

## Предотвращение вторичного загрязнения питьевой воды в металлических сетях водоснабжения

Олег Александрович Продоус<sup>1</sup>, Дмитрий Иванович Шлычков<sup>2</sup>,  
Дмитрий Владимирович Спицов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ИНКО-эксперт; г. Санкт-Петербург, Россия;

<sup>2</sup> Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет  
(НИУ МГСУ); г. Москва, Россия

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Требованиями действующих нормативных документов гарантируется качество питьевой воды, выходящей из водопроводных очистных сооружений (ВОС). То есть вода, попадающая в водопроводные сети из стальных и чугунных труб из серого чугуна, транспортируется далее к потребителям с качеством, полностью соответствующим стандартам ГОСТ Р 51232-98 «Вода питьевая» и СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». Цель исследования — проанализировать методы предотвращения вторичного загрязнения питьевой воды в металлических сетях водоснабжения и выявить наиболее эффективный, обоснованный на практике.

**Материалы и методы.** Использованы для анализа понятия — электрохимическая коррозия и микробиологическая коррозия внутренней поверхности труб. В практике водоочистки и обеззараживания питьевой воды известны три метода предотвращения процесса образования слоя отложений на внутренней поверхности труб из стали и серого чугуна: метод использования для обеззараживания питьевой воды сильных окислителей — хлор и гипохлорит натрия; метод повышения уровня pH в питьевой воде; метод использования реагентов, обеспечивающих образование на поверхности слоя отложений микроскопической пленки, способствующих «торможению» процессов электрохимической и микробиологической коррозии на внутренней поверхности труб.

**Результаты.** Выявлен метод предотвращения вторичного загрязнения питьевой воды, подтвержденный 12-летним опытом практического использования на предприятии, эксплуатирующем ВОС и металлические сети подачи и распределения питьевой воды.

**Выводы.** Доказана на практике эффективность метода предотвращения вторичного загрязнения питьевой воды за счет использования реагентов нового поколения, произведенных на основе полигексаметиленгуанидина гидрохлорида.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** трубы из стали и серого чугуна, слой внутренних отложений, вторичное загрязнение, метод предотвращения, микробиологическая коррозия, электрохимическая коррозия, питьевая вода, вторичное загрязнение

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:** Продоус О.А., Шлычков Д.И., Спицов Д.В. Предотвращение вторичного загрязнения питьевой воды в металлических сетях водоснабжения // Строительство: наука и образование. 2022. Т. 12. Вып. 2. Ст. 5. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2022.2.5

Автор, ответственный за переписку: Дмитрий Иванович Шлычков, [ShlyichkovDI@mgsu.ru](mailto:ShlyichkovDI@mgsu.ru).

## Prevention of secondary pollution of drinking water in water supply networks made of metals

Oleg A. Prodous<sup>1</sup>, Dmitriy I. Shlychikov<sup>2</sup>, Dmitriy V. Spitsov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> INCO-expert; St. Petersburg, Russian Federation;

<sup>2</sup> Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);  
Moscow, Russian Federation

### ABSTRACT

**Introduction.** The requirements of current regulatory documents guarantee the quality of drinking water leaving water treatment facilities (WTF). Hence, the water, coming into water supply networks, made of steel and cast iron pipes, made of gray-cast iron, is transported to consumers. Its quality must meet the standards of GOST R (Russian National Standard) 51232-98 "Drinking water" and SanPiN (Sanitary Regulations and Norms) 1.2.3685-21 "Hygienic standards and requirements to ensure the safety and (or) harmlessness of habitat factors for people". The aim of the study is to analyze methods of preventing secondary pollution of drinking water in water supply networks, made of metal, and to identify the most effective and practically grounded method.

**Materials and methods.** The concepts of electrochemical corrosion and microbiological corrosion of the inner surface of pipes were used to perform the analysis. Three methods of preventing the formation of a layer of deposits on the inner surface of steel and gray cast-iron pipes are used in the practice of water treatment and disinfection of drinking water: the method of

using strong oxidants, such as chlorine and sodium hypochlorite, for the disinfection of drinking water; the method of increasing the pH level of drinking water; the method of using chemicals to ensure the formation of a microscopic film on the surface of layers of deposits to "slow down" electrochemical and microbiological corrosion processes on the inner surface of pipes.

**Results.** The authors have identified a method for preventing the secondary pollution of drinking water, time-tested by the twelve years of practical use by the operator of WTF and drinking water supply and distribution networks made of metal.

**Conclusions.** The effectiveness of the method of preventing the secondary pollution of drinking water through the use of new generation reagents, made of polyhexamethyleneguanidine hydrochloride, has been proven in practice.

**KEYWORDS:** steel and gray cast-iron pipes, layer of internal deposits, secondary pollution, prevention method, microbiological corrosion, electrochemical corrosion, drinking water

**FOR CITATION:** Prodous O.A., Shlychkov D.I., Spitsov D.V. Prevention of secondary pollution of drinking water in water supply networks made of metals. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education]. 2022; 12(2):5. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2022.2.5

*Corresponding author:* Dmitry I. Shlychkov, [SHlyichkovDI@mgsu.ru](mailto:SHlyichkovDI@mgsu.ru).

## ВВЕДЕНИЕ

Требованиями действующих нормативных документов гарантируется качество питьевой воды, выходящей из водопроводных очистных сооружений (ВОС). То есть вода, попадающая в водопроводные сети из стальных и чугунных труб из серого чугуна, транспортируется далее к потребителям с качеством, полностью соответствующим стандартам ГОСТ Р 51232-98<sup>1</sup> «Вода питьевая» и СанПиН 1.2.3685-21<sup>2</sup> «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

Потребители питьевой воды могут находиться от ВОС на достаточно большом расстоянии. Вода, транспортируемая к потребителям по металлическим трубам из стали и серого чугуна, может изменять значения качественных характеристик за счет взаимодействия при своем движении со слоем отложений на внутренней поверхности труб, образованным в процессе их эксплуатации [1–4]. Следствием этого являются жалобы потребителей воды на возникновение повышенного содержания железа, мутности, цветности, запаха, гигиенической опасности и др., т.е. вторичных загрязнений, нарушающих требования действующих нормативов.

Под вторичным загрязнением питьевой воды следует понимать изменение ее качественных характеристик, регламентированных стандартами ГОСТ Р 51232-98 «Вода питьевая» и СанПиН 1.2.3685-21. Качественные характеристики изменяются за счет взаимодействия воды со слоем отложений на внутренней поверхности труб в процессе их эксплуатации.

По официальным данным Минстроя РФ<sup>3</sup>, в настоящее время в стране эксплуатируется бо-

лее 583 тыс. км сетей водоснабжения. Примерно 300 тыс. км из которых выполнены из стальных и чугунных труб из серого чугуна [1]. Установлено, что трубы из таких материалов в процессе своего жизненного цикла «Эксплуатация» подвержены образованию на их внутренней поверхности слоя комплексных отложений, зависящих от качества воды, как показано на рис. 1.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Интенсивность образования слоя таких отложений на стенках металлических труб зависит, прежде всего, от характеристик транспортируемой по ним воды, диаметра труб и скорости ее движения (гидравлического режима) [2–4]. При этом качество воды, выходящей из ВОС, всегда соответствует требованиям ГОСТ Р 51232.98 «Вода питьевая». Однако по мере перемещения воды в самую отдаленную точку к потребителю ее качество (характеристики) может изменяться за счет контакта со слоем образований на внутренней поверхности труб, состоящего из продуктов электрохимической и микробиологической коррозии (рис. 2).

Поэтому проблема вторичного загрязнения питьевой воды в металлических сетях водоснабжения приобретает все большую остроту и актуальность [5]. Важность проблемы вторичного загрязнения питьевой воды подтверждается также тем, что до настоящего времени практически не изучены возможные последствия наличия в воде вторичных загрязнений и последствия их влияния на организм человека. Для этого требуется:

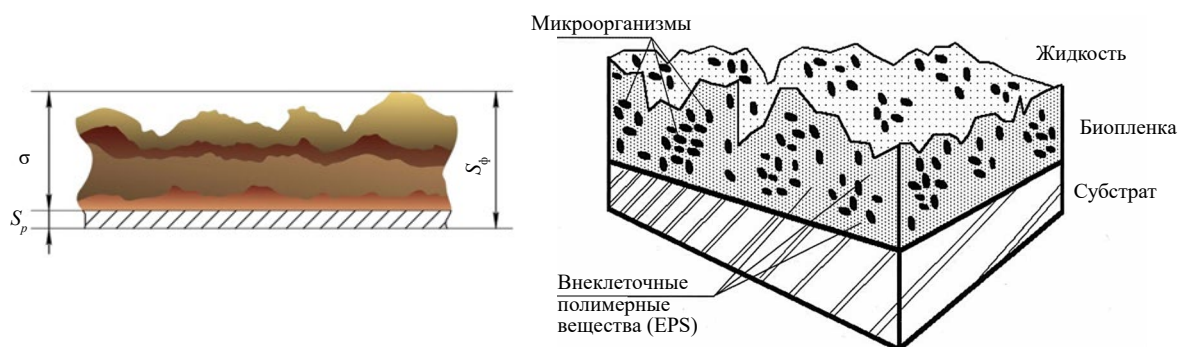


**Рис. 1.** Фрагмент отложений на внутренней поверхности стальных (а) и чугунных (б) труб

<sup>1</sup> ГОСТ Р 51232-98. Вода питьевая. Общие требования к организации и методам контроля качества. Дата введения 01.07.1999.

<sup>2</sup> Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»: Постановление от 28.01.2021 № 2 главного государственного санитарного врача Российской Федерации.

<sup>3</sup> Письмо Минстроя России от 25.03.2021 № 11797-ОЛ/04.



**Рис. 2.** Модель строения биопленки обрастания:  $\sigma$  — толщина слоя отложений;  $S_p$  — толщина стенки по ГОСТ;  $S_\phi$  — толщина стенки трубы со слоем отложений

- классифицировать вторичные загрязнения в питьевой воде;
- установить причины их образования;
- разработать способы (методы) предотвращения вторичных загрязнений.

Рассмотрим процесс образования слоя из продуктов электрохимической и микробиологической коррозии более подробно.

**Электрохимическая коррозия**, в первую очередь, обусловлена агрессивностью транспортируемой воды с низкими значениями pH. Такая вода содержит значительное количество углекислоты, кислорода, сульфатов, хлоридов и пр. При этом использование гипохлорита натрия в процессе обеззараживания воды не обеспечивает нейтрализацию биопленок на внутренней поверхности труб, а наоборот, способствует интенсификации коррозионных процессов из-за обязательного попадания в воду хлорид-ионов [6].

Микробиологическая коррозия, в свою очередь, обусловлена наличием в потоке питьевой воды микроорганизмов, которые приживаются, размножаются на внутренней поверхности труб и образуют биопленку, наличие которой инициирует обрастание, в процессе биоценоза в ней приживаются разнообразные водоросли, бактерии, вирусы, грибы, простейшие и прочая микробиота<sup>4</sup> [7, 8].

Имеются данные о том, что наличие в воде микроорганизмов также способствует интенсификации процессов электрохимической коррозии [9].

Для обеззараживания питьевой воды, транспортируемой по металлическим трубопроводам, и борьбы с биообрастанием в отечественной и зарубежной практике широко используются различные окислители, преимущественно хлор или гипохлорит натрия. Эти окислители обладают существенными недостатками — возможностью образования в виде канцерогенных и других токсических продуктов, являющихся вторичным загрязнением, инициирующим также развитие злокачественных новообразований в организме человека. Кроме того, у микроорганизмов, живущих в слое отложений на внутренней поверхности труб, вырабатывается резистентность к хлору, что

свидетельствует о эпидемической опасности питьевой воды<sup>5</sup> [9, 10]. Применяемые для обеззараживания воды хлор и гипохлорит натрия — достаточно токсичные и способствуют также биообрастанию [11].

В практике водоочистки и обеззараживания питьевой воды известны три метода предотвращения процесса образования слоя отложений на внутренней поверхности труб из стали и серого чугуна:

- метод использования для обеззараживания питьевой воды сильных окислителей: хлора и гипохлорит натрия;
- метод повышения уровня pH в питьевой воде;
- метод использования реагентов, обеспечивающих образование на поверхности слоя отложений микроскопической пленки, способствующих «торможению» процессов электрохимической и микробиологической коррозии на внутренней поверхности труб.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Два первых метода подробно изучены, относительно третьего метода следует отметить следующее.

К настоящему времени группой российских ученых и специалистов компании ООО НПО «ЭкоМир» для использования в области водоочистки был разработан на основе полигексаметиленгуанидина гидрохлорида (ПГМГ-ГХ) широкий спектр комплексных реагентов нового поколения, обладающих не только высокими флокулирующими и обеззараживающими свойствами, но и позволяющими в том числе устранять биообрастание в трубопроводной системе [2, 12].

Благодаря макромолекулярной природе и удачному сочетанию комплекса свойств (поверхностная активность, большой положительный заряд, высокая молекулярная масса) указанные реагенты обладают хорошей адгезией к поверхностям различной физико-химической природы, формируя на них адсорбционную пленку. Характерной особенностью этой пленки является то обстоятельство, что полимерная цепь ПГМГ-ГХ (входящего в состав реаген-

<sup>4</sup> Guidelines for drinking-water quality: First Addendum to Four Edition. Geneva, Switzerland : WHO, 2017. 541 p.

<sup>5</sup> Руководство по контролю качества питьевой воды. Рекомендации. Второе издание. Т. 1. Женева : ВОЗ, 1994. 258 с.

тов нового поколения) связывается с поверхностью лишь за счет 10–15 % своих звеньев, а остальные звенья полимерной цепи остаются свободными в виде «хвостов» и «петель», способных к эффективному взаимодействию с микроорганизмами, в связи с чем реагенты обладают высокой биоцидной активностью даже при очень низких концентрациях действующего вещества [13].

Сформировавшаяся адсорбционная пленка характеризуется большим положительным зарядом, в связи с чем притягивает к себе отрицательно заряженные клетки присутствующих в воде микроорганизмов и далее, вступая во взаимодействие с мембранами их клеток, разрушает их, подавляя тем самым биоценоз обрастания, соответственно, процесс биокоррозии [14, 15].

Следует отметить, что образованная на внутренней поверхности трубопроводов адсорбцион-

ная пленка (за счет использования в процессах водоочистки реагентов нового поколения) одновременно и защищает их от контакта с коррозионно-активной водой [16, 17].

На основании данных (табл.), полученных от МУП «Водоканал», относительно снижения содержания растворенного железа в водопроводной сети одного из районов г. Череповец за период с 2011 по 2017 гг. можно сделать вывод о том, что метод использования реагентов, обеспечивающих образование на поверхности слоя отложений микроскопической пленки, способствующей торможению процессов электрохимической и микробиологической коррозии, — наиболее предпочтительный, так как свидетельствует о практически полном предотвращении вторичного загрязнения питьевой воды [18–21].

Содержание остаточного железа, мг/л

| Адрес                                                     | Год         |      |      |            |            |              |
|-----------------------------------------------------------|-------------|------|------|------------|------------|--------------|
|                                                           | 2011        | 2013 | 2014 | 2015       | 2016       | 2017         |
| ВОС, насосная II подъема — камера № 2 (на выходе в город) | Менее 0,05  | 0,07 | 0,05 | Менее 0,05 | Менее 0,05 | Менее 0,05   |
| <i>Зашекснинский район</i>                                |             |      |      |            |            |              |
| ПГ Рыбинская, 52а                                         | <b>0,50</b> | 0,16 | 0,09 | 0,09       | 0,07       | <b>0,06</b>  |
| ПГ Раахе, 64                                              | <b>0,36</b> | 0,27 | 0,25 | 0,18       | 0,19       | <b>0,18</b>  |
| ПГ Монт-Клер-Сазонова                                     | <b>0,33</b> | 0,28 | 0,24 | 0,24       | 0,23       | <b>0,21</b>  |
| ПГ Городецкая, 4                                          | <b>0,30</b> | 0,26 | 0,21 | 0,19       | 0,17       | <b>0,19</b>  |
| ПГ Любецкая, 13                                           | <b>0,37</b> | 0,19 | 0,14 | 0,12       | 0,11       | <b>0,11</b>  |
| ПГ Городецкая, 22                                         | <b>0,35</b> | 0,07 | 0,09 | 0,08       | 0,21       | <b>Следы</b> |
| ПГ Годовикова, 4                                          | <b>0,61</b> | 0,28 | 0,27 | 0,23       | 0,29       | <b>0,21</b>  |
| ПГ Ленинградская, 17                                      | <b>0,69</b> | 0,13 | 0,08 | 0,07       | 0,09       | <b>0,07</b>  |
| ПГ Ленинградская, 36                                      | <b>0,38</b> | 0,24 | 0,16 | 0,12       | 0,10       | <b>0,10</b>  |
| ПГ Шекснинский, 25                                        | <b>0,39</b> | 0,18 | 0,15 | 0,14       | 0,13       | <b>0,12</b>  |
| ПГ Рыбинская, 34                                          | <b>0,54</b> | 0,19 | 0,16 | 0,15       | 0,13       | <b>0,12</b>  |

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

На основании представленной информации можно сделать следующие выводы:

- требуется на государственном уровне поставить вопрос о разработке целевой программы исследований о влиянии на здоровье населения продуктов, выделяемых из слоя отложений в металлических водопроводных сетях;
- разработать и утвердить законодательно комплекс мер, предотвращающих возможность вторичного загрязнения питьевой воды;

- разработать нормативные требования, обеспечивающие уровень снижения использования в водопроводных сетях металлических труб из стали и серого чугуна;

- не допускать согласование проектов в государственной экспертизе, в которых используются стальные трубы и трубы из серого чугуна;

- установить законодательно необходимость обоснования выбора вида материалов труб, используемых в сетях водоснабжения и водоотведения.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Воинцева И.И., Новиков М.Г., Продоус О.А. Продление периода эксплуатации трубопроводов систем водоснабжения из стальных и чугунных труб // Инженерные системы. АВОК – Северо-Запад. 2019. № 1. С. 44–47.

2. Новиков М.Г., Продоус О.А. Эффективные пути устранения микробиологической коррозии внутренней поверхности металлических трубопроводов при одновременном существенном снижении скорости их электрохимической коррозии // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2017. № 12 (120). С. 40–43.

3. Новиков М.Г., Продоус О.А. Предотвращение вторичного загрязнения воды в централизованных системах водоснабжения при ее транспортировке потребителям // Водные ресурсы и водопользование. 2021. № 12 (215). С. 17–20.

4. Воинцева И.И., Ильин С.Н., Конкина Л.А., Макарова Н.М. Инновационные технологии водоподготовки на комплексе водоочистных сооружений МУП «Водоканал» г. Череповца с использованием обеззараживающих средств на основе полигексаметиленгуанидин гидрохлорида (ПГМГ-ГХ) // Вода: химия и экология. 2016. № 3 (93). С. 28–35.

5. Pervov A.G., Shirkova T.N. Treatment of municipal waste landfill leachate with low pressure reverse osmosis and nanofiltration membranes // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 864. Issue 1. P. 012047. DOI: 10.1088/1755-1315/864/1/012047

6. Burlingame G.A., Lytle D.A., Shoeyink V.L. Why red water? Understanding iron release in distribution systems // Opflow. 2006. Vol. 32. Issue 12. Pp. 12–16. DOI: 10.1002/j.1551-8701.2006.tb01905.x

7. Рябчиков Б.Е. Современная водоподготовка. М.: ДеЛи плюс, 2013. 679 с.

8. Черкинский С.Н., Беляев И.И., Габович Р.Д. и др. Руководство по гигиене водоснабжения. М.: Медицина, 1975. 328 с.

9. Mokhov A.I., Komarov N.M., Abrosimova I.A. Information model of intelligent support for effective decisions // Building Life-cycle Management. Information

Systems and Technologies. 2022. Pp. 191–198. DOI: 10.1007/978-3-030-96206-7\_20

10. Van Dael T., Xia L., Van Dijck K., Potemans S., Smolders E. Internal loading of phosphate in rivers reduces at higher flow velocity and is reduced by iron rich sand application: an experimental study in flumes // Water Research. 2021. Vol. 198. P. 117160. DOI: 10.1016/j.watres.2021.117160

11. Менга М.Н. Биообрастание в системах питьевого водоснабжения и способы борьбы с ним // АКВА-magazine. 2008. № 1 (6). С. 12–21.

12. Новиков М.Г., Воинцева И.И. Преимущества применения ПГМГ-ГХ в процессах обеззараживания и очистки воды, предназначенной для хозяйственно-питьевых целей // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2017. № 3 (111). С. 40–45.

13. Prodous O.A., Shlychikov D.I. Recommended dependence for hydraulic calculation of gravity drainage networks in order to improve the ecological well-being of cities // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 937. Issue 4. P. 042021. DOI: 10.1088/1755-1315/937/4/042021

14. Shi X., Nazari M.H. A comparison between the effects of different deicers on external corrosion of buried pipes // Proceedings of 1st Corrosion and Materials Degradation Web Conference. 2021. DOI: 10.3390/cmdwc2021-09999

15. Ko J., Park J., Jeong J.W. Energy saving potential of a model-predicted frost prevention method for energy recovery ventilators // Applied Thermal Engineering. 2021. Vol. 185. P. 116450. DOI: 10.1016/j.applthermeng.2020.116450

16. Степанов М.А., Примин О.Г. Проблемы надежности трубопроводов систем водоснабжения и водоотведения и пути их решения // Водоснабжение и санитарная техника. 2021. № 10. С. 7–15. DOI: 10.35776/VST.2021.10.01

17. Akhi A.H. Fracture parameters for buried cast iron pipes subjected to internal and external corrosions and crackings : masters thesis. Memorial University of Newfoundland, 2021.

18. Chen J., Zhang H., Liu L., Zhang J., Cooper M., Mortimer R.J. G. et al. Effects of elevated sulfate in eutrophic waters on the internal phosphate release under oxic conditions across the sediment-water interface // *Science of the Total Environment*. 2021. Vol. 790. P. 148010. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.148010

19. Алексеев Л.С., Гладкова Е.В., Ивлева Г.А., Пономарчук К.Р. Инженерные системы водоснабжения и водоотведения. Часть 1. Профилактика повреждения коммуникаций и вторичного загрязнения воды : учебник. М., 2012. 148 с.

20. Продоус О.А., Терехов Л.Д., Якубчик П.П., Черных А.С. Техническое регулирование значений гидравлических параметров неновых металлических труб для продления периода их использования // *Известия Петербургского университета путей сообщения*. 2021. Т. 18. № 3. С. 421–427. DOI: 10.20295/1815-588X-2021-3-421-427

21. Бахир В.М. Дезинфекция питьевой воды: проблемы и решения // *Питьевая вода*. 2003. № 1. С. 13–20.

Поступила в редакцию 27 мая 2022 г.

Принята в доработанном виде 31 мая 2022 г.

Одобрена для публикации 31 мая 2022 г.

**ОБ АВТОРАХ:** **Олег Александрович Продоус** — доктор технических наук, профессор, генеральный директор; **ИНКО-эксперт**; 190005, г. Санкт-Петербург, Московский пр., д. 37/1, лит. А, пом. 1-Н; РИНЦ ID: 837891, ORCID: 0000-0003-0389-3695; pro@enco.su;

**Дмитрий Иванович Шлычков** — кандидат технических наук, доцент кафедры водоснабжения и водоотведения; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 536457, Scopus: 57208301494, ResearcherID: AAC-2275-2022, ORCID: 0000-0003-0210-2695; SHlyichkovDI@mgsu.ru;

**Дмитрий Владимирович Спицов** — кандидат технических наук, доцент, директор Института инженерно-экологического строительства и механизации; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 531559, Scopus: 57205396678, ResearcherID: AAD-7489-2022, ORCID: 0000-0001-6252-9485; SpitsovDV@mgsu.ru.

*Вклад авторов:*

*Продоус О.А. — научное руководство, концепция исследования, развитие методологии.*

*Шлычков Д.И. — участие в разработке учебных программ и их реализации, развитие методологии, итоговые выводы, научное редактирование.*

*Спицов Д.В. — развитие методологии, обработка материала, написание исходного текста.*

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

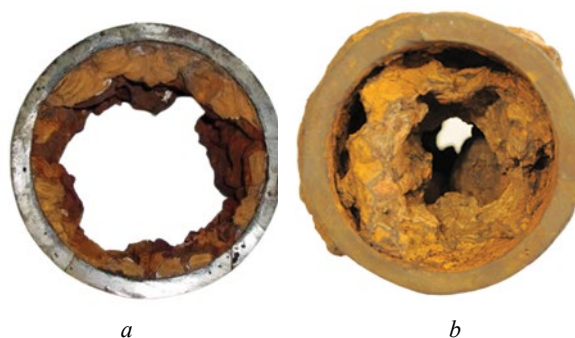
## INTRODUCTION

The requirements of current regulatory documents guarantee the quality of drinking water leaving water treatment facilities (WTF). Hence, the water, coming into water supply networks, made of steel and cast iron pipes, made of gray-cast iron, is transported to consumers. Its quality must meet the standards of GOST R (Russian National Standard) 51232-98<sup>1</sup> “Drinking water” and SanPiN (Sanitary Regulations and Norms) 1.2.3685-21<sup>2</sup> “Hygienic standards and requirements for the safety and (or) harmlessness of habitat factors for people”.

<sup>1</sup> GOST R 51232-98. Drinking water. General requirements for the organization and methods of quality control. Date of introduction 01.07.1999.

<sup>2</sup> On approval of sanitary regulations and norms SanPiN 1.2.3685-21 “Hygienic standards and requirements for the safety and (or) harmlessness of habitat factors for people”: Resolution No. 2 of January 28, 2021 issued by Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation.

Consumers of drinking water can be located at a long distance from WTFs. Water transported to consumers through metal pipes, made of steel and gray-cast iron, can change the values of quality characteristics due to the interaction with layers of deposits on the inner surface of pipes [1–4]. The consequence is the complaints of water consumers about the high iron content, turbidity, colour, odour, hygienic hazard,



**Fig. 1.** Fragment of deposits on the inner surface of steel (a) and cast-iron (b) pipes

etc., or the secondary pollution that violates the requirements of current standards.

The secondary pollution of drinking water should be understood as a change in its qualitative characteristics, regulated by standards of GOST R (Russian National Standard) 51232-98 “Drinking water” and San-PiN (Sanitary Regulations and Norms) 1.2.3685-21. Qualitative characteristics change due to the interaction between water and a layer of deposits on the inner surface of the pipe during its operation.

According to the official data, provided by the Ministry of Construction of the Russian Federation<sup>3</sup>, over 583 thousand kilometers of water supply networks are in operation in the country. Approximately 300 thousand kilometers are made of steel and gray cast-iron pipes [1]. It’s been found that during their life cycle known as “Operation”, pipes, made of such materials, are subject to formation of a layer of complex deposits on their inner surface, depending on the water quality, as shown in Fig. 1.

## MATERIALS AND METHODS

The intensity of formation of such a layer of deposits on the walls of metal pipes mainly depends on the characteristics of water transported through them, the diameter of pipes and the water velocity (the hydraulic mode) [2–4]. Notably, the quality of water, coming out of WTF, always meets the requirements of GOST R 51232.98 “Drinking water”. However, as water moves to the farthest point to the consumer, its quality (characteristics) may change due to a contact with a layer of deposits on the inner surface of pipes, consisting of products of electrochemical and microbiological corrosion (Fig. 2).

Therefore, the problem of the secondary pollution of drinking water in metal water supply networks is becoming increasingly acute and urgent [5]. The importance of the problem of the secondary pollution of drinking water is also evidenced by the fact that so far very few potential consequences

of the presence of secondary contaminants in water as well as consequences of their impact on a human body have been studied. Hence, we need to:

- classify secondary contaminants in drinking water;
- identify the causes of their formation;
- develop ways (methods) to prevent secondary pollution.

Let’s consider the process of formation of a layer of electrochemical and microbiological corrosion products in more detail.

**Electrochemical corrosion** is primarily caused by the aggressiveness of transported water with low pH values. Such water contains large amounts of carbon dioxide, oxygen, sulfates, chlorides, etc. Moreover, sodium hypochlorite, used to disinfect water, does not neutralize biofilms on the inner surface of pipes. On the contrary, it intensifies corrosion processes due to the inevitable ingress of chloride ions into the water [6].

In turn, microbiological corrosion is triggered by the presence of microorganisms in the flow of drinking water, which oecize and multiply on the inner surface of pipes and form a biofilm, the presence of which initiates fouling. In the process of biocoenosis a variety of algae, in which bacteria, viruses, fungi, protozoa and other microbiota take root<sup>4</sup> [7, 8].

There is evidence that the presence of microorganisms in water also contributes to the intensification of electrochemical corrosion processes [9].

Various oxidants, mainly chlorine or sodium hypochlorite, are widely used in domestic and foreign practice to disinfect drinking water transported by metal pipelines and to combat biofouling. These oxidants have significant disadvantages, including the possibility of formation of carcinogenic and other toxic products, which are the secondary pollution, that may trigger the development of malignant tumours in a human body. In addition, microorganisms, living in the layer of deposits on the inner surface of pipes, develop resistance to chlorine, which indicates the epi-

<sup>3</sup> Letter issued by the Ministry of Construction of the Russian Federation No. 11797-OL/04 of March 25, 2021.

<sup>4</sup> Guidelines for drinking-water quality: First Addendum to Fourth Edition. Geneva, Switzerland. WHO, 2017; 541.

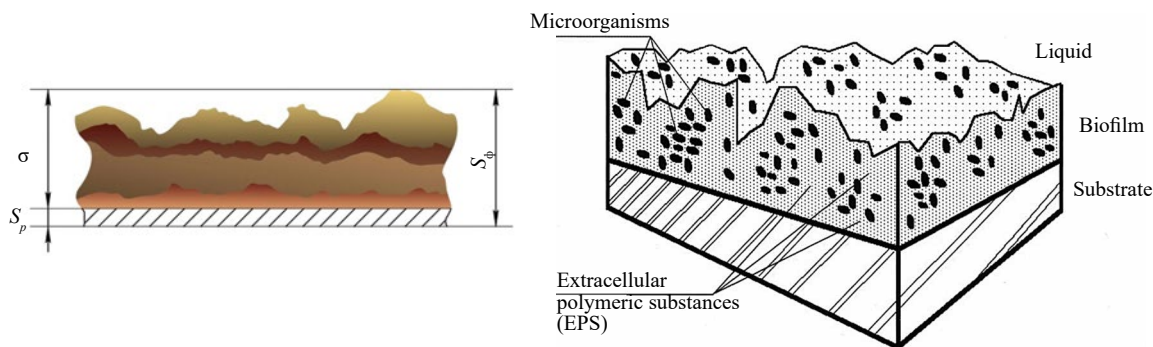


Fig. 2. The biofilm structure model:  $\sigma$  is the sediment layer thickness;  $S_p$  is the wall thickness according to GOST;  $S_\phi$  is the wall thickness of the pipe with a layer of deposits

demic danger of drinking water<sup>5</sup> [9, 10]. Chlorine and sodium hypochlorite, used for water disinfection, are quite toxic and also contribute to biofouling [11].

There are three methods of preventing the formation of a layer of deposits on the inner surface of steel and gray cast-iron pipes that are well-known in the practice of water treatment and disinfection of drinking water:

- the method of using strong oxidants, such as chlorine and sodium hypochlorite, for disinfection of drinking water;
- the method of increasing the pH level of drinking water;
- the method of using reagents to ensure the formation of a microscopic film on the surface of a layer of deposits. The film is to “decelerate” electrochemical and microbiological corrosion processes on the inner surface of pipes.

## RESEARCH RESULTS

The first two methods have been studied in detail and the following explanations can be made in respect of the third method.

To date, a group of Russian researchers and specialists, employed with EcoMir Research and Pro-

duction Association, has developed a wide range of advanced complex reagents based on polyhexamethyleneguanidine hydrochloride (PHMG-HC), that demonstrate high flocculation and decontaminating properties and also eliminate biofouling in pipeline systems [2, 12].

Due to the macromolecular nature and a successful combination of a set of properties (surface activity, high positive charge, high molecular weight), the above reagents have good adhesion to surfaces of various physical and chemical nature, thus, forming an adsorption film. A characteristic feature of this film is that the polymeric chain of polyhexamethylene guanidine hydrochloride (a part of the new generation reagents) binds to the surface only by 10–15 % of its knots, while the remaining knots of the polymeric chain remain free in the form of “tails” and “loops” capable of effective interaction with microorganisms. Hence, reagents demonstrate high biocidal activity even at very low concentrations of the active substance [13].

The adsorption film is characterized by a high positive charge; therefore, it attracts negatively charged cells of microorganisms present in the water and it destroys them by interacting with their cell membranes, thereby suppressing the fouling biocoenosis, or the process of biocorrosion [14, 15].

It should be noted that the adsorption film formed on the inner surface of pipelines (due to the use of new

<sup>5</sup>Guidelines for drinking water quality control. Recommendations. Second edition. T. 1. Geneva: WHO, 1994. 258 p.

Residual iron content, mg/l

| Address                                                       | Year           |      |      |                |                |                |
|---------------------------------------------------------------|----------------|------|------|----------------|----------------|----------------|
|                                                               | 2011           | 2013 | 2014 | 2015           | 2016           | 2017           |
| WTF, pumping station II — chamber 2 (at the exit to the city) | Less than 0.05 | 0.07 | 0.05 | Less than 0.05 | Less than 0.05 | Less than 0.05 |
| <i>Zasheksninskiy district</i>                                |                |      |      |                |                |                |
| FH (fire hydrant) at 52a Rybinskaya st.                       | <b>0.50</b>    | 0.16 | 0.09 | 0.09           | 0.07           | <b>0.06</b>    |
| FH at 64 Raakhe st.                                           | <b>0.36</b>    | 0.27 | 0.25 | 0.18           | 0.19           | <b>0.18</b>    |
| FH at Mont-Claire-Sazonova st.                                | <b>0.33</b>    | 0.28 | 0.24 | 0.24           | 0.23           | <b>0.21</b>    |
| FH at 4 Gorodetskaya st.                                      | <b>0.30</b>    | 0.26 | 0.21 | 0.19           | 0.17           | <b>0.19</b>    |
| FH at 13 Lyubetskaya st.                                      | <b>0.37</b>    | 0.19 | 0.14 | 0.12           | 0.11           | <b>0.11</b>    |
| FH at 22 Gorodetskaya st.                                     | <b>0.35</b>    | 0.07 | 0.09 | 0.08           | 0.21           | <b>Traces</b>  |
| FH at 4 Godovikova st.                                        | <b>0.61</b>    | 0.28 | 0.27 | 0.23           | 0.29           | <b>0.21</b>    |
| FH at 17 Leningradskaya st.                                   | <b>0.69</b>    | 0.13 | 0.08 | 0.07           | 0.09           | <b>0.07</b>    |
| FH at 36 Leningradskaya st.                                   | <b>0.38</b>    | 0.24 | 0.16 | 0.12           | 0.10           | <b>0.10</b>    |
| FH at 25 Sheksninsky st.                                      | <b>0.39</b>    | 0.18 | 0.15 | 0.14           | 0.13           | <b>0.12</b>    |
| FH at 34 Rybinskaya st.                                       | <b>0.54</b>    | 0.19 | 0.16 | 0.15           | 0.13           | <b>0.12</b>    |

generation reagents in water treatment processes) simultaneously protects them from the contact with corrosive water [16, 17].

Given the data (table) provided by the municipal unitary enterprise “Water Service Company” regarding the reduction of dissolved iron content in the water supply network of one of the districts of Cherepovets in 2011–2017, we can conclude that the method of using reagents that ensure the formation of a microscopic film on the surface of the layer of deposits, contributing to the deceleration of electrochemical and microbiological corrosion processes is the most preferable method, as it indicates almost complete prevention of secondary pollution of drinking water [18–21].

## CONCLUSION AND DISCUSSION

The following conclusions can be made on the basis of the above information:

- it is necessary to raise the issue of developing a targeted research programme on the effect of products, released from the layer of deposits in metal water supply networks, on public health. The effort is to be exerted at the nationwide level;

- a set of measures to prevent the secondary pollution of drinking water must be developed and legislatively approved;

- regulatory requirements, ensuring the level of reduction in the use of steel and gray cast-iron metal pipes in water supply networks, must be developed;

- prevention of approval of the state examination of projects in which steel pipes and gray cast-iron pipes are used;

- the need to justify the choice of materials for pipes, designated for water supply and sanitation networks, must be established by law.

## REFERENCES

1. Vointseva I.I., Novikov M.G., Prodous O.A. Extension of the period of operation of pipelines of water supply systems made of steel and cast iron pipes. *Engineering systems. AVOK – North-West*. 2019; 1:44-47. (rus.).
2. Novikov M.G., Prodous O.A. Effective ways of eliminating microbio-logical corrosion of the inner surface of metal pipes with a simultaneous significant decrease in their rate of electrochemical corrosion. *Water purification. Water treatment. Water supply*. 2017; 12(120):40-43. (rus.).
3. Novikov M.G., Prodous O.A. Prevention of secondary pollution of water in centralized water supply systems during its transportation to consumers. *Water Resources and Water Use*. 2021; 12(215):17-20. (rus.).
4. Vointseva I.I., Ilyin S.N., Konkina L.A., Makarova N.M. Innovative water treatment technologies at water treatment facilities of MUE “Vodokanal” of Cherepovets city with use of disinfecting agents based on polyhexamethylene guanidine hydrochloride (PHMG-HC). *Water: Chemistry and Ecology*. 2016; 3(93):28-35. (rus.).
5. Pervov A.G., Shirkova T.N. Treatment of municipal waste landfill leachate with low pressure reverse osmosis and nanofiltration membranes. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021; 864(1):012047. DOI: 10.1088/1755-1315/864/1/012047
6. Burlingame G.A., Lytle D.A., Snoeyink V.L. Why red water? Understanding iron release in distribution systems. *Opflow*. 2006; 32(12):12-16. DOI: 10.1002/j.1551-8701.2006.tb01905.x
7. Ryabchikov B.E. *Modern water treatment*. Moscow, DeLi plus, 2013; 679. (rus.).
8. Cherkinskii S.N., Belyaev I.I., Gabovich R.D. et al. *Water Hygiene Guide*. Moscow, Medicine, 1975; 328. (rus.).
9. Mokhov A.I., Komarov N.M., Abrosimova I.A. Information Model of Intelligent Support for Effective Decisions. *Building Life-cycle Management. Information Systems and Technologies*. 2022; 191-198. DOI: 10.1007/978-3-030-96206-7\_20
10. Van Dael T., Xia L., Van Dijck K., Potemans S., Smolders E. Internal loading of phosphate in rivers reduces at higher flow velocity and is reduced by iron rich sand application: an experimental study in flumes. *Water Research*. 2021; 198:117160. DOI: 10.1016/j.watres.2021.117160
11. Menga M.N. Biofouling in drinking water supply systems and ways to combat it. *AQUA-magazine*. 2008; 1(6):12-21. (rus.).
12. Novikov M.G., Vointseva I.I. Advantages of PGMG hydrochloride in water disinfection and purification processes intended for drinking purposes. *Water purification. Water treatment. Water supply*. 2017; 3(111):40-45. (rus.).
13. Prodous O.A., Shlychkov D.I. Recommended dependence for hydraulic calculation of gravity drainage networks in order to improve the ecological well-being of cities. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021; 937(4):042021. DOI: 10.1088/1755-1315/937/4/042021
14. Shi X., Nazari M.H. A comparison between the effects of different deicers on external corrosion of buried pipes. *Proceedings of 1st Corrosion and Materials Degradation Web Conference*. 2021. DOI: 10.3390/cmdwc2021-09999
15. Ko J., Park J., Jeong J.W. Energy saving potential of a model-predicted frost prevention method for energy recovery ventilators. *Applied Thermal Engineering*. 2021; 185:116450. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2020.116450
16. Stepanov M., Primin O. Problems of the reliability of water supply and wastewater disposal systems, and ways of solution. *Water Supply and Sanitary Technique*. 2021; 10:7-15. DOI: 10.35776/VST.2021.10.01 (rus.).

17. Akhi A.H. *Fracture parameters for buried cast iron pipes subjected to internal and external corrosions and crackings : masters thesis*. Memorial University of Newfoundland, 2021.

18. Chen J., Zhang H., Liu L., Zhang J., Cooper M., Mortimer R.J. G. et al. Effects of elevated sulfate in eutrophic waters on the internal phosphate release under oxic conditions across the sediment-water interface. *Science of the Total Environment*. 2021; 790:148010. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.148010

19. Alekseev L.S., Gladkova E.V., Ivleva G.A., Ponomarchuk K.R. *Engineering systems of water supply*

and sanitation. Part I. *Prevention of damage to communications and secondary water pollution : textbook*. Moscow, 2012; 148. (rus.).

20. Prodous O.A., Terekhov L.D., Yakubchik P.P., Chernykh A.S. Technical regulation for the values of hydraulic parameters of used metal pipes in order to extend the period of their use. *Proceedings of Petersburg Transport University*. 2021; 18(3):421-427. DOI: 10.20295/1815-588X-2021-3-421-427 (rus.).

21. Bakhir V.M. Disinfection of drinking water: problems and solutions. *Drinking Water*. 2003; 1:13-20. (rus.).

*Received May 27, 2022.*

*Adopted in revised form on May 31, 2022.*

*Approved for publication on May 31, 2022.*

**B I O N O T E S :** **Oleg A. Prodous** — Doctor of Technical Sciences, Professor, General Director; **INCO-expert**; pom. 1-H lit. A, 37/1 Moskovsky pr., St. Petersburg, 190005, Russian Federation; ID RISC: 837891, ORCID: 0000-0003-0389-3695; pro@enco.su;

**Dmitriy I. Shlychkov** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Water Supply and Sanitation; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; 536457, Scopus: 57208301494, ResearcherID: AAC-2275-2022, ORCID: 0000-0003-0210-2695; SHlychkovDI@mgsu.ru;

**Dmitriy V. Spitsov** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Director of the Institute of Engineering and Ecological Construction and Mechanization; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RISC: 531559, Scopus: 57205396678, ResearcherID: AAD-7489-2022, ORCID: 0000-0001-6252-9485; SpitsovDV@mgsu.ru.

*Contribution of the authors:*

*Oleg A. Prodous — scientific leadership, research concept, methodology development.*

*Dmitriy I. Shlychkov — participation in the development of training programs and their implementation, development of methodology, final conclusions, scientific editing.*

*Dmitriy V. Spitsov — development of methodology, processing the material, writing the original text.*

*The authors declare no conflict of interest.*