

Зайцева Н.В.^{1,2}, Клейн С.В.^{1,3}, Май И.В.^{1,4}, Савочкина А.А.⁴, Кирьянов Д.А.^{1,2},
Камалтдинов М.Р.¹, Вековшинина С.А.¹

Риск для здоровья населения и эффективность мероприятий по повышению качества питьевой воды централизованных систем водоснабжения

¹ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 614045, Пермь, Россия;

²ФГАОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», 614990, Пермь, Россия;

³ФГБОУ ВО «Пермский государственный медицинский университет имени академика Е.А. Вагнера» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 614990, Пермь, Россия;

⁴ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», 614990, Пермь, Россия

Введение. Безопасная и качественная питьевая вода — важнейшее условие минимизации рисков для здоровья населения от воздействия факторов среды обитания.

Цель исследования — разработка и апробация методических подходов к комплексной оценке эффективности мероприятий по повышению качества питьевой воды централизованных систем водоснабжения с использованием критериев риска для здоровья населения.

Материалы и методы. В качестве адекватной методической основы оценки эффективности мероприятий был выбран метод нечётких множеств (нечёткой логики). Объектом исследования стали мероприятия региональных программ и параметры качества питьевой воды. Критерием эффективности мероприятий являлся уровень риска для здоровья населения.

Результаты. Разработан методический инструментарий, позволяющий выполнять оценку качества питьевой воды с учётом комплекса разнородных инструментально измеряемых показателей, сгруппированных по типам, — органолептических, санитарно-микробиологических и паразитологических, санитарно-химических и радиологических (всего более 100 показателей). Для каждого показателя (фактора) качества питьевой воды предложен весовой коэффициент, соотношённый с тяжестью нарушений здоровья при воздействии фактора. Диапазоны параметров всех показателей шкалированы по степени опасности для человека. Для групп показателей установлены весовые коэффициенты. Суммарный риск учитывал воздействие всех групп показателей с учётом их долевого вклада в формирование негативного ответа. Определяли значение функции принадлежности величины риска к диапазонам шкалы от низкого до чрезвычайно высокого. Оценивали риск для здоровья до и после мероприятий. Предложена шкала эффективности мер. Мероприятия, в результате которых риск для здоровья снижался менее чем на 20%, оценивали как низкоэффективные. При снижении риска на 20–60% мероприятия оценивались как умеренно или среднеэффективные; более 60% — как эффективные или высокоэффективные.

Ограничением исследования является ориентация на существующую информационную базу, содержащую данные о негативных эффектах, референтных уровнях при воздействии факторов среды обитания. Получение новых релевантных данных может обусловить необходимость актуализации шкал риска и весовых характеристик отдельных факторов.

Заключение. Апробация методических подходов в условиях реальных проектов показала, что метод адекватен поставленным задачам, обеспечивая оценку мероприятий по системе разнородных качественных и количественных показателей.

Ключевые слова: централизованные системы водоснабжения; качество питьевой воды; критерии качества; комплексная оценка; федеральный проект «Чистая вода»; эффективность мероприятий

Соблюдение этических стандартов. Для проведения данного исследования не требовалось заключения комитета по биомедицинской этике (исследование выполнено на общедоступных данных официальной статистики).

Для цитирования: Зайцева Н.В., Клейн С.В., Май И.В., Савочкина А.А., Кирьянов Д.А., Камалтдинов М.Р., Вековшинина С.А. Риск для здоровья населения и эффективность мероприятий по повышению качества питьевой воды централизованных систем водоснабжения. *Гигиена и санитария*. 2022; 101(11): 1403–1411. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-11-1403-1411> <https://elibrary.ru/clynsr>

Для корреспонденции: Клейн Светлана Владиславовна, доктор мед. наук, зав. отд. системных методов санитарно-гигиенического анализа и мониторинга ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», 614045, Пермь. E-mail: kleyn@fcrisk.ru

Участие авторов: Зайцева Н.В. — концепция и дизайн исследования, редактирование; Клейн С.В. — дизайн исследования, написание текста, редактирование; Май И.В. — редактирование; Савочкина А.А. — обработка данных, написание текста; Кирьянов Д.А. — статистическая обработка данных, написание текста; Камалтдинов М.Р. — статистическая обработка данных, написание текста; Вековшинина С.А. — сбор материала и обработка данных. Все соавторы — утверждение окончательного варианта, ответственность за целостность всех частей статьи.

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

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Поступила: 06.09.2022 / Принята к печати: 03.10.2022 / Опубликовано: 30.11.2022

Nina V. Zaitseva^{1,2}, Svetlana V. Kleyn^{1,3}, Irina V. May^{1,4}, Anna A. Savochkina⁴,
Dmitry A. Kiryanov^{1,2}, Marat R. Kamaltdinov¹, Svetlana A. Vekovshina¹

Methodical grounds and experience gained in implementing complex assessment of activities aimed at risk to public health and effectiveness of measures to improve the quality of drinking water in centralized water supply systems

¹Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, 614045, Russian Federation;

²Perm State National Research University, Perm, 614990, Russian Federation;

³Perm State Medical University named after Academician E.A. Wagner, Perm, 614045, Russian Federation;

⁴Perm National Research Polytechnic University, Perm, 614990, Russian Federation

Introduction. Safe and qualitative drinking water is among the most significant conditions for minimizing environmental risks to public health.

Our research goal was to develop and test methodical approaches to complex assessment of activities aimed at improving drinking water quality in centralized water supply systems. Within these approaches, effectiveness of such activities should be estimated as per health risk criteria.

Materials and methods. Fuzzy set theory (fuzzy logic) was selected as relevant methodical grounds for estimating effectiveness of implemented activities. Our research objects were activities performed within regional programs and indicators of drinking water quality. A rate of public health risk was selected as a criterion to estimate effectiveness of an activity.

Results. We developed a set of methodical tools that allowed assessing drinking water quality considering a variety of heterogeneous and instrumentally measurable indicators that were divided into several groups. Overall, we included more than 100 indicators that were grouped as organoleptic, sanitary-microbiological and parasitological, sanitary-chemical and radiological ones. We suggested a weighting factor for each indicator of drinking water quality. This weighting factor correlated with severity of health disorders under exposure to improper values of a specific indicator. Ranges of values for each indicator were scaled as per a degree of its hazard for human health and weighting factors were established for each indicator group. The total risk considered effects produced by all the indicator groups, their share contribution to a negative health outcome also taken into account. We determined a value of the membership function to establish where a specific risk would be found on the scale with risk rates from low to extremely high. Health risks were assessed prior to implementation of activities and after it. We also suggested a scale to measure effectiveness of implemented activities. Those activities that resulted in health risk reduction by less than 20% were estimated as low-effective ones. If a risk went down by 20–60%, activities were estimated as moderate or average-effective; a reduction by more than 60% indicated that implemented activities were effective or even highly effective.

Limitations. The use of the existing information database on adverse effects and reference levels under exposure to environmental factors. Should new relevant data become available, this might result in the necessity to revise risk scales and weighting factors of specific indicators.

Conclusion. We tested the suggested methodical approaches within actual projects implemented currently. The testing revealed their relevance to the existing tasks since these approaches facilitate proper assessment of activities as per a system of heterogeneous qualitative and quantitative indicators.

Keywords: centralized water supply systems; drinking water quality; quality indicators; complex assessment; “Clean Water” Federal project; effectiveness of activities

Compliance with ethical standards. No approval by the committee on biomedical ethics was required to accomplish this study (it was based on free available data taken from the official statistical reports).

For citation: Zaitseva N.V., Kleyn S.V., May I.V., Savochkina A.A., Kiryanov D.A., Kamaltdinov M.R., Vekovshina S.A. Risk to public health and effectiveness of measures to improve the quality of drinking water in centralized water supply systems. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2022; 101(11): 1403–1411. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-11-1403-1411> <https://elibrary.ru/clynsr> (In Russian)

For correspondence: Svetlana V. Kleyn, MD, PhD, DSci, Head of the department of sanitary and hygienic analysis and monitoring of systemic methods, Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, 614045, Russian Federation. E-mail: kleyn@fcrisk.ru

Information about authors:

Zaitseva N.V., <https://orcid.org/0000-0003-2356-1145>

Kleyn S.V., <https://orcid.org/0000-0002-2534-5713>

May I.V., <https://orcid.org/0000-0003-0976-7016>

Savochkina A.A., <https://orcid.org/0000-0003-2591-6632>

Kiryanov D.A., <https://orcid.org/0000-0002-5406-4961>

Kamaltdinov M.R., <https://orcid.org/0000-0003-0969-9252>

Vekovshina S.A., <https://orcid.org/0000-0002-4833-0792>

Contribution: Zaitseva N.V. – study concept and design, editing; Kleyn S.V. – design, text writing, editing; May I.V. – editing; Savochkina A.A. – data processing, text writing; Kiryanov D.A. – statistical data processing, text writing; Kamaltdinov M.R. – statistical data processing, text writing; Vekovshina S.A. – collection of material and data processing. 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.

Acknowledgement. The study had no sponsorship.

Received: September 6, 2022 / Accepted: October 3, 2022 / Published: November 30, 2022

Введение

Обеспечение населения качественной питьевой водой является глобальной проблемой, признаваемой в качестве приоритета во всём мире [1]. Около 30% жителей планеты не имеют доступа к безопасным источникам питьевой воды, более чем для 40% населения планеты проблема нехватки воды актуальна и, по прогнозам, будет обостряться. Ежегодно десятки тысяч человек умирают от заболеваний, связанных с некачественным водоснабжением и антисанитарией. Генеральной ассамблеей ООН одной из целей развития человечества в XXI веке, согласно «плану достижения лучшего и более устойчивого будущего», названо обеспечение наличия и рационального использования водных ресурсов и санитарии для всех. К 2030 г. необходимо обеспечить всеобщий и равноправный доступ к безопасной и недорогой питьевой воде, повысить качество воды посредством уменьшения загрязнения, ликвидации сброса отходов и значительного увеличения масштабов рециркуляции воды, повысить эффективность водопользования во всех секторах¹. Поставленные цели отражают масштабность и глубину существующей проблемы в области обеспечения населения планеты качественной питьевой водой.

В Российской Федерации достижение безопасности и качества воды, прежде всего в системах централизованного водоснабжения, также является приоритетным направлением охраны здоровья и повышения уровня жизни населения [2–5]. Политические и рыночные трансформации 90-х годов прошлого столетия в нашей стране совпали со временем физического износа водоснабжающих инженерных сооружений, необходимости модернизации водочистных станций и сопровождалась сложностью решения возникающих проблем [6]. Дефицит питьевой воды в ряде регионов страны (Республика Северная Осетия – Алания, Оренбургская, Калужская, Псковская, Костромская области и ряд других субъектов РФ) дополнительно усугубляет проблему водоснабжения населения [7–12].

Развитие жилищно-коммунального комплекса, ориентированное на обеспечение гарантированного доступа населения России к качественной питьевой воде, является задачей общегосударственного масштаба. Её решение осуществляется за счёт строительства и реконструкции (модернизации) объектов питьевого водоснабжения в рамках региональных программ федерального проекта «Чистая вода» национального проекта «Жильё и городская среда» [13, 14].

За период 2019–2021 гг. план по количеству введённых в эксплуатацию объектов водоснабжения выполнен. Доля населения, обеспеченного качественной питьевой водой из централизованных систем водоснабжения, составляет 87,35% [14]. Однако для части населения страны проблема неудовлетворительного качества питьевой воды продолжает оставаться актуальной [15, 16].

В динамике за последнее десятилетие качество питьевой воды централизованных систем водоснабжения в целом улучшилось. Доля проб питьевой воды из распределительной сети, не соответствующих санитарно-эпидемиологическим требованиям по микробиологическим и санитарно-химическим показателям, снизилась на 2,03 и 4,16% соответственно [16]. Повышенное содержание соединений марганца, железа, меди, мышьяка, никеля, бора, кремния, хлора, хлорорганических соединений, аммиака и других компонентов продолжает оставаться основной причиной несоответствия параметров качества питьевой воды гигиеническим нормативам и способно сформировать до 11,04 тыс. дополнительных случаев смерти и 1,54 млн случаев заболеваний населения страны в год (2021 г.). К территориям с повышенным уровнем дополнительных нарушений здоровья, ассоциирован-

ных с неудовлетворительным качеством питьевой воды централизованных систем питьевого водоснабжения, относятся Тамбовская, Новгородская, Еврейская автономная области, Республика Калмыкия, Ханты-Мансийский автономный округ и ряд других [15–19].

Существующая ситуация и приоритетные направления развития Российской Федерации обуславливают необходимость разработки и оценки эффективности адекватных мероприятий, направленных на минимизацию риска для здоровья, увеличение количества населения, обеспеченного качественной питьевой водой, и снижение потерь здоровья, формируемых комплексным влиянием факторов питьевой воды.

В целях нормативно-методического обеспечения процедуры оценки эффективности реализуемых в регионах мероприятий по реконструкции систем централизованного водоснабжения и повышению качества питьевой воды в 2019 г. были разработаны методические рекомендации², позволяющие оценить их эффективность по каждому отдельному показателю. Важным ограничением методики являлось отсутствие возможности оценки эффективности мероприятий в целом по всему комплексу мониторируемых показателей качества питьевой воды.

Необходимость комплексной оценки параметров качества и безопасности питьевой воды в результате реализации текущих и планируемых мероприятий на объектах, осуществляющих централизованное питьевое водоснабжение населения, определила *цель исследования*, которой стала разработка и апробация методических подходов к комплексной оценке эффективности мероприятий по повышению качества питьевой воды централизованных систем водоснабжения с использованием критериев риска для здоровья населения.

Материалы и методы

Для решения задачи комплексной оценки эффективности мероприятий по повышению качества питьевой воды централизованных систем водоснабжения исходили из положения, что качественной питьевой водой является та, которая отвечает санитарно-эпидемиологическим требованиям и нормативам. Учитывали всю совокупность показателей, характеризующих органолептические свойства воды, её безопасность в эпидемическом и радиационном отношении, безвредность по химическому составу³.

Качество и безопасность питьевой воды оценивали по совокупности более 100 показателей, объединённых в соответствии с разделом III СанПиН 1.2.3685–21 в пять групп⁴: органолептические (5 ед.); обобщённые (8 ед.); санитарно-микробиологические и паразитологические (12 ед.), санитарно-химические (более 70 ед.) и показатели радиационной безопасности (4 ед.). Комплексную оценку по критерию совокупного риска для здоровья выполняли с использованием данных о качестве питьевой воды до и после реализации мероприятий на централизованных системах водоснабжения с учётом всей совокупности показателей.

Методической основой, адекватной поставленной задаче, при оценке эффективности планирования и реализации мероприятий по повышению качества питьевой воды признан подход, основанный на теории нечётких множеств⁵ и

¹ ООН. Цели в области устойчивого развития. Цель 6: Обеспечение наличия и рационального использования водных ресурсов и санитарии для всех; 2015. Доступно: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/water-and-sanitation/>

² МР 2.1.4.0143–19 «Методика по оценке повышения качества питьевой воды, подаваемой системами централизованного питьевого водоснабжения». Доступно: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_325256/

³ МР 2.1.4.0266–21 «Методика по оценке повышения качества питьевой воды, подаваемой системами централизованного питьевого водоснабжения». Доступно: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_402581/

⁴ СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». Доступно: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_375839/fa69e15a74de57cbe09d347462434c11f6eaca/

⁵ ГОСТ Р 58771–2019 «Менеджмент риска. Технологии оценки риска». Доступно: <https://docs.cntd.ru/document/1200170253>

учитывающий международные аспекты менеджмента риска. Основанием выбора метода являлась возможность учёта комплекса разнородных показателей (качественных и количественных) качества питьевой воды [20, 21].

Совокупный риск определялся как сумма произведений компонентных рисков по каждой группе показателей и их весового вклада в тяжесть всех потенциальных нарушений здоровья при употреблении питьевой воды ненадлежащего качества. Критические органы и системы, тяжесть вероятных нарушений здоровья устанавливали в соответствии с данными Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ)⁶ и иными релевантными источниками⁷ [22, 23].

⁶ World Health Organization. (2020). WHO methods and data sources for global burden of disease estimates 2000–2019. Global Health Estimates Technical Paper WHO/DDI/DNA/GHE/2020.3. Geneva: World Health Organization. Доступно: https://cdn.who.int/media/docs/default-source/ghe-documents/global-health-estimates/ghe2019_daly-methods.pdf

⁷ Р 2.1.10.1920–04 «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду». Доступно: <https://docs.cntd.ru/document/1200037399>

Апробацию разрабатываемых подходов выполняли на примере реальных мероприятий региональных программ. Пробы питьевой воды до и после выполнения мероприятий были исследованы по 18 показателям: органолептическим (4 ед.); обобщённым (3 ед.); санитарно-микробиологическим и паразитологическим (4 ед.), санитарно-химическим (5 ед.) и показателям радиационной безопасности (2 ед.).

Результаты

Предложен алгоритм, обеспечивающий учёт всего комплекса измеряемых показателей и позволяющий рассчитать показатель совокупного риска для здоровья в результате вероятного негативного воздействия отдельных факторов воды и их комплекса. Для каждого потенциально измеряемого показателя качества воды (xi) выполнено экспертное шкалирование диапазона вероятных значений. Каждый интервал диапазона соотнесён с определённым рангом риска для здоровья — от пренебрежимо малого до очень высокого (табл. 1).

Таблица 1 / Table 1

Пример шкалирования показателей качества питьевой воды с учётом риска для здоровья

An example of scaling indicators of drinking water quality, health risks taken into account

Показатель шкалы Scale indicator	Риск для здоровья, ранг / Health risk, rates				
	1 пренебрежимо малый Negligible	2 низкий Low	3 средний Average	4 высокий High	5 очень высокий Extremely high
Органолептические показатели / Organoleptic indicators					
Запах, баллы / Odour, scores	0; 1	1; 2	2; 3	3; 4	4; + ∞
Привкус, баллы / Taste, scores	0; 1	1; 2	2; 3	3; 4	4; + ∞
Цветность, градусы / Colour, degrees	0; 10	10; 20	20; 30	30; 40	40; + ∞
<i>i</i> — органолептический показатель* / is organoleptic indicator*	0; BOR ₁ **	BOR ₁ ; BOR ₂	BOR ₂ ; BOR ₃	BOR ₃ ; BOR ₄	BOR ₄ ; + ∞
Обобщённые показатели / Total indicators					
Общая минерализация [сухой остаток], мг/дм ³ Total mineralization [dry residue], mg/dm ³	0; 500	500; 1000	1000; 2000	2000; 5000	5000; + ∞
Жёсткость общая, мг-экв/дм ³ / Total hardness, mg-eq/dm ³	0; 3.5	3.5; 7	7; 14	14; 35	35; + ∞
Нефтепродукты (суммарно), мг/дм ³ / Oil products (total), mg/dm ³	0; 0.05	0.05; 0.1	0.1; 0.2	0.2; 0.5	0.5; + ∞
<i>i</i> — обобщённый показатель* / Total indicator*	0; BOR ₁	BOR ₁ ; BOR ₂	BOR ₂ ; BOR ₃	BOR ₃ ; BOR ₄	BOR ₄ ; + ∞
Санитарно-микробиологические и паразитологические показатели / Sanitary-microbiological and parasitological indicators					
Общее микробное число (ОМЧ), 37±1,0 °C, КОЕ/см ³ Total microbial count (TMC), 37±1,0 °C, CFU/cm ³	0; 25	25; 50	50; 100	100; 250	250; + ∞
<i>Legionella pneumophila</i> , КОЕ/1 дм ³ (CFU/1 dm ³)	0; 50	50; 100	100; 200	200; 500	500; + ∞
Обобщённые колиформные бактерии, КОЕ/100 см ³ / Total coliforms, CFU/100 cm ³	0	0	> 0	> 0	> 0
® —показатель* / Indicator*	0; BOR ₁	BOR ₁ ; BOR ₂	BOR ₂ ; BOR ₃	BOR ₃ ; BOR ₄	BOR ₄ ; + ∞
Показатели радиационной безопасности / Radiation safety					
Удельная суммарная альфа-активность (Аб), Бк/кг Specific total alpha activity, Bq/kg	0; 0.1	0.1; 0.2	0.2; 0.4	0.4; 1.0	1; + ∞
Радон / Radon (²²² Rn)	0; 30	[30; 60	60; 120	120; 300	300; + ∞
<i>i</i> —показатель* / Indicator*	0; BOR ₁	BOR ₁ ; BOR ₂	BOR ₂ ; BOR ₃	BOR ₃ ; BOR ₄	BOR ₄ ; + ∞
Санитарно-химические показатели / Sanitary-chemical indicators					
Химическое вещество, мг/л Chemical, mg/L	0; 0.5	0.5; 1	1; 2	2; 5	5; + ∞
	ПДК/МАС	ПДК/МАС	ПДК/МАС	ПДК/МАС	ПДК/МАС

Примечание. * — перечень показателей качества питьевой воды может быть расширен по мере появления новых данных; ** — BOR₁, BOR₂, BOR₃, BOR₄ — верхние значения диапазонов показателей качества питьевой воды в соответствии с их принадлежностью к 1-му, 2-му, 3-му, 4-му рангам по риску для здоровья соответственно.

Note: * — a list of indicators to describe drinking water quality might be extended as new data become available; ** — means BOR₁, BOR₂, BOR₃, BOR₄ — are upper values in the ranges showing drinking water quality according to their belonging to the 1st, 2nd, 3rd, or 4th rank as per health risk accordingly.

Каждый диапазон значений показателя качества питьевой воды (x) представлен четырьмя параметрами (a_1, a_2, a_3, a_4) — нечётким трапециевидным числом, описывающим функцию принадлежности значения показателя $\mu(x)$ к определённому интервалу шкалы риска (см. табл. 1). Функция принадлежности $\mu(x)$ в общем виде задаётся формулой (1):

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & \text{если } x < a_1 \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1}, & \text{если } a_1 \leq x < a_2 \\ 1, & \text{если } a_2 \leq x \leq a_3 \\ \frac{x - a_4}{a_3 - a_4}, & \text{если } a_3 < x \leq a_4 \\ 0, & \text{если } x > a_4 \end{cases} \quad (1)$$

На первом этапе в каждой группе для каждого показателя (P) рассчитывают среднее значение ($P_i^{\text{сред}}$) для заданного периода (например, года, квартала, месяца) до проведения мероприятий ($P_i^{\text{сред,до}}$) и после их проведения ($P_i^{\text{сред,после}}$) по формулам (2), (3):

$$P_i^{\text{сред,до}} = \sum_{i=1}^n \frac{P_i^{\text{до}}}{n}, \quad (2)$$

$$P_i^{\text{сред,после}} = \sum_{i=1}^n \frac{P_i^{\text{после}}}{n}, \quad (3)$$

где n — количество исследований за анализируемый период для каждого показателя; $P_i^{\text{до}}, P_i^{\text{после}}$ — количественное значение каждого показателя в каждой конкретной пробе.

На следующих этапах расчёта риска учитывали особенности и качественно-количественные характеристики показателей пяти крупных групп.

Для групп **санитарно-химических показателей** и **показателей радиационной безопасности** величину среднего за временной период значения каждого показателя принимали в качестве переменной $P_i^{\text{сред}}$, а его количественное значение B_i — в качестве диапазона значений. Устанавливали принадлежность среднего за временной период значения каждого показателя (переменной $P_i^{\text{сред}}$) каждому диапазону шкалированных значений B_{ik} . Далее значение функции принадлеж-

ности μ_{ki} среднего за временной период значения каждого показателя к каждому из диапазонов шкалированных значений определяли по формуле (1). Диапазоны средних за временной период значений показателей соотносили с соответствующими диапазонами шкалы категорий риска для здоровья (см. табл. 1).

Для каждого показателя качества питьевой воды с учётом критерия степени тяжести болезни определяли приоритетный вид негативного ответа здоровью в соответствии методическими документами^{6,8}, а также с иными релевантными научными данными по приоритетному ответу. Каждому показателю качества питьевой воды назначали весовой коэффициент, соответствующий классу болезней, к которому относится приоритетный вид негативного ответа здоровью. Определение веса (частоты встречаемости) каждого ранжированного по степени тяжести класса болезни [20, 21] в совокупном негативном ответе (W_i) осуществляли по правилу Фишберна (4):

$$W_i = \frac{2(K-l+1)}{(K+1)K}, \quad (4)$$

где W_i — вес ранжированного класса болезни в совокупном негативном ответе; K — общее количество классов болезней, установленных в совокупном ответе; l — ранг негативного ответа (класса болезни) по степени тяжести.

Установленные веса (W_i) распространяли на все приоритетные виды негативных ответов здоровью в соответствии с классами болезней и использовали как весовые коэффициенты для показателей качества воды (G_i), то есть значение W_i соответствовало G_i .

Для групп **органолептических, обобщённых, санитарно-микробиологических и паразитологических показателей** так же, как и в предыдущем случае, величину среднего за временной период значения каждого показателя принимали в качестве переменной $P_i^{\text{сред}}$, а его количественное значение B_i в качестве диапазона значений. Устанавливали принадлежность среднего показателя интервалу шкалированных значений (B_{ik}) и соотносили с соответствующей градацией шкалы риска здоровья (см. табл. 1).

Установление степени принадлежности определённому интервалу диапазона осуществляли за счёт использования

⁸ МУ 2.1.10.3014–12 «Оценка радиационного риска у населения за счёт длительного равномерного техногенного облучения в малых дозах». Доступно: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_130697/

Таблица 2 / Table 2

Шкала диапазонов значений, категорий и рангов риска для здоровья в связи с употреблением питьевой воды централизованных систем водоснабжения

The scale with a range of values, categories and ranks of health risks associated with drinking water from centralized water supply systems

Диапазон значений риска для здоровья A range of health risk values	Величины риска к диапазонам значений шкалы Risks values to the ranges of the scale meanings	Категория и уровень риска для здоровья (R) Health risk category and rate (R)
$R_1 \in [0; 0.25]$	$\mu_1(R) = \begin{cases} 1, & \text{если } 0 \leq R \leq 0.15 \\ 10(0.25 - R), & \text{если } 0.15 \leq R \leq 0.25 \end{cases}$	Пренебрежимо малый Negligible 1
$R_2 \in [0.15; 0.45]$	$\mu_2(R) = \begin{cases} 1 - 10(0.25 - R), & \text{если } 0.15 \leq R \leq 0.25 \\ 1, & \text{если } 0.25 \leq R \leq 0.35 \\ 10(0.45 - R), & \text{если } 0.35 \leq R \leq 0.45 \end{cases}$	Низкий Low 2
$R_3 \in [0.35; 0.65]$	$\mu_3(R) = \begin{cases} 1 - 10(0.45 - R), & \text{если } 0.35 \leq R \leq 0.45 \\ 1, & \text{если } 0.45 \leq R \leq 0.55 \\ 10(0.65 - R), & \text{если } 0.55 \leq R \leq 0.65 \end{cases}$	Средний Average 3
$R_4 \in [0.55; 0.85]$	$\mu_4(R) = \begin{cases} 1 - 10(0.65 - R), & \text{если } 0.55 \leq R \leq 0.6 \\ 1, & \text{если } 0.65 \leq R \leq 0.7 \\ 10(0.85 - R), & \text{если } 0.75 \leq R \leq 0.8 \end{cases}$	Высокий High 4
$R_5 \in [0.75; 1]$	$\mu_5(R) = \begin{cases} 1 - 10(0.85 - R), & \text{если } 0.75 \leq R \leq 0.85 \\ 1, & \text{если } 0.85 \leq R \leq 1 \end{cases}$	Очень высокий Very high 5

множеств с нечёткими «размытыми» (на $\pm 20\%$) границами для всех групп показателей, за исключением запаха, привкуса, мутности, цветности и водородного показателя (для них границы нечётких множеств размывались на $\pm 0,2 \cdot \Delta$, где Δ — длина промежутка, численно равная BOR_1). В результате значения соседних диапазонов шкалы могут пересекаться. Далее формировался список показателей, относящихся к рангу риска для здоровья выше 2. Данные показатели рассматривали как приоритетные в дальнейших расчётах эффективности.

Установление веса каждого показателя G_i в группах органолептических, обобщённых, санитарно-микробиологических и паразитологических показателей проводили по формуле (5):

$$G_i = \frac{1}{m}, \quad (5)$$

где m — количество всех рассматриваемых показателей в группе.

Определение доли показателей, относящихся к определённой категории риска, от общего количества показателей группы осуществляли по формуле (6):

$$w_k = \sum_i G_i \cdot \mu_{ki}, \quad k = 1, 2, 3, 4, 5, \quad (6)$$

где w_k — доля показателей, относящихся к определённой категории риска (или к k -му шкалированному диапазону риска и его рангу), от общего количества показателей группы; G_i — вес каждого показателя, участвующего в формировании совокупного негативного ответа (заболевания); μ_{ki} — значение функции принадлежности каждого показателя качества питьевой воды к k -му шкалированному диапазону риска и его рангу.

Расчёт величины риска по группе для всех групп показателей R_g с учётом их долевого вклада в формирование всех видов негативного ответа осуществляли по формуле (7) с дальнейшим определением значения функции принадлежности величины риска $\mu(R_g)$ к диапазонам значений шкалы в соответствии с табл. 2:

$$R_g = \sum_{k=1}^5 \bar{R}_k \cdot w_k, \quad (7)$$

где R_g — значение величины риска для групп показателей с учётом их долевого вклада в формирование всех видов негативного ответа; $\bar{R}_k$ — середина каждого диапазона шкалы значений риска для здоровья, обусловленного воздействием каждой группы показателей; w_k — доля показателей, относящихся к определённой категории риска (или к k -му шкалированному диапазону риска и его рангу), от общего количества показателей группы.

Совокупный риск (R), учитывающий влияние всех групп показателей качества питьевой воды, рассчитывали по формуле (8) и определяли значения функции принадлежности величины совокупного риска $\mu(R)$ к диапазонам значений шкалы в соответствии с табл. 2:

$$R = \frac{1}{V_g} \sum_{p=1}^5 R_g \cdot V_g, \quad (8)$$

где R_g — значение величины риска для каждой группы показателей с учётом их долевого вклада в формирование всех видов негативного ответа; V_g — весовой вклад группы в совокупный риск; $\bar{V}_g$ — средний весовой вклад групп в совокупный риск.

Таблица 3 / Table 3

Показатели качества и безопасности и воды до и после мероприятий по реконструкции системы водоподготовки

Indicators describing water quality and safety prior to and after reconstruction of water treatment facilities

Группа Group	Показатель Indicator	Среднее значение показателя Mean value of an indicator	
		до проведения мероприятий, $P_i^{ср.до}$ prior to reconstruction	после проведения мероприятий, $P_i^{ср.после}$ after reconstruction
Органолептические показатели Organoleptic indicators	Запах, баллы (Odour, scores)	2.972	1.306
	Привкус, баллы (Taste, scores)	1.52	0.2
	Цветность, градусы (Color, degrees)	33.6	15.2
	Мутность, мг/л (Turbidity, mg/L)	2.61	1.25
Обобщённые показатели Total indicators	Общая минерализация (сухой остаток), мг/дм ³ Total mineralization (dry residue), mg/dm ³	468.2	439.9
	Жёсткость общая, мг-экв/дм ³ (Total hardness, mg-eq/dm ³)	6.263	6.017
	Нефтепродукты, мг/дм ³ (Oil products, mg/dm ³)	0.017	0.011
Санитарно-микробиологические и паразитологические показатели Sanitary-microbiological and parasitological indicators	ОМЧ, КОЕ/см ³ (ТМС, CFU/cm ³)	29.0	0
	ОКБ, КОЕ/100 см ³ (ОСВ, CFU/100 cm ³)	28.7	0
	Колифаги, БОЕ/100 см ³ (Coliphages, PFU/100 cm ³)	0.083	0
	Возбудители кишечных инфекций бактериальной природы, определение в 1 дм ³ Bacterial agents of enteric infections, detection in 1 cm ³	0	0
Показатели радиационной безопасности Radiation safety	Общая альфа-радиоактивность, Бк/кг Total alpha-radioactivity, Bq/kg	0.021	0
	Общая бета-радиоактивность, Бк/кг Total beta-radioactivity, Bq/kg	0.082	0
Санитарно-химические показатели Sanitary-chemical indicators	Алюминий, мг/л (Aluminum, mg/L)	0.171	0.108
	Марганец, мг/л (Manganese, mg/L)	0.032	0.025
	Хлороформ, мг/л (Chloroform, mg/L)	0	0.099
	Четырёххлористый углерод, мг/л (Carbon tetrachloride, mg/L)	0	0.001
	Хлор остаточный свободный, мг/л (Free residual chlorine, mg/L)	0	0.402

Таблица 4 / Table 4

Пример результатов расчёта величины риска для каждой группы показателей с учётом их долевого вклада в формирование всех видов негативного ответа и совокупного риска**Example for calculation of risk values for each indicator group considering their share contribution to all the types of negative responses and the total risk: an example**

Группа Group	Риск (категория риска) по группе показателей Risk (risk category) as per an indicator group	
	до проведения мероприятий prior to reconstruction	после проведения мероприятий after reconstruction
Органолептические показатели Organoleptic indicators	0.338 (низкий / low)	0 (пренебрежимо малый / negligible)
Обобщённые показатели Total indicators	0.058 (пренебрежимо малый / negligible)	0.055 (пренебрежимо малый / negligible)
Показатели радиационной безопасности Radiation safety	0 (пренебрежимо малый / negligible)	0 (пренебрежимо малый / negligible)
Санитарно-микробиологические и паразитологические показатели Sanitary-microbiological and parasitological indicators	0.219 (низкий / low)	0 (пренебрежимо малый / negligible)
Санитарно-химические показатели Sanitary-chemical indicators	0.034 (пренебрежимо малый / negligible)	0.026 (пренебрежимо малый / negligible)
Значение совокупного риска Total risk value	0.496 (средний / average)	0.052 (пренебрежимо малый / negligible)

Весовые коэффициенты (V_i) для групп показателей распределены следующим образом:

- органолептические показатели — 0,03;
- обобщённые показатели — 0,07;
- санитарно-микробиологические и паразитологические показатели — 0,35;
- показатели радиационной безопасности — 0,30;
- санитарно-химические показатели — 0,25.

При реализации алгоритма для двух сценариев (до и после проведения мероприятий) получали соответственно два значения совокупного риска: $R_{до}$ и $R_{после}$. Эффективность снижения риска для здоровья вследствие изменения качества питьевой воды в результате проведённых мероприятий оценивали по формуле (9):

$$\Xi = \left(\frac{R_{до} - R_{после}}{R_{до}} \right) \cdot 100\%, \quad (9)$$

где Ξ — эффективность снижения совокупного риска в результате проведённых мероприятий по повышению качества питьевой воды централизованных систем водоснабжения, %; $R_{до}$, $R_{после}$ — средние значения совокупного риска возникновения негативного эффекта (по совокупности всех выявленных классов болезней), формируемого качеством питьевой воды, до и после проведённых мероприятий соответственно.

Эффективность мероприятий по повышению качества питьевой воды (эффективность снижения риска) в диапазоне 0–20% характеризуется как низкая, в диапазоне 20–40% — как умеренная, 40–60% — как средняя, 60–80% — как высокая, более 80% — как очень высокая.

Разработанный алгоритм реализовали при оценке эффективности мероприятий по реконструкции объекта водоподготовки на типичной для Российской Федерации системе централизованного питьевого водоснабжения. Пример данных об уровнях показателей качества и безопасности воды на входе в распределительную сеть до и после мероприятий приведён в табл. 3, обобщённые результаты оценки риска представлены в табл. 4.

Эффективность реализованных мероприятий по повышению качества питьевой воды на пилотном объекте составила 89,6%, что квалифицировали как очень высокую степень эффективности.

Описанные выше научно обоснованные методические подходы отражены в методических рекомендациях МР 2.1.4.0289–22⁹. Для оптимизации практического использования предлагаемого методического алгоритма оценки эффективности мероприятий по повышению качества питьевой воды централизованных систем водоснабжения разработан программный продукт, обеспечивающий автоматизированный расчёт как всех промежуточных показателей, так и совокупного риска для здоровья и показателя эффективности мероприятий.

Обсуждение

Оценка эффективности мероприятий по модернизации водохозяйственного комплекса Российской Федерации, разработанных и реализуемых в рамках федерального проекта «Чистая вода», направленных на повышение качества питьевой воды централизованных систем водоснабжения и снижение риска для здоровья населения, имеет большое значение для водохозяйственного комплекса страны и сохранения здоровья граждан [1–5, 13, 14].

В результате исследования, основанного на применении элементов теории нечётких множеств, были разработаны методические подходы, позволяющие учесть комплекс разнородных (качественных и количественных) показателей качества питьевой воды, рассчитать величины риска для каждой группы показателей и учесть их долевого вклад в формирование всех видов негативного ответа и совокупного риска.

Метод нечётких множеств успешно используется в различных областях науки и техники, решении задач формализации и моделирования в условиях различного рода неопределённости. Например, при оценке уровня экологического благополучия городской среды на основе комплекса разнородных показателей [20], в комплексной оценке эффективности планируемых воздухоохраных мероприятий по критериям предотвращённого вреда здоровью [21].

Ограничением метода является разработка интервалов значений риска и весовых коэффициентов показателей с

⁹ МР 2.1.4.0289–22 «Комплексная оценка эффективности мероприятий по повышению качества питьевой воды централизованных систем водоснабжения». Утв. Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации А.Ю. Поповой 1 июня 2022 г. М., 2022.

ориентацией на существующую информационную базу, содержащую сведения о негативных эффектах при воздействии факторов питьевой воды.

Новые научные доказательства связи качества питьевой воды и нарушений здоровья, расширение знаний о поражаемых органах и системах, негативных эффектах, референтных уровнях показателей могут привести к необходимости уточнения шкал риска и весов отдельных факторов.

Заключение

1. Для многих регионов Российской Федерации неудовлетворительное качество питьевой воды систем централизованного водоснабжения продолжает оставаться актуальной проблемой. В 2021 г. лишь 87% населения страны было обеспечено качественной питьевой водой, целевые значения показателей федерального проекта «Чистая вода» достигнуты только в 75% субъектов Российской Федерации, в остальных же регионах страны целевые значения не достигнуты на 0,01–10,2%.

2. Разработанные методические подходы к комплексной оценке эффективности реализуемых и планируемых мероприятий по повышению качества питьевой воды централизованных систем водоснабжения, основанные на теории нечётких множеств, позволили учесть разнородный комплекс как качественных, так и количественных показателей качества питьевой воды.

3. Апробация методических подходов на примере типичной для Российской Федерации централизованной системы питьевого водоснабжения до и после проведения мероприятий по реконструкции объекта водоподготовки, входящего в данную систему, показала, что предлагаемый метод позволяет адекватно с учётом критериев риска оценить эффективность разработанных мероприятий по повышению качества питьевой воды.

4. Разработка и реализация комплекса эффективных мероприятий, направленных на повышение качества питьевой воды, позволит минимизировать потери здоровья населения, ассоциированные с качеством питьевой воды централизованных систем водоснабжения.

Литература

1. Степанова А.А. Проблема воды как важнейшая составляющая улучшения жизни граждан и модернизации российской экономики. *Чистая вода: проблемы и решения*. 2012; (1–2): 66–9.
2. Новикова Ю.А., Фридман К.Б., Федоров В.Н., Ковшов А.А., Тихонова Н.А., Мясников И.О. К вопросу оценки качества питьевой воды систем централизованного водоснабжения в современных условиях. *Гигиена и санитария*. 2020; 99(6): 563–8. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-6-563-568>
3. Клейн С.В., Вековшинина С.А. Приоритетные факторы риска питьевой воды систем централизованного водоснабжения, формирующие негативные тенденции в состоянии здоровья населения. *Анализ риска здоровью*. 2020; (3): 49–60. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2020.3.06>
4. Рахматуллина Л.Р., Сулейманов Р.А., Валеев Т.К., Бактыбаева З.Б., Рахматуллин Н.Р. Оценка риска здоровью населения, связанного с качеством питьевой воды (на примере нефтяных районов Республики Башкортостан). *Анализ риска здоровью*. 2021; (2): 33–40. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2021.2.03>
5. Галимина И.Г., Алмаев Р.А. Федеральный проект «Чистая вода»: приоритеты, условия реализации. *Вестник Научно-методического совета по природообустройству и водопользованию*. 2021; (21): 22–6. <https://doi.org/10.26897/2618-8732-2021-21-22-26>
6. Лопатин С.А., Кириленко В.И., Муртузалиев М.А. Некоторые проблемы централизованного водоснабжения Ленинградской области. *Актуальные проблемы военно-научных исследований*. 2021; (6): 196–207. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2016-4-3-8>
7. Онищенко Г.Г. О состоянии и мерах по обеспечению безопасности хозяйственно-питьевого водоснабжения населения Российской Федерации. *Гигиена и санитария*. 2010; 89(3): 4–5.
8. Онищенко Г.Г., Рахманин Ю.А., Кармазинов Ф.В., Грачев В.А., Нефедова Е.Д. *Бенчмаркинг качества питьевой воды*. СПб.: Новый журнал; 2010.
9. Алферов И.Н., Яковенко Н.В. Проблема обеспечения качественной питьевой водой населения вододефицитного региона Оренбургской области. *Экология человека*. 2016; (4): 3–8. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2016-4-3-8>
10. Яковенко Н.В., Туркина Е.П. Качество питьевой воды в Ивановской области: проблемы и оптимизация системы водообеспечения. *Современные исследования социальных проблем*. 2012; (1): 1191–200.
11. Игнаткова А.С., Кабанова Е.С., Новикова М.В. Влияние изменения качественного состава воды на здоровье населения территории Тульской области. В кн.: *Инновационные процессы в науке и образовании. Материалы Международной научно-практической конференции. Часть I*. Пенза; 2019: 186–90.
12. Чукина Г.В. Обеспечение населения города Рязани качественной питьевой водой. В кн.: *Татищевские чтения: актуальные проблемы науки и практики. Материалы XVI Международной научно-практической конференции. Том I*. Тольятти; 2019: 258–60.
13. Голицына Л.А., Голицын С.А. Особенности реализации регионального проекта «Чистая вода» в Республике Татарстан. *Вестник Казанского государственного энергетического университета*. 2020; 12(2): 86–90.
14. Горбанев С.А., Еремин Г.Б., Новикова Ю.А., Выучейская Д.С. Федеральный проект «Чистая вода». Первые итоги. *Здоровье — основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения*. 2019; 14(1): 252–9.
15. Попова А.Ю., Зайцева Н.В., Онищенко Г.Г., Клейн С.В., Глухих М.В., Камалтдинов М.Р. Санитарно-эпидемиологические детерминанты и ассоциированный с ними потенциал роста ожидаемой продолжительности жизни населения Российской Федерации. *Анализ риска здоровью*. 2020; (1): 1–17. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2020.1.01>
16. Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2021 году». М.; 2022.
17. Зайцева Н.В., Клейн С.В., Вековшинина С.А., Никифорова Н.В. Приоритетные факторы риска питьевой воды систем централизованного водоснабжения, формирующие негативные тенденции в состоянии здоровья населения. В кн.: Попова А.Ю., Зайцева Н.В., ред. «Анализ риска здоровью — 2020» совместно с международной встречей по окружающей среде и здоровью Rise-2020 и круглым столом по безопасности питания. Материалы X Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Пермь; 2020: 491–8.
18. Каменецкая Д.М., Попова А.А. Влияние состава воды на здоровье населения различных субъектов Российской Федерации. *Бюллетень медицинских интернет-конференций*. 2017; 7(6): 1135.
19. Зайцева Н.В., Май И.В., Клейн С.В., Кирьянов Д.А. Методические аспекты и результаты оценки демографических потерь, ассоциированных с вредным воздействием факторов среды обитания и прототипических действиями Роспотребнадзора, в регионах Российской Федерации. *Здоровье населения и среда обитания — ЗНСО*. 2018; (4): 15–20. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2018-301-4-15-20>
20. Сальников И.А. Нечетко-логический анализ уровня экологического благополучия городской среды на примере крупных городов Ростовской области. *Научные записки молодых исследователей*. 2018; (6): 53–67.
21. Зайцева Н.В., Землянова М.А., Май И.В., Алексеев В.Б., Трусов П.В., Хрущева Е.В. и др. Комплексная оценка эффективности митигации вреда здоровью на основе теории нечетких множеств при планировании воздухоохраных мероприятий. *Анализ риска здоровью*. 2020; (1): 25–37. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2020.1.03>
22. Salomon J.A., Haagsma J.A., Davis A., de Noordhout C.M., Polinder S., Havelaar A.H., et al. Disability weights for the Global Burden of Disease 2013 study. *Lancet Glob. Health*. 2015; 3(11): e712–23. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(15\)00069-8](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(15)00069-8)
23. Онищенко Г.Г., Зайцева Н.В., ред. *Анализ риска здоровью в стратегии государственного социально-экономического развития*. Пермь; 2014.

References

1. Stepanova A.A. The problem of water as an essential part of improving the lives of citizens and the modernization of the Russian economy. *Chistaya voda: problem i resheniya*. 2012; (1–2): 66–9. (in Russian)
2. Novikova Yu.A., Fridman K.B., Fedorov V.N., Kovshov A.A., Tikhonova N.A., Myasnikov I.O.. About the question of the assessment of the drinking water quality in centralized water systems in the current conditions. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2020; 99(6): 563–8. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-6-563-568> (in Russian)
3. Kleyn S.V., Vekovshinina S.A. Priority risk factors related to drinking water from centralized water supply system that create negative trends in population health. *Analiz riska zdorov'yu*. 2020; (3): 49–60. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2020.3.06>
4. Rakhmatullina L.R., Suleymanov R.A., Valeev T.K., Baktybaeva Z.B., Rakhmatullin N.R. Assessing health risks associated with drinking water quality (on the example of regions in Bashkortostan where oil fields are located). *Analiz riska zdorov'yu*. 2021; (2): 33–40. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2021.2.03>

Original article

5. Galyamina I.G., Almaev R.A. Federal project "Pure water": priorities, implementation conditions. *Vestnik Nauchno-metodicheskogo soveta po prirodoobustroystvu i vodopol'zovaniyu*. 2021; (21): 22–6. <https://doi.org/10.26897/2618-8732-2021-21-22-26> (in Russian)
6. Lopatin S.A., Kirilenko V.I., Murtuzaliev M.A. Some problems of centralized water supply in the Leningrad region. *Aktual'nye problemy voenno-nauchnykh issledovaniy*. 2021; (6): 196–207. (in Russian)
7. Onishchenko G.G. The status and measures to secure safe household water supply in the Russian Federation. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian Journal)*. 2010; 89(3): 4–5. (in Russian)
8. Onishchenko G.G., Rakhmanin Yu.A., Karmazinov F.V., Grachev V.A., Nefedova E.D. *Benchmarking the Quality of Drinking Water [Benchmarking kachestva pit'evoy vody]*. St. Petersburg: Novyy zhurnal; 2010. (in Russian)
9. Alferov I.N., Yakovenko N.V. Drinking water supply to the population of the water scarce region the Orenburg region. *Ekologiya cheloveka*. 2016; (4): 3–8. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2016-4-3-8> (in Russian)
10. Yakovenko N.V., Turkina E.P. Water quality in the Ivanovo region: problems and optimization of the of water supply. *Sovremennye issledovaniya sotsial'nykh problem*. 2012; (1): 1191–200. (in Russian)
11. Ignat'kova A.S., Kabanova E.S., Novikova M.V. Impact of change of qualitative composition of water on health of the population of the territory of Tula region. In: *Innovative processes in Science and Education. Materials of the International Scientific and Practical Conference. Part I [Innovatsionnye protsessy v nauke i obrazovanii. Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Chast' I]*. Penza; 2019: 186–90. (in Russian)
12. Chukina G.V. Providing the population of the city of Ryazan with high-quality drinking water. In: *Tatishchev Readings: Actual Problems of Science and Practice. Materials of the XVI International Scientific and Practical Conference. Volume 1 [Tatishchevskie chteniya: aktual'nye problemy nauki i praktiki. Materialy XVI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Tom I]*. Tol'yatti; 2019: 258–60. (in Russian)
13. Golitsyna L.A., Golitsyn S.A. Features of the implementation of the regional project "Clean Water" in the Republic of Tatarstan. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo energeticheskogo universiteta*. 2020; 12(2): 86–90. (in Russian)
14. Gorbanev S.A., Eremin G.B., Novikova Yu.A., Vyucheskaya D.S. Federal project "Clean Water". First results. *Zdorov'e – osnova chelovecheskogo potentsiala: problemy i puti ikh resheniya*. 2019; 14(1): 252–9. (in Russian)
15. Popova A.Yu., Zaytseva N.V., Onishchenko G.G., Kleyn S.V., Glukhikh M.V., Kamaltdinov M.R. Sanitary-epidemiologic determinants and potential for growth in life expectancy of the population in the Russian Federation taking into account regional differentiation. *Analiz riska zdorov'yu*. 2020; (1): 1–17. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2020.1.01.eng>
16. State report «On the state of sanitary and epidemiological well-being of the population in the Russian Federation in 2021». Moscow; 2022. (in Russian)
17. Zaytseva N.V., Kleyn S.V., Vekovshina S.A., Nikiforova N.V. Priority drinking water risk factors of centralized drinking water supply systems that form negative impacts on the health status of the population. In: Popova A.Yu., Zaytseva N.V., eds. *«Health Risk Analysis 2020» in Conjunction with the International Meeting on Environment and Health Rise 2020 and the Round Table on Food Safety. Materials of the X All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation [«Analiz riska zdorov'yu – 2020» sovmestno s mezhdunarodnoy vstrechey po okruzhayushchey srede i zdorov'yu Rise-2020 i kruglym stolom po bezopasnosti pitaniya. Materialy X Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem]*. Perm'; 2020: 491–8. (in Russian)
18. Kamenetskaya D.M., Popova A.A. The influence of water composition on the health of the population of various subjects of the Russian Federation. *Byulleten' meditsinskikh internet-konferentsiy*. 2017; 7(6): 1135. (in Russian)
19. Zaytseva N.V., May I.V., Kleyn S.V., Kir'yanov D.A. Methodological aspects and results of estimation of demographic loss associated with harmful influence of environment factors and preventive activities of Rospotrebnadzor in regions of the Russian Federation. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya – ZNiSO*. 2018; (4): 15–20. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2018-301-4-15-20> (in Russian)
20. Sal'nikov I.A. Fuzzy-logic analysis of the level of ecological well-being of the urban environment on the example of large cities of Rostov region. *Nauchnye zapiski molodykh issledovateley*. 2018; (6): 53–67. (in Russian)
21. Zaytseva N.V., Zemlyanova M.A., May I.V., Alekseev V.B., Trusov P.V., Khrushcheva E.V., et al. Efficiency of health risk mitigation: complex assessment based on fuzzy sets theory and applied in planning activities aimed at ambient air protection. *Analiz riska zdorov'yu*. 2020; (1): 25–37. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2020.1.03.eng>
22. Salomon J.A., Haagsma J.A., Davis A., de Noordhout C.M., Polinder S., Havelaar A.H., et al. Disability weights for the Global Burden of Disease 2013 study. *Lancet Glob. Health*. 2015; 3(11): e712–23. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(15\)00069-8](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(15)00069-8)
23. Onishchenko G.G., Zaytseva N.V., eds. *Analysis of Health Risk in the Strategy of State Socio-Economic Development [Analiz riska zdorov'yu v strategii gosudarstvennogo sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya]*. Perm'; 2014. (in Russian)