

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

WATER SUPPLY, SEWERAGE, BUILDING SYSTEMS OF WATER RESOURCE PROTECTION

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2025. Т. 27. № 6. С. 157–171.

ISSN 1607-1859 (для печатной версии)
ISSN 2310-0044 (для электронной версии)

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2025; 27 (6): 157–171.
Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 628.14:628.19+614.77

DOI: 10.31675/1607-1859-2025-27-6-157-171

EDN: VAOVSL

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ, СОЦИАЛЬНЫЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОБЛЕМЫ ТРАНСПОРТИРОВКИ ВОДЫ ПО ИЗНОШЕННЫМ СЕТЯМ НА ПРИМЕРЕ КРУПНОГО СИБИРСКОГО ГОРОДА

Ольга Дмитриевна Лукашевич, Елена Юрьевна Осипова

*Томский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Томск, Россия*

Аннотация. Актуальность исследования связана с необходимостью систематизации данных об авариях, утечках и вторичном загрязнении питьевой воды в водопроводных системах из разных типов труб.

Цель работы: оценка состояния изношенности систем питьевого водоснабжения в регионах Центральной России и в Сибири, анализ возможного влияния материала водопроводных систем при длительной эксплуатации на качество воды и здоровье населения, а также обоснование комплекса организационно-хозяйственных мероприятий по совершенствованию водохозяйственной деятельности (ВХД).

Задачи исследования: проанализировать современное состояние магистральных и распределительных водопроводных систем российских городов; дать оценку возможности применения отечественного и зарубежного традиционного опыта и инноваций для повышения надежности, долговечности и экологичности водопроводов путем выбора оптимальных материалов труб; обосновать и предложить мероприятия, способствующие устранению основных причин утечек и аварийности, а также снижения качества хозяйственно-питьевой воды на этапе доставки потребителю.

Методы. Использованы общенаучные методы исследования: описательно-аналитический, обобщение данных научно-технической литературы; междисциплинарный синтез, логические обобщения и визуализация данных.

Результаты. Проанализированы результаты зарубежных и отечественных исследований состояния водонесущих сетей из металлических и пластиковых труб. Выявлены особенности вторичного загрязнения транспортируемой воды в зависимости от исходного состава, свойств воды и технических параметров трубопроводов.

Предложены мероприятия для повышения эффективности эксплуатации и содержания изношенных водопроводных систем.

Ключевые слова: качество хозяйственно-питьевой воды, централизованные системы подачи и распределения воды, водопровод, износ коммунальной инфраструктуры, вторичное загрязнение воды, внутренние отложения в водопроводных трубах

Для цитирования: Лукашевич О.Д., Осипова Е.Ю. Экономические, социальные и экологические аспекты проблемы транспортировки воды по изношенным сетям на примере крупного сибирского города // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2025. Т. 27. № 6. С. 157–171. DOI: 10.31675/1607-1859-2025-27-6-157-171. EDN: VAOVSL

ORIGINAL ARTICLE

ECONOMIC, SOCIAL AND ECOLOGICAL ASPECTS OF WATER TRANSPORTATION THROUGH WORN-OUT NET-WORKS IN A LARGE SIBERIAN CITY

Olga D. Lukashevich, Elena Yu. Osipova

Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia

Abstract. The relevance of the study is associated with the need to systematize the data on accidents, leaks and secondary pollution of drinking water in water pipes.

Purpose: The purpose of the work is to assess deterioration of drinking water supply systems in Russian regions and in Tomsk, identify the possible impact of the material of water pipes on the water quality and public health during long-term operation, and justify a set of organizational and economic measures to improve the water supply.

Methodology: Descriptive and analytical methods, data generalization from the literature, interdisciplinary synthesis, logical generalization, data visualization.

Research findings: The current state of the central and distribution water supply systems in Russian cities is evaluated. The possibility of using Russian and foreign traditional experience and innovations is evaluated to increase the reliability, durability, eco-friendliness of water pipes by selecting the best pipe materials. Measures are proposed to eliminate the main causes of leaks, accidents in water supply systems and the quality improvement of drinking water at the stage of delivery to the consumer.

Value: The Russian and foreign experience in water pipes made of metal and plastic is highlighted. Secondary pollution of supplied water is evaluated, depending on the initial composition and properties and process parameters of pipelines. Measures are proposed to improve the efficiency of dilapidated water pipes.

Keywords: drinking water quality; centralized water supply and distribution system; communal infrastructure ageing; secondary water pollution; scale buildup in water pipes

For citation: Lukashevich O.D., Osipova E.Yu. Economic, Social and Ecological Aspects of Water Transportation through Worn-Out Networks in a Large Siberian

City. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2025; 27 (6): 157–171. DOI: 10.31675/1607-1859-2025-27-6-157-171. EDN: VAOVSL

Введение

Питьевая вода – фундаментальный элемент жизнеобеспечения населения; ее качество во многом определяется не только экологической чистотой водоисточника и соответствующей технологией водоподготовки, но и надежностью доставки и распределения потребителям. Сегодня задача обеспечения населения доброкачественной водой полностью решена только в нескольких регионах, столичных городах и на редких территориях, где сохранились незагрязненные природные водные объекты. Усредненные цифры, по данным Росстата для разных регионов России за последние 10 лет, показывают, что около 15 % питьевой воды не соответствует санитарно-гигиеническим нормативам по химическим показателям качества, почти 5 % – по биологическим.

Передача в частные руки организаций, занимающихся водохозяйственной деятельностью (ВХД), недостаточное финансирование, экономическая безграмотность, а также нежелание властных и бизнес-структур инвестировать в системы водоснабжения и водоотведения привели за последние 30 лет к состоянию крайней степени изношенности водопроводных сетей [1–5]. Данная проблема носит комплексный характер, характеризующийся экономическим, социальным, экологическим аспектами, и имеет общегосударственное значение. Обеспокоенность ученых, занимающихся проблемами улучшения водоснабжения [6, 7], медиков, изучающих последствия воздействия повышенного содержания в воде загрязнителей на организм человека [8–10], а также представителей органов надзора в сфере безопасности и санитарно-эпидемиологического благополучия населения [11] отражается как в научных публикациях, так и в социальных сетях. Однако подобная информация часто носит разрозненный, частный характер, бывает слабо структурирована либо после статистической обработки настолько обобщена, что не позволяет выявить региональные и сезонные особенности учитываемых показателей.

В настоящей статье обобщены сведения о современном состоянии проблемы изменения качества питьевой воды при ее транспортировке к потребителю; приведены данные о техническом состоянии водопроводных сетей г. Томска: материалы, диаметры труб, их протяженность, степень износа; проанализированы основные тенденции развития технических средств совершенствования водопроводных систем, служащих для подачи и распределения питьевой воды в контексте сохранения ее экологической безопасности и с учетом экономической целесообразности материалов труб, предлагаемых на рынке ВХД.

Цель работы – оценить состояние и риски аварий систем питьевого водоснабжения в центральной части России и Сибири, выявить возможности влияния материала водопроводных систем при длительной эксплуатации на качество воды и здоровье населения и обосновать комплекс организационно-хозяйственных мероприятий по совершенствованию ВХД, реноваций на водонесущих сетях и надзора за питьевым водоснабжением.

Материалы и методы исследования. Проведены анализ и обобщение доступной российской и зарубежной научной литературы и электронных ресурсов по

научно-техническому уровню изучения системы «вода – материал трубы – водопроводные отложения». Используются общенаучные методы исследования, теоретические и прикладные материалы литературных источников, актуальных нормативных документов (СП 31.13330.2012, СП 517.1325800.2022, СанПиН 2.1.4.1074–01, СанПиН 2.1.3684–21).

Основные результаты

Группа авторов Центра стратегических разработок (ЦСР) выполнила исследование ключевых трендов развития отечественного водоснабжения и водоотведения, результаты которого были опубликованы в виде доклада [5]. Среди выделенных проблем функционирования отрасли ВиВ и предложенных вариантов ее реформирования (главным образом организационно-административного, маркетингового, финансового, тарифного и инвестиционного характера) следует выделить несколько аспектов, связанных с тематикой данной статьи. По данным Федеральной службы государственной статистики (Росстат), 46 % водопроводных сетей в городах и 41 % в сельских поселениях требуют замены из-за крайней изношенности. Однако опрос, проведенный сотрудниками ЦСР среди организаций, занимающихся системами подачи и распределения воды, показал более высокие цифры: более 56 % сетей нуждаются в обновлении, особенно в малых городах и организаций ВиВ в сельской местности (рис. 1).

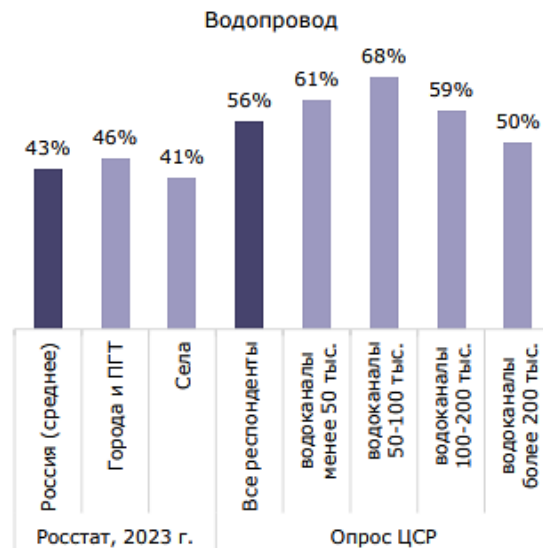


Рис. 1. Результаты оценки статистических данных по водопроводам, нуждающимся в замене в России, 2023 г. [5]

Fig. 1. Statistical data on water supply systems to be substituted in Russia in 2023. Adopted from [5]

Приведенные показатели тесно связаны с катастрофическим износом основных фондов, следствием которого являются значительные потери объемов

воды из-за утечек и аварий. Так, в 2022 г. потери составили 23 % от объема воды, поступившей в сети. Кроме того, растут затраты на содержание ветхих сетей, организации ВиВ сталкиваются с убыточностью из-за невозможности покрыть свои расходы через тарифную политику, т. к. вода – особый социально значимый ресурс, стоимость которого для населения регулируется государством.

Однако эксперты сферы ЖКХ сходятся во мнении, что доля обновляемых водопроводных систем ничтожно мала по сравнению с количеством труб, ежегодно приходящих в негодность. Такая ситуация ведет к многочисленным авариям и снижению качества воды в кранах.

В докладе [5] показаны выявленные противоречия между данными Росстата и результатами опроса ЦСР: Росстат отмечает снижение аварийности в секторе водопроводно-канализационного хозяйства почти на 70 % за последние 20 лет, а 55 % участников опроса – организаций ВиВ – сообщают о росте числа аварий в этот период. Также Росстатом выявлены значительные отличия по износу основных фондов в секторе ВиВ: в 2021 г. в среднем по России он составил около 44 %, при этом в Сибирском федеральном округе – 58 % (в Республике Тыва – более 90 %), в Дальневосточном – 31 %. Опросом ЦСР установлены более высокие показатели износа: в среднем – 68 %, а в небольших организациях ВиВ, обслуживающих 50–100 тыс. жителей, – 81 %.

В 2022 г. на водопроводных сетях произошло 34,7 тыс. аварий, что в среднем составляет 0,06 аварии на 1 км сети (по данным Росстата). Однако опрос ЦСР и информация ЕИАС ФАС России [Там же] позволили зафиксировать другую цифру: 0,48 аварии на 1 км сети (рис. 2). Подобное расхождение частично объясняется существующей неопределенностью в трактовке понятия «авария» и отсутствием законодательно закрепленных требований к заполнению соответствующих форм организациями ВиВ.

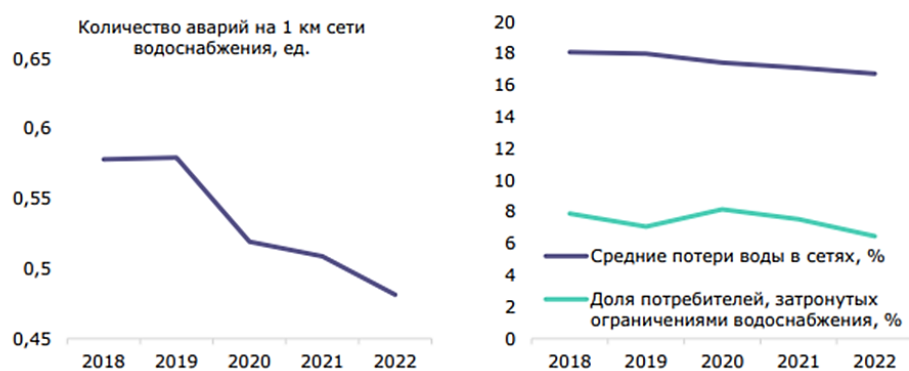


Рис. 2. Средние значения параметров аварийности работы водоснабжающих организаций (холодная вода) по результатам анализа данных ЕИАС ФАС России [5]

Fig. 2. Average values of accidentance parameters on cold water supply organizations based on the data from EAAS FAS Russia

Авторами [5] выделены явно «недостаточные темпы обновления сетей и основных фондов для снижения уровня их износа»: в России ежегодно заменяется лишь 0,9–1,1 % водопроводных сетей. По данным Росстата, в 2020–2023 гг.

среднегодовой темп обновления водопроводных сетей составил 1,02 % их общей протяженности. Доля изношенных сетей не уменьшается, и отсутствует положительная динамика по замене водопроводов в течение последних лет: в целом по России обновляемость сетей водоснабжения в 2020–2023 гг. составила 1,02 % от их общей длины.

Приведенные данные подтверждаются сведениями из других источников. Независимая газета (https://www.ng.ru/economics/2024-10-31/4_9127_waterservice.html) сообщает о накопленном износе сетей водоснабжения в стране на уровне 75 %, несмотря на выделение из бюджета сотен миллиардов рублей на модернизацию питьевого водоснабжения.

Подобный вывод сделан на новостном сайте <https://lenta.ru/articles/2022/07/07/jkh/>: «ежегодно приходят в негодность 3 % от общей протяженности сетей, при этом только 2 % заменяются новыми». Для достижения целевых показателей эта цифра должна увеличиваться и достигнуть к 2030 г. как минимум 5 %. Такое положение дел связано с двумя основными факторами: недофинансированием и заменой изношенных труб на новые, но не соответствующие требованиям качества. Например, используются полимерные трубы, в состав которых входят непроверенные компоненты из вторсырья, или реставрированные стальные трубы, которые ранее были использованы. По данным Ассоциации производителей трубопроводных систем, доля таких труб на рынке в 2020 г. составила 30 %. В целом по России ситуация неравномерна: больше средств на модернизацию водопроводных сетей выделяется в регионах, где состояние сетей лучше среднего и есть достаточный бюджет или выполняются государственные и региональные программы по обновлению систем ВиВ [5].

Существует прямая связь между состоянием водопроводных систем и качеством воды, контактирующей с внутренней поверхностью труб (рис. 3).

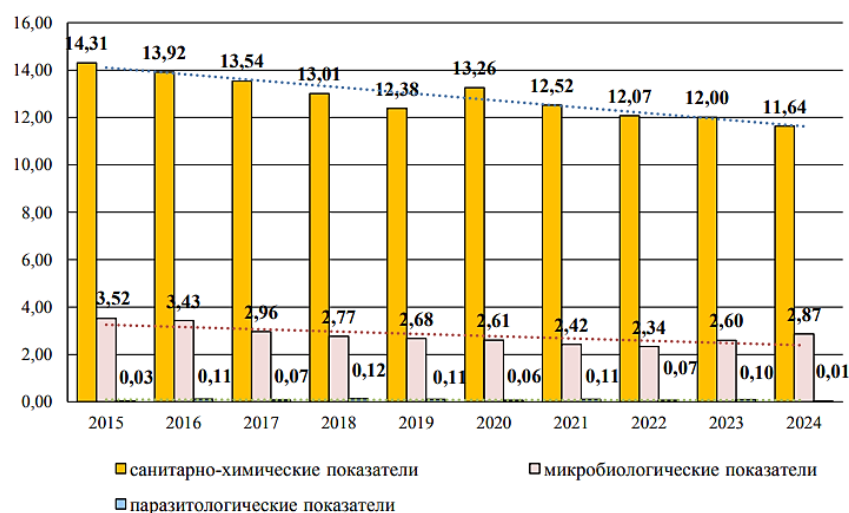


Рис. 3. Доля не соответствующих санитарно-гигиеническим нормативам проб воды из распределительной сети централизованных систем водоснабжения по годам, % [11]

Fig. 3. Percentage of water samples from the distribution network of centralized water supply systems that do not meet sanitary and hygienic standards

По данным Госдоклада Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека [11], в 2024 г. фиксируется превышение среднероссийского уровня проб питьевой воды из распределительной сети централизованных систем водоснабжения, не соответствующих гигиеническим нормативам по санитарно-химическим показателям (11,64 %), в 44 субъектах Российской Федерации. Для Томской области этот показатель составил 42,17 %.

Представляет интерес анализ данных о качестве воды до и после контакта с материалом водопроводных труб и накопленными в них отложениями. Факторами, влияющими на состав воды в кране потребителя, являются состав и свойства воды в водоисточнике, качество воды после ее обработки на водоочистных сооружениях, а также те возможные химические и биохимические процессы, происходящие при контакте воды и содержащихся в ней микропримесей с внутренней стенкой трубы (чистой или покрытой отложениями). Согласно Госдокладу, «доля веществ 1-го класса опасности, концентрация которых не соответствует гигиеническими нормативам, увеличилась: в источниках водоснабжения с 1,07 % в 2022 г. до 1,28 % в 2024 г., перед подачей в распределительную сеть соответственно с 4,76 до 5,27 %, а в распределительной сети уменьшилась с 5,08 до 3,7 %».

При этом «доля веществ 2-го класса опасности, содержание которых превышает ПДК, также увеличилась в питьевой воде перед подачей в водопроводы с 1,67 % в 2022 г. до 2,49 % в 2024 г., в распределительной сети соответственно с 2,21 до 2,79 % и уменьшилась с 4,67 до 4,11 % в источниках водоснабжения».

Сложившаяся ситуация с качеством воды для городской и сельской местности отличается. По общему показателю (городские и сельские поселения) целевые значения для водопроводной воды, запланированные федеральным проектом «Чистая вода» на 2024 г., выполнены только в 19 субъектах Российской Федерации. В Томской области они не достигнуты на 8,85 %. Для сравнения с другими сибирскими регионами: показатели не выполнены в Забайкальском крае (на 4,49 %), Республике Бурятия (на 3,0 %), Республике Хакасия (на 0,55 %), Кемеровской области (на 0,4 %), Омской области (на 0,16 %), Красноярском крае (на 0,1 %) [Там же]. Если рассматривать только областной центр – г. Томск, то здесь, несмотря на ветхость сетей, качество питьевой воды соответствует нормативам.

В 27 субъектах РФ значения целевого показателя «Доля городского населения, обеспеченного качественной питьевой водой из систем централизованного водоснабжения, %», запланированного на 2024 г., не достигнуты [Там же].

Анализ материалов ресурсоснабжающих организаций показывает, что сфера ЖКХ в целом и ВХД как ее часть находится в крайне сложном положении. Здесь наблюдаются противоречия между бизнесом и государственными интересами: объекты ВХД по концессионным договорам передаются частным инвесторам, которые обеспечивают модернизацию, но сама инфраструктура остается в собственности государства. Недопустимость снижения надежности услуг ВиВ для населения, ограничения на увеличение тарифов приводят к тому, что бизнесмены не только не получают прибыль, но и работают с убытками. В этом главная причина отсутствия интереса со стороны инвесторов к переснащению и модернизации водопроводных сетей.

Томск с населением около 550 тыс. чел. можно рассматривать как типичный крупный сибирский город. Ресурсоснабжающая организация ООО «Томскводоканал» обслуживает почти 821 км водопроводных сетей (https://vodokanal.tomsk.ru/company_today.html). По этим сетям в город подается очищенная артезианская вода, полностью соответствующая требованиям СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». Контроль качества воды осуществляется по химическим и микробиологическим показателям на каждом этапе: артезианская скважина → станция водоподготовки → система подачи и распределения воды → потребитель.

Материал труб, уложенных до 70-х гг. XX столетия, в основном чугун. Позднее начали использоваться трубы из разрешенных марок стали. Последние два десятилетия, как и в целом по стране, стало практиковаться строительство полиэтиленовых трубопроводов. Ситуация на 2024 г. с длиной водопроводов разного диаметра в Томске отражена на рис. 4–6.

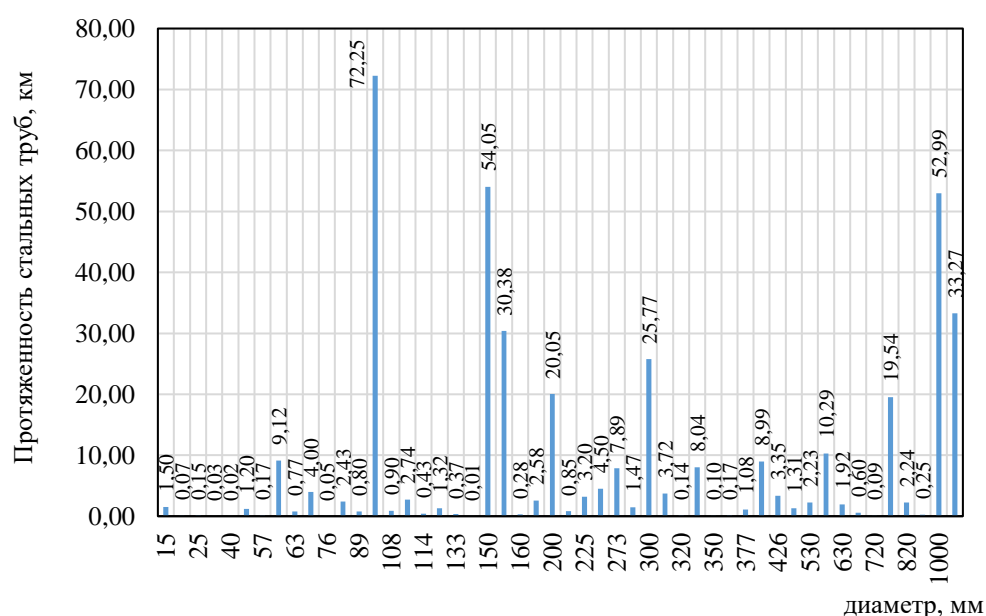


Рис. 4. Протяженность водопроводов из стальных труб в г. Томске (по данным ООО «Томскводоканал»)

Fig. 4. Length of steel pipe water mains in Tomsk (according to the data from ООО «Tomskvodokanal»)

По данным «Томскстата», на конец 2024 г. в Томской области насчитывалось 1643,2 км водопроводных сетей, нуждающихся в замене (43,3 % от их общей протяженности). В городской местности в замене нуждалось 56,9 % сетей (по данным 70.rosstat.gov.ru).

Протяженность сетей водоотведения, нуждающихся в замене, составила 758,4 км (53,4 % от общей протяженности). В городской местности износ сетей достигает 63,3 %, в сельской – 19,6 %. В 2025 г. ООО «Томскводоканал» пла-

нирует построить и реконструировать более 6 км сетей различного диаметра, а также отремонтировать около 5 км сетей водоснабжения и водоотведения в рамках программы капремонта.

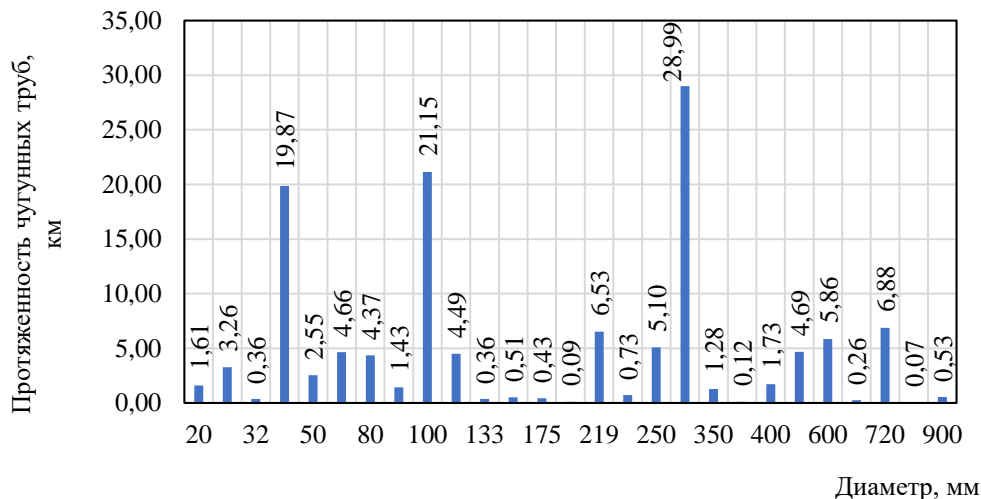


Рис. 5. Протяженность водопроводов из чугунных труб в г. Томске (по данным ООО «Томскводоканал»)

Fig. 5. Length of cast iron water pipes in Tomsk (according to data from ООО “Tomsk-vodokanal”)

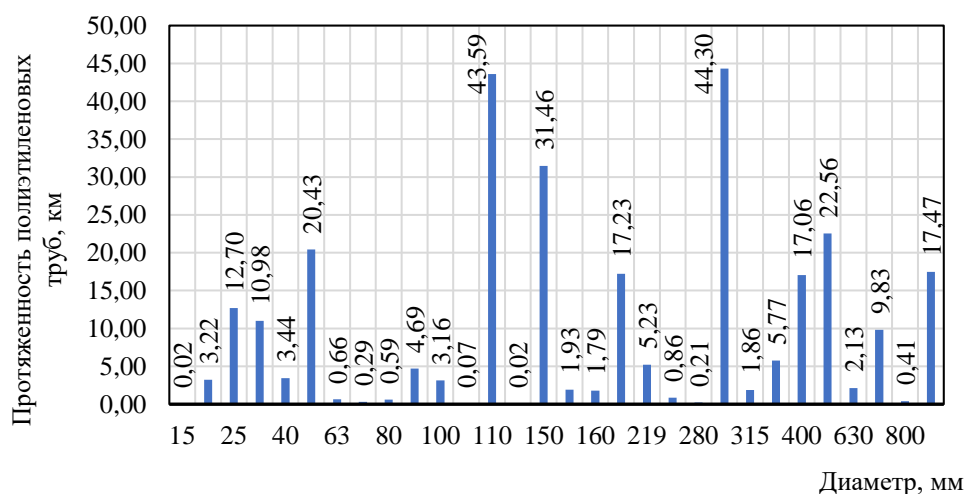


Рис. 6. Протяженность водопроводов из полиэтиленовых труб в г. Томске (по данным ООО «Томскводоканал»)

Fig. 6. Length of polyethylene water pipes in Tomsk (according to data from ООО “Tomsk-vodokanal”)

Как видно, при высоком уровне износа сетей, превышающем 50 %, что обуславливает значительную аварийность, запланированные темпы ремонта

остаются недопустимо низкими. Для разработки и реализации комплексной программы замены ветхих сетей необходимо учесть ряд базовых факторов.

К ним относятся: пропускная способность; решение вопроса о полной перекладке трубопровода (при 100%-м износе) или использовании бестраншейной прокладки методом «труба в трубе» с монтажом полимерных труб; выбор материала труб (чугун, сталь, полимер, композит) исходя не только из экономической целесообразности, но и с учетом рисков вторичного загрязнения воды при контакте с веществами, выделяющимися из труб и отложений на них.

Приведем краткие пояснения к перечисленным факторам. На некоторых участках сети скорость движения воды может оказаться очень низкой. В холодное время года здесь возникает угроза замораживания. Проложенные ранее трубопроводы большего диаметра, на перспективу развития, часто остаются невостребованными из-за снижения потребления воды. Это приводит к застоям воды в системе, которые способствуют окислительным процессам. Несогласованность по диаметрам трубопроводов усложняет рациональное зонирование сетей, затрудняя достижения стабилизации давления в кранах у потребителей. В результате система подачи и распределения воды становится трудноуправляемой из-за сложности, ненадежности и неустойчивости. Избыток давления провоцирует существенные утечки воды, аварии в местах с повышенным износом инфраструктуры ЖКХ.

Загрязнение водопроводных сетей осадками химического происхождения и биологическими обрастаниями приводит к ухудшению санитарно-гигиенических показателей транспортируемой воды [8, 12, 13] (рис. 7). Так, авторами работы [12] показан рост канцерогенного риска при контакте воды, очищенной до питьевого качества на инфильтрационном водозаборе, с городскими сетями.



Рис. 7. Загрязнение водопроводных сетей (Кармалов А.И. Повышение эффективности эксплуатации водозаборных скважин на основе методов химической регенерации и применения полимерных фильтров: автореферат диссертации)

Fig. 7. Contamination of water pipes (photos provided by Karmalov A.I. Dissertation Abstract 'Efficiency improvement of water intake wells based on chemical regeneration methods and the use of polymer filters')

А.В. Алексеева с коллегами [13] экспериментально установили, что на городских территориях с урбаноземами, содержащими органические загрязнения,

возможно попадание последних в транспортируемую воду при использовании труб из полиэтилена. Полиэтилен под воздействием нефтепродуктов, фенолов, ароматических углеводородов набухает и становится пористым. Лучшие результаты были получены для высокопрочного чугуна, который оказался хорошим барьером для всех испытанных исследователями органических поллютантов.

Степень подверженности труб и трубопроводной арматуры (фитингов, отводов, фланцев, задвижек, прокладок) коррозии, разрушению, снижению проницаемости для загрязнителей, минеральным отложениям, биообрастаниям зависит не только от химического состава и микробного загрязнения транспортируемой воды. Стенки труб могут сами выделять в воду частицы своего компонентного состава (особенно при наличии активного хлора) и становиться подложкой для солевых отложений и биопленок [13–16]. Развитие колоний железобактерий, особенно характерное для стальных труб, приводит к увеличению содержания железа в воде, росту мутности и цветности, появлению запаха. Слой микрообрастаний может снижать пропускную способность водопровода за 10 лет до 50 %, что увеличивает энергозатраты на поддержание необходимого гидравлического режима. При скачках давления в сетях, а значит изменении скорости потока воды, железистые осадки отрываются и наносят урон трубопроводной арматуре и сантехническим системам потребителей.

При рассмотрении этого аспекта многие исследователи приходят к заключению о высокой надежности и безопасности труб из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом. В странах ЕС и Северной Америки такие трубы приоритетны при строительстве наружных водопроводных сетей, поскольку сочетают коррозионную стойкость, свойственную полимерным трубам, и прочность, сравнимую со сталью Ст5 (https://www.abok.ru/for_spec/articles/42/8496/8496.pdf?ysclid=mdsschdrpr5714781595).

Полимерные трубы (главным образом полиэтиленовые) активно продвигаются на российском рынке ВХД. Возникает закономерный вопрос об их надежности и экологической безопасности. При этом следует отдельно рассмотреть широко обсуждаемую в научной литературе проблему загрязнения воды микропластиком. В какой мере это касается попадания микропластика в водопроводную воду при ее транспортировке?

Обсуждение проблемы опасности загрязнения воды микропластиком охватило как научные круги, так и многочисленных пользователей социальных сетей и сайтов за последнее пятилетие. С разной степенью научного обоснования высказывающих опасения о накоплении микро- и наночастиц в живых организмах, включая человека. В социальных сетях можно встретить суждения, касающиеся проникновения микропластика в желудок, плаценту, легкие и даже в кровь и повышения в ней уровня холестерина. Риск накопления микропластика в органах и тканях обычно связывают с попаданием его к человеку по пищевым цепочкам (например, из морепродуктов), реже – с недостаточно очищенной питьевой водой.

В рамках тематики статьи следует рассмотреть вопрос о возможности выделения микропластика непосредственно из труб при контакте с водопроводной водой. Экспериментально доказано, что со стенок труб из полиэтилена низкого давления, полипропилена, поливинилхлорида и других полимеров могут отрываться микрочастицы [17].

Опасность представляют не столько сами микрочастицы, сколько адсорбированные на них токсичные вещества – антропогенные загрязнители (выделяющиеся из полимеров мономеры, продукты их распада, окисления или восстановления), а также вещества, образующиеся в процессе жизнедеятельности микроорганизмов. Причинами служат старение пластика, механические повреждения водопроводных систем при пусконаладочных и ремонтных работах, контакт материала труб с агрессивными грунтами и урбаноземами, пропитанными нефтепродуктами и другими органическими загрязнителями. Для крупных городов Сибири с повышенной влажностью грунтов такая обстановка очень характерна. В целом, оценивая риск попадания микропластика в питьевую воду при ее транспортировке по полимерным сетям, можно заключить, что частицы микропластика могут появиться только при механическом воздействии во время строительных и ремонтных работ на водопроводе. Предотвратить попадание таких частиц к потребителю можно, если соблюдать соответствующие регламенты. Отметим, что мы не рассматриваем те случаи, когда микропластик попадает в водопровод вместе с недоочищенной поверхностной водой, тем более что Томск снабжается подземной водой, прошедшей очистку на станции обезжелезивания.

Заключение

В целом на всероссийском уровне наблюдается крайне тревожная ситуация, связанная с необходимостью обновления водопроводных сетей. В г. Томске установлено, что материалы, используемые в водопроводной сети, негативно влияют на качество хозяйственно-питьевой воды. Наибольшее влияние оказывают стальные и полиэтиленовые трубы. Основными факторами, негативно влияющими на качество хозяйственно-питьевой воды, являются: большая протяженность стальных трубопроводов, их длительная эксплуатация и частые ремонты, которые влекут ухудшение показателей состава и свойств питьевой воды. Особо выделяется состояние обветшавших стальных труб разводящих систем водопровода. Для улучшения качества потребляемой хозяйственно-питьевой воды рекомендовано применение бытовых очистных устройств, служащих дополнительной ступенью доочистки, особенно после перерывов в потреблении воды.

Анализ возможных технико-технологических решений для реконструкции систем водоснабжения, с учетом обозначенных в статье проблем, позволяет предложить некоторые рекомендации по комплексному подходу к их решению:

- установка узлов учета водопотребления на всех стадиях движения воды как этап последующего формирования системы мониторинга расхода и потерь в водопроводных сетях для сокращения потерь воды за счет своевременного выявления мест утечек;

- анализ структурных зависимостей водопотерь от материалов, диаметров, протяженности трубопроводов с обозначением величины утрат воды на разных этапах транспортировки и объемов полезного водопотребления;

- разработка новых композиционных материалов, которые в будущем могут вытеснить с рынка металлические и пластиковые трубы. Все больший практический интерес вызывают нанотехнологии и возможность управления свойствами материалов на уровне отдельных атомов и молекул. За рубежом ак-

тивно ведутся разработки по изготовлению многослойных труб с заданными свойствами для их внедрения в систему водоснабжения и водоотведения;
– повышение скорости и качества принятия управленческих решений.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Примин О.Г., Громов Г.Н.* Надежность и экологическая безопасность водопроводных и водоотводящих трубопроводов // Промышленное и гражданское строительство. 2021. № 4. С. 54–61. DOI: 10.33622/0869-7019.2021.04.54-61
2. *Продоус О.А., Шлычков Д.И.* Коэффициент эффективности эксплуатации сетей водоснабжения и водоотведения как фактор оценки возможности продолжения дальнейшей их эксплуатации // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2023. Т. 25. № 3. С. 162–168. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-3-162-168
3. *Яковлева Е.М., Чижиков С.Д.* К вопросу обеспечения надёжности водопроводных сетей // Мероприятия инженерной защиты в транспортном строительстве : материалы всероссийской научно-практической конференции. Под общей редакцией И.А. Всприняка. Санкт-Петербург, Петергоф, 2023. С. 134–142. EDN: XPRJYZ
4. *Абитов Р.Н., Селюгин А.С., Низамов А.Х.* Проблемы надёжности работы водопроводных сетей населённых пунктов // Энергосбережение и Водоподготовка. 2022. № 5 (139). С. 9–14. EDN: WWSZZS
5. *Сфера водоснабжения и водоотведения в России: текущее состояние и пути развития :* доклад Центра стратегических разработок. Москва : Фонд ЦСР, 2024. 101 с.
6. *Насонкина Н.Г., Антоненко С.Е., Трякина А.С., Гутарова М.Ю., Забурдаев В.С., Берёза П.Г.* Анализ повреждаемости водопроводных и канализационных сетей // Современное промышленное и гражданское строительство. 2019. Т. 15. № 1. С. 23–34. EDN: PBPCVV
7. *Богданова О.А., Алифанов И.В.* Полимерные трубопроводы и арматура в современных системах водоподготовки // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2011. № 9 (45). С. 52–54. DOI: 10.24075/rbh.2022.043
8. *Онищенко Г.* Обеспечение населения чистой питьевой водой – важный фактор качества жизни людей // Основы Безопасности Жизнедеятельности. 2010. № 11. С. 20–22.
9. *Мысякин А.Е., Королик В.Б.* Зависимость качества питьевой воды от режимов водопользования и типов водопроводных труб // Гигиена и санитария. 2010. № 6. С. 31–33. EDN: PBPCVV
10. *Сазонова О.В., Тушикова Д.С., Рязанова Т.К., Гаврюшин М.Ю., Фролова О.В., Трубецкая С.Р.* К оценке качества питьевого водоснабжения различных регионов Российской Федерации // Российский вестник гигиены. 2022. № 2. С. 4–7. DOI: 10.24075/rbh.2022.043. EDN: QELYMO
11. *О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2024 году :* Государственный доклад. Москва : Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2025. 424 с.
12. *Вождаева М.Ю., Холова А.Р., Вагнер Е.В., Труханова Н.В., Мельницкий И.А., Муллоджанов Т.Т., Кантор Е.А.* Изменение показателей химической безвредности питьевой воды Уфы при её транспортировке потребителям // Гигиена и санитария. 2021. Т. 100. № 4. С. 396–405. DOI: 10.47470/0016-9900-2021-100-4-396-405
13. *Алексеева А.В., Савостикова О.Н., Мамонов Р.А., Каменецкая Д.Б.* Изучение возможности вторичного загрязнения питьевой воды в модельных условиях, имитирующих промышленное загрязнение почвы нефтепродуктами и тяжёлыми металлами // Медицина труда и экология человека. 2022. № 3. С. 115–124. DOI: 10.24411/2411-3794-2022-10310
14. *Черкасов С.В.* Железобактерии в системах питьевого водоснабжения. URL: <https://wwtec.ru/index.php?id=418>
15. *Сиренко Е.Р.* Применение полипропиленовых труб в промышленном водоснабжении // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2020. № 6. С. 107–110. EDN: DNBEZJ
16. *Горшаклев П.А., Поршина Е.Г., Базарова А.О.* Сравнительный анализ материалов труб для замены старых внутри площадочных трубопроводов НФС г.о. Кинель // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство и строительные технологии :

сборник статей 79-й Всероссийской научно-технической конференции / под ред. М.В. Шувалова [и др.]. Самара, 2022. С. 500–511. EDN: ZCUOQD

17. Homin Kye, Jiyeon Kim, Seonghyeon Ju, Junho Lee, Chaehwi Lim, Yeojoon Yoon. Microplastics in water systems: A review of their impacts on the environment and their potential hazards // Journal of Sustainable Development. 2013. V. 6. № 2. ISSN 1913-9063. E-ISSN 1913-9071.

REFERENCES

1. Primin O.G., Gromov G.N. Reliability and Environmental Safety of Water Supply and Drainage Pipelines. *Promyshlennoe i grazhdanskoestroitel'stvo*. 2021; (4): 54–61. DOI: 10.33622/0869-7019.2021.04.54-61 (In Russian)
2. Prodous O.A., Shlychkov D.I. Efficiency Coefficient of Water Supply and Water Removal as an Assessment Factor of Further Operation. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2023; 25 (3): 162–168. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-3-162-168 EDN: QVBNEW (In Russian)
3. Yakovleva E.M., Chizhiumov S.D. On the issue of reliability of water supply networks. In: *Proc. All-Russ. Sci. Conf. 'Engineering Protection Measures in Transport Construction'*. I.A. Vepriyakov Ed. Saint-Petersburg, Petergof, 2023. Pp. 134–142. EDN: XPRJYZ (In Russian)
4. Abitov R.N., Selyugin A.S., Nizamova A.H. Problems of Reliability of Water Supply Networks in Populated Areas. *Energobezopasnost i vodopodgotovka*. 202; 5 (139), 9–14. EDN: WWSZZS (In Russian)
5. “Water supply and sanitation in Russia: current status and development prospects”. Report by the Centre for Strategic Research. 2024. 101 p. (In Russian)
6. Nasonkina N.G., Antonenko S.E., Tryakina A.S., Gutarova M.Yu., Zaburdaev V.S., Beryozha P.G. Analysis of Vulnerability of Water Supply and Sewerage Networks. *Sovremennoe promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2019; 15 (1): 23–34. EDN: PBPCVV (In Russian)
7. Bogdanova O.A., Alifanov I.V. Polymer Pipes and Fittings in Modern Water Treatment Systems. *Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzhenie*. 2011; 9 (45): 52–54. DOI: 10.24075/rbh.2022.043 (In Russian)
8. Onishchenko G. Providing the Population with Clean Drinking Water is an Important Factor in Life Quality. *Osnovy bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti*. 2010; (11): 20–22. (In Russian)
9. Mysyakin A.E., Korolik V.B. Dependence of Drinking Water Quality on Water Usage and Types of Water Pipes. *Gigiena i sanitariya*. 2010; 6: 31–33. EDN: PBPCVV (In Russian)
10. Sazonova O.V., Tupikova D.S., Ryazanova T.K., Gavryushin M.Yu., Frolova O.V., Trubeckaya S.R. Quality Assessment of Drinking Water Supply in Regions of the Russian Federation. *Rossiiskij vestnik gigieny*. 2022; (2): 4–7. DOI: 10.24075/rbh.2022.043. EDN: QELYMO (In Russian)
11. “On the state of sanitary and epidemiological well-being of the population in the Russian Federation in 2024”, State Report. Moscow: Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Welfare, 2025. 424 p. (In Russian)
12. Vozhdaeva M.Yu., Holova A.R., Vagner E.V., Truhanova N.V., Mel'nickij I.A., Mulodzhanov T.T., Kantor E.A. Changes in Chemical Safety Indicators of Drinking Water in Ufa During its Transportation to Consumers. *Gigiena i sanitariya*. 2021; 100 (4): 396–405. DOI: 10.47470/0016-9900-2021-100-4-396-405 (In Russian)
13. Alekseeva A.V., Savostikova O.N., Mamonov R.A., Kameneckaya D.B. Possibility of Secondary Contamination of Drinking Water under Model Conditions Simulating Industrial Soil Contamination with Petroleum Products and Heavy Metals. *Medicina truda i ekologiya cheloveka*. 2022; (3): 115–124. DOI: 10.24411/2411-3794-2022-10310 (In Russian)
14. Cherkasov S.V. Iron bacteria in drinking water supply systems. Available: wwtec.ru/index.php?id=418 (In Russian)
15. Sirenko E.R. Polypropylene Pipes in Industrial Water Supply. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*. 2020; (6): 107–110. EDN: DNBEZJ (In Russian)
16. Gorshkalev P.A., Porshina E.G., Bazarova A.O. Comparative analysis of pipe materials for replacing old on-site pipelines of the NFG in Kinel. In: *Proc. 79th All-Russ. Sci. Conf. 'Traditions and Innovations in Construction and Architecture'*. M.V. Shuvalov Ed. Samara, 2022. Pp. 500–511. EDN: ZCUOQD (In Russian)

17. Homin Kye, Jiyeon Kim, Seonghyeon Ju, Junho Lee, Chaehwi Lim, Yeojoon Yoon. Microplastics in Water Systems: A Review of Their Impacts on the Environment and Their Potential Hazards. *Journal of Sustainable Development*. 2013; 6 (2). ISSN 1913-9063. E-ISSN 1913-9071.

Сведения об авторах

Лукашевич Ольга Дмитриевна, докт. техн. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, odluk@yandex.ru

Осипова Елена Юрьевна, канд. геол.-мин. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, kyky60@bk.ru

Authors Details

Olga D. Lukashevich, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 664003, Tomsk, Russia, odluk@yandex.ru

Elena Yu. Osipova, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 664003, Tomsk, Russia, kyky60@bk.ru

Вклад авторов

Лукашевич О.Д. – концепция исследования; развитие методологии; написание исходного текста; заключение.

Осипова Е.Ю. – участие в подборе и анализе литературы; обработка данных и построение диаграмм; доработка текста; предварительные и итоговые выводы.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Authors contributions

Lukashevich O.D. – conceptualization, methodology, writing–original draft preparation, conclusions.

Osipova E.Yu. – literature review, data processing, visualization, writing–review and editing, conclusions.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 01.08.2025
Одобрена после рецензирования 20.08.2025
Принята к публикации 03.09.2025

Submitted for publication 01.08.2025
Approved after review 20.08.2025
Accepted for publication 03.09.2025