comprehensive review on occurrence, toxicity, challenges and treatment approaches. *Sci. Total. Environ.* 2025; 976: 179260. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.179260>
6. Loginova E.V., Lopukh P.S. *Hydroecology: A Course of Lectures [Gidroekologiya: kurs lektii]*. Minsk; 2011. <https://elibrary.ru/grlfiw> (in Russian)
7. Trifonova T.A., Chesnokova S.M., Savel'ev O.V. Evaluation of the trophic level and self-cleaning ability of small flows by hydrochemical indicators (through the example of the Rpen River). *Yug Rossii: ekologiya, razvitiye*. 2021; 16(2): 88–97. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2021-2-88-97> (in Russian)
8. Dmitriev V.V., Dmitriev N.V., Voskresenskaya V.A., Frolova A.D., Kojeko Y.R. Development of the methodology of integrated assessment the ecological integrity of the geosystems. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*. 2014; (8–1): 78–85. <https://elibrary.ru/sfwcfr> (in Russian)
9. Isiuku B.O., Enyoh C.E. Pollution and health risks assessment of nitrate and phosphate concentrations in water bodies in South Eastern, Nigeria. *Environ. Adv.* 2020; 2: 100018. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2020.100018>
10. Zlyvko A.S., Chesnokova S.M., Borodina I.A. Anthropogenic transformation and self-cleaning capacity of a small river. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*. 2012; (3): 44–9. <https://elibrary.ru/oiuykc> (in Russian)
11. Yatsenko-Stepanova T.N., Nemtseva N.V., Ignatenko M.E. Basic approaches to identify the trophic level of natural water bodies. *Byulleten' Orenburgskogo nauchnogo tsentra UrO RAN*. 2014; (1): 1–7. <https://elibrary.ru/scvgrp> (in Russian)
12. Gozzi C., Buccianti A. Resilience and high compositional variability reflect the complex response of river waters to global drivers: The Eastern Siberian River Chemistry database. *Sci. Total. Environ.* 2024; 908: 168120. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168120>
13. Mineeva N.M., Poddubnyi S.A., Stepanova I.E., Tsvetkov A.I. Abiotic factors and their role in the development of phytoplankton in the Lower Volga. *Biologiya vnutrennikh vod*. 2023; (1): 53–64. <https://doi.org/10.31857/S0320965223010114> (in Russian)
14. Philips S., Laanbroek H.J., Verstraete W. Origin, causes and effects of increased nitrite concentrations in aquatic environments. *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.* 2002; 1(2): 115–41. <https://doi.org/10.1023/A:1020892826575>
15. Spataru P. Influence of organic ammonium derivatives on the equilibria between NH_4^+ , NO_2^- and NO_3^- ions in the Nistru River water. *Sci. Rep.* 2022; 12(1): 13505. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-17568-3>
16. Savic R., Stajic M., Blagojevic B., Bezdan A., Vranesovic M., Nikolic J. et al. Nitrogen and phosphorus concentrations and their ratios as indicators of water quality and eutrophication of the hydro-system Danube – Tisza – Danube. *Agriculture*. 2022; 12(7): 935. <https://doi.org/10.3390/agriculture12070935>
17. Suresh K., Tang T., Van Vliet M.T.H., Bierkens M.F.P., Stokral M., Sorger-Domenigg F., et al. Recent advancement in water quality indicators for eutrophication in global freshwater lakes. *Environ. Res. Lett.* 2023; 18(6): 063004. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/acd071>
18. Odhiambo M., Routh J. Does black carbon contribute to eutrophication in large lakes? *Curr. Pollution Rep.* 2016; 2: 236–8. <https://doi.org/10.1007/s40726-016-0042-4>
19. Khlystov I.A., Kharkova P.K., Bugaeva A.V., Zamolotnikov T.V., Shtin T.N., Gurvich V.B. Determination of key quality indicators for organization of potable water source monitoring under changing climatic conditions. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya – ZNiSO*. 2022; (9): 84–90. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-9-84-90> (in Russian)
20. Zhang R., Wan N., Yang Y., Ran Y. Long-term changes of phytoplankton productivity in freshwater ecosystems of the Pearl River Delta as recorded by organic geochemical proxies in sediment cores. *Appl. Geochem.* 2023; 159: 105850. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2023.105850>

Сведения об авторах

Хлыстов Иван Андреевич, канд. биол. наук, ст. науч. сотр., зав. лаб. гигиены окружающей среды и экологии человека отд. комплексных проблем гигиены и профилактики заболеваний населения ФБУН ЕМНЦ ПОЗРПП Роспотребнадзора, 620014, Екатеринбург, Россия. E-mail: hlistovia@ymrc.ru

Харькова Полина Константиновна, мл. науч. сотр. лаб. гигиены окружающей среды и экологии человека отд. комплексных проблем гигиены и профилактики заболеваний населения, ФБУН ЕМНЦ ПОЗРПП Роспотребнадзора, 620014, Екатеринбург, Россия. E-mail: harkovapk@ymrc.ru

Новосельцева Елизавета Евгеньевна, лаборант лаб. гигиены окружающей среды и экологии человека отд. комплексных проблем гигиены и профилактики заболеваний населения ФБУН ЕМНЦ ПОЗРПП Роспотребнадзора, 620014, Екатеринбург, Россия. E-mail: novoseltsevae@ymrc.ru

Самылкин Алексей Анатольевич, канд. мед. наук, ст. науч. сотр. лаб. гигиены окружающей среды и экологии человека отд. комплексных проблем гигиены и профилактики заболеваний населения ФБУН ЕМНЦ ПОЗРПП Роспотребнадзора, 620014, Екатеринбург, Россия. E-mail: isaeva20a@yandex.ru

Штин Татьяна Николаевна, канд. хим. наук, зав. отд. физико-химических методов исследования ФБУН ЕМНЦ ПОЗРПП Роспотребнадзора, 620014, Екатеринбург, Россия. E-mail: shtintn@ymrc.ru

Сахавудинова Рената Рашидовна, канд. мед. наук, зав. диагностическим лабораторным отделением ФБУН ЕМНЦ ПОЗРПП Роспотребнадзора, 620014, Екатеринбург, Россия. E-mail: sahautdinova@ymrc.ru

Кондакова Лидия Вадимовна, науч. сотр. отд. физико-химических методов исследования ФБУН ЕМНЦ ПОЗРПП Роспотребнадзора, 620014, Екатеринбург, Россия. E-mail: kondakova@ymrc.ru

Шевчик Анастасия Анатольевна, науч. сотр. лаб. социально-гигиенического мониторинга и управления рисками отд. комплексных проблем гигиены и профилактики заболеваний населения ФБУН ЕМНЦ ПОЗРПП Роспотребнадзора, 620014, Екатеринбург, Россия. E-mail: shevchik@ymrc.ru

Гурвич Владимир Борисович, доктор мед. наук, научный руководитель ФБУН ЕМНЦ ПОЗРПП Роспотребнадзора, 620014, Екатеринбург, Россия. E-mail: gurvich@ymrc.ru

Information about the authors

Ivan A. Khlystov, PhD (Biology), senior researcher, head, Laboratory of environmental health and human ecology, Department of complex problems of hygiene and disease prevention, Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers, Yekaterinburg, 620014, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-4632-6060> E-mail: hlistovia@ymrc.ru

Polina K. Kharkova, junior researcher, Laboratory of environmental health and human ecology, Department of complex problems of hygiene and disease prevention, Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers, Yekaterinburg, 620014, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-7927-0246> E-mail: harkovapk@ymrc.ru

Elizaveta E. Novoseltseva, laboratory assistant, Laboratory of environmental health and human ecology, Department of complex problems of hygiene and disease prevention, Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers, Yekaterinburg, 620014, Russian Federation, <https://orcid.org/0009-0008-4976-346X> E-mail: novoseltsevae@ymrc.ru

Aleksey A. Samylikin, PhD (Medicine), senior researcher, Laboratory of environmental health and human ecology, Department of complex problems of hygiene and disease prevention, Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers, Yekaterinburg, 620014, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-3658-2113> E-mail: isaeva20a@yandex.ru

Tatiana N. Shtin, PhD (Chemistry), head, Department of physical and chemical research methods, Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers, Yekaterinburg, 620014, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-8846-8016> E-mail: shtintn@ymrc.ru

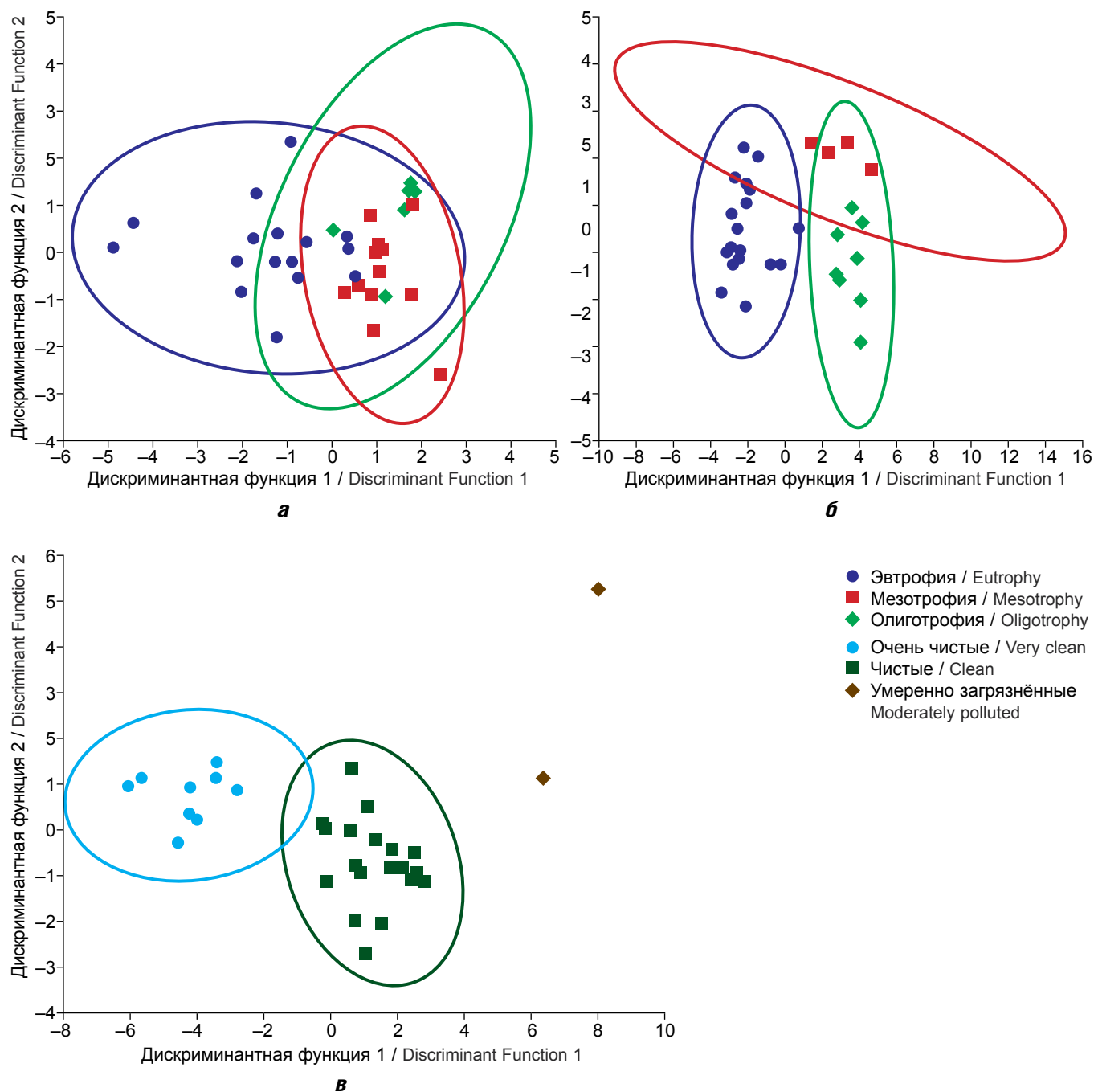
Renata R. Sakhautdinova, PhD (Medicine), head, Diagnostic laboratory department, Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers, Yekaterinburg, 620014, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-2726-9259> E-mail: sahautdinova@ymrc.ru

Lidiya V. Kondakova, researcher, Department of physical and chemical research methods, Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers, Yekaterinburg, 620014, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-3961-060X> E-mail: kondakova@ymrc.ru

Anastasia A. Shevchik, researcher, Laboratory of public health surveillance and risk management, Department of complex hygiene problems and disease prevention, Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers, Yekaterinburg, 620014, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-4380-1575> E-mail: shevchik@ymrc.ru

Vladimir B. Gurvich, DSc (Medicine), scientific director, Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers, Yekaterinburg, 620014, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-6475-7753> E-mail: gurvich@ymrc.ru

К статье И.А. Хлыстова и соавт.
To the article by Ivan A. Khlystov et al.



Распределение типов воды поверхностного водоисточника в каноническом пространстве: *а* – по критерию содержания NO_2^- ; *б* – по критерию содержания $N_{\min}$; *в* – по критерию уровня БПК₅.
 Distribution of water types of the surface water source in canonical space: *а* – by NO_2^- ; *б* – by $N_{\min}$; *в* – by BOD₅.