

Читать
онлайн
Read
online

Рахманин Ю.А.^{1,2}, Сеницына О.О.², Егорова Н.А.¹, Турбинский В.В.²,
Алексеева А.В.¹, Кузь Н.В.^{2,3}, Рыжова И.Н.¹, Кочеткова М.Г.¹

Достижения и перспективные направления научных разработок в области гигиенического нормирования качества воды в централизованных системах водообеспечения населённых мест

¹Научно-исследовательский институт экологии человека и гигиены окружающей среды имени А.Н. Сысина
ФГБУ «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью»
Федерального медико-биологического агентства, 119121, Москва, Россия;

²ФБУН «Федеральный научный центр гигиены имени Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, Россия, 141014, Мытищи, Россия;

³ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в городе Москве», 129626, Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

Введение. Прогресс в изучении влияния на здоровье загрязнений воды, предназначенной для водопользования населения, определил необходимость совершенствования методологии разработки нормативных величин по новым воздействующим факторам и условиям водопользования.

Материалы и методы. Материалами исследования стали публикации и результаты собственных исследований в области гигиенического нормирования химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, опреснения морской воды и приготовления воды питьевого качества, а также нормативно-методические документы в сфере гигиены водопользования.

Результаты. Показаны основные научные достижения в гигиене питьевого водопользования: разработка коэффициентов видовых различий показателей состояния организма лабораторных животных при экстраполяции экспериментальных данных на человека; современных гистоморфологических, биохимических, генетических методик и функциональных нагрузок на организм экспериментальных животных в токсикологических исследованиях; дополнительных критериев качества питьевой воды; шестиступенчатой схемы нормирования эссенциальных элементов; новых биофизических показателей качества питьевой воды; гигиенических требований к системам локальных средств доочистки и обеззараживания питьевых вод. Обозначены предложения по научному обоснованию гигиенических требований к воде ограниченного использования (хозяйственно-бытового назначения), а также алгоритм учёта долевого вклада факторов неопределённости химического состава в гигиеническую оценку химической безвредности качества питьевой воды.

Ограничения исследования. Исследования ограничены характеристикой воды, используемой в хозяйственно-питьевых и хозяйственно-бытовых целях.

Заключение. Анализ достижений научных исследований по гигиеническому нормированию качества питьевой воды показал их высокую эффективность и предопределил целесообразность обозначенных в статье дальнейших перспективных исследований в данном направлении.

Ключевые слова: гигиенические нормативы; лимитирующий критерий качества; единичные показатели качества; комплексные показатели качества; групповые показатели качества; хозяйственно-питьевая вода; хозяйственно-бытовая вода; факторы неопределённости

Соблюдение этических стандартов. Исследование не требует заключения комитета по биомедицинской этике.

Для цитирования: Рахманин Ю.А., Сеницына О.О., Егорова Н.А., Турбинский В.В., Алексеева А.В., Кузь Н.В., Рыжова И.Н., Кочеткова М.Г. Достижения и перспективные направления научных разработок в области гигиенического нормирования качества воды в централизованных системах водообеспечения населённых мест. *Гигиена и санитария*. 2026; 105(1): 6–14. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2026-105-1-6-14> <https://elibrary.ru/ayfaal>

Для корреспонденции: Сеницына Оксана Олеговна, e-mail: oxsin66@mail.ru

Вклад авторов: Рахманин Ю.А. — концепция и дизайн исследования, написание текста, редактирование; Сеницына О.О. — сбор материала и обработка данных, написание текста, редактирование; Егорова Н.А. — сбор материала и обработка данных, иллюстрации; Турбинский В.В. — подготовка материала и обработка данных; Алексеева А.В., Рыжова И.Н. — сбор материала и обработка данных; Кузь Н.В. — сбор материала, иллюстрации; Кочеткова М.Г. — иллюстрации. Все соавторы — ответственность за целостность всех частей статьи, утверждение окончательного варианта статьи.

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

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Поступила: 10.12.2025 / Поступила после доработки: 16.12.2025 / Принята к печати: 19.12.2025 / Опубликовано: 10.02.2026

Yuri A. Rakhmanin^{1,2}, Oxana O. Sinitsyna², Natalya A. Egorova¹, Viktor V. Turbinsky², Anna V. Alekseeva¹, Nadezhda V. Kuz^{2,3}, Irina N. Ryzhova¹, Marina G. Kochetkova¹

Achievements and promising directions of scientific research in the field of hygienic regulation of water quality in centralized water supply systems of populated areas

¹A.N. Sytin Research Institute of Human ecology and Environmental Health of Center for Strategic Planning of the Federal medical and biological agency of the Russia, Moscow, 119121, Russian Federation;

²Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman, Mitishchi, 1410014, Russian Federation;

³Center for Hygiene and Epidemiology in city of Moscow, Moscow, 129626, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Growing progress in scientific research into the impact of water pollution on public water supplies has necessitated continuous improvement in the methodology for developing standard values for new influencing factors and water use conditions, an assessment of which is the subject of this publication.

Materials and Methods. The study's materials included publications and the results of own research on the hygienic regulation of chemicals in water bodies used for domestic and drinking water, the hygienic aspects of seawater desalination and the preparation of drinking water, as well as regulatory and methodological documents in the field of water hygiene.

Results. The article presents such main scientific achievements in the field of drinking water hygiene as development of coefficients of species-specific differences in laboratory animal health parameters during extrapolation of experimental data to humans, modern histomorphological, biochemical, and genetic methods and various functional loads on experimental animal bodies during toxicological studies, additional criteria for assessing drinking water quality, a six-stage scheme for standardizing essential elements, new biophysical indicators of drinking water quality, hygienic requirements for local systems of additional purification and disinfection of drinking water. Innovative proposals for the scientific substantiation of hygienic requirements for water with a limited purpose of use — domestic and domestic — are outlined, as well as an algorithm for taking into account the proportional contribution of uncertainty factors of its chemical composition in the hygienic assessment of the chemical safety of drinking water quality.

Limitations. The study is limited to the characteristics of water used for domestic and drinking water and domestic water use.

Conclusion. An analysis of the achievements of scientific research on the hygienic standardization of drinking water quality demonstrated its high effectiveness and determined the feasibility of further promising research in this area outlined in the article.

Keywords: hygienic standards; limiting quality criteria; individual quality indicators; complex quality indicators; group quality indicators; domestic and drinking water and domestic water; uncertainty factors

Compliance with ethical standards. This study does not require the approval of a biomedical ethics committee.

For citation: Rakhmanin Yu.A., Sinitsyna O.O., Egorova N.A., Turbinsky V.V., Alekseeva A.V., Kuz N.V., Ryzhova I.N., Kochetkova M.G. Achievements and promising areas of scientific research in the field of hygienic regulation of water quality in centralized water supply systems of populated areas. *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian journal*. 2026; 105(1): 6–14. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2026-105-1-6-14> <https://elibrary.ru/ayfaal> (In Russ.)

For correspondence: Oxana O. Sinitsyna, e-mail: oxsin66@mail.ru

Contribution: Rakhmanin Yu.A. — study concept and design, writing, editing; Sinitsyna O.O. — material collection and data processing, writing, editing; Egorova N.A. — material collection and data processing, illustrations; Turbinsky V.V. — material preparation and data processing; Alekseeva A.V., Ryzhova I.N. — material collection and data processing, Kuz N.V. — material collection and illustration; Kochetkova M.G. — illustration. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

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

Funding. The study had no sponsorship.

Received: December 10, 2025 / Revised: December 16, 2025 / Accepted: December 2, 2025 / Published: February 10, 2026

Введение

Создание систем централизованного водоснабжения населённых мест определило необходимость научного обоснования стандартов качества воды, используемой для хозяйственно-питьевых целей. Впервые такие государственные стандарты были созданы в 1933 г. в США. В 1937 г. были установлены гигиенические нормативы для питьевой воды в СССР, изначально по пяти показателям — одному бактериологическому и четырём органолептическим (запах, привкус, цветность, мутность) [1]. Нормирование качества питьевой воды получило быстрое развитие во многих странах. Увеличивалось число контролируемых показателей качества воды, и в международном плане нормирование качества питьевой воды вышло на уровень Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) сначала в виде международных стандартов (1958 г.) [2], а затем, с учётом разницы в научно-технологическом развитии государств и региональных особенностей водоисточников, — международных рекомендаций (с 1972 г. по настоящее время) [3–5].

Основными критериями оценки качества питьевой воды в настоящее время признаны четыре: благоприятные эстетические (органолептические) свойства, химическая

безвредность, радиационная и эпидемическая безопасность¹. По трём последним критериям научные исследования ориентированы прежде всего на определение и нормирование интегральных (комплексных) показателей, а затем, при необходимости, — конкретных химических или биологических загрязнений [6]. Так, по критерию радиационной безопасности в числе первостепенных были обозначены объёмная α - и объёмная β -радиоактивность, а затем уже конкретный радиоизотопный состав. По критерию эпидемической безопасности это прежде всего санитарно-показательные бактерии группы кишечной палочки, затем возбудители отдельных инфекций (дизентерии, брюшного тифа, холеры, сальмонеллёза и др.). По критерию химической безвредности основными стали общее солесодержание (минерализация), активная реакция (рН), содержание кислорода, биохимическое (БПК) и химическое потребление кислорода (ХПК), содержание общего органического углерода, соотношение азотсодержащих радикалов (NH_4 , NO_2 и NO_3), суммарное содержание нефтепродуктов и поверхностно-активных веществ (ПАВ), затем — солевые

¹ Статья 19 Федерального закона от 30.03.1999 г. № 52-ФЗ (ред. от 26.12.2024 г.) «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.09.2025 г.).

компоненты (Ca, Mg, Na, K, хлориды, сульфаты, карбонаты, бикарбонаты, фосфаты и др.) и сотни конкретных химических веществ (далее — ХВ), для научного обоснования допустимого содержания которых в питьевой воде с участием А.Н. Сысина и С.Н. Черкинского были разработаны в нашей стране схема и алгоритм гигиенического нормирования², получившие дальнейшее развитие³. При этом для определения пороговых величин возможного неблагоприятного воздействия ХВ на здоровье населения необходимы специальные токсикологические исследования с использованием не менее двух видов экспериментальных животных в условиях острого (однократное поступление), подострого (ежедневное поступление в течение 30–45 дней) и хронического (повторное поступление в течение трёх — шести месяцев) санитарно-токсикологического исследования с целью установления количественной зависимости «доза — время — эффект» для каждого ХВ и определения его максимальной действующей концентрации при воздействии на организм теплокровных животных.

Вместе с тем в последние 50–60 лет стала необходима значительная интенсификация исследований в области гигиенического нормирования ХВ в питьевой воде. Основными причинами стали следующие:

- резкое увеличение числа новых ХВ (если в период 1957–1985 гг. в Регистре Химической реферативной службы США (CAS Registry⁴) регистрировалось в среднем по 300 тыс. ХВ в год, то с 1965 по 2015 г. — уже по 2,5 млн в год, а в последние три года — по 10 млн ХВ в год);
- высокий уровень загрязнения различными ХВ водоисточников, особенно поверхностных, постепенно превращаемых в подобие сточных канав (по данным Минприроды России⁵, в 2020 г. отмечены случаи значительного загрязнения крупнейших рек России: 925 — Волга, 792 — Обь, 141 — Енисей, 125 — Амур и 121 — Днепр);
- значительное расширение аналитических возможностей современного идентификационного хромато-масс-спектрометрического (до 100 тыс. и более ХВ) и иного химического анализа, что позволяет выявлять сотни и даже тысячи ХВ в поверхностных водоисточниках, десятки и сотни ХВ в воде этих водоисточников, прошедшей водоочистку на станциях централизованного водоснабжения населённых мест.

В результате этих исследований система санитарно-эпидемиологического надзора за безопасными условиями водопользования населения страны в настоящее время получила научно обоснованные предельно допустимые концентрации (ПДК) в воде для 1369 ХВ и ориентировочные допустимые уровни (ОДУ) в воде для 446 ХВ, а также нормативы содержания в воде трёх компонентов ракетного топлива, восьми взрывчатых, семи отравляющих веществ и одного фосфорсодержащего органического соединения (ФОС)^{6,7}. Таким

образом, в санитарно-эпидемиологическое законодательство Российской Федерации включены гигиенические нормативы для 1834 ХВ в различных видах вод.

Материалы и методы

Объектами исследования являлись показатели качества воды и методы оценки её безвредности, безопасности и благоприятных свойств при хозяйственно-питьевом и хозяйственно-бытовом водопользовании. Материалами исследования служили публикации и результаты собственных исследований в области гигиенического нормирования химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, гигиенических аспектов опреснения морской воды и приготовления воды питьевого качества, а также нормативно-методические документы в сфере гигиены водопользования. Методы исследования: сбор и анализ информации, экспертная оценка материалов.

Результаты

На основании экспериментальных исследований показаны значительные различия в токсических проявлениях воздействия ряда ХВ на видовую чувствительность подопытных животных, что послужило основанием для разработки методологии научного обоснования коэффициентов экстраполяции и учёта их при переносе экспериментальных данных на организм человека и отражено в соответствующей монографии [6]. Например, по токсическому воздействию α - и β -нафтолов на крыс, морских свинок, кроликов и кошек различия достигали 18 раз [7].

По результатам экспериментальных исследований на животных были разработаны, апробированы и рекомендованы различные гистоморфологические, биохимические, генетические методы исследований, в том числе с применением разных функциональных нагрузок (с искусственным радиоактивным изотопом йода, галактозой, фенолротом и др.), для выявления предпатологических состояний и оценки функциональных резервов организма теплокровных животных [8–13].

С учётом полученных данных о роли питьевых вод с повышенным солесодержанием в развитии гипертонической болезни, а с повышенным содержанием солей жёсткости (Ca, Mg) — мочекаменной болезни были рекомендованы для водоподготовки опреснительные установки, как правило, ионообменного и электродиализного типов. Вместе с тем развитие мощной опреснительной индустрии обусловило необходимость изучения биологического воздействия на организм дистиллированной или близкой к ней мало-минерализованной воды. В результате была установлена непригодность воды с высокой степенью деминерализации для постоянного питьевого потребления [14–16], что оказалось чрезвычайно важным и для регенерации воды из влагонесодержащих материалов в условиях космических кораблей и других специализированных объектов, и впервые в мировой практике были обоснованы два новых критерия оценки качества питьевой воды [17] — стабильность качества и физиологическая полноценность. Эти критерии нашли отражение в документе ВОЗ [18] и получили дальнейшее развитие при широком внедрении в практику водообеспечения упакованных питьевых вод, для которых были установлены сроки реализации от момента розлива в тару (от 3 до 12 мес), а для стратегических запасов — до 5 лет, в отличие от водопроводной воды со сроками реализации от 2–3 ч до 2–3 сут, что подчеркнуло значение стабильности качества воды.

С другой стороны, исследования, проведённые с использованием критерия физиологической полноценности, относящегося к нормированию содержания в питьевой воде эссенциальных (жизненно необходимых) солевых макро- и микроэлементов (в первую очередь — общее солесодержание, Ca, Mg, K, Na, F, I), позволили научно обосновать

² Методические указания по разработке и научному обоснованию предельно допустимых концентраций вредных веществ в воде водоёмов (утв. Министерством здравоохранения СССР 15 апреля 1975 г. № 1296-75).

³ Методические указания. МУ 2.1.5.720–98. Обоснование гигиенических нормативов химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования» (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 15 октября 1998 г.).

⁴ CAS REGISTRY. <https://www.cas.org/cas-data/cas-registry> (дата обращения: 26.11.2025 г.).

⁵ Минприроды назвало самые загрязняемые реки России; <https://ria.ru/20210910/teki-1749474987.html> (дата обращения: 23.11.2025 г.).

⁶ СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания», утверждённые постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28.01.2021 г. № 2 (зарегистрировано Минюстом России 29.01.2021 г., регистрационный № 62296), с изменениями, внесёнными постановлениями Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 30.12.2022 г. № 24 (зарегистрировано Минюстом России 09.03.2023 г., регистрационный № 72558), от 16.12.2024 г. № 12 (зарегистрировано Минюстом России 08.04.2025 г., регистрационный № 81783) — далее СанПиН 1.2.3685–21.

⁷ Пункт 10 Приложения к постановлению Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 17.03.2025 г. № 2. Зарегистрировано в Минюсте России 19 мая 2025 г. Регистрационный № 82236. Изменения, вносимые в СанПиН 1.2.3685–21.

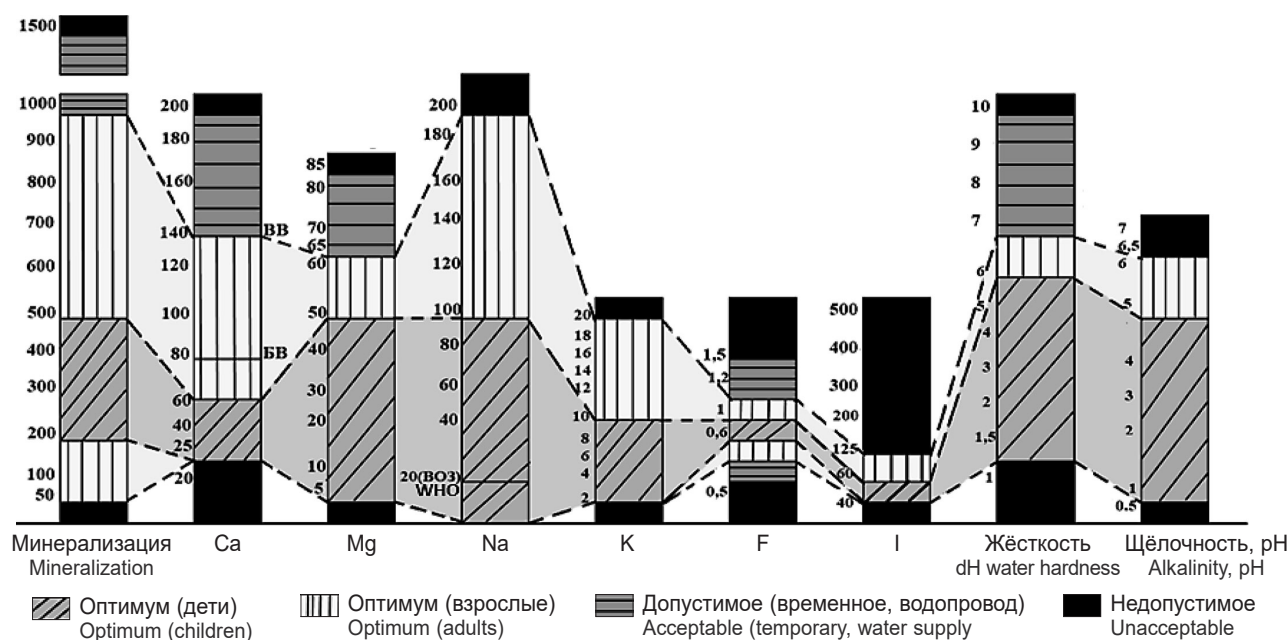


Рис. 1. Макро- и микробиогенный элементный состав пресных питьевых вод, мг/л.

Fig. 1. Macro- and microbiogenic elemental composition of fresh drinking water, mg/L.

не только их максимальные и минимально необходимые уровни (рис. 1), но и оптимальные параметры содержания в питьевой воде постоянного использования [19]. Это же было показано и в отношении бикарбонатного иона (HCO_3^-), активно участвующего в поддержании нормально-кислотно-щелочного равновесия в организме и формировании костно-суставной массы [20].

Указанные исследования позволили охарактеризовать физиологически полноценные питьевые воды как сохраняющие (на уровнях, не превышающих ПДК солевых компонентов), так и укрепляющие здоровье (приносящие дополнительные питательные компоненты). Категории качества питьевой воды, основанные не только на ПДК ХВ (безопасности), но и на оптимальном уровне содержания в ней жизненно необходимых солевых компонентов (полезности, физиологической полноценности), стали получать признание и в зарубежных странах. Например, в Бельгии нормируются оптимальные уровни жёсткости и содержания Ca, Mg, F, минимальное содержание бикарбонатов, в Швейцарии — оптимальные уровни общего солесодержания и жёсткости, содержания Ca и Mg [19].

Накопленные научные данные об упакованной питьевой воде были расширены при обосновании гигиенических требований к локальным системам водоочистки (индивидуальным, бытовым, групповым устройствам кондиционирования питьевой воды в местах непосредственного её потребления, в том числе в терминалах централизованных систем водоснабжения населённых мест), а также к получающим всё более широкое распространение водным киоскам (автоматам) розлива питьевой воды в тару потребителя⁸ [21]. Перечисленные направления особенно актуальны для населённых мест с региональными особенностями качества питьевой воды, ограниченными водными ресурсами или разрушенными в результате чрезвычайных антропогенных ситуаций и природных катастроф системами водоснабжения [22].

В связи с резким увеличением количества ХВ, используемых в хозяйственной деятельности и способных оказывать негативное воздействие на здоровье населения, а также существенным отставанием научных исследований по их

гигиенической оценке и регламентированию содержания в воде водоисточников, необходимы разработка и внедрение интегральных показателей для гигиенического мониторинга содержания ХВ в воде (органолептические, обобщённые, токсикологические, радиационные и мутагенные комплексные показатели) (рис. 2).

За каждым из этих показателей, особенно если они выходят за пределы нормы, стоят десятки различных ХВ с их ПДК или ОДУ, определяемыми по одному из лимитирующих показателей вредности: органолептическому (эстетическому) или санитарно-токсикологическому (в том числе радиационному). Следует с сожалением отметить отсутствие в разделе III СанПиН 1.2.3685–21⁶ «Нормативы качества и безопасности воды» формулы суммации для веществ 1-го и 2-го классов опасности, нормированных по санитарно-токсикологическому лимитирующему показателю вредности.

Внедрение в санитарную практику современных методов аналитического контроля позволяет выявлять наличие в воде сотен и даже тысяч различных ХВ, которые не получили всесторонней гигиенической оценки и регламентации. По данным исследований водоподготовки в Ижевске, проведённых в НИИ ЭЧ и ГОС им. А.Н. Сысина, число таких нерегламентированных ХВ составляет свыше 200 в воде источника и, что особенно значимо, более 100 — в уже очищенной питьевой воде (см. таблицу).

Как инструмент оценки риска неизученных соединений всё шире применяется методология QSAR (Quantitative Structure-Activity Relationship). Этот вычислительный подход (*in silico*) основан на построении математических моделей, предсказывающих биологическую активность и токсичность вещества по его химической структуре, что позволяет обойтись без трудоёмких натурных исследований. Для подобных расчётов существует открытое программное обеспечение, такое как QSAR Toolbox (версия 4.8), агрегирующее данные о свойствах примерно 142,5 тыс. химических соединений из 63 баз данных, в том числе сведения о 76 674 веществах, потенциально опасных для здоровья человека⁹.

Ещё одним перспективным направлением оценки совокупного риска от множества ненормированных веществ может стать применение методологии древа Крамера и её

⁸ Рекомендации по обеспечению безопасности питьевой воды в розлив. Приложение к письму Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека от 27 октября 2022 г. № 02/21285-2022-32.

⁹ Базы данных. QSAR TOOLBOX; <https://qsartoolbox.org/resources/databases/> (дата доступа: 23.11.2025 г.).

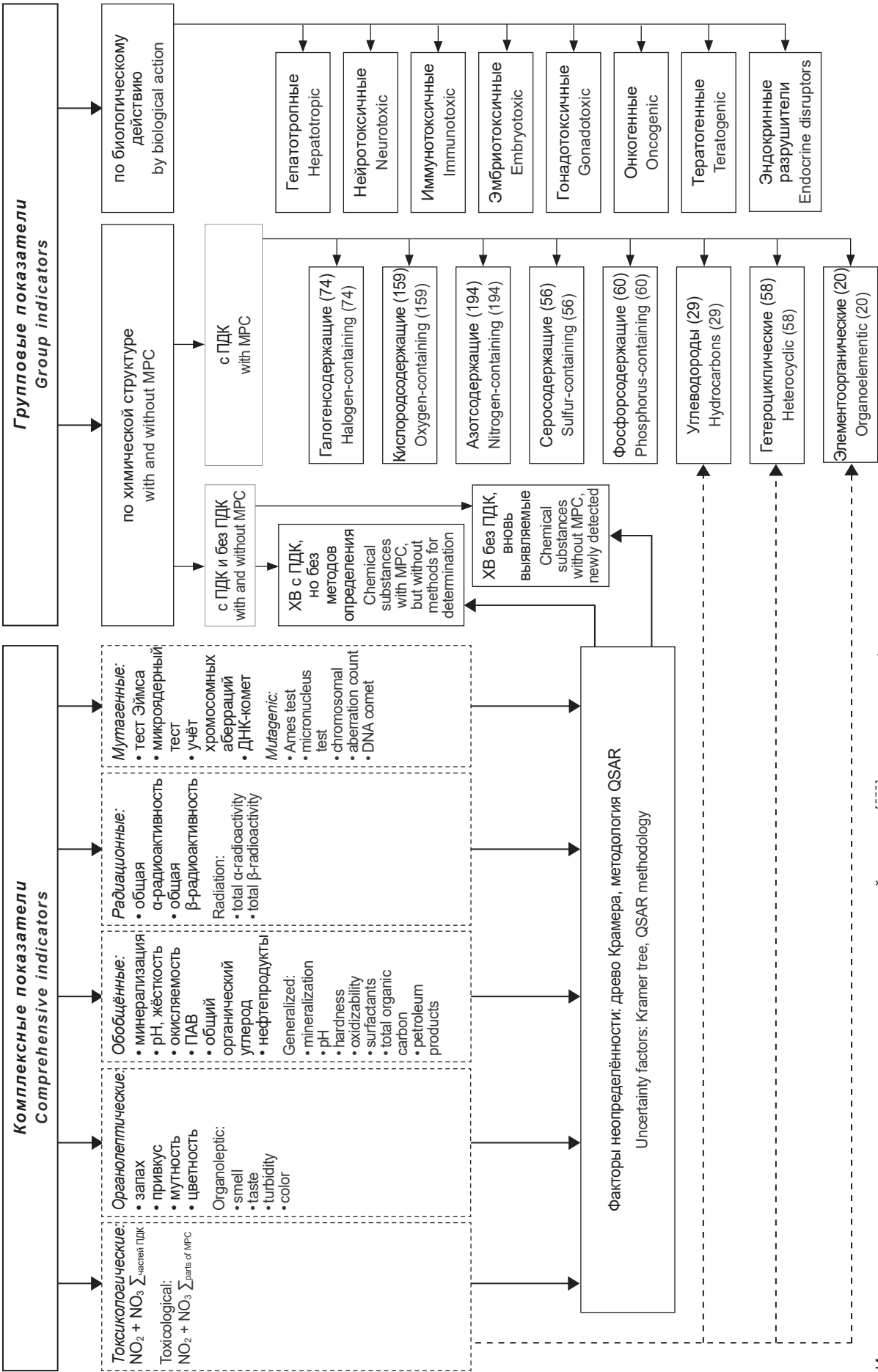


Рис. 2. Интегральные показатели оценки и контроля качества питьевой воды.
Fig. 2. Integral indicators for assessing and controlling the quality of drinking water.

Результаты хромато-масс-спектрометрического анализа воды Ижевского пруда и питьевой воды, подаваемой населению Ижевска
Results of chromatographic-mass-spectrometric analysis of the Izhevsk Pond water and drinking water supplied to the population of Izhevsk

Химический класс Chemical class	Ижевский пруд Izhevsk pond		Питьевая вода из РЧВ Drinking water from the clean water tank	
	количество веществ number of substances	из них нормируемых of these, the normalized	количество веществ number of substances	из них нормируемых of these, the normalized
Алканы / Alkanes	44	0	22	0
Алкилбензолы / Alkylbenzenes	29	2	12	2
Нафтены / Naphthenes	19	0	12	0
ПАУ / Polyaromatic hydrocarbons	17	1	5	1
Фталаты / Phthalates	9	2	8	3
Кислоты, их эфиры / Acids, esters	33	1	11	0
Спирты, простые эфиры / Alcohols, ETHER	21	0	1	0
Кетоны / Ketones	13	1	3	1
Альдегиды / Aldehydes	4	1	1	1
Галогенсодержащие вещества Halogen-containing substances	6	1	6	0
Серосодержащие вещества Sulfur-containing substances	9	0	9	0
Прочие вещества / Other substances	28	1	19	1
Итого / Total	232	10	13	9

модификаций [23–27]. Данный подход позволяет группировать химические вещества по структурным классам (например, углеводороды, гетероциклические и элементоорганические соединения, вещества, содержащие галогены, кислород, азот, серу, фосфор) и оценивать их суммарный (долевой) вклад в потенциальную токсичность на основе сравнительного анализа. В дальнейшем это может послужить основой для разработки групповых гигиенических нормативов и стандартизированных схем аналитического контроля для классов соединений.

Логическое развитие рассмотренных вычислительных подходов – переход к разработке групповых показателей, учитывающих не структуру, а механизм токсического действия. Это означает оценку долевого вклада загрязняющих веществ по характеру их основного биологического воздействия: гепато-, нейро-, иммуно-, эмбрио-, гонадо-, онко-, тератогенной или эндокринной токсичности. Такой подход, соответствующий современным мировым трендам, позволяет управлять рисками на основе их качественной характеристики. Уже проделана значительная работа в этом направлении, например, классифицированы несколько сотен химических веществ – эндокринных разрушителей¹⁰. Разработка и внедрение подобных групповых показателей по механизму токсического действия – перспективный раздел отечественной гигиены, который может стать основой для нового поколения нормативных документов, ориентированных на предотвращение специфических патологий.

Однако реализация любых, даже самых современных нормативов упирается в существующие технологические и инфраструктурные ограничения систем водоснабжения. Так, по итогам реализации федерального проекта «Чистая вода»¹¹ к сроку его выполнения (2024 г.) 100%-й обеспеченности населения качественной питьевой водой, отвечающей требованиям СанПиН 1.2.3685–21⁶, добились только семь субъектов Российской Федерации, в 11 субъектах обеспечение находилось в пределах 60–80%, в остальных – на уровне более 95%. Трудность достижения гарантированного качества воды централизованного хозяйственно-питьевого

водоснабжения населённых мест даже по числу показателей, обязательных для мониторинга качества, ставит вопрос о том, можно ли в полной мере считать её питьевой и вывести контроль её качества на уровень требований СанПиН 1.2.3685–21⁶, а если нет, то как называть эту воду. Возникает проблема адекватной квалификации такой воды и поиска путей минимизации рисков для здоровья населения.

В этом контексте перспективным научно-практическим направлением представляется разработка дифференцированных нормативов для воды хозяйственно-бытового назначения, особенно для регионов с дефицитом водных ресурсов (семиаридные территории). Обоснованием для такого подхода служат данные о принципиально ином – кожно-резорбтивном – пути поступления химических веществ при контакте с водой, не предназначенной для питья (мытьё, стирка, купание). Проведённый предварительный анализ показал, что при учёте дермального пути воздействия [28] в качестве лимитирующего нормативные уровни для большинства химических показателей (за исключением микробиологических) могут быть пересмотрены, что открывает возможности для корректировки требований к качеству воды, используемой для бытовых нужд.

Обсуждение

Таким образом, анализ современных вызовов – прогрессирующего загрязнения водоисточников и ужесточения гигиенических требований – указывает на необходимость поиска новых организационно-технологических моделей водообеспечения. Одной из таких дискуссионных концепций, активно обсуждаемой в профессиональном сообществе, является дифференцированный подход к нормированию и использованию воды, основанный на цели её применения.

Постоянно растущее загрязнение водоисточников, особенно поверхностных, и расширение гигиенических требований к качеству питьевой воды, определяющие во многих населённых местах невозможность гарантированного централизованного водообеспечения безопасной и тем более физиологически полноценной питьевой водой, сформировало, по существу, новую систему организованного водоснабжения населения. Эта система основана на водообеспечении более качественной упакованной или разливной

¹⁰ Методические рекомендации МР 1.2.0313–22 «Оценка и классификация опасности эндокринных разрушителей».
¹¹ Федеральный проект «Чистая вода»: <https://raww.ru/deyatelnost/realizatsiya-otraslevyix-gosprogramm/federalnyij-proekt-chistaya-voda.html> (дата обращения: 24.11.2025 г.).

(через водные автоматы) водой¹² для питьевых и пищевых целей и водопроводной водой, подаваемой в квартиры для хозяйственно-бытовых целей. Для первой категории научно обоснованы дополнительные критерии и нормативы качества, для второй же лимитирующий санитарно-токсикологический показатель вредности должен быть определён не по пероральному, а по кожно-резорбтивному действию химических веществ на организм. Это позволит установить адекватные и реалистичные нормативы, соответствующие фактическому характеру воздействия такой воды на здоровье человека.

Многолетний анализ качества воды в централизованных системах водоснабжения свидетельствует о значительном постоянном или временном несоответствии её установленным гигиеническим требованиям, что ставит под сомнение её квалификацию в качестве питьевой, однако водохозяйственные организации постоянно ставят вопрос о повышении тарифов на воду. Предлагаемая разработка стандартов качества хозяйственно-бытовых вод позволит в значительной мере подойти к решению и этой задачи, так как о повышении тарифов придётся говорить только в случае гарантированного соответствия качества воды централизованной системы водоснабжения всем требованиям СанПиН 1.2.3685–21. В остальных случаях вода будет, как ожидается, соответствовать критериям безопасности, основанным на кожно-резорбтивном воздействии на организм человека, что не будет соотноситься с необходимостью усложнения технологии водоподготовки и, следовательно, с изменением стоимости воды.

В методическом плане при научном обосновании подпороговых величин по кожно-резорбтивному действию ХВ наряду с общепринятыми методами исследования на коже [28] и слизистых оболочках животных может использоваться *in vitro* тест НЕТ-САМ (на хореоаллантаиной мембране оплодотворённых куриных яиц), успешно применяемый для оценки медицинских изделий и косметической продукции [29].

Параллельно с решением текущих задач формируется новое фундаментальное научное направление в гигиене — биофизика воды. Оно изучает тонкие характеристики воды, такие как изотопный состав и молекулярно-кластерная структура, которые могут изменяться под действием физических факторов (температуры, кавитации, магнитного поля, электромагнитного или плазменного воздействия и др.) [30]. В исследованиях [31, 32] показана возможность активировать биологические свойства воды посредством указанных факторов, в том числе её способность улучшать репродуктивную функцию и значительно продлевать жизнь не только гидробионтов, но и экспериментальных теплокровных животных. В качестве потенциальных объектов для гигиенического регламентирования предложены пять новых биофизических показателей, отражающих окислительно-восстановительный потенциал (Eh) воды, её биокаталитическую активность (концентрация HO_2^-), динамическую вязкость (μ), степень структурированности (q) и энергетические параметры структурированной фазы. Определение допустимых и оптимальных величин этих показателей может стать следующим шагом в эволюции стандартов качества питьевой воды.

В обобщённом виде основные отечественные инновационные достижения в области гигиенического нормирования, оценки и контроля качества питьевой воды, подаваемой в централизованные системы хозяйственно-питьевого водоснабжения или упакованной в тару, представлены по следующим направлениям.

1. Совершенствование методологии токсикологических исследований и нормирования:

- учёт коэффициента видовых различий экспериментальных животных при экстраполяции данных на человека;

- применение современных гистоморфологических, биохимических, генетических методов исследования, различных функциональных нагрузок для выявления предпатологических изменений (искусственный радиоактивный изотоп йода, галактоза, фенолрот и др.);

- обоснование шестиступенчатой схемы нормирования эссенциальных (жизненно необходимых) элементов с продлением срока хронического эксперимента на животных до 12 мес.

2. Развитие системы критериев и показателей качества питьевой воды:

- обоснование двух дополнительных критериев оценки качества питьевых (упакованных, опреснённых, смешанных) вод — стабильности качества и физиологической полноценности;
- разработка дифференцированных нормативов для упакованных питьевых вод (безопасных для здоровья, укрепляющих здоровье, для детского питания);
- научное обоснование пяти новых биофизических показателей качества питьевых вод: окислительно-восстановительного потенциала (Eh, мВ), биокаталитической активности (концентрация HO_2^- , мг/л), динамической вязкости (μ , сП), степени структурированности (q, %) и энергетических параметров структурированной фазы.

3. Создание нормативной базы для новых форм водоснабжения и технологий:

- разработка гигиенических требований к системам локальных (индивидуальных, бытовых, групповых) средств доочистки и обеззараживания питьевых вод, в том числе к системам (водным киоскам) розлива питьевой воды в тару потребителя;
 - для веществ, нормированных в воде водных объектов по общесанитарному показателю вредности, включение в СанПиН 1.2.3685–21⁶ величины ПДК для питьевой воды, установленной по органолептическому и санитарно-токсикологическому показателям вредности.
4. Концептуальное развитие системы нормирования:
- обоснование необходимости и методологии перехода к дифференцированному нормированию воды по целевому назначению (питьевая и хозяйственно-бытовая) с установлением различных лимитирующих путей воздействия (перорального и кожно-резорбтивного);
 - разработка подходов к оценке рисков от нерегламентированных химических веществ с использованием вычислительных методов (QSAR, древо Крамера) и групповых показателей, учитывающих механизм токсического действия.

Заключение

Подверженность водоисточников (особенно поверхностных) загрязнению и одновременное расширение научных знаний и аналитических возможностей определили интенсивное развитие исследований в области нормирования качества воды в соответствии с её целевым назначением при безусловном обеспечении безопасности для здоровья человека. Многие предложения российских учёных по гигиеническому нормированию, оценке и контролю качества питьевой воды в целях сохранения здоровья человека являются пионерскими в международном сообществе, что выводит нашу страну на передовые позиции. В то же время по отдельным направлениям, таким как разработка интегральных показателей для оценки химической безопасности многочисленных выявляемых, но не нормируемых ХВ, целесообразно адаптировать передовой зарубежный опыт, в том числе усовершенствованные методологии *in silico* и схемы типа древа Крамера.

Широкое внедрение в практику водоснабжения упакованной и разливной питьевой воды, соответствующей критериям безопасности и физиологической полноценности, при одновременной неспособности многих систем централизованного водоснабжения гарантировать подачу воды, полностью отвечающей гигиеническим нормативам (в том числе из-за присутствия ненормированных ХВ), определяет

¹² Ассоциация производителей питьевой воды в розлив. <https://aqua-vend.ru/> (дата обращения: 24.11.2025 г.).

целесообразность перехода к двухуровневой системе водоснабжения. Данная модель предполагает разделение потоков: для хозяйственно-питьевых целей — за счёт высококачественной упакованной и разливной воды; для хозяйственно-бытовых нужд — за счёт воды централизованного водоснабжения.

В результате население получит не только безопасную, но и физиологически полноценную, в том числе функционально ориентированную воду для питья, выбираемую индивидуально, а для бытовых целей — воду, безопасную по иным критериям.

Прогнозируется, что запрос на подобное разделение будет возрастать по мере старения водопроводной инфра-

структуры, особенно в крупных городских агломерациях. В связи с этим необходимы совершенствование нормативной базы, в том числе научное обоснование подпороговых уровней содержания ХВ не только при пероральном поступлении, но и при кожно-резорбтивном воздействии. Предварительные оценки указывают, что такой пересмотр может затронуть более 50% показателей, входящих в систему санитарно-гигиенического мониторинга. Кроме того, дифференцированный подход к нормированию и оценке качества создаст объективные основания для решения вопроса о тарифах на воду, поставляемую централизованными системами, поскольку позволит учитывать различия в её фактическом качестве и целевом использовании.

Литература

1. Черкинский С.Н., ред. *Санитарная охрана водоёмов от загрязнения промышленными сточными водами*. М.: Медгиз; 1949.
2. WHO. International standards for drinking water; 1958.
3. Черкинский С.Н. Принципиальные основы гигиенического нормирования качества питьевой воды источников хозяйственно-питьевого водоснабжения. В кн.: Черкинский С.Н., ред. *Руководство по коммунальной гигиене. Том 2*. М.: Медгиз; 1962: 72–84.
4. Директива Европейского Парламента и Совета Европейского Союза 2020/2184 «О качестве воды, предназначенной для употребления людьми (в новой редакции)»; 2020. Available at: <https://base.garant.ru/403816028/>
5. Мамонов Р.А., Лебедь-Шарлевич Я.И., Манаева Е.С., Печникова И.А., Силицына О.О. Гигиеническое нормирование вредных химических веществ в воде — взгляд через призму исследований Научно-исследовательского института им. А.Н. Сысина. *Гигиена и санитария*. 2024; 103(10): 1261–72. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-10-1261-1272> <https://elibrary.ru/vsyubw>
6. Красовский Г.Н., Рахманин Ю.А., Егорова Н.А. *Экстраполяция токсикологических данных с животных на человека*. М.: Медицина; 2009.
7. Рахманин Ю.А. Экспериментальные материалы к гигиеническому нормированию α - и β -нафтолов в воде водоемов. *Гигиена и санитария*. 1965; 44(6): 22–7.
8. Методические рекомендации по изучению влияния химического состава воды на состояние здоровья населения. М.; 1997.
9. Сычева Л.П., Журков В.С., Рахманин Ю.А. Новый подход к диагностике мутагенных и канцерогенных свойств факторов окружающей среды. *Гигиена и санитария*. 2003; 82(6): 87–91.
10. Беляева Н.Н., Рахманин Ю.А., Горелова Ж.Ю., Александрова В.П., Александровский С.Б., Шамарин А.А. и др. Информативность определения цитологического статуса слизистых оболочек носа и рта при оценке качества воды. *Гигиена и санитария*. 2005; 84(6): 40–2.
11. Сычева Л.П., Рахманин Ю.А. *Полиорганный микродермальный тест в экологической гигиенических исследованиях*. М.: Гениус; 2007.
12. Сычева Л.П., Муравьева Л.В., Журков В.С., Михайлова Р.И., Савостикова О.Н., Алексеева А.В. и др. Изучение мутагенного и цитотоксического действия наносеребра и сульфата серебра в половых клетках мышей *in vivo*. *Российские нанотехнологии*. 2016; 11(3–4): 95–100. <https://elibrary.ru/vtptmd>
13. Сычева Л.П., Михайлова Р.И., Беляева Н.Н., Журков В.С., Юрченко В.В., Савостикова О.Н. и др. Изучение мутагенного и цитотоксического действия многослойных углеродных нанотрубок и активного угля в шести органах мышей *in vivo*. *Российские нанотехнологии*. 2015; 10(3–4): 120–5. <https://elibrary.ru/tqufdv>
14. Рахманин Ю.А. Гигиенические основы опреснения и последующего кондиционирования высокоминерализованных вод для населения аридных территорий. *Гигиена и санитария*. 2025; 104(9): 1229–43. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-9-1229-1243> <https://elibrary.ru/rosslk>
15. Рахманин Д.В., Михайлова Р.И. Гигиенические основы менеджмента качества бутилированных питьевых вод. *Гигиена и санитария*. 2011; 90(3): 53–7. <https://elibrary.ru/nwpgph>
16. Рахманин Ю.А., Михайлова Р.И. Дифференцированное нормирование качества питьевой воды. *Методы оценки соответствия*. 2012; (3): 10–5. <https://elibrary.ru/oxhcbh>
17. Рахманин Ю.А., Михайлова Р.И., Алексеева А.В. Бутилированные питьевые воды как фактор повышения качества жизни. *Контроль качества продукции*. 2015; (9): 14–9. <https://elibrary.ru/ugdbsl>
18. Директива европейского парламента и Совета Европейского Союза 2009/54/УС «Об использовании и размещении на рынке природных минеральных вод (в новой редакции)»; 2009. Доступно: <https://base.garant.ru/70256050/>
19. Kozisek F. Regulations for calcium, magnesium or hardness in drinking water in the European Union member states. *Regul. Toxicol. Pharmacol.* 2020; 112: 104589. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2020.104589>
20. Будеев И.А. *Гигиенические аспекты водоснабжения населения южной части Западной Сибири в связи с особенностями состава подземных вод*: Автореф. дисс. ... д-ра мед. наук. М.; 1978.
21. Силицына О.О., Брагина И.В., Гильденскиольд О.А., Стрекачев Л.В., Турбинский В.В. Гигиеническая оценка качества и безопасности питьевой воды в розлив. *Гигиена и санитария*. 2025; 104(5): 595–600. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-5-595-600> <https://elibrary.ru/vpifig>
22. Рахманин Ю.А., Михайлова Р.И., Каменецкая Д.Б. Качество питьевой водоснабжения в РФ. *Контроль качества продукции*. 2015; (9): 7–13. <https://elibrary.ru/ugdbbsb>
23. Cramer G.M., Ford R.A., Hall R.L. Estimation of toxic hazard — a decision tree approach. *Food Cosmet. Toxicol.* 1978; 16(3): 255–76. [https://doi.org/10.1016/s0015-6264\(76\)80522-6](https://doi.org/10.1016/s0015-6264(76)80522-6)
24. Nelms M.D., Patlewicz G. Derivation of new threshold of toxicological concern values for exposure via inhalation for environmentally-relevant chemicals. *Front. Toxicol.* 2020; 2: 580347. <https://doi.org/10.3389/ftox.2020.580347>
25. Munro I.C., Renwick A.G., Danielewska-Nikiel B. The Threshold of Toxicological Concern (TTC) in risk assessment. *Toxicol. Lett.* 2008; 180(2): 151–6. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2008.05.006>
26. More S.J., Bampidis V., Benford D., Bragard C., Halldorsson T.I., Hernández-Jerez A.F., et al. Guidance on the use of the Threshold of Toxicological Concern approach in food safety assessment. *EFSA J.* 2019; 17(6): e05708. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2019.5708>
27. Рахманин Ю.А., Додина Н.С., Алексеева А.В. Современные методические подходы к оценке риска здоровью населения от воздействия химических веществ. *Анализ риска здоровью*. 2023; (4): 33–41. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2023.4.03> <https://elibrary.ru/pxekfb>
28. Гончаров С.И., Красовский Г.Н., Швец Г.Н., Дергачева Т.С. Методика определения целесообразности экспериментального изучения кожно-резорбтивного действия химических веществ в воде. *Гигиена и санитария*. 1993; 72(11): 64–5.
29. Валамина И.Е., Кознова А.Е., Угрюмова Е.М., Аксой Д.И., Бакай Е.Д. Куриный эмбрион как модель тестирования новых веществ. *Вестник Уральского государственного медицинского университета*. 2023; (1): 58–65.
30. Рахманин Ю.А., Кондратов В.К., ред. *Вода — космическое явление. Кооперативные свойства. Биологическая активность*. М.; 2002.
31. Рахманин Ю.А., Стехин А.А., Яковлева Г.В. *Биофизика воды. Квантовая нелокальность в технологиях водоподготовки. Регуляторная роль ассоциированной воды в клеточном метаболизме. Нормирование биоэнергетической активности питьевой воды*. М.: Ленанд; 2016. <https://elibrary.ru/njxuec>
32. Стехин А.А., Яковлева Г.В., Рахманин Ю.А. *Системный взгляд на долготеление. Водная парадигма жизни*. М: Ленанд; 2024.

References

1. Cherkinskii S.N., ed. *Sanitary Protection of Reservoirs from Pollution by Industrial Wastewater [Sanitarnaya okhrana vodoemov ot zagryazneniya promyshlennymi stochnymi vodami]*. Moscow: Medgiz; 1949. (in Russian)
2. WHO. International standards for drinking water; 1958.
3. Cherkinskii S.N. The fundamental principles of hygienic rationing of drinking water quality in domestic drinking water supply sources. In: Cherkinskii S.N., ed. *Guidelines for Communal Hygiene. Volume 2 [Rukovodstvo po kommunal'noi gigiene. Tom 2]*. Moscow: Medgiz; 1962: 72–84. (in Russian)
4. Directive 2020/2184 of the European Parliament and of the Council "On the quality of water intended for human consumption (as amended)"; 2020. Available at: <https://base.garant.ru/403816028/> (in Russian)
5. Mamonov R.A., Lebed-Sharevich Ya.I., Manaeva E.S., Pechnikova I.A., Sinityna O.O. Hygienic regulation of harmful chemicals in water — a view through the prism of research by the A.N. Sysin Research Institute. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2024; 103(10): 1261–72. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-10-1261-1272> <https://elibrary.ru/vsyubw> (in Russian)
6. Krasovskii G.N., Rakhmanin Yu.A., Egorova N.A. *Extrapolation of Toxicological Data from Animals to Humans [Ekstrapolyatsiya toksikologicheskikh dannykh s zhivotnykh na cheloveka]*. Moscow: Meditsina; 2009. (in Russian)
7. Rakhmanin Yu.A. Experimental materials for hygienic regulation of α - and β -naphthol in water bodies. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 1965; 44(6): 22–7. (in Russian)

8. Guidelines for studying the influence of water chemical composition on the health of the population. Moscow; 1997.
9. Sycheva L.P., Zhurkov V.S., Rakhmanin Yu.A. A new approach to the diagnosis of mutagenic and carcinogenic properties of environmental factors. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2003; 82(6): 87–91. (in Russian)
10. Belyaeva N.N., Rakhmanin Yu.A., Gorelova Zh.Yu., Aleksandrova V.P., Aleksandrovskii S.B., Shamarin A.A., et al. Informative value of determining the cytological status of the nasal and oral mucous membranes in assessing water quality. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2005; 84(6): 40–2. (in Russian)
11. Sycheva L.P., Rakhmanin Yu.A. *Polyorgan Micro-Nuclear Test in Ecological and Hygienic Studies [Poliorgannyi mikroyadernyi test v ekologo-gigienicheskikh issledovaniyakh]*. Moscow: Genius; 2007. (in Russian)
12. Sycheva L.P., Muraveva L.V., Zhurkov V.S., Mikhailova R.I., Savostikova O.N., Alekseeva A.V., et al. Study of cytogenetic and cytotoxic effects of nanosilver and silver sulfate in germ cells of mice *in vivo*. *Nanotechnologies in Russia*. 2016; 11(3–4): 256–62. <https://doi.org/10.1134/S1995078016020191> <https://elibrary.ru/wfwfzqz>
13. Sycheva L.P., Mikhailova R.I., Belyaeva N.N., Zhurkov V.S., Yurchenko V.V., Savostikova O.N., et al. Study of mutagenic and cytotoxic effects of multiwalled carbon nanotubes and activated carbon in six organs of mice *in vivo*. *Nanotechnologies in Russia*. 2015; 10(3–4): 311–7. <https://doi.org/10.1134/S1995078015020184> <https://elibrary.ru/ufuteb>
14. Rakhmanin Yu.A. Hygienic principles of desalination and subsequent conditioning of highly mineralized waters for the population in arid territories. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2025; 104(9): 1229–43. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-9-1229-1243> <https://elibrary.ru/rosslk> (in Russian)
15. Rakhmanin D.V., Mikhailova R.I. Hygienic bases for management of bottled drinking water quality. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 011; 90(3): 53–7. <https://elibrary.ru/nwpgph> (in Russian)
16. Rakhmanin Yu.A., Mikhailova R.I. Differentiated regulation of drinking water quality. *Metody otsenki sootvetstviya*. 2012; (3): 10–5. <https://elibrary.ru/oxhcbh> (in Russian)
17. Rakhmanin Yu.A., Mikhailova R.I., Alekseeva A.V. Bottled drinking water as a factor in improving the quality of life. *Kontrol kachestva produktov*. 2015; (9): 14–9. <https://elibrary.ru/ugdbsl> (in Russian)
18. Directive of the European Parliament and of the Council 2009/54/EC "On the use and placing on the market of natural mineral waters (as amended)"; 2009. Available at: <https://base.garant.ru/70256050/> (in Russian)
19. Kozisek F. Regulations for calcium, magnesium or hardness in drinking water in the European Union member states. *Regul. Toxicol. Pharmacol.* 2020; 112: 104589. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2020.104589>
20. Budeev I.A. *Hygienic aspects of water supply for the population of the southern part of Western Siberia in connection with the composition of groundwater*. Diss. Moscow; 1978. (in Russian)
21. Sinitsyna O.O., Bragina I.V., Gildenskiold O.A., Strekacheva L.V., Turbinsky V.V. Hygienic assessment of the quality and safety of bottled drinking water. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2025; 104(5): 595–600. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-5-595-600> <https://elibrary.ru/vpifrg> (in Russian)
22. Rakhmanin Yu.A., Mikhailova R.I., Kamenetskaya D.B. The quality of drinking water supply in the Russian Federation. *Kontrol' kachestva produktov*. 2015; (9): 7–13. <https://elibrary.ru/ugdbsh> (in Russian)
23. Cramer G.M., Ford R.A., Hall R.L. Estimation of toxic hazard – a decision tree approach. *Food Cosmet. Toxicol.* 1978; 16(3): 255–76. [https://doi.org/10.1016/s0015-6264\(76\)80522-6](https://doi.org/10.1016/s0015-6264(76)80522-6)
24. Nelms M.D., Patlewicz G. Derivation of new threshold of toxicological concern values for exposure via inhalation for environmentally-relevant chemicals. *Front. Toxicol.* 2020; 2: 580347. <https://doi.org/10.3389/ftox.2020.580347>
25. Munro I.C., Renwick A.G., Danielewska-Nikiel B. The Threshold of Toxicological Concern (TTC) in risk assessment. *Toxicol. Lett.* 2008; 180(2): 151–6. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2008.05.006>
26. More S.J., Bampidis V., Benford D., Bragard C., Halldorsson T.I., Hernández-Jerez A.F., et al. Guidance on the use of the Threshold of Toxicological Concern approach in food safety assessment. *EFSA J.* 2019; 17(6): e05708. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2019.5708>
27. Rakhmanin Yu.A., Dodina N.S., Alekseeva A.V. Modern methodological approaches to assessing public health risks due to chemicals exposure. *Health Risk Analysis*. 2023; (4): 33–41. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2023.4.03> <https://elibrary.ru/hjdjot>
28. Goncharov S.I., Krasovsky G.N., Shvets G.N., Dergacheva T.S. Methodology for determining the expediency of experimental study of the dermal-resorptive effect of chemicals in water. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 1993; 72(11): 64–5.
29. Valamina I.E., Koznova A.E., Ugryumova E.M., Aksoi D.I., Bakai E.D. Chicken embryo as a model for testing new substances. *Vestnik Ural'skogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta*. 2023; (1): 58–65. (in Russian)
30. Rakhmanin Yu.A., Kondratov V.K., et al. *Water is a Cosmic Phenomenon. Cooperative Properties. Biological Activity [Voda – kosmicheskoe yavlenie. Kooperativnye svoystva. Biologicheskaya aktivnost']*. Moscow; 2002. (in Russian)
31. Rakhmanin Yu.A., Stekhin A.A., Yakovleva G.V. *Biophysics of Water. Quantum Nonlocality in Water Treatment Technologies. The Regulatory Role of Associated Water in Cellular Metabolism. Rationing of Bioenergetic Activity of Drinking Water [Biofizika vody. Kvantovaya nelokal'nost' v tekhnologiyakh vodopodgotovki. Regul'yatornaya rol' assotsirovannoi voda v kletochnom metabolisme. Normirovanie bioenergeticheskoi aktivnosti pit'evoi vody]*. Moscow: Lenand; 2016. <https://elibrary.ru/njuxec> (in Russian)
32. Stekhin A.A., Yakovleva G.V., Rakhmanin Yu. *Systemic View of Longevity. The Water Paradigm of Life [Sistemnyi vzglyad na dolgoletie. Vodnaya paradigma zhizni]*. Moscow: Lenand; 2024. (in Russian)

Сведения об авторах

Ракманин Юрий Анатольевич, доктор мед. наук, профессор, академик РАН, Заслуженный деятель науки РФ, гл. науч. сотр. ФГБУ «ЦСП» ФМБА России, 119121, Москва, Россия. E-mail: YuRakhmanin@cspmrz.ru

Синицына Оксана Олеговна, доктор мед. наук, профессор, член-корр. РАН, зам. директора по научной работе ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, 141014, Мытищи, Россия. E-mail: sinitsyna.oo@fncg.ru

Егорова Наталья Александровна, доктор мед. наук, вед. науч. сотр., ФГБУ «ЦСП» ФМБА России, 119121, Москва, Россия. E-mail: Egorova@cspmrz.ru

Турбинский Виктор Владиславович, доктор мед. наук, доцент, зав. отд. гигиены воды ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, 141014, Мытищи, Россия. E-mail: turbinskii_vv@fncg.ru

Алексева Анна Венедиктовна, канд. мед. наук, вед. науч. сотр., ФГБУ «ЦСП» ФМБА России, 119121, Москва, Россия. E-mail: AAlekseeva@cspmrz.ru

Кузь Надежда Валентиновна, канд. мед. наук, зав. отделом коммунальной гигиены ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в городе Москве» Роспотребнадзора, 129626, Москва, Россия. E-mail: nadezhda.v.k@gmail.com

Рыжова Ирина Николаевна, канд. мед. наук, вед. специалист, ФГБУ «ЦСП» ФМБА России, 119121, Москва, Россия. E-mail: IRyzhova@cspmrz.ru

Кочеткова Марина Германовна, науч. сотр., ФГБУ «ЦСП» ФМБА России, 119121, Москва, Россия. E-mail: MKochetkova@cspmrz.ru

About the authors

Yuri A. Rakhmanin, DSc (Medicine), professor, academician of the RAS, Honored Scientist of the Russian Federation, chief researcher, A.N. Sytin Research Institute of Human ecology and Environmental Health, Center for Strategic Planning of the Federal medical and biological agency of the Russia, Moscow, 119121, Russian Federation; Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman, Mitishchi, 1410014, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-2067-8014> E-mail: YuRakhmanin@cspmrz.ru

Oxana O. Sinitsyna, DSc (Medicine), professor, corresponding member of the RAS, deputy director, Federal Scientific Center for Hygiene named after F.F. Erisman, Mytishchi, 141014, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-0241-0690> E-mail: sinitsyna.oo@fncg.ru

Natalya A. Egorova, DSc (Medicine), leading researcher, Center for Strategic Planning of the Federal medical and biological agency of the Russia, Moscow, 119121, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-6751-6149> E-mail: NEgorova@cspmrz.ru

Viktor V. Turbinsky, DSc (Medicine), associate professor, head, Department of water hygie Federal Scientific Center for Hygiene named after F.F. Erisman, Mytishchi, 141014, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-7668-9324> E-mail: turbinskii_vv@fncg.ru

Anna V. Alekseeva, Ph.D., leading researcher, Center for Strategic Planning of the Federal medical and biological agency of the Russia, Moscow, 119121, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-0422-8382> E-mail: AAlekseeva@cspmrz.ru

Nadezhda V. Kuz, PhD (Medicine), Head, Municipal Hygiene Department, Center for Hygiene and Epidemiology in Moscow, Moscow, 129626, Russian Federation; Center for Hygiene and Epidemiology in city of Moscow, Moscow, 129626, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-7573-0185> E-mail: nadezhda.v.k@gmail.com

Irina N. Ryzhova, PhD (Medicine), leading specialist, Center for Strategic Planning of the Federal medical and biological agency of the Russia, Moscow, 119121, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-0696-5359> E-mail: IRyzhova@cspmrz.ru

Marina G. Kochetkova, researcher, Center for Strategic Planning of the Federal medical and biological agency of the Russia, Moscow, 119121, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-9616-4517> E-mail: MKochetkova@cspmrz.ru