

Оценка эффективности реализации системного подхода к обеспечению гигиенической безопасности питьевого и рекреационного водопользования населения на примере Воронежской области

А.Ю. Попова¹, С.В. Кузьмин², И.И. Механтьев^{3,4}

¹Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Вадковский пер., д. 18, стр. 5 и 7, г. Москва, 127994, Российская Федерация

²ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, ул. Семашко, д. 2, Московская обл., г.п. Мытищи, 141014, Российская Федерация

³ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», Университетская пл., д. 1, г. Воронеж, 394018, Российская Федерация

⁴Управление Роспотребнадзора по Воронежской области, ул. Космонавтов, д. 21а, г. Воронеж, 394038, Российская Федерация

Резюме

Введение. Реализация мероприятий федерального проекта «Чистая вода» национального проекта «Жилье и городская среда» основывалась на результатах многих гигиенических исследований, проведенных в рамках функционирования межведомственной системы социально-гигиенического мониторинга, внедрении в практику риск-ориентированного санитарно-эпидемиологического надзора. В этой связи возникла необходимость формирования системного подхода к обеспечению гигиенической безопасности питьевого и рекреационного водопользования населения и оценке эффективности реализованных решений.

Цель исследования: оценка эффективности реализации системного подхода к обеспечению гигиенической безопасности питьевого и рекреационного водопользования населения на примере Воронежской области.

Материал и методы: проведены лабораторные исследования качества воды в местах рекреационного водопользования населения; оценено качество питьевой воды; применена методология оценки риска для здоровья населения; выполнена комплексная оценка степени санитарно-эпидемиологического неблагополучия систем хозяйственно-питьевого водоснабжения; проведен анкетный интернет-опрос жителей региона по вопросам качества питьевой воды; использован алгоритм корреляционного анализа для выявления связи показателей заболеваемости населения и качества воды; выполнены экспериментальные исследования по оценке миграции органических соединений из полимерной тары в расфасованную питьевую воду.

Результаты. Проблемы рекреационного водопользования связаны с неудовлетворительным качеством воды водоемов по санитарно-химическим (аммоний-ион, нитраты, фосфаты, ХПК, БПК) и микробиологическим показателям.

Приоритетными показателями качества питьевой воды систем централизованного водоснабжения определены содержание нитратов, фтора, бора, железа, которое неприемлемо по величинам неканцерогенного риска ($HQ > 1$).

На проблемных территориях степень санитарно-эпидемиологического неблагополучия централизованных систем хозяйственно-питьевого водоснабжения характеризуется как «крайне высокая». Установлено, что большинство населения (30,7 %) предпочитает использовать для очистки питьевой воды кувшины-фильтры. Выявлены достоверные зависимости уровня заболеваемости населения с качеством питьевой воды и воды водоемов. Получены новые данные по миграции органических соединений из полимерной тары, предназначенной для хранения и реализации питьевой воды, при нарушении условий температурного режима хранения.

Заключение. По результатам выполненных исследований предложен алгоритм реализации системного подхода к обеспечению гигиенической безопасности рекреационного и питьевого водопользования населения, оценена эффективность реализованных решений.

Ключевые слова: вода водоемов, питьевая вода, риск для здоровья, системный подход.

Для цитирования: Попова А.Ю., Кузьмин С.В., Механтьев И.И. Оценка эффективности реализации системного подхода к обеспечению гигиенической безопасности питьевого и рекреационного водопользования населения на примере Воронежской области // Здоровье населения и среда обитания. 2021. Т. 29. № 8. С. 7-14. doi: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2021-29-8-7-14>

Сведения об авторах:

Попова Анна Юрьевна – д-р мед. наук, проф., заслуженный врач РФ, руководитель Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; e-mail: depart@ggen.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2567-9032>.

Кузьмин Сергей Владимирович – д-р мед. наук, проф., директор ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора; e-mail: fnscg@fferisman.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9119-7974>.

✉ **Механтьев Игорь Иванович** – канд. мед. наук, доц., доцент кафедры медицинских дисциплин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», руководитель Управления Роспотребнадзора по Воронежской области; e-mail: kafgigienic@rambler.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7160-1749>.

Информация о вкладе авторов: Попова А.Ю. – концептуализация; методология; Кузьмин С.В. – валидация, редактирование материала, курирование данных; Механтьев И.И. – подготовка материала, анализ данных, проверка, визуализация материала, редактирование материала.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья получена: 09.08.21 / Принята к публикации: 19.08.21 / Опубликована: 31.08.21

Assessment of Implementation Efficiency of the System Approach to Ensuring Safety of Public Drinking and Recreational Water Use on the Example of the Voronezh Region

Anna Yu. Popova,¹ Sergey V. Kuzmin,² Igor I. Mehantyev^{3,4}

¹Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Bldgs 5 and 7, 18 Vadkovsky Lane, Moscow, 127994, Russian Federation

²F.F. Erisman Federal Scientific Center of Hygiene, 2 Semashko Street, Mytishchi, Moscow Region, 141014, Russian Federation

³Voronezh State University, 1 University Square, Voronezh, 394018, Russian Federation

⁴Office of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing in the Voronezh Region, 21a Kosmonavtov Street, Voronezh, 394038, Russian Federation

Summary

Background. Implementation of the Federal Clean Water Project within the National Housing and Urban Environment Project was based on the results of numerous health studies conducted within the framework of functioning of the interdepartmental system of public health monitoring and introduction of the risk-based approach into sanitary and epidemiological surveillance. In this regard, there was a need to develop a comprehensive approach to securing safety of drinking and recreational water use and assessing efficiency of implemented solutions.

Objective. To assess efficiency of implementation of a system approach to ensuring safety of public drinking and recreational water use on the example of the Voronezh Region.

Materials and methods. The study included laboratory testing of water quality in places of recreational water usage, drinking water quality assessment followed by a health risk assessment, a comprehensive evaluation of the extent of sanitary and epidemiological problems in drinking water supply systems, an online questionnaire-based survey of regional residents on tap water quality, a correlation analysis to establish the relationship between population health and water quality, and experimental studies to assess migration of organic compounds from polymer containers into bottled drinking water.

Results. Challenges of recreational water use are associated with poor quality of surface water in terms of chemical (ammonium ion, nitrates, phosphates, and biochemical oxygen demand) and microbiological water quality parameters.

Priority indices of drinking water quality in centralized water supply systems include the contents of nitrates, fluorine, boron, and iron, which are unacceptable in terms of non-carcinogenic risk ($HQ > 1$). In disadvantaged areas, water quality in centralized drinking water supply systems is considered "extremely poor". The online survey demonstrated that the majority of the population (30.7 %) prefers to use water filter jugs to treat tap water. We observed significant correlations between the quality of tap and surface waters and disease incidence rates in the population.

We also obtained new data on migration of organic compounds from polymer containers intended for drinking water storage and bottling in case of storage temperature excursions.

Conclusion. Our findings served as the basis for the proposed algorithm of implementing a system approach to securing safety of recreational and drinking water use and for evaluating the effectiveness of implemented solutions.

Keywords: surface water, tap water, health risk assessment, comprehensive approach.

For citation: Popova AYu, Kuzmin SV, Mehantsev I. Assessment of implementation efficiency of the system approach to ensuring safety of public drinking and recreational water use on the example of the Voronezh Region. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2021; 29(8):7–14. (In Russ.) doi: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2021-29-8-7-14>

Author information:

Anna Yu. **Popova**, Dr. Sci. (Med.), Prof., Honored Doctor of the Russian Federation, Head of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing; e-mail: depart@gsen.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2567-9032>.

Sergey V. **Kuzmin**, Dr. Sci. (Med.), Prof., Director of the F.F. Erisman Federal Scientific Center of Hygiene; e-mail: fncg@fferisman.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9119-7974>.

✉ Igor I. **Mehantsev**, Cand. Sci. (Med.), Associate Professor, Assoc. Prof. of Medical Disciplines, Voronezh State University; Head of the Office of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing; e-mail: kafgigienic@rambler.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7160-1749>.

Author contributions: Popova A.Yu. formulated the concept and study design; Kuzmin S.V. managed and validated data and edited the manuscript; Mehantsev I.I. collected, analyzed, verified, and visualized data and wrote the manuscript; all authors contributed to the discussion and gave final approval of the version to be published.

Funding: The authors received no financial support for the research, authorship, and/or publication of this article.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

Received: August 9, 2021 / Accepted: August 19, 2021 / Published: August 31, 2021

Введение. Интенсификация водопользования в конце прошлого и начале настоящего столетий привела к тому, что на планете обостряется проблема, связанная с доступностью к пресноводным ресурсам в достаточном объеме для обеспечения жизнедеятельности человека, технологического прогресса и экономического роста. Пресноводные ресурсы сегодня рассматриваются как стратегически важные для конкретного государства и населения планеты в целом. Несмотря на то что, по данным ЮНЕСКО, европейская и азиатская части России, наряду со странами Западной Европы, относятся к территориям с «незначительной нехваткой пресной воды», по прогнозным оценкам, представленным в Организацию Объединенных Наций в форме доклада «Управление водными ресурсами в условиях неопределенности и риска», к 2070 году дефицит водных ресурсов в Центральной и Южной Европе ощутят на себе более 44 млн человек [1]. Реализация мероприятий федерального проекта «Чистая вода», выполняемого в рамках национального проекта «Жилье и городская среда» в соответствии с Указом Президента Российской Федерации от 07.05.2018 № 204¹, позволила решить часть проблем в области обеспечения гигиенической безопасности хозяйственно-питьевого и рекреационного водопользования населения. Необходимо отметить, что при формировании данного проекта и его региональных компонент использованы результаты многих гигиенических

исследований, проведенных в рамках функционирования межведомственной системы социально-гигиенического мониторинга и внедрения в практику риск-ориентированного санитарно-эпидемиологического надзора, в том числе и в сфере обеспечения гигиенической безопасности питьевого и рекреационного водопользования, что повысило аргументированность управленческих решений, направленных на снижение риска и профилактику заболеваемости населения, обусловленной водным фактором.

В гигиенических исследованиях, проведенных ранее в регионе, выполнена гигиеническая, экологическая и эпидемиологическая оценка роли природных и техногенных факторов, формирующих качество водных ресурсов на территории аграрно развитой Воронежской области [2–6]; усовершенствована система мониторинга для получения объективной информации об уровне негативного влияния техногенных факторов на качество воды подземных водоносных горизонтов, используемых в системах централизованного питьевого водоснабжения населения [7]. Осуществлялась оценка качества воды в местах рекреационного водопользования населения [8–13].

Неоднократно в различные временные периоды проводилась количественная оценка риска для здоровья населения, связанного с воздействием природных и техногенных факторов, определяющих качество воды и санитарно-гигиенические

¹ Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2018 № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года».

условия водопользования, позволившая отнести к числу приоритетных региональных показателей качества питьевой воды нитраты, железо, фтор, бор, повышенную жесткость [14–18].

В ряде случаев, учитывая в целом удовлетворительную ситуацию на территории Воронежской области, акцентировалось внимание на существующих очагах микробиологического загрязнения питьевой воды централизованных систем водоснабжения [19]. Изучалось мнение населения региона о качестве водоснабжения [20].

Ряд исследований направлен на определение приоритетных звеньев в формировании санитарно-эпидемиологического неблагополучия централизованных систем хозяйственно-питьевого водоснабжения населения [21–23], выполнение сопряженного анализа уровня неинфекционной и инфекционной заболеваемости населения, ассоциированной с водным фактором, оценку вероятных связей заболеваемости населения с региональными показателями качества питьевой воды и воды водных объектов в местах рекреационного водопользования [24, 25].

Агрегирование результатов данных исследований позволяет обосновать реализацию системного подхода обеспечения гигиенической безопасности питьевого и рекреационного водопользования населения Воронежской области и оценить эффективность реализованных решений.

Цель исследования: оценка эффективности реализации системного подхода к обеспечению гигиенической безопасности питьевого и рекреационного водопользования населения на примере Воронежской области.

Объекты исследования: реки и водные объекты бассейна Верхнего Дона, подземные источники хозяйственно-питьевого водоснабжения Воронежской области, процессы водоподготовки, распределительная водопроводная сеть, бутилированная питьевая вода, полимерная тара (ПЭТ-бутылки емкостью 1,5 л) для ее хранения.

Предмет исследования: качество воды в поверхностных водных объектах, водоисточниках и централизованной водопроводной сети; заболеваемость населения, связанная с водным фактором.

Материалы и методы. Основным объемом исследований выполнен на территории индустриально-аграрной Воронежской области с населением 2,324 млн человек (2020 г.). Доля городского населения – 68 %, сельского – 32 %. В состав региона входят городской округ города Воронеж, Борисоглебский городской округ и 31 муниципальный район (всего 33 административные территории).

Воронежская область, площадь которой составляет 52,2 тыс. км², полностью относится к бассейну реки Дон. В системе хозяйственно-питьевого водоснабжения используются только подземные воды.

Качество воды в местах рекреационного водопользования населения оценивалось на 26 водных

объектах в 73 контрольных точках по данным за 2015–2019 гг. Отбор проб воды осуществлялся в купальный сезон (июнь–август) по санитарно-химическим и микробиологическим показателям. Степень эпидемиологической опасности определена согласно МР 2.1.10.0031–11².

Оценка риска для здоровья населения осуществлялась по результатам лабораторных испытаний питьевой воды в 553 рецепторных точках на 33 административных территориях региона за 2010–2019 гг. в соответствии с Р 2.1.10.1920–04³.

Санитарно-эпидемиологическая надежность систем централизованного водоснабжения установлена по результатам контрольно-надзорных мероприятий и с использованием показателей региональной системы социально-гигиенического мониторинга (2019 г.) на двух проблемных административных территориях (Рамонский и Эртильский муниципальные районы) согласно МР 2.1.4.2370–08⁴.

В целях оценки качества рекреационного водопользования и питьевой воды в период с 02.12.2019 по 29.02.2020 проведен интернет-опрос 1158 жителей Воронежской области при общей численности населения на 01.01.2020 – 2 324 205 человек, что обеспечило репрезентативность полученных результатов.

Для определения роли водного фактора в формировании неинфекционной (мочеклеточная болезнь, болезни кожи и подкожной клетчатки, метгемоглобинемия) и инфекционной (дизентерия Флекснера, острые кишечные инфекции (ОКИ) установленной этиологии, ОКИ неустановленной этиологии, сумма ОКИ, вирусные гепатиты А и Е) заболеваемости применены статистические методы: оценка достоверности различий средних величин (по *t*-критерию Стьюдента); корреляционный анализ уровней заболеваемости в разрезе 33 административных территорий с показателями качества воды (коэффициент парной корреляции и оценка его статистической значимости при вероятности статистической ошибки вывода о взаимосвязи менее 5 %). Использованы данные о заболеваемости регионального информационного фонда социально-гигиенического мониторинга (2015–2019 гг.).

Проведены экспериментальные исследования по оценке миграции органических соединений из полимерной тары (ПЭТ-бутылок) при моделируемых температурных условиях, характеризующих наихудшие условия хранения бутилированной питьевой воды трех наиболее популярных, по данным анкетного опроса, торговых марок (в ответе представлялась возможность выбирать несколько торговых марок (из 15) и указывать дополнительные), которыми являлись «Святой источник» – выбран в 61,8 % ответов, «Липецкая» – в 57,3 %, «VonAqua» – в 25,4 %⁵.

Результаты исследования. Сущность системного подхода в обеспечении гигиенической безопасности

² МР 2.1.10.0031–11 «Комплексная оценка риска возникновения бактериальных кишечных инфекций, передаваемых водным путем». М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2012. 47 с.

³ Р 2.1.10.1920–04 «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду» (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 05.03.2004). [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/law/hotdocs/?utm_source=sps (дата обращения: 19.12.2019).

⁴ МР 2.1.4.2370–08 «Оценка санитарно-эпидемиологической надежности систем централизованного питьевого водоснабжения». М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 21 с.

⁵ Опрос жителей Воронежской области по вопросам качества питьевой воды централизованной системы водоснабжения и качества расфасованной воды проводился через официальный сайт ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области» [<http://www.36rosptrebnadzorfuz.ru/>] с использованием бесплатного интернет сервиса Google-form Компании Google по интернет-ссылке [https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSdSd05Qhr3dSbZp-9k5HjVVi8fxI0RtG_ZOhprB1qIUfV0w/viewform] (дата обращения: 29.02.2020).

водопользования населения заключается в отражении взаимосвязи и взаимообусловленности всех звеньев и процессов, связанных с потреблением и качеством пресноводных ресурсов.

Результаты многолетних исследований, выполненные при реализации предлагаемого системного подхода на примере Воронежской области, позволили повысить эффективность использования риск-ориентированного подхода в проведении регионального мониторинга качества воды и планировании контрольно-надзорных мероприятий по обеспечению санитарно-эпидемиологической безопасности населения, проживающего на территории Воронежской области. Полученная эффективность реализованного системного подхода предполагает его дальнейшее внедрение в практическую деятельность на территории субъектов Российской Федерации.

Установлено, что региональные проблемы рекреационного водопользования населения связаны с неудовлетворительным качеством воды водных объектов по санитарно-химическим и микробиологическим показателям. К числу приоритетных показателей для бассейна Верхнего Дона отнесены: содержание в воде водных объектов аммоний-иона, нитратов, фосфатов (от 1,1 до 2,5 ПДК), ХПК (до 2,3 раза), БПК (до 1,5 раза). В 28,8 % рекреационных мест имело место несоответствие результатов анализов качества воды водных объектов действующим нормативам по микробиологическим показателям — от 1,5 до 75,0 % проб (по показателям термотолерантных и общих колиформных бактерий). По результатам интегральной оценки высокую степень эпидемиологической опасности характеризовались 4,1 % мест рекреационного водопользования населения (22 балла), средней степенью — 24,7 % (11–20 баллов) [13].

Приоритетными показателями качества питьевой воды систем централизованного водоснабжения определены: содержание нитратов, фтора, бора, железа, которое неприемлемо по величинам неканцерогенного риска ($HQ > 1$), при ориентировочной численности населения, потребляющего воду неудовлетворительного качества, обусловленного присутствием нитратов, — 353 тыс. человек (риск для детей шести лет $HQ = 3,12 \div 9,51$, для взрослых $HQ = 1,34 \div 4,08$); фтора — 67,8 тыс. человек (риск для детей шести лет $HQ = 1,03 \div 2,26$, для взрослых $HQ = 1,10 \div 1,7$); бора — 4,3 тыс. человек (риск для детей шести лет $HQ = 1,02 \div 1,17$); железа — 2,1 тыс. человек (риск для детей шести лет $HQ = 1,02 \div 1,09$). На 16 из 33 территорий (48,5 %) среднее значение показателя общей жесткости превышает норматив в 1,01–1,64 раза. Снижение неопределенностей, имеющих место при оценке риска, достигнуто детальным анализом информации по каждой мониторинговой точке, использованием кроме средней концентрации показателя верхней 95%-й доверительной границы среднемноголетних концентраций химических веществ в питьевой воде при расчете доз для различных возрастных групп населения (дети, взрослые) [15].

Комплексная оценка степени санитарно-эпидемиологического неблагополучия централизованных систем хозяйственно-питьевого водоснабжения административных образований региона позволяет утверждать о различиях территориальных проблем. Так, на примере 2 проблемных территорий отмечено, что в Рамонском

муниципальном районе ($W_{\text{общ.}} = 1,10$) «высокая» степень санитарно-эпидемиологического неблагополучия выявлена по оценочному блоку «Транспортирование» ($W_6 = 0,2$), а «крайне высокая» — по блокам «Качество воды водоисточника» ($W_3 = 0,3$) и «Питьевая вода» ($W_8 = 0,6$). В Эргильском муниципальном районе ($W_{\text{общ.}} = 1,5$) «высокая» степень санитарно-эпидемиологического неблагополучия выявлена по оценочным блокам «Водообеспечение» ($W_1 = 0,05$), «Качество воды источников» ($W_3 = 0,2$), «Транспортирование» ($W_6 = 0,6$), «Питьевая вода» ($W_8 = 0,4$) и «крайне высокая» — по блоку «Лабораторный контроль» ($W_7 = 0,6$). С учетом отсутствия в населенных пунктах сельского типа водоподготовки степень неблагополучия характеризуется как «крайне высокая» [23].

Одновременно установлено, что большинство жителей региона (ежесуточный объем употребления воды для питьевых целей у респондентов составлял от 1,2 до 2,5 л) предпочитают пользоваться водой из системы централизованного водоснабжения, очищая ее в кувшинах-фильтрах (30,7 %). Бутилированную (расфасованную) питьевую воду употребляли 17,1 % анкетированных. При этом население старшей возрастной группы использует ее крайне редко (5,9 % от количества респондентов в данной возрастной группе), отдавая предпочтение употреблению воды из систем централизованного питьевого водоснабжения без очистки с кипячением (40,9 %). Удельный вес молодого населения (возрастные группы «до 18 лет» и «18–20 лет»), употребляющего бутилированную питьевую воду, составляет 71,4 и 26,5 % соответственно. Качеством употребляемой питьевой воды «удовлетворены в полной мере» 33,7 % опрошенных, «в целом удовлетворены» — 0,3 %, «частично удовлетворены» — 49,2 %, «не удовлетворены» — 16,8 %. Респондентами наиболее часто указывалось на наличие накипи, изменение цвета, что в целом согласуется с данными объективного лабораторного контроля (повышенная общая жесткость, высокая концентрация железа). Большинство анкетированных (74,3 %) не отметили влияния на здоровье употребляемой питьевой воды. Вместе с тем 25,4 % опрошенных указали на «сухость и шелушение кожных покровов» при приеме водных процедур (после душа или ванны). Сочетание негативных эффектов «сухость и шелушение кожных покровов» + «жесткость волос после мытья» имело место в ответах 17,8 % респондентов.

По результатам корреляционного анализа выявлены статистически значимые связи среднего многолетнего уровня (СМУ) заболеваемости взрослого населения мочекаменной болезнью и общей жесткостью питьевой воды (коэффициент парной корреляции $r = 0,42$, связь средней силы, статистически значимая, $T_{\text{расч.}} = 2,60 > T_{\text{крит.}} = 2,04$ при $p < 0,05$); СМУ заболеваемости взрослого населения болезнями кожи и подкожной клетчатки и концентрацией железа в питьевой воде (коэффициент корреляции $r = 0,35$, $T_{\text{расч.}} = 2,08 > T_{\text{крит.}} = 2,04$ при $p < 0,05$). На территории сельских поселений имеет место проблема нитратного загрязнения водоисточников (как централизованных, так и децентрализованных), что подтверждено регистрацией 9 случаев заболеваний метгемоглобинемией детей в возрасте до 1 года, находящихся на искусственном вскармливании (2015–2018 гг.). Все случаи были связаны с использованием

питьевой воды из децентрализованных источников (колодцев, индивидуальных скважин) с высоким содержанием нитратов (от 1,7 до 6,7 ПДК) для приготовления молочных смесей, что не исключало данную причину и для систем централизованного водоснабжения отдельных поселений в связи с соизмеримыми концентрациями нитратов в общем водоносном горизонте.

Экспериментальными исследованиями по оценке миграции органических соединений из полимерной тары (ПЭТ-бутылок емкостью 1,5 литра) в расфасованную питьевую воду при моделируемых нарушениях условий хранения (температуре +37 °С и продолжительности времени ее воздействия три месяца) установлено отсутствие миграции ацетальдегида, фенола, метилхлорида, хлорбензола, бисфенола А, этиленгликоля, диметилтерефталата, формальдегида, ацетона, метилового, бутилового, изобутилового спирта, что позволяет сделать вывод о безопасности материалов, используемых производителями для расфасовки питьевой воды, в том числе при нарушении температурного режима условий хранения.

Предложенный и апробированный на примере Воронежской области базовый алгоритм реализации системного подхода к обеспечению гигиенической безопасности рекреационного и питьевого водопользования населения включает синхронное решение аналитических задач по обоснованию приоритетных региональных показателей качества воды, определение территорий «риска» и звеньев, детерминирующих ненадлежащее качество питьевой воды, уточнение популяционных рисков за счет определения доли населения, употребляющего расфасованную питьевую воду; управление региональной ситуацией с целью обеспечения гигиенической безопасности в сфере питьевого и рекреационного водопользования населения через совершенствование нормативно-правовой базы, реализацию целевых программ и информирование населения.

Эффективность практической реализации системного подхода с учетом результатов исследования предусматривала оптимизацию в организации мониторинга и контрольно-надзорных мероприятий; снижение техногенной нагрузки на водоемы и водоисточники, обеспечение их санитарной охраны; выбор альтернативных источников; совершенствование систем водоподготовки и транспортировки.

Оптимизация организации мониторинга и контрольно-надзорных мероприятий. С учетом результатов исследования перераспределены контрольные точки отбора проб питьевой воды: исключены пункты с количеством населения менее 5000 человек, в которых отсутствует риск для здоровья населения; добавлены контрольные точки в 48 сельских поселениях, проблемных по качеству воды. Количество мониторинговых точек в конкретном населенном пункте рассчитано с учетом численности водоснабжаемого населения: в сельских поселениях 1 точка – до 5000 жителей, 2–3 точки – свыше 5000 жителей. В 2021 году расширена программа мониторинга в 3 населенных пунктах, где имеется водоподготовка, с контролем показателей, характеризующих технологию водоподготовки (хлороформ, бромдихлорметан, дибромхлорметан, бромформ).

Усовершенствована система мониторинга качества воды в местах рекреационного водополь-

зования населения: 73 места рекреации, в том числе 55 – не имеющих официального статуса, но пользующихся популярностью у населения для купания в летний сезон.

Снижение техногенной нагрузки на водоемы и обеспечение гигиенической безопасности рекреационного водопользования. В 2015 году внедрены очистные сооружения в с. Новая Усмань (5 тыс. м³ в сутки), что снизило техногенную нагрузку на реку Усмань.

Значимость мероприятий по обеспечению гигиенической безопасности рекреационного водопользования населения, реализованных по результатам исследования, заключается в практически полной инвентаризации и санитарно-гигиенической оценке мест отдыха у воды, включая традиционно используемые населением, но не вошедшие в утвержденный перечень. По результатам анализа данных действующей системы мониторинга качества воды в местах рекреации на территории Воронежской области, включающей 73 контрольные точки, определены зоны рекреации (пляжи), наиболее соответствующие нормативным требованиям качества воды. Перед правительством Воронежской области поставлены вопросы и организована работа по приданию официального статуса и закреплению мест массового отдыха населения у воды за соответствующими муниципальными структурами либо иными хозяйствующими субъектами с целью приведения зон отдыха в надлежащее санитарное состояние, отвечающее современным требованиям.

Положительными примерами организации зон рекреационного водопользования в регионе, соответствующих современным санитарно-гигиеническим требованиям, могут быть пляжи санатория им. М. Горького на Воронежском водохранилище и клуба активного отдыха (турбазы) «Сосновый бор» на реке Усмань, получившие положительные санитарно-эпидемиологические заключения и высокие рейтинговые оценки – 4,7–4,8 балла из 5 возможных по совокупности 6 санитарно-гигиенически значимых критериев (оборудование санузлами и душевыми, наличие пляжного оборудования, наличие контроля и информации о качестве воды, организация медпомощи и общественного питания).

Обеспечение охраны водоисточников. Обеспечена охрана водоисточников: снижен удельный вес источников централизованного водоснабжения, не отвечающих санитарно-эпидемиологическим требованиям, с 10,6 % (2010 г.) до 0 % (2017–2020 гг.). В настоящее время 100 % подземных водоисточников имеют зону санитарной охраны, режим которой соблюдается.

Выбор альтернативных источников. За период проведения исследования с 2010 по 2019 годы принимались и реализовывались адресные решения по закрытию проблемных скважин (водоисточников) и увеличению альтернативных, т. е. бурению новых скважин и водозаборов. За указанный период исключены из системы 57 проблемных скважин в 25 населенных пунктах, число эксплуатируемых скважин возросло с 1716 до 2097 (на 110 783 человека снижена численность населения, получающего питьевую воду неудовлетворительного качества). Проведена работа по информированию населения о качестве питьевой воды, правилах использования индивидуальных фильтров для водоподготовки, а также качества воды в зонах рекреации: представлено

57 информаций на сайте Управления Роспотребнадзора по Воронежской области, опубликовано 48 информаций в региональных периодических изданиях, проведено 112 выступлений на телевидении и радио.

Совершенствование систем водоподготовки и транспортировки. В 3 проблемных по качеству воды населенных пунктах с общим населением 28 364 человека в 2015–2020 гг. внедрены современные системы водоподготовки в системах централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения, что позволило обеспечить население питьевой водой, качество которой соответствует нормативам. Проведена замена водопроводных сетей в 29 населенных пунктах 9 муниципальных районов.

Удельный вес проб воды из источников централизованного водоснабжения, не соответствующих нормативным требованиям по санитарно-химическим показателям, имеет тенденцию к снижению: в 2010–2012 гг. показатель составлял 43,2–44,4 %, в 2017–2019 гг. – 32,5–37,1 %, что подтверждает эффективность поэтапно проводимых мероприятий по обеспечению гигиенической безопасности питьевого водопользования населения.

Обсуждение результатов. Наши исследования и работы других отечественных авторов показывают, что в настоящее время Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека уделяется значительное внимание развитию методической поддержки риск-ориентированной модели контрольно-надзорной деятельности, в том числе практическому применению подходов количественной оценки вероятного риска здоровью населения, обусловленного водным фактором, в целях обеспечения соблюдения санитарно-гигиенических требований к питьевому водоснабжению и рекреационному водопользованию [26, 27].

Высокая техногенная нагрузка на водную среду отмечается в работах зарубежных авторов. При этом приоритет отводится проблеме дефицита пресноводных ресурсов в ряде стран и микробиологическим рискам для здоровья населения. В частности, недостаток питьевой воды, неудовлетворительное качество воды в реках Европы и Южной Азии, проблема распространения заболеваемости острыми кишечными инфекциями, связанной с водным фактором в том числе среди населения мегаполисов, отмечается в работе [28]. Исследованиями, проведенными в Германии на месте слияния рек Рур и Рейн, показано, что причиной ограничения на отдых населения у воды является ее неудовлетворительное качество по микробиологическим показателям [29]. При этом большое внимание для снижения техногенной нагрузки на водные объекты уделяется технологиям очистки и повторного использования промышленных и бытовых сточных вод [30].

Заключение. По итогам исследования предложен алгоритм реализации системного подхода к обеспечению гигиенической безопасности рекреационного и питьевого водопользования населения, который предусматривает оценку отдельных и комплексных показателей по блокам «Рекреационное водопользование», «Хозяйственно-питьевое водопользование», «Расфасованная питьевая вода», «Здоровье населения»; синхронное решение аналитических задач по обоснованию приоритетных региональных показателей качества воды, определение территорий «риска»

и звеньев, детерминирующих ненадлежащее качество питьевой воды; уточнение популяционных рисков за счет возрастания доли употребления расфасованной питьевой воды; управление региональной ситуацией с целью обеспечения гигиенической безопасности в сфере питьевого и рекреационного водопользования населения через совершенствование законодательной и нормативной базы, реализацию целевых программ и информирование населения.

Эффективность реализованного комплекса профилактических мероприятий по обеспечению гигиенической безопасности водопользования населения подтверждается положительной динамикой целевых показателей за десятилетний период: снижением удельного веса источников централизованного водоснабжения, не отвечающих санитарно-эпидемиологическим требованиям, с 10,6 до 0 %; увеличением доли населения, обеспеченного питьевой водой, отвечающей гигиеническим нормативам, с 88,0 до 92,8 %; снижением популяционного риска, связанного с повышенной концентрацией нитратов в питьевой воде, на 6,7 тыс. человек за счет санитарно-технических мероприятий; отсутствием новых случаев метгемоглобинемии (2019–2020 гг.) за счет адресного информирования населения и органов местного самоуправления проблемных сельских поселений.

Список литературы

1. World Water Assessment Programme (UNESCO WWAP). Leaving No One Behind – the 2019 UN World Water Development Report [электронный ресурс]. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367306> (дата обращения: 13.05.2021).
2. Белозеров Д.А., Иоффе И.Е. Оценка состояния подземных вод в отдельных пунктах питьевого водоснабжения северо-западной части Воронежской области // Международный научный вестник (Вестник Объединения православных ученых). 2016. № 1 (9). С. 34–37.
3. Клепиков О.В., Молоканова Л.В., Бережнова Т.А. Оценка гигиенической и эпидемиологической безопасности системы водопользования населения // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2015. Т. 14. № 3. С. 667–671.
4. Нагих Т.В., Прожорина Т.И. Эколого-гигиеническая оценка качества питьевой воды г. Воронежа // Молодежный инновационный вестник. 2018. Т. 7. № S3. С. 29.
5. Прожорина Т.И., Куролап С.А. Геоэкологическая оценка состояния реки Дон в пределах ближнего Подворонежья // Естественные и технические науки. 2019. № 8 (134). С. 121–124.
6. Прожорина Т.И., Нагих Т.В. Гидрохимическая оценка качества вод рек ближнего Подворонежья // Современные тенденции развития науки и технологий. 2017. № 3-2. С. 85–87.
7. Косолапов В.П., Механтьев И.И., Сыч Г.В., Ласточкина К.С., Сыч А.В. Анализ контроля качества воды и ее влияние на состояние здоровья населения Воронежской области // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2019. Т. 18. № 2. С. 168–179. doi: 10.25987/VSTU.2019.18.2.025
8. Жердев В.Н., Полякова Н.В. Модель управления рекреационным природопользованием бассейна реки Дон // Модели и технологии природообустройства (региональный аспект). 2019. № 1 (8). С. 16–19.
9. Калашников Ю.С. Гигиенические аспекты водопользования населения бассейна Верхнего Дона // Здоровье населения и среда обитания. 2018. № 7 (304). С. 31–34. doi: 10.35627/2219-5238/2018-304-7-31-34
10. Клепиков О.В., Молоканова Л.В., Маслова М.О., Калашников Ю.С. Анализ показателей микробиологической безопасности воды водных объектов в местах рекреации // Вестник ВГУ. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2017. № 4. С. 66–70.

11. Механтьев И.И. Санитарно-гигиенические и эпидемиологические аспекты рекреационного водопользования населения бассейна Верхнего Дона // *Здоровье населения и среда обитания*. 2020. № 12 (333). С. 23–29. doi: 10.35627/2219-5238/2020-333-12-23-29.
12. Чувычкин А.Л., Девятова Т.А., Яблонских Л.А. Ионный состав природных вод притоков реки Дон в пределах Воронежской области // Сорбционные и хроматографические процессы. 2018. Т. 18. № 3. С. 429–437.
13. Чувычкин А.Л., Яблонских Л.А., Девятова Т.А. Изменение характеристик качества поверхностных вод реки Дон в пределах Воронежского городского округа и ближнего Подворонезья // *Вода: химия и экология*. 2016. № 6 (96). С. 3–8.
14. Косолапов В.П., Механтьев И.И., Чайкина Н.Н. и др. Оценка рисков от воздействия химических веществ, загрязняющих питьевую воду, для здоровья населения Воронежской области за 2010–2017 годы // *Системный анализ и управление в биомедицинских системах*. 2019. Т. 18. № 4. С. 201–208. doi: 10.25987/VSTU.2020.18.4.027
15. Механтьев И.И. Риск здоровью населения Воронежской области, обусловленный качеством питьевой воды // *Здоровье населения и среда обитания*. 2020. № 4 (325). С. 37–42. doi: 10.35627/2219-5238/2020-325-4-37-42
16. Пичужкина Н.М., Чубирко М.И., Михалькова Е.В. Гигиеническая оценка риска для здоровья детей, ассоциированного с вредным воздействием факторов среды обитания // *Научно-медицинский вестник Центрального Черноземья*. 2018. № 73. С. 113–115.
17. Унгуриян Т.Н., Новиков С.М. Результаты оценки риска здоровью населения России при воздействии химических веществ питьевой воды (обзор литературы) // *Гигиена и санитария*. 2014. Т. 93. № 1. С. 19–24.
18. Попова А.Ю., Гурвич В.Б., Кузьмин С.В., Мишина А.Л., Ярушин С.В. Современные вопросы оценки и управления риском для здоровья // *Гигиена и санитария*. 2017. № 96 (12). С. 1125–1129. doi: 10.18821/0016-9900-2017-12-1125-1129
19. Моренкова В.В., Каменева О.В. Проблема микробного загрязнения питьевой воды по Воронежской области и городу Воронеж // *Молодежный инновационный вестник*. 2018. Т. 7. № S1. С. 230–231.
20. Ненахов И.Г., Боева Н.В. К вопросу отношения населения к качеству водоснабжения на территории города Воронежа // *Научно-медицинский вестник Центрального Черноземья*. 2019. № 77. С. 61–64.
21. Калашников Ю.С., Клепиков О.В., Мамчик Н.П. Оценка санитарно-эпидемиологической надежности систем централизованного питьевого водоснабжения территорий бассейна Верхнего Дона // *Санитарный врач*. 2018. № 8. С. 71–76.
22. Калашников Ю.С., Клепиков О.В., Хорпякова Т.В. Эколого-гигиеническая оценка влияния техногенно измененного притока на качество воды в реке Дон вблизи города Воронежа // *Проблемы региональной экологии*. 2018. № 3. С. 62–66. doi: 10.24411/1728-323X-2018-13062
23. Механтьев И.И., Клепиков О.В. Комплексная оценка санитарно-эпидемиологической надежности систем централизованного питьевого водоснабжения сельских территорий // *Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание*. 2020. № 5. С. 119–124. doi: 10.24411/2075-4094-2020-16754
24. Балалаева И.Ю., Поздняков А.М., Степанова Т.В., Звягина Т.Г. Мочекаменная болезнь у детей и подростков в зависимости от особенностей состава питьевой воды в городе Воронеж и Воронежской области // *Научно-медицинский вестник Центрального Черноземья*. 2018. № 71. С. 115–120.
25. Пичужкина Н.М., Чубирко М.И., Михалькова Е.В. Социально-гигиенические аспекты экологически обусловленных заболеваний // *Прикладные информационные аспекты медицины*. 2018. Т. 21. № 4. С. 19–22.
26. Попова А.Ю., Брагина И.В., Зайцева Н.В., Май И.В. и др. О научно-методическом обеспечении оценки результативности и эффективности контрольно-надзорной деятельности Федеральной службы в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека // *Гигиена и санитария*. 2017. № 1 (96). С. 5–9. doi: 10.18821/0016-9900-2018-97-1-5-9
27. Попова А.Ю., Зайцева Н.В., Май И.В. Опыт методической поддержки и практической реализации риск-ориентированной модели санитарно-эпидемиологического надзора: 2014–2017 гг. // *Гигиена и санитария*. 2018. Т. 97. № 1. С. 5–9.
28. Lara RJ, Islam MS, Yamasaki S, Neogi SB, Nair GB. Aquatic ecosystems, human health, and ecohology. In: *Treatise on Estuarine and Coastal Science*. 2011;10:263–299. doi: 10.1016/B978-0-12-374711-2.01015-9
29. Kistemann T, Schmidt A, Flemming HC. Post-industrial river water quality – Fit for bathing again? *Int J Hyg Environ Health*. 2016;219(7 Pt B):629–642. doi: 10.1016/j.ijheh.2016.07.007
30. De Gisi S, Casella P, Cellamare CM, Ferraris M, Petta L, Notarnicola M. Wastewater reuse. In: Abraham MA, ed. *Encyclopedia of Sustainable Technologies*. 2017;4:53–68. doi: 10.1016/B978-0-12-409548-9.10528-7

References

1. World Water Assessment Programme (UNESCO WWAP). *Leaving No One Behind – the 2019 UN World Water Development Report*. Accessed January 13, 2021. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367306>
2. Belozerov DA, Ioffe IE. [Assessment of the condition of groundwater in individual points of drinking water supply in the northwestern part of the Voronezh region.] *Mezhdunarodnyy Nauchnyy Vestnik (Vestnik Ob'edineniya Pravoslavnykh Uchenykh)*. 2016;(1(9)):34–37. (In Russ.)
3. Klepikov OV, Molokanova LV, Berezhnova TA. Assessment of hygiene and safety of water epidemic of population. *Sistemnyy Analiz i Upravlenie v Biomeditsinskikh Sistemakh*. 2015;14(3):667–671. (In Russ.)
4. Nagikh TV, Prozhorina TI. [Ecological and hygienic assessment of drinking water quality in Voronezh.] *Molodezhnyy Innovatsionnyy Vestnik*. 2018;7(S3):29. (In Russ.)
5. Prozhorina TI, Kurolap SA. Geocological assessment of the condition rivers of Don Middle Podvoronezhya. *Estestvennyye i Tekhnicheskie Nauki*. 2019;(8(134)):121–124. (In Russ.)
6. Prozhorina TI, Nagikh TV. [Hydrochemical assessment of water quality in rivers of the Voronezh suburbs.] *Sovremennye Tendentsii Razvitiya Nauki i Tekhnologii*. 2017;(3-2):85–87. (In Russ.)
7. Kosolapov VP, Mekhanteyev II, Sych GV, Lastochkina KS, Sych AV. Analysis of water quality control and its impact on the health status of the population of the Voronezh region. *Sistemnyy Analiz i Upravlenie v Biomeditsinskikh Sistemakh*. 2019;18(2):168–179. (In Russ.) doi: 10.25987/VSTU.2019.18.2.025
8. Zherdev VN, Poliakova NV. The management model of recreational nature use of the Don River basin. *Modeli i Tekhnologii Prirodoobustroystva (Regional'nyy Aspekt)*. 2019;(1(8)):16–19. (In Russ.)
9. Kalashnikov YuS. Hygienic aspects of water use of the population of the Upper Don basin. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2018;(7(304)):31–34. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2018-304-7-31-34
10. Klepikov OV, Molokanova LV, Maslova MO, Kalashnikov YuS. Analysis of indicators of microbiological safety of water in water objects in the places of recreation. *Vestnik VGU, Seriya: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya*. 2017;(4):66–70. (In Russ.)
11. Mehanteyev II. Sanitary, hygienic and epidemiological aspects of recreational water use of the population of the Upper Don river basin. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2020;(12(333)):23–29. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2020-333-12-23-29
12. Chuvyckin AL, Devyatova TA, Yablonskikh LA. Chemical composition of surface waters of the tributaries of the Don River within the Voronezh region. *Sorbtsionnye i Khromatograficheskie Protsestry*. 2018;18(3):429–437. (In Russ.)
13. Chuvyckin AL, Yablonskikh LA, Devyatova TA. Changing in the quality characteristics of surface waters of

- the Don River within Voronezh urban district and the Middle Voronezh region. *Voda: Khimiya i Ekologiya*. 2016;(6(96)):3–8. (In Russ.)
14. Kosolapov VP, Mekhantiev II, Chaikina NN, et al. Assessment of risks from exposure to chemicals polluting drinking water for the health of the population of the Voronezh region for 2010–2017. *Sistemnyy Analiz i Upravlenie v Biomeditsinskikh Sistemakh*. 2019;(4):201–208. (In Russ.) doi: 10.25987/VSTU.2020.18.4.027
 15. Mehantiev II. Health risks for the population of the Voronezh Region related to drinking water quality. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2020;(4(325)):37–42. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2020-325-4-37-42
 16. Pichuzhkina NM, Chubirko MI, Mikhalkova EV. Hygienic assessment of the risk to children's health associated with the harmful effects of environmental factors. *Nauchno-Meditsinskiy Vestnik Tsentral'nogo Chernozem'ya*. 2018;(73):113–115. (In Russ.)
 17. Unguryanu TN, Novikov SM. Results of health risk assessment due to exposure to contaminants in drinking water in Russia population (review of literature). *Gigiena i Sanitariya*. 2014;93(1):19–24. (In Russ.)
 18. Popova AYU, Gurvich VB, Kuzmin SV, Mishina AL, Yarushin SV. Modern issues of the health risk assessment and management. *Gigiena i Sanitariya*. 2017;96(12):1125–1129. (In Russ.) doi: 10.18821/0016-9900-2017-12-1125-1129
 19. Morenkova VV, Kameneva OV. [The problem of microbial contamination of drinking water in the Voronezh region and the city of Voronezh.] *Molodezhnyy Innovatsionnyy Vestnik*. 2018;7(S1):230–231. (In Russ.)
 20. Nenakhov IG, Boeva NV. To the question of the relations of the population to the quality of water supply on the territory of the city of Voronezh. *Nauchno-Meditsinskiy Vestnik Tsentral'nogo Chernozem'ya*. 2019;(77):61–64. (In Russ.)
 21. Kalashnikov YuS, Klepikov OV, Mamchik NP. Assessment of sanitary and epidemiological reliability of centralized drinking water supply systems of the territories of the Upper Don river basin. *Sanitarnyy Vrach*. 2018;(8):71–76. (In Russ.)
 22. Kalashnikov YuS, Klepikov OV, Khorkhyakova TV. Ecological and hygienic assessment of the impact of the polluted altered inflow on the water quality in the Don River in the vicinity the city of Voronezh. *Problemy Regional'noy Ekologii*. 2018;(3):62–66. (In Russ.) doi: 10.24411/1728-323X-2018-13062
 23. Mekhantiev II, Klepikov OV. Comprehensive assessment of sanitary and epidemiological reliability of centralized drinking water supply systems in rural territories. *Vestnik Novykh Meditsinskikh Tekhnologiy. E-edition*. 2020;(5):119–124. (In Russ.) doi: 10.24411/2075-4094-2020-16754
 24. Balalaeva IU, Pozdnyakov AM, Stepanova TV, Zvyagina TG. Urinary stones disease in children and adolescents and features of water in the Voronezh city and Voronezh region. *Nauchno-Meditsinskiy Vestnik Tsentral'nogo Chernozem'ya*. 2018;(71):115–120. (In Russ.)
 25. Pichuzhkina NM, Chubirko MI, Mikhalkova EV. Socially-hygienic aspects of environment-related diseases. *Prikladnye Informatsionnye Aspekty Meditsiny*. 2018;21(4):19–22. (In Russ.)
 26. Popova AYU, Bragina IV, Zaitseva NV, et al. On the scientific and methodological support of the assessment of the performance and effectiveness of the control and supervisory activity of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing. *Gigiena i Sanitariya*. 2017;96(1):5–9. (In Russ.) doi: 10.18821/0016-9900-2017-96-1-5-9
 27. Popova AYU, Zaytseva NV, May IV. Experience of methodological support and practical implementation of the risk-oriented model of sanitary-epidemiological surveillance in 2014–2017. *Gigiena i Sanitariya*. 2018;97(1):5–9. (In Russ.) doi: 10.18821/0016-9900-2018-97-1-5-9
 28. Lara RJ, Islam MS, Yamasaki S, Neogi SB, Nair GB. Aquatic ecosystems, human health, and ecohydrology. In: *Treatise on Estuarine and Coastal Science*. 2011;10:263–299. doi: 10.1016/B978-0-12-374711-2.01015-9
 29. Kistemann T, Schmidt A, Flemming HC. Post-industrial river water quality – Fit for bathing again? *Int J Hyg Environ Health*. 2016;219(7 Pt B):629–642. doi: 10.1016/j.ijheh.2016.07.007
 30. De Gisi S, Casella P, Cellamare CM, Ferraris M, Petta L, Notarnicola M. Wastewater reuse. In: Abraham MA, ed. *Encyclopedia of Sustainable Technologies*. 2017;4:53–68. doi: 10.1016/B978-0-12-409548-9.10528-7

