

Алексеева А.В., Каменецкая Д.Б., Кочеткова М.Г.

## Совершенствование экспериментальных методов гигиенической оценки использования металлических материалов и их сплавов в системах питьевого водоснабжения

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

### РЕЗЮМЕ

**Введение.** Стальные и чугунные трубы широко используются в практике хозяйственно-питьевого водоснабжения, однако они могут быть источником поступления загрязняющих веществ в питьевую воду. Особое внимание при гигиенической оценке обращают на металлические примеси в продуктах коррозии, которые при определенных условиях попадают в системы распределения питьевой воды, загрязняя питьевую воду и создавая риск для здоровья.

**Материалы и методы.** Материалом исследования были научные публикации и результаты лабораторных исследований в области использования металлических материалов и их сплавов в системах питьевого водоснабжения. Особое внимание уделяли специфическим свойствам анализируемых материалов.

**Результаты.** Для стандартизации гигиенических исследований металлических материалов (сплавов), применяемых в питьевом водоснабжении, разработан исследовательский лабораторный стенд, который воссоздаёт условия реальной водопроводной системы, что позволяет моделировать условия эксплуатации при санитарно-химическом тестировании металлов и сплавов, предназначенных для использования в контакте с питьевой водой. Стенд гарантирует непрерывный поток воды через тестируемый материал, одновременное тестирование необходимого числа образцов, включая контрольные, а также подключение к системам холодного и горячего водоснабжения (с тестовой температурой от плюс 60 до плюс 85 °C). Стенд обеспечивает простоту установки системы и замены тестовых образцов, позволяет временно перекрыть поток для имитации стоячей воды (линии тестирования закрываются на четыре часа перед взятием проб), отобрать не менее трёх литров контактной воды для дальнейшего тестирования.

**Ограничения исследования.** Моделирование условий эксплуатации для санитарно-химического тестирования проведено только на металлических материалах (сплавах). В дальнейшем необходимо провести аналогичные исследования других материалов, используемых в питьевом водоснабжении.

**Заключение.** Стенд может быть использован лабораториями для проведения санитарно-химического анализа сплавов, применяемых в системах обеспечения питьевой водой. Разработанная методика позволяет улучшить качество и точность анализа металлических материалов и сплавов благодаря применению унифицированной системы исследований.

**Ключевые слова:** водоснабжение; материалы для питьевого водоснабжения; стенд лабораторный для гигиенической оценки металлов и их сплавов

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

Для цитирования: Алексеева А.В., Каменецкая Д.Б., Кочеткова М.Г. Совершенствование экспериментальных методов гигиенической оценки использования металлических материалов и их сплавов в системах питьевого водоснабжения. *Гигиена и санитария*. 2024; 103(10): 1127–1132. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-10-1127-1132> <https://elibrary.ru/iyetyg>

Для корреспонденции: Алексеева Анна Венидиктовна, e-mail: AAlekseeva@cspmz.ru

**Участие авторов.** Все соавторы внесли равнозначный вклад в исследование и подготовку статьи к публикации.

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

**Финансирование.** Исследования проводились в рамках государственного задания по теме «Совершенствование государственной системы контроля и обеспечения химической безопасности окружающей среды для здоровья населения с учётом процессов трансформации веществ» в ФГБУ «ЦСП» ФМБА России.

Поступила: 05.07.2024 / Принята к печати: 02.10.2024 / Опубликована: 19.11.2024

Anna V. Alekseeva, Darya B. Kamenetskaya, Marina G. Kochetkova

## Improving experimental methods for hygienic assessment of the use of metallic materials and their alloys in drinking water supply systems

A.N. Sysin Research Institute of Human Ecology and Environmental Hygiene, Centre for Strategic Planning of the Federal medical and biological agency, Moscow, 119121, Russian Federation

### ABSTRACT

**Introduction.** For many years, steel and cast iron pipes have been used in the practice of domestic drinking water supply. However, they can be a source of pollutants entering drinking water. During the hygienic assessment, special attention is paid to metal impurities in corrosion products, which under certain conditions can enter drinking water distribution systems, thereby polluting drinking water and creating a health risk.

**Materials and methods.** The material was scientific reports and laboratory studies on the problem of the use of metal materials and their alloys in drinking water supply systems, with special attention to the specific properties of the analyzed materials.

**Results.** The objective of our research is an attempt to standardize hygienic studies of metal materials (alloys) used in drinking water supply. The object developed was a research laboratory stand that recreates the conditions of a real water supply system, which makes it possible to simulate operating conditions for sanitary and chemical testing of metals and alloys intended for use in contact with drinking water. The stand guarantees a continuous flow of water through the tested material, simultaneous testing of the required number of samples, including control ones, as well as connection to cold and hot water supply systems (with test temperatures from 60 °C to 85 °C). It also allows temporarily stopping the flow of water to simulate standing water (test lines are closed for four hours before sampling), collect at least 3 liters of contact water for further testing, and also makes it easy to install the system and replace test samples.

**Limitations.** Modelling of operating conditions for sanitary and chemical testing was carried out on metal materials (alloys), which are one of the possible options for using materials in drinking water supply. It is necessary to conduct similar studies on other groups of materials used.

**Conclusion.** This stand can be used by laboratories to carry out sanitary-chemical analysis of alloys that are used in drinking water supply systems. The developed methodology makes it possible to improve the quality and accuracy of the analysis of metallic materials and alloys through the use of a unified research system.

**Keywords:** water supply; materials for drinking water supply; laboratory stand for hygienic assessment of metals and their alloys

**Compliance with ethical standards.** The study does not require the conclusion of the Biomedical Ethics Committee.

**For citation:** Alekseeva A.V., Kamenetskaya D.B., Kochetkova M.G. Proposals for improving and standardizing experimental methods of hygienic assessment of the use of metal materials and their alloys in drinking water supply systems, with special attention to the specific properties of the analyzed materials. *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian journal.* 2024; 103(10): 1127–1132. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-10-1127-1132> <https://elibrary.ru/iyetyg> (In Russ.)

**For correspondence:** Anna V. Alekseeva, e-mail: AAlekseeva@cspmz.ru

Contribution: All co-authors made an equal contribution to the research and preparation of the article for publication.

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

**Acknowledgement.** The study had no sponsorship.

Received: July 5, 2024 / Accepted: October 2, 2024 / Published: November 19, 2024

## Введение

Качество питьевой воды в процессе её транспортировки, согласно требованиям промышленного и санитарного законодательства, обеспечивается поддержанием системы водопроводов в адекватном состоянии, настройкой гидравлических условий работы системы, планомерными ремонтными и реконструкционными работами на отдельных участках сети распределения. Стальные трубы наиболее распространены в нашей стране из-за устойчивости к динамическим нагрузкам и доступности ремонта [1], при наличии антакоррозионной защиты они могут служить продолжительное время. До сих пор в эксплуатации находятся стальные трубы, установленные в 1930-х годах. На долю стальных труб в системах водоснабжения приходится от 39,3 до 56,4% в зависимости от размера города. Доля чугунных труб в различных населённых пунктах составляет от 17,6 до 42,2%, в первую очередь за счёт коррозионной устойчивости. Немаловажна их долговечность: более 10% городов имеют чугунные трубы, которым более 100 лет. Например, в Калининградской области много чугунных труб, установленных до войны в «немецкий» период, а в г. Кинеле Самарской области до сих пор функционирует участок из чугунных труб длиной 1,1 км, построенный в 1889 г. [2]. Использование стальных труб в нашей стране значительно шире, чем чугунных. В качестве альтернативы стальным применяют трубы из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом (ВЧШГ), отличающиеся одним из самых низких уровней аварийности. Они также известны большим сроком эксплуатации при почвенной коррозии (80–100 лет). Однако высокая стоимость труб ВЧШГ в сравнении с остальными ограничивает их широкое применение. Трубы ВЧШГ обладают особыми характеристиками: сочетают коррозионную устойчивость, присущую чугуну, с такими механическими свойствами стали, как гибкость, высокая прочность, устойчивость к ударам и значительное относительное удлинение при нагрузке. Эти трубы устойчивы к экстремальным условиям эксплуатации, включая высокое давление, земельные нагрузки, сдвиги почвы при подземной укладке, а также к ударным нагрузкам во время транспортировки и переменным нагрузкам. ВЧШГ-трубы могут быть заложены в землю на глубину до 8–10 м. В Москве длина трубопроводов из ВЧШГ с диаметром 100–300 мм достигает 600 км. С другой стороны, стальные трубы и трубы из серого чугуна имеют повышенную аварийность после 15–17 лет использования.

При транспортировке воды через металлические трубы из стали и серого чугуна её качество может ухудшаться из-за контакта с отложениями на внутренних поверхностях. Отложения формируются с течением времени, и этот процесс, известный как вторичное загрязнение, приводит к изменению качественных показателей воды относитель-

но стандартов ГОСТ Р 51232–98<sup>1</sup> и СанПиН 1.2.3685–21<sup>2</sup>, что может вызывать у потребителей жалобы на увеличение содержания железа, мутность, цветность, запах и другие загрязнения [2–4]. Вторичное загрязнение снижает эффективность первоначальной обработки, поскольку в этом случае не гарантируется доставка качественной питьевой воды потребителям [2, 5, 6].

Коррозия представляет собой естественный процесс деградации металлов, вызванный их взаимодействием с окружающей средой, и является основным фактором физического износа труб. Ожидаемый срок службы оцинкованных стальных труб должен гарантировать стабильную работу системы водоснабжения на протяжении минимум 14–18 лет. Аномально быстрой считается коррозия, которая начинает активно проявляться сразу после запуска системы в эксплуатацию, что может привести к отказу отдельных её элементов уже через два-три года [7]. Коррозионные процессы могут привести к попаданию токсичных металлов в водопроводную воду [8]. Особенно важен в этом контексте свинец, который в основном вымывается из периферийных систем водоснабжения. Свинец имеет множество побочных эффектов, особенно влияя на детей. Так, в Нижней Саксонии была проведена работа по оценке загрязнения питьевой воды свинцом для обоснования замены свинцовых труб. Участникам исследования было предложено отобрать пробу холодной водопроводной воды в своём доме после ночного застоя и заполнить анкету. В результате в 7,5% случаев концентрация свинца превышала рекомендуемый Всемирной организацией здравоохранения предел 10 мкг/л, а в 3,3% случаев была выше 25 мкг/л [9].

В аналогичной работе [10] подтверждено, что коррозия медных труб может привести к повышенному относительно санитарно-гигиенических норм содержанию меди в питьевой воде и вызвать горький или металлический привкус воды. Авторы призывают производителей учитывать органолептические свойства питьевой воды и влияние меди на здоровье, вводить технологические разработки для минимизации накипи и коррозии.

В Калифорнии в питьевой воде были зафиксированы высокие концентрации ванадия, который в природных месторождениях связан с оксидами (оксигидроксидами) железа (ванадинит). Было подсчитано, что даже в трубах с низкой концентрацией ванадия (100 мг/кг) достаточно всего лишь

<sup>1</sup> Государственный стандарт РФ ГОСТ Р 51232–98 «Вода питьевая. Общие требования к организации и методам контроля качества» (принят постановлением Госстандарта РФ от 17 декабря 1998 г. № 449).

<sup>2</sup> Санитарные правила и нормы СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». Утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 г. № 2.

участка трубы толщиной 0,1 см и длиной 100 см с побочными продуктами коррозии, чтобы концентрация ванадия в питьевой воде превысила нормативный уровень 15 мкг/л, установленный в штате Калифорния [11].

Также с 2013 г. Агентство по охране окружающей среды США требует на некоторых распределительных системах питьевой воды проводить мониторинг нерадиоактивного стронция  $\text{Sr}^{2+}$ , поскольку были представлены данные, показывающие связь повышенных концентраций  $\text{Sr}^{2+}$  (выше порогового значения 0,3 мкг/л) с продуктами коррозии железа: средние концентрации  $\text{Sr}^{2+}$  в самом внешнем слое продуктов коррозии колебались от 3 до 54 мг/кг [12].

Марганец, накопленный в коррозионных отложениях распределительных систем питьевой воды, может попадать в воду, изменять её цвет и вызывать обеспокоенность населения по поводу качества питьевой воды. Результаты исследований показали, что марганец высвобождается из коррозионных отложений в условиях более низкого pH, более низкой щёлочности, высокой температуры и высоких концентраций  $\text{SO}_4^{2-}$  [13].

Коррозия латунных материалов приводит к выделению комплекса металлов и ухудшению качества питьевой воды. Латунь – это медно-цинковый ( $\text{Cu} - \text{Zn}$ ) сплав со следами свинца ( $\text{Pb}$ ) и других компонентов. Благодаря своей относительно высокой прочности, хорошим механическим свойствам и низкой стоимости латунь используется в качестве сырья при производстве бытовых сантехнических устройств, таких как смесители, фитинги, водомеры. Однако коррозия латуни в питьевой воде зачастую неизбежна, интенсивное выделение  $\text{Pb}$ ,  $\text{Cu}$  и  $\text{Zn}$  из латунного образца было обнаружено на ранней стадии (0–5 сут) вследствие общей и гальванической коррозии [14].

Результаты проведённых исследований показали, что высокий риск для здоровья населения в рассматриваемом в статье [15] случае был связан с кадмием как в трубной окалине, так и в рыхлых отложениях. На слабую связывающую силу тяжёлых металлов, присутствующих в обменных фракциях, большое влияние оказывала нейтральная и кислая водная среда. При изменении pH и щёлочности эти металлы внезапно высвобождаются, что напрямую увеличивает риск для здоровья человека.

Согласно проведённым расчётом [16] потенциального риска для здоровья от неорганических загрязнений, тяжёлые металлы в рыхлых отложениях были более опасными, а выделение бария в питьевую воду представляло самый высокий риск среди всех обнаруженных тяжёлых металлов ( $\text{Cu}$ ,  $\text{Pb}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Ni}$ ,  $\text{Co}$ ).

Авторы работы [17] указывают, что в связи с развитием технологий содержание тяжёлых металлов в питьевой воде зачастую превышает нормы, рекомендованные международными регуляторами. Токсичное действие тяжёлых металлов обусловлено образованием реактивных форм кислорода, вызывающих окислительные повреждения, что негативно сказывается на здоровье. Свинец, хром, мышьяк, ртуть, никель и кадмий представляют серьёзную угрозу, если их содержание в воде превышает установленные нормативы, поскольку обладают свойством гепатотоксичности [18]. При расчёте потенциального риска для здоровья необходимо учитывать, что у детей токсичные металлы легче всасываются в кишечнике, а выведение почками у них ниже, чем у взрослых [19].

Поскольку металлические трубы используются в системах водоснабжения по всему миру, организации, доставляющие воду населению, должны учитывать как влияние качества воды на процессы коррозии, так и влияние коррозии на качество воды. Интеграция четырёх ключевых факторов – химических и биологических причин, экономики, здоровья населения и эстетических критерии – имеет решающее значение для эффективного управления системами водоснабжения и обеспечения производства воды, которой потребители могут доверять.

Коррозию водопроводных труб предотвращают различными методами. Первый – физическая изоляция путём нанесения покрытий: металлических (антикоррозионная обработка, оцинкованная сталь), органических или минеральных, неорганических (цементный раствор). Второй – удержание химических характеристик воды на уровне, обеспечивающем максимальное снижение уровня коррозии. Третий – введение в питьевую воду ингибиторов коррозии. И четвёртый – наложение электрического потенциала (катодная защита). Все эти методы широко используются на практике [20–24].

Среди различных методов и технологий наиболее результативным в предотвращении коррозии водопроводных систем оказывается метод физической изоляции посредством нанесения покрытий. Обычно это металлическое покрытие, формируемое на поверхности трубы одним из нескольких способов: гальваническим, термодиффузионным, погружением в расплавленный металл, плакированием (термомеханическое нанесение тонкого слоя металла на металлические листы) или напылением [25]. Гальваническое нанесение покрытий считается одним из самых передовых методов благодаря его экономичности, способности создавать покрытия с разнообразными механическими свойствами и отличной адгезией к поверхности.

Неорганические покрытия часто формируются методами оксидирования и фосфатирования. Оксидирование выделяется как простой и эффективный способ защиты металла от коррозии, особенно при воздействии атмосферных условий. Фосфатирование включает обработку труб в растворе, содержащем фосфаты металлов, таких как марганец, железо и цинк. Когда стандартные методы защиты не подходят из-за особенностей металла труб, эксперты рекомендуют использовать другие способы защиты от коррозии – коррозионное легирование и термообработку [25].

Главной задачей при гигиенической оценке металлических материалов является предотвращение риска для здоровья, связанного с наличием в воде металлов. Поскольку металлы высвобождаются в результате коррозии, особенно важна оценка в условиях, соответствующих реальному применению материалов, с учётом динамики коррозийных процессов. Эти обстоятельства обусловили цель работы – создание исследовательского лабораторного стенда, который возможно использовать при санитарно-химическом анализе металлов и сплавов, предназначенных для контакта с питьевой водой, и стандартизации гигиенических исследований металлических материалов (сплавов), применяемых в питьевом водоснабжении.

## Материалы и методы

Материалом послужили научные публикации, нормативные документы и собственные лабораторные исследования в области гигиенической оценки металлических материалов и их сплавов в системах питьевого водоснабжения. Особое внимание уделяли специфическим свойствам анализируемых материалов.

Металлические водопроводные трубы входят в перечень продукции, подлежащей гигиеническому контролю и надзору. В разделе 3 главы II «Единых санитарно-эпидемиологических и гигиенических требований к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю)» (утверждены решением Комиссии Таможенного союза от 28 мая 2010 г. № 299) установлены требования к материалам, реагентам, оборудованию, используемым в системах хозяйствственно-питьевого водоснабжения. Безопасность обеспечивается благодаря регламентированию содержания в воде химических веществ, примесей и продуктов их трансформации (табл. 1, приложение 3.1, п. 6 «Металлы, сплавы»). Новые материалы допускаются к использованию после гигиенических исследований и экспер-

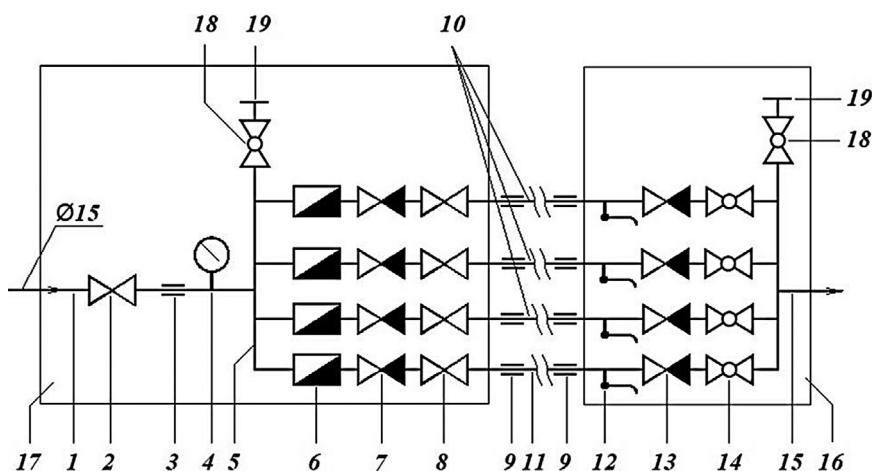


Схема устройства лабораторно-исследовательского стенда.

1 – ввод; 2 – запорный вентиль; 3 – быстроразъемное соединение; 4 – манометр; 5 – трубопровод стенда; 6 – расходометр-счётчик; 7 – обратный клапан; 8 – запорный вентиль; 9 – быстроразъемные соединения; 10 – тестируемые материалы труб; 11 – контрольная труба; 12 – сливной кран; 13 – обратный клапан; 14 – запорный кран; 15 – водоотводящий трубопровод; 16 и 17 – основания для крепления системы труб; 18 – запорный вентиль; 19 – заглушка.

Scheme of the laboratory research stand device.

1 – inlet; 2 – shut-off valve; 3 – quick-release connection; 4 – pressure gauge; 5 – stand pipeline; 6 – flow meter; 7 – check valve; 8 – shut-off valve; 9 – quick-release connections; 10 – tested pipe materials; 11 – control pipe; 12 – drain valve; 13 – check valve; 14 – shut-off valve; 15 – drainage pipeline; 16 and 17 – bases for fixing the pipe system; 18 – shut-off valve; 19 – plug.

тизы нормативной документации. Для оценки материалов, контактирующих с водой в процессе её подготовки, применяют МУ 2.1.4.2898–11<sup>3</sup>, которые распространяются на исследование реагентов, вспомогательного оборудования и конструкционных материалов, например, труб и соединительных элементов.

Согласно рекомендациям МУ 2.1.4.2898–11, соотношение площади исследуемого материала и объёма контактирующей воды должно составлять 1 см<sup>2</sup> на 1 см<sup>3</sup>. Для создания водных вытяжек используют дехлорированную воду из московского водопровода или дистиллированную воду. Вытяжки выдерживают при температуре плюс 20 °С. Для имитации агрессивной среды применяют температуру плюс 70 °С. Отбор проб опытной (водная вытяжка) и контрольной воды проводят на 1-е и 5-е сутки исследований для определения элементного состава. Деструкцию продукции оценивают после промывки и через 30 сут.

При разработке лабораторного стенда была поставлена цель сохранить требуемое соотношение площади исследуемого материала и объёма контактирующей воды, обеспечить возможность изменения температурного фактора, но предотвратить контакт с внешней стороной материала для имитации реальных условий эксплуатации, обеспечить постоянную сменяемость воды, отсутствие доступа кислорода к исследуемой поверхности и возможность моделировать стойкие явления.

## Результаты

Разработан исследовательский лабораторный стенд (см. рисунок), который возможно использовать при санитарно-химическом анализе металлов и сплавов, предназначенных для контакта с питьевой водой [26]. Испытательный стенд воссоздаёт условия реальной водопроводной системы и позволяет моделировать условия эксплуатации для санитарно-химического тестирования металлов и сплавов. Стенд гарантирует непрерывный поток воды через тестируемый материал, одновременное тестирование необходимого числа образцов, включая контрольные, а также подключение к системам холодного и горячего водоснабжения (с тестовой температурой от плюс 60 до плюс 85 °С). Стенд позволяет временно перекрыть поток воды для имитации стоячей воды (линии тестирования закрываются на четыре часа перед взятием проб), отобрать не менее 3 л контактной воды для дальнейшего тестирования, а также обеспечивает простоту установки системы и замены тестовых образцов. Предлагаемое техническое решение также даёт возможность ис-

пользования дополнительных испытательных секций (трёх испытательных линий) при необходимости одновременного исследования нескольких материалов. Для удобства работы сделаны два жёстких основания, на которые закрепляется система труб в виде испытательных и контрольного трубопроводов, параллельно соединённых между собой.

Лабораторно-исследовательский стенд функционирует следующим образом.

Стенд подключён к системе внутреннего холодного или горячего водоснабжения через ввод (1). После открытия запорного вентиля (2) вода из системы внутреннего водоснабжения поступает в трубопровод (5) стендса. При заполнении системы лабораторно-исследовательского стендса водой манометр (4), установленный на вводе (1), показывает давление в системе. Далее вода из общего водопровода (5) по параллельным трубам подаётся к трубам – испытуемым (10) и контрольной (11). При этом по расходометрам-счётчикам (6) определяют расходы воды на каждой линии, обратные клапаны (7) предотвращают обратный ток воды при перекрытии линий и возможных аварийных ситуациях. Запорные вентили (8) позволяют при необходимости регулировать скорость потока по линиям. Тестируемые (10) и контрольная (11) трубы (сплавы) монтируются в стенд посредством быстроразъемных соединений (9). Вода, прошедшая через тестируемые отрезки труб (11, 10), при открытом запорном кране (14) по водоотводящему трубопроводу (15) удаляется в канализационную сеть здания. Для моделирования застоя воды в системе перекрываются запорные краны (14), вода для дальнейшего исследования отбирается посредством сливных кранов (12). После проведённых испытаний воду на входе в стенд перекрывают с помощью запорного вентиля (2), а испытуемое изделие (материал) (10) демонтируют со стендса. Для параллельного исследования необходимого количества образцов тестируемых материалов в стенд при перекрытии тока воды запорными кранами (18) с помощью быстроразъемных соединений монтируется необходимое количество испытательных секций, содержащих по три тестовые линии. Стенд достаточно прост в изготовлении, позволяет проводить испытания любых металлических сплавов в виде полудюймовых труб.

## Обсуждение

В наших предыдущих публикациях [27–30] представлен анализ различных подходов к исследованию материалов, используемых в питьевом водоснабжении, для оценки миграции химических веществ в питьевую воду. Исследования подчеркнули важность проведения гигиенической оценки материалов в условиях, максимально приближенных к их фактическому использованию в системах питьевого водоснабжения. Была обоснована необходимость моделирования таких параметров, как площадь контакта материала

<sup>3</sup> Методические указания МУ 2.1.4.2898–11 «Санитарно-эпидемиологические исследования (испытания) материалов, реагентов и оборудования, используемых для водоочистки и водоподготовки» (утв. Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 12 июля 2011 г.).

с водой для испытаний, миграция веществ (последовательная или непрерывная), а также важность определения комплекса необходимых контролируемых параметров.

В настоящее время при оценке миграции химических веществ из металлических сплавов в питьевую воду существуют определённые противоречия, касающиеся методологии и подходов к их оценке. Требуются улучшение и унификация экспериментальных методик учётом специфических свойств анализируемых материалов.

На основании выполненных исследований и анализа литературных данных авторами сформулированы следующие предложения к оценке металлических сплавов.

1. Минимальный период тестирования металлических сплавов выбрать не менее шести месяцев с учётом скорости коррозии. Отбор воды проводить трёхкратно для оценки динамики миграционных процессов, предположительно на 16-й, 20-й и 24-й неделе.

2. Учитывать область применения труб при расчёте соотношения площади поверхности материалов и объёма тестовой воды в эксперименте и (или) для оценки полученных концентраций соединений.

3. В эксперименте имитировать условия различных режимов потока в трубопроводах (возможность воспроизведения ситуации непрерывного застоя в системе и стандартного состояния потока с регулярным обновлением воды в водопроводных сетях).

4. Определять показатели согласно «Единым санитарно-эпидемиологическим и гигиеническим требованиям

к продукции (товарам), подлежащей санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю» (от 28.05.2010 г. № 299). Также определять все присутствующие в составе материала элементы с массовой долей более 0,02%, за исключением фосфора, серы, кремния, если они указаны как компоненты сплава.

**Ограничения исследования.** Моделирование условий эксплуатации для санитарно-химического тестирования проведено только на металлических материалах (сплавах). В дальнейшем необходимо провести аналогичные исследования других материалов, используемых в питьевом водоснабжении.

## Заключение

В настоящее время при оценке миграции химических элементов из покрытий в питьевую воду возникают определённые несоответствия в методах и подходах. Это делает пересмотр и унификацию методик гигиенической оценки особенно важными в связи с непрерывным расширением перечня применяемых материалов различного функционального назначения.

Разработанный экспериментальный стенд может быть использован лабораториями при проведении санитарно-химического анализа сплавов, применяемых в системах обеспечения питьевой водой. Предложенная методика позволяет улучшить качество и точность анализа металлических материалов и сплавов благодаря унифицированной системе исследований.

## Литература (п.п. 8–19 см. References)

- Шувалов М.В., Тараканов Д.И. Применение труб из различных материалов для устройства водопроводных сетей. *Градостроительство и архитектура*. 2023; 13(1): 53–9. <https://doi.org/10.17673/Vestnik.2023.01.07>
- Жилин В.Н., Ильин Д.Н. Защита систем водоподготовки от коррозии и отложений без водоподготовки. *Вода и экология: проблемы и решения*. 2009; (3): 36–43. <https://elibrary.ru/pmsqdz>
- Лапшин А.П., Игнатьева Л.П. Качественный состав питьевой воды на этапах водоподготовки и транспортировки. *Водоснабжение и санитарная техника*. 2016; (6): 31–5. <https://elibrary.ru/waozrl>
- Романов Р.В., Кочеткова С.С. Разработка параметрической модели технического состояния централизованного водоснабжения. *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2022; (10): 137–40. <https://doi.org/10.24412/2071-6168-2022-10-137-140>
- Новиков М.Г., Продус О.А. Предотвращение вторичного загрязнения воды в централизованных системах водоснабжения при ее транспортировке потребителям. *Водные ресурсы и водопользование*. 2021; 12(215): 17–20. <https://doi.org/10.22227/2305-5502.2022.2.5>
- Воинцева И.И., Новиков М.Г., Продус О.А. Продление периода эксплуатации трубопроводов систем водоснабжения из стальных и чугунных труб. *Инженерные системы. АВОК – Северо-Запад*. 2019; (1): 44–7.
- Чухин В.А., Андрианов А.П. Ускоренная коррозия оцинкованных трубопроводов в системах ГВС. *Сантехника, Отопление, Кондиционирование*. 2019; (7): 22–30. <https://elibrary.ru/ouahts>
- Лукьянчук М.Ю., Горланов В.Н., Гукова Н.В., Морозов Д.А., Портнова Т.М., Шумило Н.М. Методы снижения коррозионной активности питьевой воды: опыт ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга». *Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения*. 2021; (1): 31–9. <https://elibrary.ru/cwuyzjx>
- Продус О.А., Шлыков Д.И., Спицов Д.В. Предотвращение вторичного загрязнения питьевой воды в металлических сетях водоснабжения. *Строительство: наука и образование*. 2022; 12(2): 62–71. <https://doi.org/10.22227/2305-5502.2022.2.5>
- Примин О.Г., Алиференков А.Д., Отставнов А.А. Нормативное обеспечение применения в России труб из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом. *Водоснабжение и санитарная техника*. 2015; (5): 24–30. <https://elibrary.ru/tqstnt>
- Гиннэ С.В. К вопросу о противокоррозионной защите водопроводных труб. *Эпоха науки*. 2018; (15): 89–95. <https://elibrary.ru/ikiqyf>
- Гиннэ С.В., Казанцев Р.В. *Развитие современной науки: тенденции, проблемы, перспективы. Материалы Международной (заочной) научно-практической конференции*. София; 2018: 63–9.
- Лякишев Н.П., ред. *Энциклопедический словарь по металлургии (в 2 томах)*. М.: Интернет Инжиниринг; 2000.
- Алексеева А.В., Савостикова О.Н., Каменецкая Д.Б., Мамонов Р.А. Стенд лабораторно-исследовательский для проведения санитарно-химических исследований металлических материалов и их сплавов, предназначенных для контакта с питьевой водой во время ее подготовки, хранения и распределения. Патент РФ № 2790455 С1; 2023.
- Алексеева А.В., Савостикова О.Н. Гигиеническая оценка возможности применения полиуретановых покрытий в практике питьевого водоснабжения. *Гигиена и санитария*. 2022; 101(5): 487–92. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-5-487-492>
- Алексеева А.В., Савостикова О.Н. Вопросы безопасного использования современных цементных материалов в практике питьевого водоснабжения. *Гигиена и санитария*. 2022; 101(12): 1458–63. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-12-1458-1463>
- Алексеева А.В., Савостикова О.Н. Методические подходы к повышению надежности оценки факторов риска здоровью при использовании полимерных материалов в системе питьевого водоснабжения. *Анализ риска здоровью*. 2022; (2): 38–47. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2022.2.04>
- Алексеева А.В., Савостикова О.Н., Мамонов Р.А. Сравнительный анализ методов оценки возможности применения полимерных материалов в питьевом водоснабжении, закрепленных в законодательствах России и Германии. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2019; (10-2): 263–7. <https://elibrary.ru/uvsrgo>

## References

- Shuvalov M.V., Tarakanov D.I. Using pipes from various materials for water supply pipe line network. *Gradostritel'stvo i arkhitektura*. 2023; 13(1): 53–9. <https://doi.org/10.17673/Vestnik.2023.01.07> (in Russian)
- Zhilin V.N., Il'in D.N. Protection of water and heating systems from corrosion and deposits without water treatment. *Voda i ekologiya: problemy i resheniya*. 2009; (3): 36–43. <https://elibrary.ru/pmsqdz> (in Russian)
- Lapshin A.P., Ignat'eva L.P. Qualitative composition of drinking water at the purification and transportation stages. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*. 2016; (6): 31–5. <https://elibrary.ru/waozrl> (in Russian)
- Romanov R.V., Kochetkova S.S. Development of a parametric model of the technical condition of centralized water supply. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*. 2022; (10): 137–40. <https://doi.org/10.24412/2071-6168-2022-10-137-140> (in Russian)
- Novikov M.G., Prodous O.A. Prevention of secondary pollution of drinking water in water supply networks made of metals. *Vodnye resursy i vodopol'zovanie*. 2021; 12(215): 17–20. <https://doi.org/10.22227/2305-5502.2022.2.5> (in Russian)

6. Vointseva I.I., Novikov M.G., Prodous O.A. Extension of the service life of pipelines of water supply systems made of steel and cast-iron pipes. *Inzhenernye sistemy. AVOK – Severo-Zapad.* 2019; (1): 44–7. (in Russian)
7. Chukhin V.A., Andrianov A.P. Accelerated corrosion of galvanized piping in domestic hot water systems. *Santekhnika, Otoplenie, Konditsionirovaniye.* 2019; (7): 22–30. <https://elibrary.ru/ouahts> (in Russian)
8. Mohammadi A., Dobaradaran S., Schmidt T.C., Malakootian M., Spitz J. Emerging contaminants migration from pipes used in drinking water distribution systems: a review of the scientific literature. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 2022; 29(50): 75134–60. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-23085-7>
9. Zietz B.P., Lass J., Dunkelberg H., Suchenwirth R. Die Bleibelastung des niedersächsischen Trinkwassers verursacht durch Korrosion von Rohrleitungsmaterialien. *Gesundheitswesen.* 2009; 71(5): 265–74. <https://doi.org/10.1055/s-0029-1202325> (in German)
10. Dietrich A.M., Glindemann D., Pizarro F., Gidi V., Olivares M., Araya M., et al. Health and aesthetic impacts of copper corrosion on drinking water. *Water Sci. Technol.* 2004; 49(2): 55–62.
11. Gerke T.L., Scheckel K.G., Maynard J.B. Speciation and distribution of vanadium in drinking water iron pipe corrosion by-products. *Sci. Total. Environ.* 2010; 408(23): 5845–53. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.08.036>
12. Gerke T.L., Little B.J., Luxton T.P., Scheckel K.G., Maynard J.B. Strontium concentrations in corrosion products from residential drinking water distribution systems. *Environ. Sci. Technol.* 2013; 47(10): 5171–7. <https://doi.org/10.1021/es4000609>
13. Zhang S., Tian Y., Guo Y., Shan J., Liu R. Manganese release from corrosion products of cast iron pipes in drinking water distribution systems: Effect of water temperature, pH, alkalinity,  $\text{SO}_4^{2-}$  concentration and disinfectants. *Chemosphere.* 2021; 262: 127904. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127904>
14. Hsu C.H., Ng D.Q., Lin Y.P. Release of lead, copper, zinc from the initial corrosion of brass water meter in drinking water: Influences of solution composition and electrochemical characterization. *Environ. Pollut.* 2024; 352: 124154. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.124154>
15. Gao J., Liu Q., Song L., Shi B. Risk assessment of heavy metals in pipe scales and loose deposits formed in drinking water distribution systems. *Sci. Total. Environ.* 2019; 652: 1387–95. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.347>
16. Zhang S., Zhao W., Jia S., Wei L., Zhou L., Tian Y. Study on release and occurrence of typical metals in corrosion products of drinking water distribution systems under stagnation conditions. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 2023; 30(6): 15217–29. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-23151-0>
17. Fu Z., Xi S. The effects of heavy metals on human metabolism. *Toxicol. Mech. Methods.* 2020; 30(3): 167–76. <https://doi.org/10.1080/15376516.2019.1701594>
18. Renu K., Chakraborty R., Myakali H., Koti R., Famurewa A.C., Madhyastha H., et al. Molecular mechanism of heavy metals (Lead, Chromium, Arsenic, Mercury, Nickel and Cadmium) – induced hepatotoxicity – a review. *Chemosphere.* 2021; 271: 129735. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.129735>
19. Spungen J.H. Children's exposures to lead and cadmium: FDA total diet study 2014–16. *Food Addit. Contam. Part A Chem. Anal. Control. Expo. Risk Assess.* 2019; 36(6): 893–903. <https://doi.org/10.1080/19440049.2019.1595170>
20. Lukyanchuk M.Yu., Gorlanov V.N., Gukova N.V., Morozov D.A., Portnova T.M., Shumilo N.M. Methods for reducing the corrosiveness of drinking water: the experience of the State Enterprise «Vodokanal of St. Petersburg». *Nailuchshie dostupnye tekhnologii vodosnabzheniya i vodoobravleniya.* 2021; (1): 31–9. <https://elibrary.ru/cwyjzx> (in Russian)
21. Prodous O.A., Shlychkov D.I., Spitsov D.V. Prevention of secondary contamination of drinking water in metal water supply networks. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie.* 2022; 12(2): 62–71. <https://doi.org/10.22227/2305-5502.2022.2.5> (in Russian)
22. Primin O.G., Aliferenkov A.D., Ostavnov A.A. Regulatory support of ductile iron pipe use in Russia. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika.* 2015; (5): 24–30. <https://elibrary.ru/tqstnt> (in Russian)
23. Ginne S.V. On the issue of anti-corrosion protection of water pipes. *Epoka nauki.* 2018; (15): 89–95. <https://elibrary.ru/ikiqyf> (in Russian)
24. Ginne S.V., Kazantsev R.V. *Development of Modern Science: Trends, Problems, Prospects. Materials of the International (Correspondence) Scientific and Practical Conference [Razvitiye sovremennoi nauki: tendentsii, problemy, perspektivy. Materialy Mezhdunarodnoi (zaochnoi) nauchno-prakticheskoi konferentsii]. Sofiya; 2018: 63–9.* (in Russian)
25. Lyakishev N.P., ed. *Encyclopedic Dictionary of Metallurgy (in 2 Volumes) [Entsiklopedicheskii slovar' po metallurgii (v 2 tomakh)].* Moscow: Intermet Inzhiniring; 2000. (in Russian)
26. Alekseeva A.V., Savostikova O.N., Kamenetskaya D.B., Mamonov R.A. Laboratory and research stand for sanitary and chemical studies of metal materials and their alloys intended for contact with drinking water during its preparation, storage and distribution. Patent RU 2790455 C1; 2023. (in Russian)
27. Alekseeva A.V., Savostikova O.N. Hygienic assessment of the possibility of using polyurethane coatings in the practice of drinking water supply. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal).* 2022; 101(5): 487–92. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-5-487-492> <https://elibrary.ru/jrjss> (in Russian)
28. Alekseeva A.V., Savostikova O.N. Problems of the safe use of modern cement materials in the practice of drinking water supply. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal).* 2022; 101(12): 1458–63. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-12-1458-1463> <https://elibrary.ru/etxdhx> (in Russian)
29. Alekseeva A.V., Savostikova O.N. Methodical approaches to raising the reliability of health risk assessment when using polymer materials in drinking water supply. *Health Risk Analysis.* 2022; (2): 38–47. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2022.2.04.eng>
30. Alekseeva A.V., Savostikova O.N., Mamonov R.A. Methodical issues of assessment of possibility of application in drinking water supply of polymeric materials. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovanii.* 2019; (10–2): 263–7. <https://elibrary.ru/uyvsgo> (in Russian)

## Сведения об авторах

**Алексеева Анна Венидиктовна**, начальник отд. гигиены, ФГБУ «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровья» ФМБА России, 119121, Москва, Россия. E-mail: AAlekseeva@cspmz.ru

**Каменецкая Дарья Борисовна**, вед. науч. сотр., ФГБУ «ЦСП» ФМБА России, 119121, Москва, Россия. E-mail: DKamenetskaya@cspmz.ru

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

## Information about the authors

**Anna V. Alekseeva**, head of Hygiene department, Centre for Strategic Planning of the Federal medical and biological agency, Moscow, 119121, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-0422-8382> E-mail: AAlekseeva@cspmz.ru

**Darya B. Kamenetskaya**, leading researcher, Centre for Strategic Planning of the Federal medical and biological agency, Moscow, 119121, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-9050-3757> E-mail: DKamenetskaya@cspmz.ru

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