

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

DOI: 10.15593/2409-5125/2022.02.01

УДК 628.168.3

Р.Э. Баруздин

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-
строительный университет, Санкт-Петербург, Россия

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ КОРРОЗИОННОЙ АКТИВНОСТИ ВОДОПРОВОДНОЙ ВОДЫ

Рассматривается коррозионная активность водопроводной воды Санкт-Петербурга. Исследования проводились в статических условиях на водопроводной воде Санкт-Петербурга и водных вытяжках, полученных в результате контакта исходной воды с гранулированными загрузками «Сорбент МС» и «Кальцит».

Оценка коррозионной активности воды по расчетным индексам Ланжелье и Ризнера является качественной, косвенной и ориентировочной, однако не дает количественных показателей скорости коррозии по отношению к конструкционным материалам трубопроводов и арматуре систем водоснабжения. Для получения показателей общей и питтинговой коррозии воды использовался коррозиметр, принцип работы которого основан на методе линейного поляризационного сопротивления.

Приведены показатели общей и питтинговой коррозии, снятые с помощью коррозиметра, показатели водопроводной воды и водных вытяжек гранулированных загрузок «Сорбент МС» и «Кальцит».

Ключевые слова: коррозионная активность, метод линейного поляризационного сопротивления, водопроводная вода, водная вытяжка, коррозиметр.

Коррозия ухудшает работу трубопроводов, снижает качество воды и зависит от физико-химических показателей: рН, минерализации, содержания кальция, магния, растворенных солей, углекислого газа, кислорода, температуры и содержания бактерий [1–5]. Коррозионную активность оценивают по индексам Ланжелье и Ризнера, которые рассчитываются на основании физико-химических показателей воды.

Формула индекса Ланжелье:

$$J = pH - pH_s, \quad (1)$$

где pH – текущий водородный показатель, а pH_s – водородный показатель, при котором происходит выделение из воды твердой фазы карбоната кальция
 Формула индекса стабильности Ризнера:

$$IP = 2pH_s - pH. \quad (2)$$

Расчетные индексы Ланжелье и Ризнера позволяют оценить характеристику раствора, но не дают количественных показателей коррозии. Чтобы определить показатели общей и питтинговой коррозии, в данной работе был применен метод линейного поляризационного сопротивления.

Принцип действия метода поляризационного сопротивления основан на обратно пропорциональной зависимости между наклоном поляризационной кривой и плотностью тока коррозии при допущении, что коррозионный процесс протекает с кинетическим контролем катодной и анодной реакций. Поляризация ΔE при этом не превышает нескольких милливольт:

$$\frac{\Delta E}{\Delta I} = \frac{ba \cdot bk}{2,3 \cdot I_c \cdot (ba + bk)} = R_p, \quad (3)$$

где ΔI – возникающая анодная или катодная плотность тока при смещении потенциала ΔE на 10–20 мВ, ba и bk – тафельевские наклоны анодного и катодного процессов, I_c – ток коррозии, R_p – поляризационное сопротивление. Если постоянные величины в уравнении $ba \cdot bk / 2,3 \cdot (ba + bk)$ обозначить через B , то уравнение (3) примет вид

$$I_c = B / R_p. \quad (4)$$

На основе метода поляризационного сопротивления АНО ЦНИИКС-ООО «ЭкониКС-Эксперт» создан микропроцессорный универсальный коррозиметр «Эксперт-004» [6; 7], который обеспечивает автоматическое определение показателей равномерной питтинговой коррозии, а также потенциала коррозии металлов, сплавов и покрытий в жидких электропроводных средах и осуществление ряда других коррозионно-электрохимических методик.

Преимущества коррозиметра «Эксперт-004» – высокая чувствительность, широкие диапазоны измерений, сочетание нескольких методик получения основных коррозионных параметров в одном приборе, автоматическое измерение коррозионных показателей в течение длительного времени, введение значений поправочных коэффициентов и площади образцов.

Достоверность методики использования коррозиметра «Эксперт-004» подтверждается сравнением данных гравиметрии. Расхождения гравиметрических и электрохимических данных составляют 5–10 % [8].

Материалы и методы исследования. Исследования проводились с гранулированными материалами «Сорбент МС» и «Кальцит». Рассматриваемые загрузки имеют сертификаты безопасности и допущены к использованию в хозяйственно-питьевой водоподготовке («Сорбент МС»: заключение № 77.16.16.П.002162.06.17 от 14.06.2017; «Кальцит»: заключение № 77.16.16.П.002158.06.17 от 14.06.2017).

«Сорбент МС» (ТУ 2164-002-15055998-2010) представляет собой фильтрующую засыпку для удаления железа, марганца, нефтепродуктов. Физико-химические свойства отвечают требованиям ГОСТ Р 51641-2000. Одним из свойств сорбента является повышение рН воды до 2,5–3,0 единиц в зависимости от исходного значения.

«Кальцит» (ТУ 28.29.12-003-06519513-2017) – минерал из класса природных карбонатов, одна из природных форм карбоната кальция CaCO_3 . Кальцит повышает рН воды на 1,0–1,5 единицы [9–13].

Перед началом исследования проводился физико-химический анализ показателей исходной Невской водопроводной воды. Результаты анализа представлены в табл. 1.

Таблица 1

Физико-химические показатели исходной
Невской водопроводной воды

| № п/п | Показатель | Единицы измерения | Исходная вода |
|-------|-----------------------------|------------------------|---------------|
| 1 | Цветность | град | 32,5 |
| 2 | Общее солесодержание | мг/л | 72,0 |
| 3 | Электропроводность | мкС | 135 |
| 4 | рН | | 6,4 |
| 5 | Щелочность | мг-экв/л | 0,4 |
| 6 | Общая жесткость | мг-экв/л | 0,86 |
| 7 | Кальций | мг/л | 11,4 |
| 8 | Магний | мг/л | 6,9 |
| 9 | Железо общее | мг/л | 0,4 |
| 10 | Окисляемость перманганатная | Мг (O_2)/ л | 2,7 |
| 11 | Хлориды | мг/л | 6,5 |
| 12 | Аммоний | мг/л | 0,2 |
| 13 | Углекислота свободная | мг/л | 10,1 |
| 14 | Кислород растворенный | мг/л | 11,7 |

Исходная вода характеризуется как мягкая с низким солесодержанием, электропроводностью и содержанием хлоридов. Ее коррозионная активность характеризуется индексом Ланжелье $J = -2,6$ и индексом Ризнера $\text{IP} = 11,6$, что указывает на очень высокую коррозию.

Исследования проводили на водных вытяжках, для получения которых в пятилитровые ёмкости засыпали «Сорбент МС» и «Кальцит» до середины объема, затем заливалась исходная водопроводная вода. Загрузки вымачивались в течение двух суток. Перед измерением коррозии водная вытяжка фильтровалась через бумажный фильтр для удаления взвешенных частиц.

Измерения коррозиметром производились путем подключения к нему трехэлектродного датчика, электроды которого выполнены из Ст3. Датчик погружается в исследуемый раствор, и коррозиметр в автоматическом режиме замеряет показатели общей и питтинговой коррозии, записывая данные во внутреннюю память устройства. Перед погружением датчика в раствор его электроды необходимо отшлифовать мелкозернистой бумагой и обработать обезжиривателем. Экспозиция каждого образца проводилась в течение 10 ч для получения n -числа точек, по которым можно построить графики общей коррозии и питтинга.

Записанные коррозиметром данные передаются с помощью программы EXP2PR на персональный компьютер путем подключения прибора к USB-разъему.

Результаты и их обсуждение. По полученным данным были построены графики зависимости общей коррозии (K_n) и питтинга (P) Ст3 от времени выдержки в водопроводной воде без обработки (рис. 1), в водопроводной воде с обработкой «Сорбентом МС» (рис. 2) и в водопроводной воде с обработкой «Кальцитом» (рис. 3).

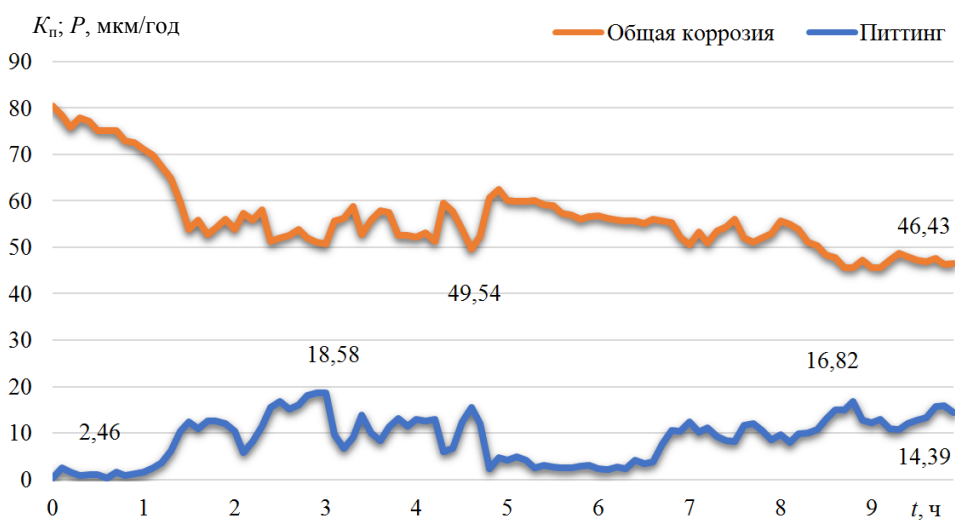


Рис. 1. Зависимость общей и питтинговой коррозии Ст3 от времени выдержки в водопроводной воде без обработки

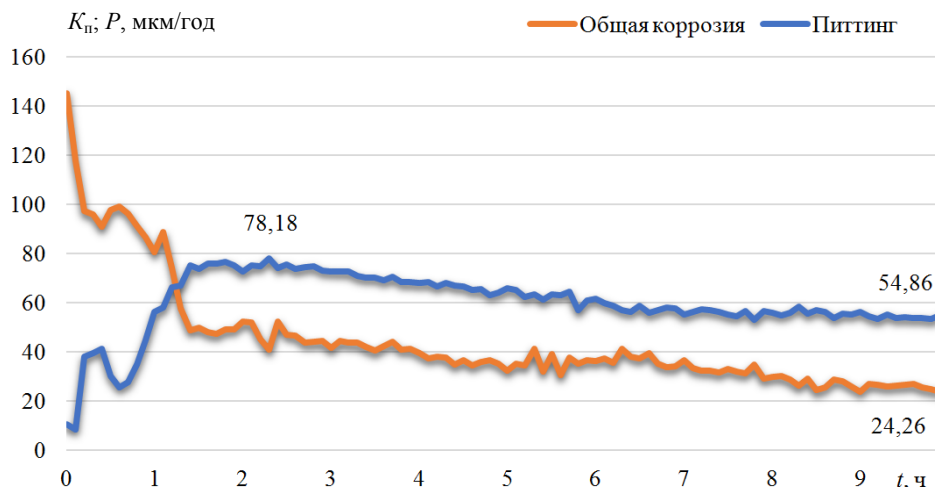


Рис. 2. Зависимость общей и питтинговой коррозии Ст3 от времени выдержки в водопроводной воде с обработкой «Сорбентом МС»

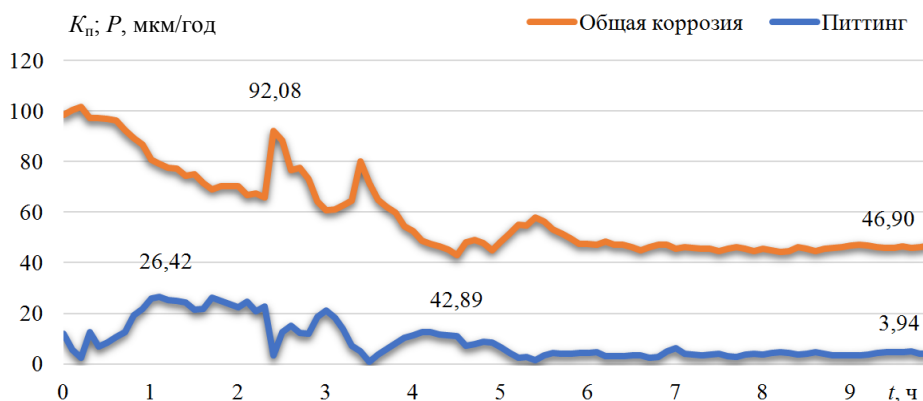


Рис. 3. Зависимость общей и питтинговой коррозии Ст3 от времени выдержки в водопроводной воде с обработкой «Кальцитом»

Физико-химические показатели водных вытяжек «Сорбент МС» и «Кальцит» представлены в табл. 2.

По результатам анализа водной вытяжки с «Кальцитом» индекс Ланжелье $J = -0,1$, а индекс Ризнера $IP = 8,25$, что свидетельствует об очень легкой степени коррозии и тенденции к коррозии в целом.

Для водной вытяжки с «Сорбентом МС» индекс Ланжелье $J = 1,2$, что указывает на образование защитной пленки (накипеобразование), а индекс Ризнера $IP = 7,4$ и характеризует легкую степень коррозии.

Солесодержание воды возрастает при загрузке «Кальцитом», и высокое при загрузке «Сорбентом МС». Жесткость, электропроводность и содержа-

ние хлоридов также возрастают при загрузке «Кальцитом» и высоки при загрузке «Сорбентом МС». Снижение скорости общей коррозии и питтинга происходит по мере образования защитной пленки. На образование пленки указывают расчетный индекс Ланжелье, который имеет положительное значение для «Сорбента МС», а также рН, имеющий значение 9,7–9,8.

Таблица 2

Физико-химические показатели водных вытяжек

| № п/п | Показатель | Единицы измерения | «Кальцит» | «Сорбент МС» |
|-------|-----------------------------|--------------------------|-----------|---------------|
| 1 | Цветность | град | 11,0 | 13,2 |
| 2 | Общее солесодержание | мг/л | 140,1 | 430,0 |
| 3 | Электропроводность | мкС | 435 | 820 |
| 4 | рН | – | 8,05 | 9,8 |
| 5 | Щелочность | мг-экв/л | 1,05 | 2,4 |
| 6 | Общая жесткость | мг-экв/л | 2,4 | 6,55 |
| 7 | Кальций | мг/л | 42,0 | 9,0 |
| 8 | Магний | мг/л | 6,9 | 74,2 |
| 9 | Железо общее | мг/л | 0,02 | Не обнаружено |
| 10 | Окисляемость перманганатная | Мг (O ₂) / л | 3,6 | 4,8 |
| 11 | Хлориды | мг/л | 6,8 | 112,6 |
| 12 | Аммоний | мг/л | 0,32 | 0,24 |
| 13 | Углекислота свободная | мг/л | Не обн. | Не обнаружено |
| 14 | Кислород растворенный | мг/л | 9,0 | 8,7 |

Показатель общей коррозии исходной воды снижался с 80,4 мкм/год и стабилизировался на уровне 50–47 мкм/год. Показатель питтинговой коррозии не превышал 20 мкм/год и стабилизировался на существенно меньшем уровне. Это свидетельствует о том, что коррозия стали в исходной воде равномерна.

Показатель общей коррозии водной вытяжки с «Сорбентом МС» снижался с 145,29 до 22–25 мкм/год вследствие интенсивного формирования защитной пленки. Большое значение K_p в начале экспозиции объясняется высоким уровнем солесодержания. Показатель питтинговой коррозии повышался и к концу экспозиции был в два раза выше показателя общей коррозии. Это говорит о возможности возникновения локальных очагов коррозии.

Показатель общей коррозии водной вытяжки с «Кальцитом» имел начальное значение 100 мкм/год из-за большого солесодержания, затем снижался до 50–47 мкм/год. Показатель питтинговой коррозии после примерно пяти часов экспозиции стабилизировался на низком уровне. Пленки формируются за большее время, об этом говорит расчетный индекс Ланжелье,

который близок к нулю, и следует ожидать, что K_p будет снижаться при более длительной выдержке датчика в обработанной воде. Во время экспозиции наблюдались скачки K_p и P от времени вследствие формирования пленки на датчике. Полученные данные показывают, что коррозия стали в воде, обработанной «Кальцитом», является равномерной.

Выводы. На основании полученных результатов исходная водопроводная вода характеризуется как агрессивная, вызывающая очень высокую коррозию стали, при этом защитная пленка (накипеобразование) не образуется. Водная вытяжка с «Сорбентом МС» имеет очень легкую степень тенденции к коррозии стали и тенденцию к высокому накипеобразованию. Водная вытяжка с «Кальцитом» имеет легкую тенденцию к коррозии стали, при этом образование защитной пленки существенно замедлено.

Исследуемые физико-химические показатели водных вытяжек соответствуют требованиям к питьевой воде за исключением вытяжки с «Сорбент МС», где $pH = 9,7-9,8$.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что загрузки «Сорбент МС» и «Кальцита» повышают pH воды и стабилизируют протекание коррозии. Использование метода линейного поляризационного сопротивления, который лежит в основе работы коррозиметра «Эксперт-004», позволяет получать количественные данные о протекании общей и питтинговой коррозии в реальном времени, а также прогнозировать дальнейшее протекание коррозии.

Библиографический список

1. Рукобратский Н.И., Баруздин Р.Э. Доочистка холодной и горячей воды для многоквартирных домов и жилых комплексов в Санкт-Петербурге // Вода и экология: проблемы и решения. – 2019. – № 4 (80). – С. 54–63.
2. Болеев А.А., Потоловский Р.В., Якимов О.Ю. Изучение влияния величины pH и соленосодержания воды на скорость коррозии трубопроводов // Научный потенциал регионов на службу модернизации. – 2012. – № 2 (3). – С. 103–105.
3. Лазуткина О.Р. Химическое сопротивление и защита от коррозии: учеб. пособие. – Екатеринбург: Урал, 2014. – 140 с.
4. Выбор реагентной технологии антикоррозионной обработки воды водораспределительной сети Санкт-Петербурга / А.К. Кинебас, Е.Д. Нефедова, Е.А. Мельник, Ф.В. Кармазинов, А.В. Бекренев // Водоснабжение и санитарная техника. – 2011. – № 7. – С 21–24.
5. Фрог Б.Н., Первов А.Г. Водоподготовка. – М.: Ассоциация строительных вузов, 2014. – 512 с.
6. Ануфриев Н.Г., Комарова Е.Е., Смирнова Н.Е. Универсальный коррозиметр для научных исследований и производственного контроля коррозии металлов и покрытий // Коррозия: материалы, защита. – 2004. – № 1. – С. 42–47.
7. Ануфриев Н.Г. Новые возможности применения метода линейного поляризационного сопротивления в коррозионных исследованиях и на практике // Коррозия: материалы, защита. – 2012. – № 1. – С. 36–43.
8. Ануфриев Н.Г. Возможности и опыт применения современного метода поляризационного сопротивления для коррозионного мониторинга в теплоснабжении // Практика противокоррозионной защиты. – 2015. – Вып. 1 (75). – С. 40–44.

9. Абрамов Н.Н. Водоснабжение. – М.: Стройиздат, 1980. – 3-е изд. – 440 с.
10. Кожин В.Ф. Очистка питьевой и технической воды. – М.: Стройиздат, 1971. – 303 с.
11. Кармазинов Ф.В. Водоснабжение Санкт-Петербурга. – СПб.: Новый журнал, 2003. – 687 с.
12. Клячко В.А., Апельцин И.Э. Очистка природных вод. – М.: Стройиздат, 1971. – 579 с.
13. Кульский Л.А., Строкач П.П. Технология очистки природных вод. – Киев: Вища школа, 1986. – 352 с.

References

1. Rukobraskii N.I., Baruzdin R.E. Doochistka kholodnoi i goriachei vody dlia mnogokvar-tirnykh domov i zhilykh kompleksov v Sankt-Peterburge [Post-treatment of cold and hot water for apartment buildings and residential complexes in St. Petersburg]. *Voda i ekologiya: problemy i resheniia*, 2019, no. 4 (80), pp. 54–63.
2. Boleev A.A., Potolovskii R.V., Iakimov O.Iu. Izuchenie vliianiia velichiny pH i solesoderzhaniia vody na skorost' korrozii truboprovodov [Study of the influence of pH and water salinity on the corrosion rate of pipelines]. *Nauchnyi potentsial regionov na sluzhbu modernizatsii*, 2012, no. 2 (3), pp. 103–105.
3. Lazutkina O.R. Khimicheskoe soprotivlenie i zashchita ot korrozii [Chemical resistance and corrosion protection]. Ekaterinburg, Ural, 2014, 140 p.
4. Kinebas A. K., Nefedova E. D., Mel'nik E.A., Karmazinov F. V., Bekrenev A.V. Vybor reagentnoi tekhnologii antikorroziionnoi obrabotki vody vodoraspredelitel'noi seti Sankt-Peterburga [The choice of reagent technology of anticorrosive water treatment of the water distribution network of St. Petersburg]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaia tekhnika*, 2011, no. 7, pp. 21–24.
5. Frog B.N., Pervov A.G. Vodopodgotovka [Water treatment]. Moscow, Assotsiatsiia stroitel'nykh vuzov, 2014, 512 p.
6. Anufriev N.G., Komarova E.E., Smirnova N.E. Universal'nyi korrozimetr dlia nauchnykh issledovaniia i proizvodstvennogo kontroliia korrozii metallov i pokrytii [Universal corrosion meter for scientific research and industrial control of corrosion of metals and coatings]. *Korroziia: materialy, zashchita*, 2004, no. 1, pp. 42–47.
7. Anufriev N.G. Noveye vozmozhnosti primeneniia metoda lineinogo poliarizatsionnogo soprotivleniia v korroziionnykh issledovaniiaakh i na praktike [New possibilities of using the method of linear polarization resistance in corrosion research and in practice]. *Korroziia: materialy, zashchita*, 2012, no. 1, pp. 36–43.
8. Anufriev N.G. Vozmozhnosti i opyt primeneniia sovremennogo metoda poliarizatsionnogo soprotivleniia dlia korroziionnogo monitoringa v teplosnabzhenii [Possibilities and experience of using the modern method of polarization resistance for corrosion monitoring in heat supply]. *Praktika protivokorroziionnoi zashchity*, 2015, iss. 1 (75), pp. 40–44.
9. Abramov N.N. Vodosnabzhenie [Water supply]. 3rd ed. Moscow, Stroiizdat, 1980, 440 p.
10. Kozhinov V.F. Ochistka pit'evoi i tekhnicheskoi vody [Purification of drinking and industrial water]. Moscow, Stroiizdat, 1971, 303 p.
11. Karmazinov F.V. Vodosnabzhenie Sankt-Peterburga [Water supply of St. Petersburg]. Saint Petersburg, Novyi zhurnal, 2003, 687 p.
12. Kliachko V.A., Apel'tsin I.E. Ochistka prirodnykh vod [Purification of natural water]. Moscow, Stroiizdat, 1971, 579 p.
13. Kul'skii L.A., Strokach P.P. Tekhnologiya ochistki prirodnykh vod [Technology of natural water purification]. Kiev, Vishcha shkola, 1986, 352 p.

R. Baruzdin

ON THE ISSUE OF ASSESSING THE CORROSION ACTIVITY OF TAP WATER

The work considers the studies carried out on the corrosion activity of tap water in St. Petersburg. The studies were carried out under static conditions on tap water of St. Petersburg and water extracts obtained as a result of contact of source water with granular charges “Sorbent MS” and “Calcite”.

Evaluation of water corrosion activity according to Langellier and Riesner design indices is qualitative, indirect and indicative, however, does not provide quantitative indicators of corrosion rate in relation to structural materials of pipelines and valves of water supply systems. To obtain indicators of general and pitting corrosion of unstabilized and stabilized water, a corrosion meter was used, the principle of operation of which is based on the method of linear polarization resistance.

The work contains indicators of general and pitting corrosion taken using a corrosion meter, indicators of tap water and water extracts of granular loads “Sorbent MS” and “Calcite”.

Keywords: corrosion activity, linear polarization resistance method, tap water, water extraction, corrosionmeter.

Баруздин Ростислав Эдуардович (Санкт-Петербург, Россия) – аспирант кафедры «Водопользование и экология», старший преподаватель кафедры «Электроэнергетика и электротехника», Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (Санкт-Петербург, 190005, ул. Егорова, 5/8, e-mail: r.baruzdin@inbox.ru).

Rostislav Baruzdin (St. Petersburg, Russian Federation) – Postgraduate Student of the Department of Water Use and Ecology, Senior Lecturer of the Department of Electricity and Electrical Engineering, St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (5/8, Egorova str., 190005, St. Petersburg, e-mail: r.baruzdin@inbox.ru).

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Вклад. 100 %.

Поступила: 29.04.2022

Одобрена: 01.06.2022

Принята к публикации: 30.08.2022

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом: Баруздин, Р.Э. К вопросу оценки коррозионной активности водопроводной воды / Р.Э. Баруздин // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2022. – № 2. – С. 5–13. DOI: 10.15593/2409-5125/2022.02.01

Please cite this article in English as: Baruzdin R. On the issue of assessing the corrosion activity of tap water. *PNRPU Bulletin. Applied ecology. Urban development*, 2022, no. 2, pp. 5-13. DOI: 10.15593/2409-5125/2022.02.01