



УДК 628.312

А. А. АБРАМОВА, канд. техн. наук, доц. кафедры водоснабжения и водоподготовки; **М. Ю. ДЯГЕЛЕВ**, канд. техн. наук, доц. кафедры водоснабжения и водоподготовки; **В. Г. ИСАКОВ**, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой водоснабжения и водоподготовки; **А. М. НЕПОГОДИН**, ст. преп. кафедры водоснабжения и водоподготовки

НОРМАТИВНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА СПЕЦИФИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ В ПОВЕРХНОСТНЫХ И СТОЧНЫХ ВОДАХ В РОССИИ И ЗА РУБЕЖОМ

ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет им. М. Т. Калашникова» Россия, 426069, г. Ижевск, ул. Студенческая, д. 7. Тел.: +7(3412) 77-60-55 доб. 3270; эл. почта: m.yu.dyagelev@istu.ru

Ключевые слова: сточные воды, антибиотики, спектроскопия, очистка стоков, микрозагрязнители, устойчивость к противомикробным препаратам.

Представлена проблема загрязнения поверхностных и сточных вод лекарственными препаратами и их метаболитами – новыми специфическими загрязняющими веществами. Проведен анализ данных по результатам имеющихся отечественных и зарубежных научных исследований по выявлению специфических загрязняющих веществ в природных и сточных водах. Проведена систематизация источников, через которые фармацевтические препараты, в первую очередь антибиотики, попадают в сточные воды. Приведен анализ изменений нормативной базы в области нормирования содержания антибиотических препаратов в питьевой и поверхностных водах России и мира. Представлены недостатки нормативно-правовой базы России в сфере обращения с лекарственными веществами и оценка их опасности для экосистем.

В настоящее время присутствие фармацевтических соединений и их метаболитов, считающихся новыми органическими микрозагрязнителями, в водной среде вызывает серьезную озабоченность во всем мире [1, 2]. Основная причина, объясняющая появление фармацевтических препаратов в водах, заключается в их широком потреблении и неполном удалении на городских очистных сооружениях, поэтому остатки препаратов попадают в поверхностные воды, грунтовые воды и морские воды с последующим влиянием на их качество [3–6] (см. рис. 1).

Среди лекарственных препаратов стоит выделить антибиотики, которые согласно Соколовой Л. И. и др. [3] являются биологически активными веществами, используемыми в качестве лекарственных средств в профилактике, лечении заболеваний, а также особенно активно применяемыми в последнее десятилетие для стимулирования роста сельскохозяйственных животных и гидробионтов, выращиваемых в искусственных условиях. Основная причина выделения антибиотиков – наличие негативного воздействия, которое они могут оказывать на водную экосистему и здоровье человека, например, развитие штаммов, устойчивых к противомикробным препаратам, вызванных сбросом сточных вод в водоемы [5, 7].



Рис. 1. Схема основных источников попадания в водную среду фармацевтических препаратов

В своих работах Козлова М. А. [8, 9] приводит анализ исследований относительного вклада различных источников лекарственного загрязнения водной среды и утверждает, что вклад человека через бытовые сточные воды является основным и может достигать 90 % от всего поступления. При этом существует два основных пути: выделение лекарств и их метаболитов через организм человека и утилизация просроченных или просто ненужных медикаментов, использованных шприцов, ампул и т. д. Утилизируемые препараты выбрасываются в мусор с последующим попаданием на свалки твердых бытовых отходов, которые, в свою очередь, становятся потенциальными источниками поступления в окружающую среду [10].

Поступление лекарств в бытовые сточные воды чаще всего зависит от доли выведения лекарств из организма человека через естественные выделения (моча, пот, кал), которая варьируется в широком диапазоне (см. рис. 2). Данные исследований Козловой М. А. [8, 9] и Monteiro S. C., Boxall A. B. A [11] показывают, что тетрациклины, пенициллины, фторхинолоны и бета-блокаторы (за исключением пропранолола и бетаксолола) выводятся практически без изменений, тогда как анальгетики и противовоспалительные препараты интенсивно метаболизируются, хотя процентные уровни экскреции для большинства метаболитов неизвестны.

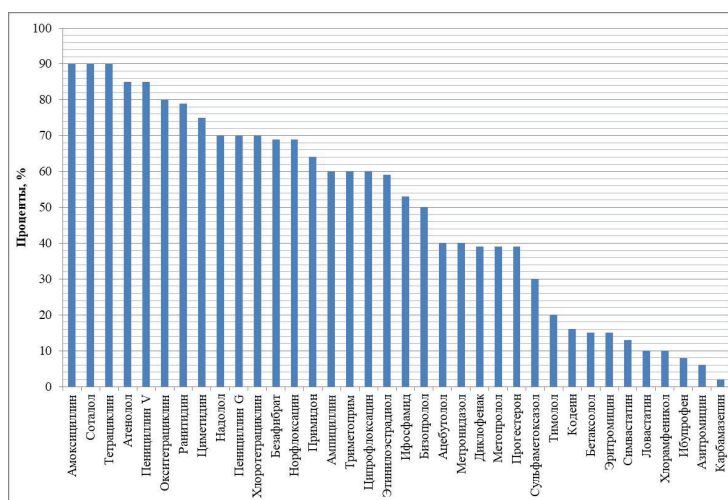


Рис. 2. Процент выведения некоторых лекарственных препаратов из организма человека

Озабоченность обнаружения фармацевтических препаратов в сточных водах выражается также во включении нескольких препаратов в недавно обновленный Список особого внимания Европейского союза. В этот список включены девять фармацевтических препаратов и один метаболит, из которых четыре антибиотика: амоксициллин, ципрофлоксацин, сульфаметоксазол, триметоприм. Изучение присутствия фармацевтических препаратов в сточных водах, а также экологических рисков, связанных с очищенными сточными водами и водоемами, принимающими сточные воды, стало предметом особого интереса из-за рисков для здоровья человека и водных экосистем [12]. Для этого требуются передовые аналитические методы, такие как жидкостная хроматография в сочетании с тандемной масс-спектрометрией (ЖХ-МС/МС), способные точно определять количество фармацевтических препаратов и их метаболитов на уровне ниже миллиардных долей [2, 13].

По данным обзора Соколовой Л. И. и др. [3], антибиотики в различных концентрациях обнаружены в сточных водах Эстонии, Италии, Китая, Индии, Кении, Японии, США, Мексике, Германии, Вьетнаме, Великобритании, Швейцарии, Италии, России, Португалии, Сербии и Южной Кореи. В Российской Федерации доступно лишь несколько исследований о присутствии фармацевтических препаратов в воде по сравнению с более промышленно развитыми странами. Некоторыми примерами являются работы Долиной Л. Ф. и Савиной О. П. [4], Баренбойма Г. М., Чигановой М. А. и Березовской И. В. [5, 14], в которых приводится концентрация таких лекарственных препаратов, как N-бутил-бензолсульфамид (0,026 мг/дм³), 12-метатетрадекановая кислота (0,038 мг/дм³), бета-ситостерол (0,005 мг/дм³), диклофенак (0,000025–0,00035 мг/дм³), ампициллин (0,000005 мг/дм³), тетрациклин (0,00662 мг/дм³) в отдельных водоемах России.

Однако Россия входит в первые десять стран по абсолютному значению потребления лекарственных препаратов [15]. В настоящее время фармацевтическая отрасль России развивается стремительными темпами, что связано в том числе с реализуемой в нашей стране политикой импортозамещения. По прогнозам специалистов, к 2023 г. фармацевтический рынок России увеличится до 20 млрд долларов (см. рис. 3).

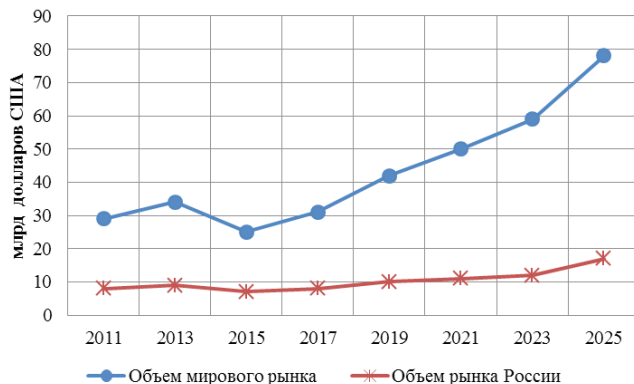


Рис. 3. Перспективы роста мирового и российского рынков потребления антибиотиков

Данные, представленные на рис. 3, показывают актуальность темы, связанной с антибиотическим загрязнением сточных вод в России и за рубежом и все увеличивающийся научный интерес к этой проблеме.



В настоящий момент в России впервые была установлена предельно допустимая концентрация отдельных антибиотиков и гормонов в воде, согласно СанПиН 1.2.3685-21. В данном документе установлены единые требования к содержанию 8 различных антибиотиков «Гигиенические в воде разных объектов: централизованной системы водоснабжения, нецентрализованного водоснабжения, воде поверхностных и подземных водных объектов, воде плавательных бассейнов». В таблице приведены нормируемые концентрации антибиотиков в воде и лимитирующие показатели вредности согласно СанПиН 1.2.3685-21. Поскольку указанные в таблице величины ПДК совпадают с европейскими нормами, можно предположить, что при разработке российских стандартов в области концентрации антибиотиков в воде был использован европейский нормативный документ: *Commission implementing decision (EU) 2018/840 of 5 June 2018 establishing a watch list of substances for Union-wide monitoring in the field of water policy pursuant to Directive 2008/105/EC of the European Parliament and of the Council and repealing Commission Implementing Decision (EU) 2015/495* [15].

Следует отметить, что действие СанПиН 1.2.3685-21 регулирует деятельность станции водоподготовки в части нормирования содержания в воде хозяйственно-питьевого назначения отдельных микрозагрязнителей, но не очистных сооружений канализации, которые являются последней ступенью защиты поверхностных вод (и частично подземных) от попадания фармацевтических препаратов.

Нормативы содержания антибиотиков в воде питьевой систем централизованного водоснабжения

Наименование вещества	Формула	Величина ПДК (ОДК), мкг/л	Лимитирующий показатель вредности	Класс опасности
Амоксициллин	$C_{16}H_{19}N_3O_5S$	0,078	с.-т.*	1
Ампициллин	$C_{16}H_{19}N_3O_4S$	20	с.-т.	2
Эритромицин	$C_{37}H_{67}NO_{13}$	0,2	с.-т.	1
Азитромицин	$C_{38}H_{72}N_2O_{12}$	0,019	с.-т.	1
Оксациллин	$C_{19}H_{19}N_3O_5S$	20	с.-т.	2
Бензилпенициллин	$C_{16}H_{18}N_2O_4S$	20	с.-т.	2
Кларитромицин	$C_{38}H_{69}NO_3$	0,12	с.-т.	1
Ципрофлоксацин	$C_{17}H_{18}FN_3O_3$	0,089	с.-т.	1

* с.-т. – санитарно-токсикологический

В зарубежных источниках авторами была найдена и проанализирована информация по обнаруженным максимальным концентрациям в поверхностных и хозяйственно-питьевых водах (в скобках), представленных в табл. 2 антибиотикам (нг/л): ципрофлоксацин – 30 (10), энрофлоксацин – 40 (20), эритромицин – 40 (10), линкомицин – 10 (10), ломефлоксацин – 35 (10), норфлоксацин – 31 (10), офлоксацин – 480 (10), рокситромицин – 66 (5), сульфаметазин – 40 (10), сульфаметоксазол – 60 (10), тетрациклин – 35 (5) [15].

Выводы

Фармацевтические соединения и их метаболиты при появлении в сточных и поверхностных водах являются новыми органическими микрозагрязнителями. Причина появления фармацевтических препаратов в сточных и природных водах – рост потребления и неполное удаление данных микрозагрязнителей на городских очистных сооружениях.



Одним из способов снижения концентрации новых микрозагрязнителей – это разработка норм, регулирующих их содержание как в городских сточных водах, так и в стоках, прошедших все этапы очистки на очистных сооружениях. Первым этапом нормативного регулирования стало введение в действие СанПиН 1.2.3685-21, регулирующего содержание 8 антибиотиков в водах централизованной и нецентрализованной системы водоснабжения.

Действие СанПиН 1.2.3685-21 регулирует деятельность станции водоподготовки в части нормирования содержания фармацевтических препаратов в воде хозяйственно-питьевого назначения, при этом работа очистных сооружений канализации и выпуск очищенных стоков в поверхностные водоемы не регламентируются нормами СанПиН 1.2.3685-21.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Ижевского государственного технического университета имени М. Т. Калашикова в рамках научного проекта № ДМЮ/20-70-24.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Разработка технологии глубокой доочистки сточных вод фармзавода / Л. Н. Губанов, И. В. Катраева, М. Л. Гусаров, М. В. Колпаков. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, – 2009. – № 4 (12). – С. 148–152.

2. Оценка загрязненности городских сточных вод антибиотическими препаратами цефалоспориновой группы и возможности их определения спектрофотометрическим методом / А. А. Абрамова, А. М. Батуева, А. В. Васильев [и др.]. – Текст : электронный // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2021. – № 2 (42). – С. 53–65. – DOI 10.15593/2409-5125/2021.02.05.

3. Использование природных алюмосиликатов для очистки сточных вод от антибиотиков различных классов / Л. И. Соколова, Д. С. Гальченко, М. Г. Смирнова, Я. Ю. Блиновская. – Текст : электронный // Гидрометеорология и экология. – 2021. – № 62. – С. 113–126. – DOI 10.33933/2074-2762-2021-62-113-126.

4. Долина, Л. Ф. Очистка вод от остатков лекарственных препаратов / Л. Ф. Долина, О. П. Савина. – Текст : электронный // Наука та прогрес транспорту. – 2018. – № 3 (75). – С. 36–51. – DOI 10.15802/stp2018/134675.

5. Баренбойм, Г. М. Загрязнение поверхностных и сточных вод лекарственными препаратами / Г. М. Баренбойм, М. А. Чиганова // Вода: химия и экология. – 2012. – № 10(52). – С. 40–46.

6. Pharmaceuticals and environmental risk assessment in municipal wastewater treatment plants and rivers from Peru. / J. I. Nieto-Juárez, R. A. Torres-Palma, A. M. Botero-Coy, F. Hernández // Environment International. – 2021. – V. 155. – P. 106674. – DOI 10.1016/j.envint.2021.106674.

7. Оценка специфических загрязнений в составе городских сточных вод / Н. М. Мезрин, А. А. Абрамова, М. Ю. Дягелев, В. Г. Исаков. – Текст : электронный // Водоснабжение и санитарная техника. – 2022. – № 7. – С. 34–41. – DOI 10.35776/VST.2022.07.05.

8. Козлова, М. А. Исследование лекарственного загрязнения водных объектов в зонах сброса сточных вод городов и промышленных предприятий / М. А. Козлова // Вода: химия и экология. – 2019. – № 3–6. – С. 30–36.

9. Козлова, М. А. Исследование лекарственного загрязнения природных и сточных вод: некоторые результаты и нормативно-правовое регулирование / М. А. Козлова. – Текст : электронный // Водные ресурсы России : современное состояние и управление : сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции, 08–14 октября 2018 г. – Сочи : Лик, 2018. – Том 2. – С. 307–314. – <https://www.elibrary.ru/download/>



elibrary_36764155_16789224.pdf.

10. Classification of antibiotics contained in urban wastewater / A. A. Abramova, V. G. Isakov, A. M. Nepogodin [et al]. // IOP Conference Series : Earth and Environmental Science. – 2020. – V. 548. – P. 52078. – DOI 10.1088/1755-1315/548/5/052078.

11. Monteiro, S. C. Occurrence and Fate of Human Pharmaceuticals in the Environment / S. C. Monteiro, A. B. A. Boxall // Reviews of Environmental Contamination and Toxicology. – 2010. – V. 202 (1). – P. 53-154. – DOI: 10.1007/978-1-4419-1157-5_2.

12. Чеснокова, С. М. Исследование влияния антибиотиков на процессы самоочищения гидрэкосистем / С. М. Чеснокова, О. В. Савельев // Водоснабжение и санитарная техника. – 2018. – № 7. – С. 4–10.

13. Исследование содержания антибиотиков в городских сточных водах / М. В. Журавлева, И. С. Сазыкин, А. И. Жумбей [и др.]. – Текст : непосредственный // Роль ботанических садов в сохранении и мониторинге биоразнообразия : Международная научная конференция, посвященная 100-летию Южного федерального университета, 27–30 мая 2015 года / Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону, 2015. – С. 516–519.

14. Баренбойм, Г. М. Особенности загрязнения поверхностных водных объектов компонентами лекарственных средств / Г. М. Баренбойм, М. А. Чиганова, И. В. Березовская. – Текст : непосредственный // Водное хозяйство России. – 2014. – № 3. – С. 131–141.

15. Абрамова, А. А. Нормативное регулирование и оценка антибиотического загрязнения поверхностных и сточных вод в России и за рубежом / А. А. Абрамова, А. М. Непогодин, Ю. А. Зяпарова, Т. М. Лыхно. – Текст : непосредственный // Яковлевские чтения-2022: Системы водоснабжения и водоотведения. Современные проблемы и решения : сборник докладов участников XVII Международной научно-технической конференции, посвященной памяти академика РАН С. В. Яковлева, 17–18 марта 2022 года / Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. – Москва, 2022. – С. 79–85.

ABRAMOVA Anna Aleksandrovna, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of water supply and water treatment; DYAGELEV Mikhail Yurevich, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of water supply and water treatment; ISAKOV Vitaly Germanovich, doctor of technical sciences, professor, holder of the chair of water supply and water treatment; NEPOGODIN Aleksandr Mikhaylovich, senior teacher of the chair of water supply and water treatment

NORMATIVE REGULATION AND ASSESSMENT OF SPECIFIC POLLUTANTS IN SURFACE AND WASTE WATERS IN RUSSIA AND ABROAD

Kalashnikov Izhevsk State Technical University

7, Studencheskaya St., Izhevsk, 426069, Russia. Tel.: +7 (3412) 77-60-55 ext. 3270;

e-mail: m.yu.dyagelev@istu.ru

Key words: wastewater, antibiotics, spectroscopy, wastewater treatment, micropollutants, antimicrobial resistance.

The article presents the problem of pollution of surface and waste waters by drugs and their metabolites – new specific pollutants. The data on the results of available domestic and foreign scientific research to identify specific pollutants in natural and wastewater are analyzed. The systematization of sources through which pharmaceuticals, primarily antibiotics, get into wastewater is carried out. An analysis of regulatory changes in the field of regulation of antibiotics' content in potable and surface waters in Russia and in the world is presented. Disadvantages of the Russian regulatory framework in the field of handling pharmaceuticals and assessment of their risk to ecosystems are presented.



REFERENCES

1. Gubanov L. N., Katraeva I. V., Gusarov M. L., Kolpakov M. V. Razrabotka tekhnologii glubokoy doochistki stochnykh vod farmzavoda [Development of an integrated wastewater aftertreatment process for a pharmaceutical plant]. *Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]*. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2009. № 4(12). P. 148–152.
2. Abramova A. A., Batueva A. M., Vasilev A. V. et al. Otsenka zagryaznyonosti gorodskikh stochnykh vod antibioticheskimi preparatami tsefalosporinovoy gruppy i vozmozhnosti ikh opredeleniya spektrofotometricheskim metodom [Assessment of urban wastewater contamination with antibiotic drugs of the cephalosporin group and the possibility of their determination by a spectrophotometric method]. *Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Prikladnaya ekologiya. Urbanistika. [Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Applied Ecology. Urbanistics.]*. 2021, № 2(42). P. 53–65. – DOI 10.15593/2409-5125/2021.02.05.
3. Sokolova L. I., Galchenko D. S., Smirnova M. G., Blinovskaya Ya. Yu. Ispolzovanie prirodnykh alyumosilikatov dlya ochistki stochnykh vod ot antibiotikov razlichnykh klassov [Use of natural aluminosilicates for treatment of wastewater from antibiotics of different classes]. *Gidrometeorologiya i ekologiya [Hydrometeorology and Ecology]*. 2021, № 62. P. 113–126. – DOI 10.33933/2074-2762-2021-62-113-126.
4. Dolina L. F., Savina O. P. Ochistka vod ot ostatkov lekarstvennykh preparatov [Cleaning of water from drug residues]. *Nauka ta progres transportu [Science and progress of transport]*. 2018, № 3(75). P. 36–51. – DOI 10.15802/stp2018/134675.
5. Barenboym G. M., Chiganova M. A. Zagryaznenie poverkhnostnykh i stochnykh vod lekarstvennymi preparatami [Pollution of surface water and wastewater by drugs]. *Voda: khimiya i ekologiya [Water: Chemistry and Ecology]*. 2012, № 10(52). P. 40–46.
6. Nieto-Juárez J. I., Torres-Palma R. A., Botero-Coy A. M., Hernández F. Pharmaceuticals and environmental risk assessment in municipal wastewater treatment plants and rivers from Peru. *Environment International*. 2021. Vol. 155. P. 106674. DOI 10.1016/j.envint.2021.106674.
7. Mezrin N. M., Abramova A. A., Dyagelev M. Yu., Isakov V. G. Otsenka spetsificheskikh zagryazneniy v sostave gorodskikh stochnykh vod [Assessment of specific pollutants in urban wastewater]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika [Water supply and sanitary engineering]*. 2022. № 7. P. 34–41. – DOI 10.35776/VST.2022.07.05.
8. Kozlova M. A. Issledovanie lekarstvennogo zagryazneniya vodnykh obektov v zonakh sbrosa stochnykh vod gorodov i promyshlennykh predpriyatiy [Study of drug contamination of water bodies in the areas of urban and industrial wastewater discharges]. *Voda: khimiya i ekologiya [Water: Chemistry and Ecology]*. 2019. № 3–6. P. 30–36.
9. Kozlova M. A. Issledovanie lekarstvennogo zagryazneniya prirodnykh i stochnykh vod: nekotorye rezultaty i normativno-pravovoe regulirovanie [Research on drug contamination of natural and wastewater: some results and regulations]. *Vodnye resursy Rossii: sovremennoe sostoyanie i upravlenie: Sbornik materialov Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Water Resources of Russia: Current State and Management: proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference]*. 08–14 oktyabrya 2018 g. Sochi : Lik, 2018. Vol. 2. P. 307–314. – https://www.elibrary.ru/download/elibrary_36764155_16789224.pdf.
10. Abramova A. A., Isakov V. G., Nepogodin A. M. [et al.] Classification of antibiotics contained in urban wastewater. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2020. Vol. 548. P. 52078. DOI 10.1088/1755-1315/548/5/052078.
11. Monteiro S. C., Boxall A. B. A. Occurrence and Fate of Human Pharmaceuticals in the Environment. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*. 2010. Vol. 202(1), p. 53–154. DOI: 10.1007/978-1-4419-1157-5_2.
12. Chesnokova S. M., Savelev O. V. Issledovanie vliyaniya antibiotikov na protsessy samoochishcheniya gidroekosistem [Study of the effect of antibiotics on the self-purification of hydroecosystems]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika [Water supply and sanitary engineering]*. 2018, № 7. P. 4–10.



13. Zhuravlyova M. V., Sazykin I. S., Zhumbey A. I., et al. Issledovanie soderzhaniya antibiotikov v gorodskikh stochnykh vodakh [Study of antibiotic content in municipal wastewater]. Rol botanicheskikh sadov v sokhranenii i monitoringe bioraznoobraziya: Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya, posvyaschyonnaya 100-letiyu Yuzhnogo federalnogo universiteta [The role of botanical gardens in biodiversity conservation and monitoring: International scientific conference dedicated to the 100th anniversary of Southern Federal University], 27–30 maya 2015 goda / Yuzhny fed. un-t. Rostov-on-Don, 2015. P. 516–519.

14. Barenboym G. M., Chiganova M. A., Berezovskaya I. V. Osobennosti zagryazneniya poverkhnostnykh vodnykh obektov komponentami lekarstvennykh sredstv [Peculiarities of pollution of surface water bodies with components of medicines]. Vodnoe khozyaystvo Rossii [Water Management in Russia]. 2014, № 3. P. 131–141.

15. Abramova A. A., Nepogodin A. M., Zyaparova Yu. A., Lykhno T.M. Normativnoe regulirovanie i otsenka antibioticheskogo zagryazneniya poverkhnostnykh i stochnykh vod v Rossii i za rubezhom [Normative regulation and assessment of antibiotic pollution of surface and wastewater in Russia and abroad]. Yakovlevskie chteniya-2022: Sistemy vodosnabzheniya i vodootvedeniya. Sovremennyye problemy i resheniya [Yakovlev Readings-2022: Water supply and wastewater disposal systems. Modern problems and solutions]: Sbornik dokladov uchastnikov XVII Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, posvyaschyonnoy pamyati akademika RAN S.V. Yakovleva, Moskva, 17–18 marta 2022 goda / Natsion. issled. Mosk. gos. stroit. un-t. Moscow, 2022. P. 79–85.

© А. А. Абрамова, М. Ю. Дягелев, В. Г. Исаков, А. М. Непогодин, 2023

Получено: 28.12.2022 г.