

ВОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 628.16

doi: 10.23968/2305-3488.2021.26.1.3-8

РЕАКТИВАЦИЯ СОРБЕНТА (ГРАНУЛИРОВАННОГО АКТИВИРОВАННОГО УГЛЯ) ДВУХСЛОЙНЫХ СКОРЫХ ФИЛЬТРОВ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ КАЧЕСТВА ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Портнова Т. М., Витковская Р. Ф., Дрегуло А. М., Кудрявцев А. В., Родионов В. З.,
Проценко О. В., Фуртатова А. С.

SORBENT (GRANULATED ACTIVATED CARBON) REACTIVATION IN DUAL-MEDIA RAPID FILTERS TO OPTIMIZE THE QUALITY OF DRINKING WATER

Portnova T. M., Vitkovskaya R. F., Dregulo A. M., Kudryavtsev A. V., Rodionov V. Z.,
Protsenko O. V., Furtatova A. S.

Аннотация

Введение. На сегодняшний день на предприятиях отрасли водоснабжения требуется внедрение инновационных решений и технологий, основанных на концепции замкнутого ресурсного цикла. Основанием к изменению существующего подхода, где ресурс, выработавший свой потенциал, считается отходом, является необходимость рационального использования ресурсов. **Материалы и методы.** Обоснована целесообразность восстановления сорбционных свойств гранулированного активированного угля (ГАУ) методом его реактивации и последующего использования в системе замкнутого ресурсного цикла (рециклинг). Представлены методы исследования характеристик ГАУ и технология реактивации. **Результаты и их обсуждение.** На основании результатов исследований образцов ГАУ было установлено, что в процессе реактивации изменяются: массовая доля каждой фракции с ярко выраженным снижением крупных гранул калибром 1,18–2,00 мм с увеличением содержания мелких фракций 0,60–1,00 мм; насыпная плотность сорбционного материала; уменьшается объем угля, прошедшего две реактивации ниже требуемого показателя до 75 %. **Заключение.** Реактивация ГАУ скорых двухслойных фильтров позволяет не только оптимизировать производственные и финансовые затраты предприятия, но и значительно экономить природные ресурсы, которые потребовались бы для производства нового угля.

Ключевые слова: водоснабжение, рециклинг отходов, реактивация сорбента, гранулированный активированный уголь, ГАУ.

Abstract

Introduction. Water supply organizations are currently in need of innovative solutions and technologies based on the concept of the closed-loop resource cycle. The need for sustainable use of resources serves as the basis for changing the existing approach where worn-out resources are considered wastes. **Materials and methods.** In this paper, we show that it is expedient to restore the sorption properties of granulated activated carbon (GAC) by its reactivation and reuse in closed-loop recycling. We also present methods to study GAC properties and technology of reactivation. **Results and discussion.** Based on the results of the GAC samples' analysis, it was found that, during reactivation, the mass content of each fraction changes with a strongly pronounced decrease in the content of large granules with a size of 1.18–2.00 mm and an increase in the content of small granules with a size of 0.60–1.00 mm. Besides, the apparent density of the sorption material changes and the volume of carbon that underwent two reactivations falls below 75%. **Conclusion.** GAC reactivation in dual-media rapid filters allows us to optimize not only the operating and financial expenses of the company but also those natural resources that would have been spent for the production of new carbon.

Keywords: water supply, waste recycling, sorbent reactivation, granulated activated carbon.

Введение. Для снижения экологической нагрузки на окружающую среду предприятия водоснабжения должны внедрять инновационные

технологии рециклинга отходов, целью которого является: 1) снижение нагрузки на окружающую среду [2, 4, 6]; 2) обеспечение повторного их ис-

пользования в народном хозяйстве, например, для дальнейшего получения сырья, энергии, изделий и материалов [10–14].

Улучшение органолептических свойств воды, а именно удаление неприятного запаха, привкуса и цветности, требует ее сорбционной обработки с использованием активированных углей. Данный метод применяется на блоке К-6 ЮВС ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга».

Особенность технологических решений блока К-6 — использование предварительного озонирования воды и наличие двухслойной фильтрующей загрузки. Процесс фильтрации осуществляется через скорые фильтры, загруженные песком и гранулированным активированным углем (далее — ГАУ).

При снижении сорбционной способности активированного угля в ходе его эксплуатации необходимо проводить его замену или реактивацию. В случае замены отработанного ГАУ новым требуется утилизация сорбента с дальнейшей возможностью его применения не на сооружениях К-6 ЮВС.

Захоронение на полигоне также требует детального изучения в связи с оценкой уровня загрязнения почвы, поэтому в ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» было принято решение восстанавливать сорбционную способность ГАУ с учетом сохранения его механических характеристик методом высокотемпературной реактивации.

Определено, что потери угля при первой реактивации составляют 20 %, при последующих — 30 %. В случае последующей (повторной) реактивации срок гарантийных обязательств снижается до одного года. Поэтому рекомендовалось проводить ежегодную реактивацию.

Цель статьи. Изучение физико-химических параметров реактивации ГАУ двухслойных скорых фильтров для оптимизации качества питьевого водоснабжения и в целях экономии природных и производственных ресурсов.

Материалы и методы. В состав водопроводных сооружений К-6 входит 20 скорых двухслойных фильтров, обеспечивающих сорбционную очистку воды на этапе фильтрации (схематично это представлено на рис. 1). Фильтрующие слои — ГАУ и кварцевый песок. Общее количество ГАУ в одном фильтре составляет 60 тонн.

ГАУ, как и любой другой сорбент, имеет ограничения по сорбционной емкости.

Использование ГАУ в двухслойном фильтре имеет особенность при его выборе — необходимо использовать марки сорбента с высокими прочностными характеристиками. Поэтому в качестве объекта исследования был выбран ГАУ, имеющий не только хорошие сорбционные свойства, но и высокие прочностные характеристики, — Filtrasorb TL830 (ОКДП 20.59.54.110 «Угли активированные из каменноугольного сырья»). Данный сорбент производится посредством агломерации и паровой активации отобранных сортов битуминозного угля [1].

На стадии проектирования сооружений было рекомендовано восстанавливать сорбционные характеристики угля методом реактивации, так как ГАУ с высокими прочностными характеристиками наиболее эффективно восстанавливает свои свойства.

Технология высокотемпературной реактивации включает следующие этапы: *a* — сушку; *b* — обработку в печи при температуре 700–800 °С в присутствии водяного пара; *c* — охлаждение и рассев.

На последнем этапе — расसेве, то есть удалении мельчайших гранул, их в процессе водоподготовки после дробления можно применять в виде порошкообразного активированного угля (рис. 2).

Для процесса реактивации использовалась вращающаяся печь с парогазовой смесью, обрабатываемой при факельном нагреве печи. В реакционную зону печи подавались противотоком водяной пар и реактивируемый гранулированный уголь в массовом соотношении 1:2. Кроме этого, проводился контроль температуры в рабочей зоне печи [8, 9].

Данные предположения были подтверждены при анализе технических характеристик ГАУ в 2011–2014 гг.

Технико-экономическая оценка целесообразности восстановления сорбционных свойств ГАУ методом его реактивации показала, что данное технологическое решение является оптимальным, так как затраты на комплекс мероприятий по реактивации ГАУ на блоке К-6 и загрузке скорых фильтров активированным углем в 1,9 раза

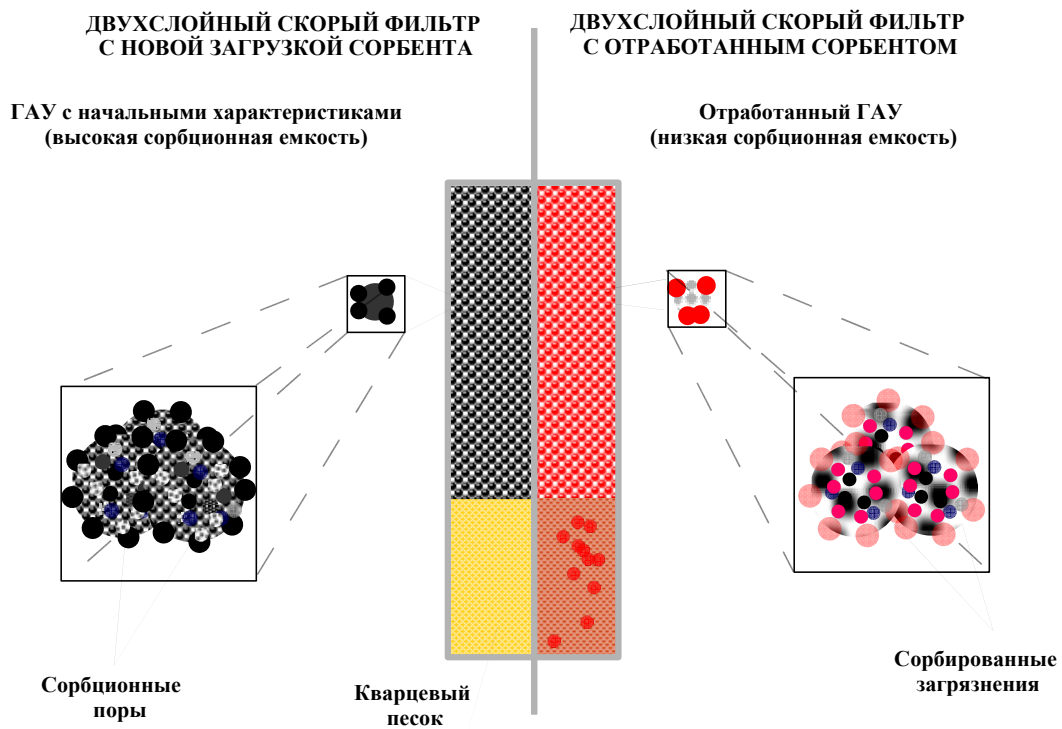


Рис. 1. Принципиальная схема сорбционной очистки воды в двухслойных скорых фильтрах с загрузкой ГАУ и кварцевого песка

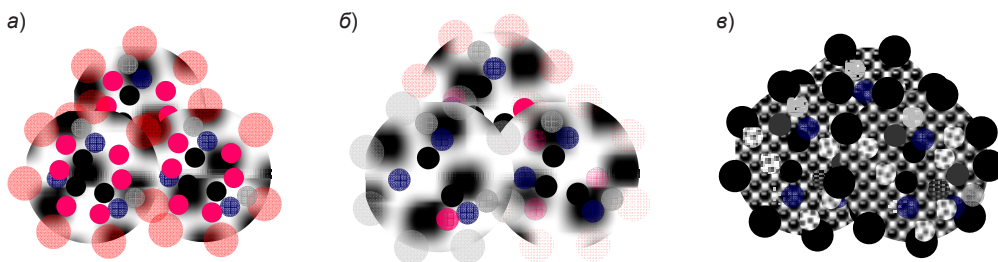


Рис. 2. Схема реактивации ГАУ

ниже эксплуатационных затрат на замену отработанного сорбента свежим углем [3, 5].

Исследования, проведенные в ходе эксплуатации К-6, показали, что увеличение таких показателей, как качество воды, цветность, перманганатная окисляемость, органический углерод, свидетельствует об уменьшении эффективности работы двухслойной загрузки. Снижение сорбционных свойств ГАУ за время эксплуатации (с 2011 по 2015 г.) на К-6 составило 50 %. В связи с этим требовалось восстановление сорбционных характеристик загрузки [7].

В ходе испытаний были получены данные физико-химических характеристик образцов

ГАУ, отобранных с фильтровальных сооружений К-За 6 (таблица).

После реактивации (первой и второй) значение показателя «йодное число» находилось в пределах 800–850 мг/г, перед реактивацией — на уровне 600 мг/г.

Полученные данные свидетельствуют, что в процессе реактивации изменяется массовая доля каждой фракции с ярко выраженным снижением крупных гранул калибром 1,18–2,00 мм, с увеличением содержания мелких фракций — 0,60–1,00 мм. При этом уменьшается объем угля, поэтому для обеспечения проектных характерис-



Рис. 3. Исследование сорбционных характеристик ГАУ: 1— выгруженный ГАУ после одного года эксплуатации и второй реактивации; 2–4 — лабораторное оборудование для исследования сорбционных характеристик ГАУ по показателю метиленовый синий

тик фильтрующей загрузки требуется большее количество ГАУ для дозасыпки.

Прочность ГАУ с каждой последующей реактивацией снижалась. После первой и второй реактивации показатель «прочность» соответствовал техническим требованиям, но в конце экс-

плуатации у ГАУ, прошедшего две реактивации, прочность снизилась ниже требуемого показателя до 75 %.

Увеличение процентного содержания мелких фракций ГАУ позволяет рекомендовать его использование на стадиях водоочистки.

Сорбционная активность по йодному числу в ГАУ первой и второй регенераций находится в одних и тех же пределах (значительно ниже) по отношению к сорбционной активности нового продукта.

Сорбционная активность по метиленовому синему ГАУ первой генерации через два года эксплуатации достигла критического порога.

Заключение. Реактивация ГАУ является перспективным направлением для реализации технологии замкнутого ресурсного цикла в процессе водоподготовки. Проведенные исследования позволили сделать следующие выводы:

- ГАУ, отработавший после первой реактивации два года, реактивировать до показателей сорбционной активности на уровне 800–1000 мг/г по йодному числу, далее активированный продукт измельчить до порошкообразного состояния и применить в качестве ПАУ на сооружениях водоподготовки;
- реактивировать ГАУ до показателей сорбционной активности на уровне 800–1000 мг/г по

Основные характеристики ГАУ до и после реактивации

Номер образца	Исходные характеристики ГАУ	Образец № 1 новый ГАУ после трех месяцев эксплуатации	Образец № 2 одна реактивация, после двух лет эксплуатации	Образец № 3 две реактивации, после одного года эксплуатации
Фракционный состав, массовая доля остатка на сите, %	–	–	–	–
Калибр сита, мм	–	–	–	–
2	–	1,13	0,04	0,02
1,4	–	47,79	2,78	2,63
1,18	–	34,82	21,84	3,07
1	–	12,79	42,7	4,78
0,85	–	2,8	25,43	18,78
0,6	–	0,6	6,99	61,98
Адсорбционная активность по метиленовому синему в миллиграммах на 1 г растертого до порошкообразного состояния продукта (фракция менее 0,1 мм)	Не менее 245 мг/г	195	40	63
Йодное число, мг/г	Не менее 1000 мг/г	1006	627	609
Прочность, %	Не менее 75	95	82	67

йодному числу, далее активированный продукт использовать в технологии сорбционной очистки, где размер гранул и прочностные характеристики ГАУ не являются технически значимыми.

В последние годы была осуществлена реактивация 20 скорых фильтров. Сорбционные свойства ГАУ после реактивации были полностью восстановлены. Сохранение сорбционных характеристик после первой реактивации было обеспечено в течение двух лет, что было подтверждено в процессе эксплуатации скорых фильтров.

Литература

1. Алексеев, М. И., Иванов, В. Г., Курганов, А. М., Медведев, Г. П., Мишуков, Б. Г., Феофанов, Ю. А., Цветкова, Л. И., Черников, Н. А. и Герасимов, Г. Н. (ред.) (2007). Технический справочник по обработке воды. 2-е издание. СПб.: Новый журнал, 1696 с.
2. Берндт, Д., Дрюс, М., Фридрих, Р., Херб, Ш., Лойшке, Й., Лозв, В., Ломотт, М., Мейер, Ф., Пютц, Р. и Туринский, Р. (2010). Практика водоснабжения: справочник для технического персонала предприятий водоснабжения. СПб.: Новый журнал, 496 с.
3. Гвоздев, В. А., Портнова, Т. М. и Яциневич, Н. В. (2018). Восстановление сорбционной способности гранулированного активированного угля. Водоснабжение и санитарная техника, № 2, сс. 4–9.
4. Кармазинов, Ф. В. (ред.) (2008). Водоснабжение и водоотведение в Санкт-Петербурге. СПб.: Новый журнал, 464 с.
5. Неведова, Е. Д., Феофанов, Ю. А. и Елистратова, И. В. (2018). Опыт эксплуатации нового блока сооружений водоподготовки на Южной водопроводной станции Санкт-Петербурга. Водоснабжение и санитарная техника, № 5, сс. 5–12.
6. Портнова, Т. М., Гукова, Н. В., Витковская, Р. Ф., Смирнов, А. О. и Бадягин, А. О. (2020). Инновационные технологии в процессе получения воды питьевого назначения в ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга». Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия: Естественные и технические науки, № 1, сс. 109–116.
7. Родионов, В. З., Дрегуло, А. М. и Кудрявцев, А. В. (2019). Влияние антропогенной деятельности на экологическое состояние рек Ленинградской области. Вода и экология: проблемы и решения, № 4 (80), сс. 96–108. DOI: 10.23968/2305-3488.2019.24.4.96-108.
8. Самонин, В. В., Спиридонова, Е. А., Неведова, Е. Д., Портнова, Т. М., Гвоздев, В. А. и Подвизников, М. Л. (2013). Водоподготовка с применением гранулированного активированного угля на Южной водопроводной станции. Водоснабжение и санитарная техника, № 9, сс. 43–51.
9. Спиридонова, Е. А., Подвизников, М. Л., Сергеев, В. В., Соловей, В. Н., Хрылова, Е. Д. и Самонин, В. В. (2018). Высокотемпературная опытно-промышленная реактивация углеродного адсорбента, отработанного в процессе доочистки воды на блоке К-6 Южной водопроводной станции водоканала Санкт-Петербурга. Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета), № 47 (73), сс. 112–116.

10. Fonseca, J. M., Teleken, J. G., de Cinque Almeida, V., da Silva, C. (2019). Biodiesel from waste frying oils: methods of production and purification. *Energy Conversion and Management*, Vol. 184, pp. 205–218. DOI: 10.1016/j.enconman.2019.01.061.

11. Khok, Y.-T., Ooi, C.-H., Matsumoto, A. and Yeoh, F.-Y. (2020). Reactivation of spent activated carbon for glycerine purification. *Adsorption*, Vol. 26, Issue 7, pp. 1015–1025. DOI: 10.1007/s10450-020-00210-x.

12. Larasati, A., Fowler, G. D. and Graham, N. J. D. (2020). Chemical regeneration of granular activated carbon: preliminary evaluation of alternative regenerant solutions. *Environmental Science: Water Research & Technology*, Vol. 6, Issue 8, pp. 2043–2056. DOI: 10.1039/D0EW00328J.

13. Narbaitz, R. M. and Karimi-Jashni, A. (2012). Electrochemical reactivation of granular activated carbon: impact of reactor configuration. *Chemical Engineering Journal*, Vol. 197, pp. 414–423. DOI: 10.1016/j.cej.2012.05.049.

14. Yin, C. Y., Aroua, M. K. and Daud, W. M. A. W. (2007). Review of modifications of activated carbon for enhancing contaminant uptakes from aqueous solutions. *Separation and Purification Technology*, Vol. 52, Issue 3, pp. 403–415. DOI: 10.1016/j.seppur.2006.06.009.

Reference

1. Alekseyev, M. I., Ivanov, V. G., Kurganov, A. M., Medvedev, G. P., Mishukov, B. G., Feofanov, Yu. A., Tsvetkova, L. I., Chernikov, N. A. and Gerasimov, G. N. (eds.) (2007). Water treatment handbook. In 2 volumes, 2nd edition. Saint Petersburg: Novy Zhurnal, 1696 p.
2. Berndt, D., Drews, M., Friedmann, R., Herb, S., Leuschke, J., Loew, W., Lomott, M., Meyer, V., Pütz, R. and Turinsky, R. (2010). *Water supply experience: handbook for operating personnel of water supply organizations*. Saint Petersburg: Novy Zhurnal, 496 p.
3. Gvozdev, V. A., Portnova, T. M., Iatsinevich, N. V. (2018). Regeneration of the sorption capacity of granulated activated carbon. *Water Supply and Sanitary Technique*, No. 2, pp. 4–9.
4. Karmazinov, F. V. (ed.) (2008). *Water supply and wastewater disposal in Saint Petersburg*. Saint Petersburg: Novy Zhurnal, 464 p.
5. Nefedova, E. D., Feofanov, I. A. and Elistratova, I. V. (2018). The experience of operating new water treatment facilities at the South Water Treatment Plant in Saint-Petersburg. *Water Supply and Sanitary Technique*, No. 5, pp. 5–12.
6. Portnova, T. M., Gukova, N. V., Vitkovskaya, R. F., Smirnov, A. O., Badyagin, A. O. (2020). Innovative technologies in the process of obtaining drinking water at the State Unitary Enterprise “Vodokanal of St. Petersburg”. *Vestnik of St. Petersburg State University of Technology and Design, Series 1. Natural and Technical Sciences*, No. 1, pp. 109–116.
7. Rodionov, V. Z., Dregulo, A. M. and Kudryavtsev, A. V. (2019). Anthropogenic impact on the ecological state of rivers in the Leningrad Region. *Water and Ecology*. No. 4 (80), pp. 96–108. DOI: 10.23968/2305-3488.2019.24.4.96-108.
8. Samonin, V. V., Spiridonova, E. A., Nefedova, E. D., Portnova, T. M., Gvozdev, V. A. and Podvaznikov, M. L. (2013). Water purification with the use of granulated activated carbon at the Southern Waterworks. *Water Supply and Sanitary Technique*. No. 9, pp. 43–51.
9. Spiridonova, E. A., Podvaznikov, M. L., Sergeev, V. V., Solovey, V. N., Khrylova, E. D. and Samonin, V. V. (2018). High temperature pilot reactivation of the carbon adsorbent spent in process of water treatment in unit K-6 of Southern Water Supply Station of Vodokanal of St. Petersburg. *Bulletin of Saint*

Petersburg State Institute of Technology (Technical University), No. 47 (73), pp. 112–116.

10. Fonseca, J. M., Teleken, J. G., de Cinque Almeida, V., da Silva, C. (2019). Biodiesel from waste frying oils: methods of production and purification. *Energy Conversion and Management*, Vol. 184, pp. 205–218. DOI: 10.1016/j.enconman.2019.01.061

11. Khok, Y.-T., Ooi, C.-H., Matsumoto, A. and Yeoh, F.-Y. (2020). Reactivation of spent activated carbon for glycerine purification. *Adsorption*, Vol. 26, Issue 7, pp. 1015–1025.

12. Larasati, A., Fowler, G. D. and Graham, N. J. D. (2020). Chemical regeneration of granular activated carbon: preliminary evaluation of alternative regenerant solutions. *Environmental Science: Water Research & Technology*, Vol. 6, Issue 8, pp. 2043–2056. DOI: 10.1039/D0EW00328J.

13. Narbaitz, R. M. and Karimi-Jashni, A. (2012). Electrochemical reactivation of granular activated carbon: impact of reactor configuration. *Chemical Engineering Journal*, Vol. 197, pp. 414–423. DOI: 10.1016/j.cej.2012.05.049.

14. Yin, C. Y., Aroua, M. K. and Daud, W. M. A. W. (2007). Review of modifications of activated carbon for enhancing contaminant uptakes from aqueous solutions. *Separation and Purification Technology*, Vol. 52, Issue 3, pp. 403–415. DOI: 10.1016/j.seppur.2006.06.009.

Авторы:

Портнова Татьяна Михайловна, начальник службы главного технолога

Филиал ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» «Водоснабжение Санкт-Петербурга», Санкт-Петербург, Россия
E-mail: Portnova_TM@vodokanal.spb.ru

Витковская Раиса Федоровна, д-р техн. наук

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: vitkowskaya.r@yandex.ru

Дрегуло Андрей Михайлович, канд. биол. наук

Санкт-Петербургский государственный университет, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук» (СПб ФИЦ РАН), Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: a.dregulo@spbu.ru

Кудрявцев Анатолий Валентинович, канд. техн. наук, доцент

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

E-mail: argo14@mail.ru

Родионов Владимир Зионович, канд. географ. наук

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук» (СПб ФИЦ РАН), Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: rodionov1941@mail.ru

Проценко Ольга Викторовна, мастер южной водопроводной станции территориального управления водоснабжением «Юго-Восточное»

Филиал ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» «Водоснабжение Санкт-Петербурга», Санкт-Петербург, Россия
E-mail: Bobrova_IL@vodokanal.spb.ru

Фуртатова Алина Сергеевна, ведущий инженер территориального управления водоснабжением «Северное»

Филиал ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» «Водоснабжение Санкт-Петербурга»
E-mail: Furtatova_AS@vodokanal.spb.ru

Authors

Tatiana Mikhailovna Portnova, Head of the Chief Process Engineer's Office

St. Petersburg Water Supply Branch of State Unitary Enterprise "Vodokanal of St. Petersburg", Saint Petersburg, Russian Federation

E-mail: Portnova_TM@vodokanal.spb.ru

Raisa Fedorovna Vitkovskaya, DSc in Engineering
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, Saint Petersburg, Russian Federation

E-mail: vitkowskaya.r@yandex.ru

Andrey Mikhailovich Dregulo, PhD in Biology

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint- Petersburg State University", Saint-Petersburg, Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (SPC RAS), Scientific Research Centre for Ecological Safety of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russian Federation

E-mail: a.dregulo@spbu.ru

Anatoly Valentinovich Kudryavtsev, PhD in Engineering, Associate Professor

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint Petersburg, Russian Federation

E-mail: argo14@mail.ru

Vladimir Zinonovich Rodionov, PhD in Geography

Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (SPC RAS), Scientific Research Centre for Ecological Safety of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russian Federation

E-mail: rodionov1941@mail.ru

Olga Viktorovna Protsenko, Forewoman at the Southern Water Plant, South-Eastern Water Supply Area

St. Petersburg Water Supply Branch of State Unitary Enterprise "Vodokanal of St. Petersburg", Saint Petersburg, Russian Federation

E-mail: Bobrova_IL@vodokanal.spb.ru

Alina Sergeevna Furtatova, Lead Engineer, Northern Water Supply Area

St. Petersburg Water Supply Branch of State Unitary Enterprise "Vodokanal of St. Petersburg", Saint Petersburg, Russian Federation

E-mail: Furtatova_AS@vodokanal.spb.ru