

Экология

DOI: 10.34828/UdSU.2023.78.55.002

УДК 628.316

А.А. Абрамова, Е.В. Астраханцева, М.Ю. Дягелев, В.Г. Исаков

ОБНАРУЖЕНИЕ МИКРОЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ В ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОДАХ: ОБЗОР МЕТОДОВ

Аннотация. Антибиотики используются уже в течение нескольких десятилетий, и до недавнего времени на существование этих веществ в окружающей среде обращали мало внимания. Только в последние годы было предпринято комплексное исследование антибиотических веществ, позволяющее оценить риски для окружающей среды, которые они могут представлять. За последнее десятилетие было опубликовано большое количество исследований, посвященных обнаружению антибиотиков в окружающей среде, появлению и их судьбе в некоторых средах, но, несмотря на многочисленные проведенные исследования, по-прежнему не хватает понимания и знаний об антибиотиках в водной среде. В этом обзоре приведен анализ существующих методов обнаружения антибиотиков в сточных водах. Из приведенной классификации и обзора методов обнаружения предпочтение было отдано анализу содержания антибиотика в протоке на твердотельном полярографе, анализу пробы раствора на анализаторе КОРИАН-3 и дифференциальной спектроскопии.

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

Для цитирования: Обнаружение микрозагрязнителей в городских сточных водах: обзор методов / А.А. Абрамова, Е.В. Астраханцева, М.Ю. Дягелев, В.Г. Исаков // Управление техносферой: электрон. журнал, 2023. Т.6. Вып. 4. URL: <https://technosphere-ing.ru> С. 498–512. DOI: 10.34828/UdSU.2023.78.55.002.

Введение

Одной из самых острых и неотложных проблем устойчивого развития в наступившем столетии может стать обеспечение населения качественной питьевой водой. В настоящее время из-за антропогенного воздействия около 70% рек и озер, а также примерно 30% месторождений подземных вод России не могут быть использованы как источники питьевого водоснабжения [1]. При

этом большую роль в данном загрязнении играет развитие современной науки и прогрессивных технологий. Например, развитие здравоохранения, стимулирование роста производительности в аграрном секторе, в том числе борьба с инфекционными и неинфекционными заболеваниями животных привели к глобальному увеличению потребления фармацевтических препаратов и их продуктов для диагностики, вакцинации и лечения. Частичный метаболизм, случайная или преднамеренная утилизация вышедших из употребления лекарств и неправильное использование антибиотиков (недостаточная доза, неоправданное использование, неконтролируемая доступность антибиотиков) были зарегистрированы как потенциальные источники загрязнения водной среды [2–4]. Очистные сооружения сточных вод не предназначены для удаления фармацевтических препаратов и их продуктов, поэтому они попадают в окружающую среду, что приводит к распространению фармацевтических препаратов в различных компонентах окружающей среды и к нарушению природных экосистем. Большинство загрязненных участков были обнаружены в странах с низким и средним уровнем дохода из-за ухудшения инфраструктуры управления отходами и использования такой технологии очистки сточных вод, как биопруды [5–7], которые с каждым годом становятся популярным методом очистки сточных вод малых населенных пунктов – коттеджные поселки, базы отдыха и детские учебно-оздоровительные центры в странах Европейского Союза в Российской Федерации [8–10].

Присутствие большого количества фармацевтических загрязнителей, особенно антибиотиков, в воде подвергает опасности нецелевое микробное сообщество. Поскольку антибиотики являются активными химическими веществами при незначительной концентрации, они либо могут убить подвергшийся воздействию организм, либо генетический состав выживших антибиотиков может быть изменен для формирования их адаптационной устойчивости [11–12]. Антибиотики необходимы для лечения людей и других

животных путем прямого уничтожения ответственных бактерий или блокирования их роста и размножения. Однако у выживших подвергшихся воздействию микроорганизмов развивается устойчивость к противомикробным препаратам. Патогенные микроорганизмы приобретают и распространяют резистентность с помощью различных механизмов, ведущих к изменению состояния экосистем. ВОЗ сообщила об устойчивости к противомикробным препаратам как о серьезной проблеме общественного здравоохранения, которая, как ожидается, к 2050 году будет ежегодно уносить около 10 миллионов жизней [11].

Устойчивость к антибиотикам стала глобальной проблемой, особенно в развивающихся странах. Сообщается, что доступность антибиотиков, самоназначение, неадекватное лечение антибиотиками, плохое обращение с отходами и проблемы с качеством воды способствуют быстрому распространению и развитию устойчивости к антибиотикам у патогенных и экологических микроорганизмов [2]. Это говорит о том, что стоки с очистных сооружений могут быть основной причиной устойчивости к антибиотикам некоторых видов водных микробов. Именно поэтому оценка методов обнаружения фактических концентраций антибиотиков, как микрозагрязнителей, в сточных водах городов России на сегодняшний день является актуальным вопросом.

Целью работы является разработка классификации методов обнаружения антибиотиков, как микрозагрязнителей, в сточных водах.

Теоретические основы

В настоящее время в медицинской литературе представлено порядка 14 тыс. антибиотиков, производимых микроорганизмами, более 1800 веществ продуцируется высшими растениями и животными. Так по данным Егорова Н.С. [13] число 15,8 тыс. не является конечным результатом, и общемировая

тенденция направлена на поиск и выделение новых антибиотиков. Согласно данным Страчунского Л.С. и Козлова С.Н. [14], пенициллины и цефалоспорины являются наиболее часто используемыми антимикробными препаратами.

За прошедшие десятилетия были хорошо изучены аспекты органической и биологической химии пенициллинов и цефалоспоринов [3, 13–15]. В меньшей степени изучена бионеорганическая химия пенициллинов и цефалоспоринов, то есть взаимодействие этих антибиотиков с катионами металлов с образованием комплексных соединений, а также кислотно-основные равновесия в их растворах. Данный аспект представляется особенно важным ввиду значительной концентрации в городских сточных водах катионов различных металлов. Отдельные исследования показали, что антибиотики в молекулярной или ионной форме способны образовывать устойчивые комплексы с катионами металлов [3, 15]. Образование металлокомплексов оказывает существенное влияние на антимикробную активность, токсичность, фармакокинетику, устойчивость к гидролизу и другие биологические и химические свойства антибиотиков. Также представляет значительный теоретический и практический интерес взаимодействие антибиотиков с другими загрязняющими сточные воды веществами. Публикаций по этой теме немного, и они систематизированы, в первую очередь, в монографии Алексеева В.Г. [15].

В свою очередь, Алексеев В.А. и др. [16] произвели систематизацию источников загрязнения водоемов антибиотиками:

1. сточные воды фармацевтических предприятий и больниц;
2. сбросы от сельскохозяйственных предприятий;
3. аварийные сбросы антибиотиков фармацевтических предприятий.

При этом авторы делают логичное заключение, что первые две ситуации позволяют оценить нагрузку загрязнения антибиотиками на очистные сооружения сточных вод и на водный объект за счет постоянного отбора проб воды. А аварийные сбросы могут быть обнаружены только при отработанной

системе обратной связи фармацевтических предприятий и очистных сооружений сточных вод или при наличии входного online контроля по всем спектрам загрязнений, что накладывает ограничения на применение многих известных методов контроля.

На рисунке представлена классификация современных методов определения загрязнения сточных и природных вод антибиотиками и комплексными соединениями, образующимися в результате взаимодействия антибиотиков с катионами металлов [17].

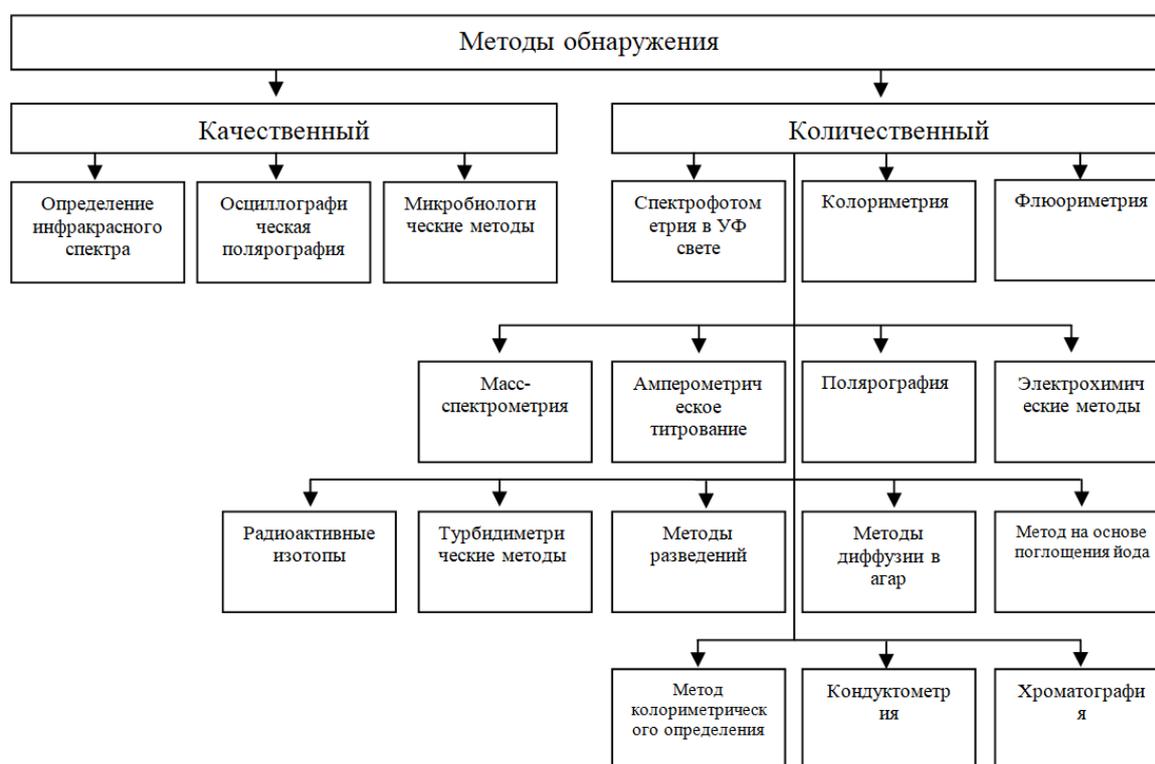


Рис. Качественный и количественный методы обнаружения антибиотиков в сточных водах

Результаты и дискуссии

Антибиотики из городских и сельскохозяйственных источников сохраняются в почве и водной среде, и выборочное давление от этих соединений влияет на микробное сообщество, экологические функции и

приводит к устойчивости к антибиотикам. Таким образом, миграция антибиотиков является ключом к пониманию судьбы, поведения и воздействия антибиотиков в водной среде. На данный момент известны различные способы количественного определения антибиотиков: микробиологические, спектрофотометрические, флуориметрические, хемилюминесцентные, различные варианты хроматографических методов, в том числе высокоэффективная жидкостная хроматография (ВЭЖХ), хроматомасспектрометрия, инверсионная вольтамперометрия, электроаналитическое определение с модифицированными электродами [18, 19]. Необходимо отметить, что каждый представленный метод имеет свои достоинства и недостатки, и при планировании опытов необходимо ориентироваться на бюджет, продолжительность опытов, временные рамки и квалификацию персонала [20–23].

При количественном и качественном определении антибиотиков в городских сточных водах в России возникают следующие сложности:

1. отсутствуют утвержденные нормативы допустимых концентраций антибиотиков в водах: поверхностных, сточных, подземных, что не позволяет оценить степень загрязненности ими;
2. отсутствуют аттестованные методики обнаружения антибиотиков в водной среде – в государственном реестре методик количественного химического анализа имеются лишь методики по фотометрическому и спектрофотометрическому определению ряда антибиотиков в воздухе.

На данный момент в России СанПиН 1.2.3685-21 установлены нормативы по содержанию 9 типов антибиотиков только в воде питьевой систем централизованного и нецентрализованного водоснабжения, воде подземных и поверхностных водных объектов – питьевого и культурно-бытового водопользования, воде плавательных бассейнов, аквапарков.

Заключение

Традиционные аналитические методы для количественного и качественного определения антибиотиков, в основном, зависят от хроматографических методов, которые являются дорогостоящими и трудоемкими, что ограничивает их применение. Капиллярный электрофорез, диодно-матричное детектирование и твердофазный иммуноферментный анализ успешно применяются для обнаружения антибиотиков, но у них есть такие недостатки, как сложный процесс предварительной обработки образцов и необходимость привлечения высококвалифицированного технического персонала.

Перспективными методами по обнаружению антибиотиков в городских сточных водах являются: анализ содержания антибиотиков в протоке на твердотельном полярографе; анализ пробы раствора на анализаторе КОРИАН-3, разработанном для определения органических добавок в гальванических растворах методом дифференциальной вольтамперометрии; дифференциальная спектроскопия, которая позволяет анализировать по характерной резонансной частоте сложные органические соединения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Некоторые аспекты применения цеолита для доочистки сточных вод от ионов металлов / А.В. Москвичева, Е.В. Москвичева, А.В. Щербаков, Л.В. Олефиренко, О.П. Радченко, Л.В. Боронина // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2019. № 1(27). С. 33–37.
2. Оценка специфических загрязнений в составе городских сточных вод / Мезрин Н.М., Абрамова А.А., Дягелев М.Ю., Исаков В.Г. // Водоснабжение и санитарная техника. 2022. № 7. С. 34–41. DOI: <https://doi.org/10.35776/VST.2022.07.05>
3. Оценка загрязненности городских сточных вод антибиотическими препаратами цефалоспориновой группы и возможности их определения спектрофотометрическим методом / Абрамова А.А., Батуева А.М., Васильев А.В., Дягелев М.Ю., Наумкина Е.Д.,

- Чурсин И.О. // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. 2021. № 2 (42). С. 53–65. DOI: <https://doi.org/10.15593/2409-5125/2021.02.05>
4. Нормативное регулирование и оценка специфических загрязнений в поверхностных и сточных водах в России и за рубежом / Абрамова А.А., Дягелев М.Ю., Исаков В.Г., Непогодин А.М. // Приволжский научный журнал. 2023. № 1(65). С. 96–103.
 5. Fate and driving factors of antibiotic resistance genes in an integrated swine wastewater treatment system: From wastewater to soil / Zhu N., Jin H., Ye X., Liu W., Li D., Shah G.M., Zhu Y. // *Science of The Total Environment*. 2020, no. 721, pp. 137654. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137654>
 6. Occurrence of antibiotics in rural catchments / Dinh Q.T., Moreau-Guigon E., Labadie P., Alliot F., Teil M.J., Blanchard M., Chevreuil M. // *Chemosphere*. 2017, no. 168, P. 483–490. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.10.106>
 7. Pharmaceuticals and trace metals in the surface water used for crop irrigation: Risk to health or natural attenuation? / Santiago-Martín A., Meffe R., Teijón G., Hernández V.M., López-Heras I., Alonso C., Romasanta M.A., Bustamante I. // *Science of The Total Environment*. 2020, no. 705, P. 135825. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135825>
 8. Дягелев М.Ю. Повышение эффективности биологической очистки промышленных стоков в составе городских сточных вод // Теоретическая и прикладная экология. 2023. № 2. С. 96–103. DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2023-2-096-103>
 9. Графкина М.В., Витковский Д.В. Некоторые аспекты проектирования фитоочистных сооружений // Управление техносферой. 2023. Т.6, № 2. С. 158–169. DOI: <https://doi.org/10.34828/UdSU.2023.72.29.003>
 10. Пупырев Е. И. Сбор и очистка хозяйственно-бытовых сточных вод: критический обзор достигнутых результатов // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14, № 11(134). С. 1365–1407. DOI: <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2019.11.1365>
 11. Jansen K.U., Anderson A.S. The role of vaccines in fighting antimicrobial resistance (AMR) // *Human Vaccines and Immunotherapeutics*. 2018, no. 14(9). pp. 2142–2149. DOI: <https://doi.org/10.1080/21645515.2018.1476814>
 12. Mechanisms of antimicrobial resistance (AMR) and alternative approaches to overcome AMR / Moo C.-L., Yang S.-K., Yusoff K., Ajat M., Thomas W., Abushelaibi A., Lim S.-H.-E., Lai K.-S. // *Current Drug Discovery Technologies*. 2020, no. 17(4). pp. 430–447. DOI: <https://doi.org/10.2174/1570163816666190304122219>

13. Егоров Н.С. Основы учения об антибиотиках. М.: Наука, 2004. 528 с.
14. Страчунский Л.С., Козлов С.Н. Современная антимикробная химиотерапия. М.: Боргес, 2002. 432 с.
15. Алексеев В.Г. Бионеорганическая химия пенициллинов и цефалоспоринов. Тверь: Твер. гос.ун-т, 2009. 104 с.
16. Определение аварийного загрязнения антибиотиками сточных вод / Алексеев В.А., Усольцев В.П., Юран С.И., Шульмин Д.Н. // Безопасность в техносфере. 2018. Т.7. №5. С. 3–8.
17. Классификация методов определения загрязнения антибиотиками сточных вод / Алексеев В.А., Усольцев В.П., Юран С.И., Шульмин Д.Н. // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем: материалы XVI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. (Киров, 3–5 декабря 2018 г.) /отв. ред. Т. Я. Ашихмина. Киров: ВятГУ, 2018. С. 57–59.
18. Особенности современных методов определения антибиотиков в пищевых продуктах / Новикова В.Г., Родионов Е.А., Чаркин И.А., Ватутина И.В., Маслов О.В.// Молодежный инновационный вестник. 2012. Т.1. №1. С. 267–268.
19. Дягелев М.Ю. Опыт выявления поллютанта в модельном растворе спектрофотометрическим методом // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. № 2(91). С. 149–156.
20. Современные методы определения антибиотиков в биологических и лекарственных средах (обзор) / Кулапина Е.Г., Баринаова О.В., Кулапина О.И., Утц И.А., Снесарев С.В. // Антибиотики и химиотерапия. 2009. №54. С. 53–60.
21. Баранова Н.В., Феофанова М.А. Применение метода инфракрасной спектроскопии в анализе лекарственных средств // Вестник Тверского государственного университета. Серия Химия. 2011. №12. С. 49–56.
22. Власова И.В., Шилова А.В., Фокина Ю.С. Спектрофотометрические методы в анализе лекарственных препаратов (обзор) // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2011. №77(1). С. 21–28.
23. Краснова Т.А., Амелин В.Г. Идентификация и определение антибиотиков в питьевой воде методом масс-спектрометрии с матрично-активированной лазерной десорбцией/ионизацией // Вода, химия и экология. 2013. №11. С. 81–87.

Поступила в редакцию 11.09.2023

Сведения об авторах*Абрамова Анна Александровна*

Кандидат технических наук, доцент, кафедра «Водоснабжение и водоподготовка», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова», 426069, ул. Студенческая 7, г. Ижевск, Россия.
E-mail: aaa2785@mail.ru

Астраханцева Екатерина Вадимовна

Магистрант, кафедра «Водоснабжение и водоподготовка», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова», 426069, ул. Студенческая 7, г. Ижевск, Россия.
E-mail: katya_astrahanseva27@mail.ru

Дягелев Михаил Юрьевич

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Водоснабжение и водоподготовка», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова», 426069, ул. Студенческая 7, г. Ижевск, Россия.
E-mail: m.yu.dyagelev@istu.ru

Исаков Виталий Германович

Доктор технических наук, профессор, кафедра «Водоснабжение и водоподготовка», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова», 426069, ул. Студенческая 7, г. Ижевск, Россия.
E-mail: isakovvg@istu.ru

A.A. Abramova, E.V. Astrakhantseva, M.Yu. Dyagelev, V.G. Isakov

DETECTION OF MICROPOLLUTANTS IN URBAN WASTEWATER: A REVIEW OF METHODS

Annotation. Antibiotics have been used for several decades, and until recently little attention was paid to the existence of these substances in the environment. Only in recent years a comprehensive study of antibiotic substances has been undertaken to assess the environmental risks they may pose. Over the last decade, a large number of studies have been published on the detection of antibiotics in the environment, their occurrence and their fate in some environments, but despite the many studies conducted, there is still a lack of understanding and knowledge about antibiotics in the aquatic environment. This review analyzes the existing methods for the detection of antibiotics in wastewater. From the given classification and review of detection methods, the analysis of antibiotic content in the flow through solid state polarograph, analysis of solution sample on KORIAN-3 analyzer and differential spectroscopy were preferred.

Keywords: wastewater, antibiotics, spectroscopy, wastewater treatment, micropollutants, antimicrobial resistance.

For citation: A.A. Abramova, E.V. Astrakhantseva, M.Yu. Dyagelev, V.G. Isakov [Detection of micropollutants in urban wastewater: a review of methods] *Upravlenie tekhnosferoi*, 2023, vol. 6, issue 4. (In Russ.) Available at: <https://technosphere-ing.ru/> pp. 498–512.

DOI: 10.34828/UdSU.2023.78.55.002.

REFERENCES

1. Moskvicheva A.V., Moskvicheva E.V., Shcherbakov A.V., Olefirenko L.V., Radchenko O.P., Boronina L.V. Nekotorye aspekty primeneniya tseolita dlya doochistki stochnykh vod ot ionov metallov [Some aspects of zeolite application for wastewater pretreatment from metal ions]. *Inzhenerno-stroitel'nyi vestnik Prikaspiya [Engineering and Construction Vestnik Prikaspii]*, 2019, vol. 1, no. 27, pp. 33–37. (In Russ.).
2. Mezrin N.M., Abramova A.A., Dyagelev M.Yu., Isakov V.G. Otsenka spetsificheskikh zagryaznenii v sostave gorodskikh stochnykh vod [Evaluation of specific pollutants in the composition of urban wastewater]. *Vodospabzhenie i sanitarnaya tekhnika [Water supply and sanitary engineering]*, 2022, vol. 7, pp. 34–41. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35776/VST.2022.07.05>
3. Abramova A.A., Batueva A.M., Vasil'ev A.V., Dyagelev M.Y., Naumkina E.D., Chursin I.O. Otsenka zagryaznennosti gorodskikh stochnykh vod antibioticheskimi preparatami tsefalosporinovoi gruppy i vozmozhnosti ikh opredeleniya spektrofotometricheskim metodom [Assessment of urban wastewater pollution by antibiotic drugs cephalosporin group and the

- possibility of determining their spectrophotometric method]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Prikladnaya ekologiya. Urbanistika [Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Applied Ecology. Urbanistics]*, 2021, vol. 2, no. 42, pp. 53–65. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15593/2409-5125/2021.02.05>
4. Abramova A.A., Dyagelev M.Yu., Isakov V.G., Nepogodin A.M. Normativnoe regulirovanie i otsenka spetsificheskikh zagryaznenii v poverkhnostnykh i stochnykh vodakh v Rossii i za rubezhom [Regulatory regulation and assessment of specific pollutants in surface and waste waters in Russia and abroad]. *Privolzhskii nauchnyi zhurnal [Privolzhsky scientific journal]*, 2023, vol. 1, no. 65, pp. 96–103. (In Russ.).
 5. Zhu N., Jin H., Ye X., Liu W., Li D., Shah G.M., Zhu Y. Fate and driving factors of antibiotic resistance genes in an integrated swine wastewater treatment system: From wastewater to soil. *Science of The Total Environment*, 2020, vol. 721, pp. 137654. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137654>
 6. Dinh Q.T., Moreau-Guigon E., Labadie P., Alliot F., Teil M.J., Blanchard M., Chevreuil M. Occurrence of antibiotics in rural catchments. *Chemosphere*, 2017, vol. 168, pp. 483–490. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.10.106>
 7. Santiago-Martín A., Meffe R., Teijón G., Hernández V.M., López-Heras I., Alonso C., Romasanta M.A., Bustamante I. Pharmaceuticals and trace metals in the surface water used for crop irrigation: Risk to health or natural attenuation? *Science of The Total Environment*, 2020, vol. 705, pp. 135825. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135825>
 8. Dyagelev M.Y. Povyshenie effektivnosti biologicheskoi ochistki promyshlennykh stokov v sostave gorodskikh stochnykh vod [Increasing the efficiency of biological treatment of industrial effluents in urban wastewater]. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya [Theoretical and Applied Ecology]*, 2023, vol. 2, pp. 96–103. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2023-2-096-103>
 9. Grafkina M.V., Vitkovskii D.V. Nekotorye aspekty proektirovaniya fitoochistnykh sooruzhenii [Some aspects of the design of phyto-treatment facilities]. *Upravlenie tekhnosferoi [Management of the technosphere]*, 2023, vol. 6, no. 2. pp. 158–169. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.34828/UdSU.2023.72.29.003>
 10. Pupyrev, E.I. Sbor i ochistka khozyaistvenno-bytovykh stochnykh vod: kriticheskii obzor dostignutykh rezul'tatov [Collection and Treatment of Domestic Wastewater: Critical Review

- of the Achieved Results]. *Vestnik MGSU [Bulletin of MSCU]*, 2019, vol. 14, no. 11(134), pp. 1365–1407. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2019.11.1365-1407>
11. Jansen K.U., Anderson A.S. The role of vaccines in fighting antimicrobial resistance (AMR). *Human Vaccines and Immunotherapeutics*, 2018, vol. 14, no. 9, pp. 2142-2149. DOI: <https://doi.org/10.1080/21645515.2018.1476814>
 12. Moo C.-L., Yang S.-K., Yusoff K., Ajat M., Thomas W., Abushelaibi A., Lim S.-H.-E., Lai K.-S. Mechanisms of antimicrobial resistance (AMR) and alternative approaches to overcome AMR. *Current Drug Discovery Technologies*, 2020, vol. 17, no. 4, pp. 430–447. DOI: <https://doi.org/10.2174/1570163816666190304122219>
 13. Egorov N.S. *Osnovy ucheniya ob antibiotikakh* [Fundamentals of Teaching about Antibiotics]. Moscow, Nauka, 2004. 528 p. (In Russ.).
 14. Strachunskii L.S., Kozlov S.N. *Sovremennaya antimikrobnaya khimioterapiya* [Modern Antimicrobial Chemotherapy]. Moscow, Borges, 2002, 432 p. (In Russ.).
 15. Alekseev V.G. *Bioneorganicheskaya khimiya penitsillinov i tsefalosporinov* [Bioinorganic Chemistry of Penicillins and Cephalosporins]. Tver', Tver.gos.un-t, 2009, 104 p. (In Russ.).
 16. Alekseev V.A., Usol'tsev V.P., Yuran S.I., Shul'min D.N. Opredelenie avariinogo zagryazneniya antibiotikami stochnykh vod [Determination of accidental antibiotic contamination of wastewater]. *Bezopasnost' v tekhnosfere [Safety in the technosphere]*, 2018, vol.7, no. 5, pp. 3–8. (In Russ.).
 17. Alekseev V.A., Usol'tsev V.P., Yuran S.I., Shul'min D.N. Klassifikatsiya metodov opredeleniya zagryazneniya antibiotikami stochnykh vod [Classification of methods for determining antibiotic contamination of wastewater]. *Materialy KhVI Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Biodiagnostika sostoyaniya prirodnnykh i prirodno-tekhnogennykh sistem» [Materials of the XVI All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation "Biodiagnostics of natural and natural-technogenic systems".]*, 2018, pp. 57–59. (In Russ.).
 18. Novikova V.G., Rodionov E.A., Charkin I.A., Vatutina I.V., Maslov O.V. Osobennosti sovremennykh metodov opredeleniya antibiotikov v pishchevykh produktakh [Features of modern methods for determining antibiotics in food products]. *Molodezhnyi innovatsionnyi vestnik [Youth Innovation Newsletter]*, 2012, vol. 1, no. 1, pp. 267–268. (In Russ.).
 19. Dyagelev M.Y. Opyt vyyavleniya pollyutanta v model'nom rastvore spektrofotometricheskim metodom [Experience of pollutant detection in a model solution by spectrophotometric method]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*.

- Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura [Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and Architecture]*, 2023, vol. 2, no. 91, pp. 149–156. (In Russ.).
20. Kulapina E.G., Barinova O.V., Kulapina O.I., Utts I.A., Snesev S.V. Sovremennye metody opredeleniya antibiotikov v biologicheskikh i lekrstvennykh sredakh (obzor) [Modern methods for the determination of antibiotics in biological and medicinal media (review)]. *Antibiotiki i khimioterapiya [Antibiotics and chemotherapy]*, 2009, vol. 54, pp. 53–60. (In Russ.).
21. Baranova N.V., Feofanova M.A. Primenenie metoda infrakrasnoi spektroskopii v analize lekarstvennykh sredstv [Application of infrared spectroscopy in drug analysis]. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Khimiya [Bulletin of Tver State University. Chemistry Series]*, 2011, vol. 12, pp. 49–56. (In Russ.).
22. Vlasova I.V., Shilova A.V., Fokina Yu.S. Spektrofotometricheskie metody v analize lekarstvennykh preparatov (obzor) [Spectrophotometric methods in drug analysis (review)]. *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov [Factory laboratory. Diagnostics of materials]*, 2011, vol. 77, no. 1, pp. 21–28. (In Russ.).
23. Krasnova T.A., Amelin V.G. Identifikatsiya i opredelenie antibiotikov v pit'evoi vode metodom mass-spektrometrii s matrichno-aktivirovannoi lazernoi desorbsiei/ionizatsiei [Identification and determination of antibiotics in drinking water by matrix-activated laser desorption/ionization mass spectrometry]. *Voda, khimiya i ekologiya [Water, Chemistry and Ecology]*, 2013, vol. 11, pp. 81–87. (In Russ.).

Received 11.09.2023

About the Authors

Abramova Anna Aleksandrovna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Water Supply and Water Treatment Department, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "M.T. Kalashnikov Izhevsk State Technical University", 426069, Studencheskaya str. 7, Izhevsk, Russia.
E-mail: aaa2785@mail.ru

Astrakhantseva Ekaterina Vadimovna

Master's student, Department "Water Supply and Water Treatment", Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "M.T. Kalashnikov Izhevsk State Technical University", 426069, Studencheskaya str. 7, Izhevsk, Russia.
E-mail: katya_astrahantseva27@mail.ru

Dyagelev Mikhail Yuryevich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Water Supply and Water Treatment Department, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "M.T. Kalashnikov Izhevsk State Technical University", 7, Studencheskaya St., Izhevsk, 426069, Izhevsk, Russia.

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

Isakov Vitaly Germanovich

Doctor of Technical Sciences, Professor, Chair "Water Supply and Water Treatment", Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "M.T. Kalashnikov Izhevsk State Technical University", 7, Studencheskaya St., Izhevsk, 426069, Izhevsk, Russia.

E-mail: isakovvg@istu.ru