



## АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОБНАРУЖЕНИЯ АНТИБИОТИКОВ В ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОДАХ

*М. Ю. Дягелев, А. А. Абрамова*

**Дягелев Михаил Юрьевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Водоснабжение и водоподготовка», Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова, г. Ижевск, Российская Федерация; e-mail: m.yu.dyagelev@istu.ru;

**Абрамова Анна Александровна**, кандидат технических наук, доцент, кафедры «Водоснабжение и водоподготовка», Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова, г. Ижевск, Российская Федерация; e-mail: aaa2785@mail.ru

Антибиотики используются уже в течение нескольких десятилетий как в здравоохранении, так и в ветеринарии, однако до недавнего времени на существование этих веществ в окружающей среде обращали мало внимания. Только в последние годы были предприняты первые попытки комплексных исследований оценки влияния антибиотических веществ. За последнее десятилетие были опубликованы труды, посвященные применению антибиотиков и дальнейшему пути их распространения и трансформации в окружающей среде, но, несмотря на это, по-прежнему не хватает понимания и знаний о способах обнаружения антибиотиков в водной среде. В данной статье приведен анализ существующих методов обнаружения. Из приведенной классификации и обзора методов предпочтение было отдано анализу содержания антибиотика в протоке на твердом полиэтиленовом полярном графите, анализу пробы раствора на биосенсорном анализаторе и дифференциальной спектроскопии.

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

## ANALYSIS OF METHODS FOR THE DETECTION OF ANTIBIOTICS IN WASTEWATER

*M. Yu. Dyagelev, A. A. Abramova*

**Dyagelev Mikhail Yuryevich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Department "Water Supply and Water Treatment", Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russian Federation; e-mail: m.yu.dyagelev@istu.ru;

**Abramova Anna Aleksandrovna**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Department "Water supply and water treatment", Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russian Federation; e-mail: aaa2785@mail.ru

Antibiotics have been used for several decades in both public health and veterinary medicine, but until recently, little attention was paid to the existence of these substances in the environment. Only in recent years have the first attempts at comprehensive studies to assess the environmental impact of antibiotic substances been made. Over the last decade, studies have been published on the use of antibiotics and the further pathway of their distribution and transformation in the environment, but despite the many studies conducted, there is still a lack of understanding and knowledge on how to detect 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 the detection methods, analysis of antibiotic content in the flow-through by solid state polarograph, analysis of solution sample by biosensor analyzer and differential spectroscopy were preferred.

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

### Введение

Качество и безопасность воды жизненно важны для экологической среды, социального развития и экологической восприимчивости. Широкое использование и постоянный сброс антибиотиков привели к серьезному загрязнению воды. В результате возникла серьезная угроза для здоровья человека и экологической среды [1–7].

Антибиотики относятся к классу вторичных метаболитов с антипатогенной или другой активностью, вырабатываемой микроорганизмами или высшими животными и растениями в течение их жизни. Эти химические вещества могут препятствовать развитию других клеток и широко используются в медицине и ветеринарии, сельскохозяйственном производстве, животноводстве, аквакультуре и других областях. Из-за высокого производства и потребления антибиотиков в последние годы некоторые лекарства и средства личной гигиены, включая антибактериальные средства и т. д., поступают вместе со стоками в водоемы, а остальные через отходы попадают в почву и мигрируют между водной и твердой фазами [8–11].

Антибиотики делают бактерии устойчивыми, увеличивается риск для здоровья и безопасности человека. Эти соединения попадают в окружающую

среду и влияют на функции экосистемы, поскольку они могут убивать микроорганизмы или подавлять их рост, нарушать баланс, что приводит к сокращению биоразнообразия и деградации экосистем [1, 9]. Соответственно, для лечения инфекционных заболеваний антибиотики используются в больших количествах, а их содержание в сточных водах быстро увеличивается. Более того, обычные очистные сооружения не могут эффективно разлагать антибиотики, что объективно влияет на экологическую среду.

Устойчивость к антибиотикам стала глобальной проблемой, особенно в развивающихся странах. Сообщается, что доступность, самоназначение, неадекватное лечение антибиотиками, плохое обращение с отходами и качество воды способствуют быстрому распространению и развитию устойчивости к антибиотикам у патогенных и экологических микроорганизмов [12]. Это говорит о том, что стоки с очистных сооружений могут быть основной причиной устойчивости к антибиотикам некоторых видов водных микробов.

Основная угроза – устойчивость к противомикробным препаратам – связана с грамотрицательными бактериями из-за их высокой восприимчивости к антибиотикам [9]. Данная разновидность бактерий особенно важна в больницах, поскольку они

подвергают пациентов опасности и вызывают высокий уровень заболеваемости и смертности. Это означает, что устойчивость к антибиотикам увеличивает осложнения лечения, что требует принятия определенных мер. Тем не менее резистентность к антибиотикам, представляющая собой серьезную глобальную угрозу для здоровья, меньше всего рассматривается в развивающихся странах. Именно поэтому оценка методов обнаружения фактических концентраций антибиотиков, как микрозагрязнителей, в сточных водах городов России на сегодняшний день является актуальным вопросом [13].

*Целью работы* стала разработка классификации методов обнаружения антибиотиков, как микрозагрязнителей, в сточных водах. При этом *объектом исследования* выступили методы обнаружения антибиотиков в сточных водах.

*Научная новизна работы:* проведен анализ источников попадания фармацевтических препаратов в сточные воды и определена классификация методов обнаружения микрозагрязнителей в городских сточных водах.

*Практическая значимость работы:* предложены перспективные методы обнаружения антибиотиков в городских сточных водах.

#### **Теоретические основы**

В настоящее время в медицинской литературе представлено 14 тыс. антибиотиков, производимых микроорганизмами, более 1800 веществ продуцируется высшими растениями и животными. Таким образом, Н. С. Егоров [14] указывает, что 15,8 тыс. не является конечным результатом и общемировая тенденция направлена на поиск и выделение новых антибиотиков. Согласно данным Л. С. Страчунского и С. Н. Козлова [15], пенициллины и цефалоспорины являются наиболее часто используемыми антимикробными препаратами.

За прошедшие десятилетия были хорошо изучены аспекты органической и биологической химии пенициллинов и цефалоспоринов [14–15], в меньшей степени – их бионеорганическая химия, 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 [16]. Образование металлокомплексов оказывает существенное влияние на антимикробную активность, токсичность, фармакокинетику, устойчивость к гидролизу и на другие биологические и химические свойства антибиотиков. Значительный теоретический и практический интерес представляет также взаимодействие антибиотиков с другими веществами, загрязняющими сточные воды. Публикаций по этой теме немного, и они систематизированы в монографии В. Г. Алексеева [17].

В свою очередь, В. А. Алексеев и другие исследователи [18] произвели систематизацию источников загрязнения водоемов антибиотиками:

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

Промышленное загрязнение антибиотиками в основном происходит в результате производственных процессов, связанных с получением антибиотиков, включая остатки антибиотиков в отходах, сточных водах после очистки. Кроме того, обработка и утилизация просроченных лекарств приводит к загрязнению окружающей среды. Промышленное производство антибиотиков образует большое количество сточных вод, которые часто содержат их высокую концентрацию. В некоторых странах концентрация антибиотиков в сточных водах, сбрасываемых предприятиями по их производству, может достигать уровня нескольких мкг. Больничные сточные воды являются еще одним важным источником загрязнения остатками антибиотиков. Например, установлена положительная корреляция между количеством назначаемого в больницах ципрофлоксацина и уровнем остатков антибиотиков в больничных сточных водах [16].

Бытовые сточные воды также важный источник загрязнения окружающей среды антибиотиками. Исследования показали, что лишь небольшая часть антибиотиков, поступающих в организм, усваивается, и до 50–80 % выводится в виде активных препаратов или метаболитов через кал и мочу из организма, со стоком поступают на очистные сооружения. Причина в том, что существующие процессы очистки сточных вод на очистных сооружениях не могут полностью удалить данные вещества. Остаточные антибиотики в конечном итоге попадают в окружающую среду с очищенными стоками и считаются вторичными метаболитами антибиотиков в водной среде. Существуют также серьезные различия в очистке сточных вод, содержащих антибиотики, что приводит к разнообразию типов и концентраций антибиотиков в сточных водах разных очистных сооружений [19].

Бесконтрольное применение антибиотиков и выбросы их в окружающую среду приводят к повышению резистентности бактерий, что затрудняет борьбу с болезнями и появление высокорезистентных штаммов. Следовательно, контроль над антибиотиками жизненно важен для защиты здоровья человека и безопасности окружающей среды [20].

*Традиционные методы обнаружения*  
*Методы обнаружения на основе жидкостной хроматографии*

Поскольку на жидкостную хроматографию не влияют такие характеристики антибиотиков, как летучесть и термическая стабильность, комбинированные хроматографические методы широко используются для обнаружения антибиотиков в различных средах, таких как вода водоемов, морская,

водопроводная вода, атмосферные осадки и продукты питания. Жидкостная хроматография стала наиболее часто применяемым методом обнаружения остатков антибиотиков, отличающийся простой эксплуатацией и высокой скоростью анализа.

Антибиотики обычно разделяют с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии, которая предоставляет качественную и количественную информацию с помощью различных систем обнаружения. Хроматография или ее сочетание с различными количественными детекторами также широко используемый метод обнаружения антибиотиков. Эти методы предпочтительнее, поскольку могут соответствовать различным требованиям к точности нахождения. Общие методы включают ультрафиолетовую спектроскопию, флуоресцентное обнаружение, тандемную масс-спектрометрию и другие комбинированные технологии.

#### *Жидкостная ультрафиолетовая хроматография*

Высокоэффективная жидкостная хроматография обычно сочетается с УФ-видимыми детекторами для обнаружения поглощения ультрафиолета в воде. При данном сочетании можно достичь пределов нахождения до  $0,25 \div 0,50$  нг / мл. Степень извлечения проб может варьироваться от 85,6 до 106,1 %, а относительное стандартное отклонение составляет менее 9,5 % [1].

#### *Жидкостная флуоресцентная хроматография*

Ультрафиолетовые детекторы имеют широкий спектр применения, но их чувствительность ограничена. Для анализа некоторых образцов с высокой флуоресценцией можно применять жидкостную флуоресцентную хроматографию. Этот комбинированный метод имеет относительно высокую чувствительность и позволяет определять исследуемые образцы в низкой концентрации.

Пределы обнаружения и количественного определения отдельных препаратов при данном методе составляет  $3,1 \div 11,2$  нг / л и  $10,3 \div 37,3$  нг / л соответственно. Так, в 2018 году L. Yang и другие исследователи [21] разработали сверхэффективный метод жидкостной флуоресцентной хроматографии для определения сульфонамидов в воде. Определение целевых сульфаниламидов было линейным в диапазоне концентраций 0,05–5 мкг / л, коэффициент корреляции составлял 0,9924–0,9994.

#### *Жидкостная хроматография-масс-спектрометрия*

Жидкостная хроматография – тандем-масс-спектрометрия является наиболее часто используемым методом обнаружения антибиотиков из-за его высокой чувствительности, высокой точности и селективности [22].

N. Liang и его коллеги [23] разработали новый метод обнаружения десяти антибиотиков в пробах воды из окружающей среды с помощью твердофазной экстракции – дисперсии – жидкостной микроэкстракции в сочетании со сверхэффективной жидкостной хроматографией – тандемной масс-спектрометрией, чтобы обогатить ультраследовые антибиотики и эффективно снизить матричные эффекты. Пределы определения этого метода были менее 1,67

и 5,57 нг / мл соответственно, относительное извлечение составляло от 64,16 до 99,80 %, а относительные стандартные отклонения – от 0,7 до 8,4 %. Этот метод успешно применяется для выделения и анализа антибиотиков в различных пробах воды.

Хотя для обнаружения антибиотиков можно использовать различные аналитические методы, основанные на хроматографии, существующее оборудование слишком дорогое, а предварительная обработка проб занимает много времени и трудоемка. Поэтому более практично разработать эффективный метод быстрого и чувствительного обнаружения антибиотиков в водной среде. Принцип работы оптического датчика заключается в улавливании сигнала, генерируемого взаимодействием биометрического элемента и целевого маркера – антибиотика, и преобразовании его в оптический сигнал. Этот подход широко используется из-за его простоты и удобства. Чаще всего исследователи применяют следующие методы – флуоресценции и колориметрии, основанные на механизме передачи оптического сигнала [24].

Колориметрический метод вызвал большой интерес из-за простоты его подготовки и проведения, быстрого обнаружения и видимых изменений цвета. Благодаря этим свойствам колориметрические биосенсоры очень популярны при обнаружении антибиотиков в воде. Химические сенсоры на основе флуоресценции привлекли широкое внимание из-за их быстрого отклика, высокой чувствительности и простоты изготовления.

Электрохимические биосенсоры преобразуют концентрации антибиотиков-маркеров в электрические сигналы для целей измерения. Они имеют значительные преимущества перед другими благодаря своей высокой чувствительности, способности воспринимать образцы с высокой мутностью и не подвержены влиянию помех со стороны поглощающих и флуоресцентных соединений

#### *Результаты и дискуссии*

Антибиотики из городских и сельскохозяйственных источников сохраняются в почве и водной среде. Выборочное давление от этих соединений влияет на микробное сообщество, экологические функции и приводит к устойчивости к ним. Таким образом, миграция антибиотиков является ключом к пониманию их судьбы, поведения и воздействия в водной среде.

В данной статье были рассмотрены и обсуждены источники, преимущества и недостатки методов обнаружения загрязнения водной среды антибиотиками за последние годы.

В целом традиционный метод нахождения является точным, обладает высокой чувствительностью и селективностью, однако очевидны и его недостатки, например, дорогостоящее оборудование, трудоемкая предварительная обработка и необходимость привлечения профессиональных операторов. Биосенсорные методы предлагают более важные достижения при исследовании содержания антибиотиков в воде, хотя каждый тип биосенсоров имеет свои преимущества и недостатки, и по сравнению с ними

у электрохимических биосенсоров больше преимуществ. Они на основе наноматериалов для обнаружения антибиотиков широко используются, демонстрируя низкие рабочие потенциалы, пределы обнаружения на наномолярном уровне и линейные аналитические диапазоны без помех для антибиотиков. Применение различных типов наноматериалов может придать интерфейсу электрода высокую проводимость, а также увеличить площадь его электроактивной поверхности, тем самым значительно улучшить токовый отклик и характеристики обнаружения. Успешное применение электрохимических биосенсоров на основе наноматериалов для анализа антибиотиков в различных матрицах демонстрирует их надежность в качестве портативных полевых аналитических датчиков и является многообещающей технологией в методах обнаружения антибиотиков.

Необходимо отметить, что каждый представленный метод имеет свои достоинства и недостатки, и при планировании опытов необходимо ориентироваться на бюджет, временные рамки и квалификацию персонала.

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

1) отсутствуют утвержденные нормативы допустимых концентраций антибиотиков в поверхностных, сточных и подземных водах, что не позволяет оценить степень загрязненности ими;

2) нет аттестованных методик 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 девяти типов антибиотиков только в воде питьевых систем централизованного и нецентрализованного водоснабжения; подземных и поверхностных водных объектов – питьевого и культурно-бытового водопользования; 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. Кроме того, капиллярный электрофорез, диодно-матричное детектирование и твердофазный иммуноферментный анализ также успешно применяются для обнаружения антибиотиков, но у них до сих пор имеются недостатки – сложный процесс предварительной обработки образцов и наличие высококвалифицированного технического персонала. Поэтому для здоровья и безопасности человека очень нужен надежный и быстрый метод обнаружения антибиотиков.

Перспективными методами по обнаружению антибиотиков в городских сточных водах являются анализ содержания антибиотиков в протоке на твердотельном полярографе; анализ пробы раствора на анализаторе, 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. Zeng Y. Recent Advances and Perspectives on the Sources and Detection of Antibiotics in Aquatic Environments / Y. Zeng, F. Chang, Q. Liu, L. Duan, D. Li, H. Zhang // Journal of Analytical Methods in Chemistry. – 2022. – № 25. – С. 5091181. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1155/2022/5091181>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
2. Стукалина Ю. Н. Обеспечение экологической безопасности на объектах коммунального хозяйства / Ю. Н. Стукалина, Л. В. Боронина, Е. В. Давыдова и др. // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2020. – № 3 (33). – С. 31–34.
3. Дягелев М. Ю. Опыт выявления поллютанта в модельном растворе спектрофотометрическим методом / М. Ю. Дягелев // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2023. – № 2 (91). – С. 14–156.
4. Москвичева А. В. Некоторые аспекты применения цеолита для доочистки сточных вод от ионов металлов / А. В. Москвичева, Е. В. Москвичева, А. В. Щербаков и др. // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2019. – № 1 (27). – С. 33–37.
5. Игнаткина Д. О. Экспериментальная оценка эффективности адсорбции многокомпонентных загрязнений с использованием органобентонитового сорбента / Д. О. Игнаткина, А. А. Войтюк, А. А. Герашенко, В. И. Салеева // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2020. – № 4 (34). – С. 28–33.
6. Абуова Г. Б. Экологическое состояние водных объектов в Южном регионе России / Г. Б. Абуова, Н. С. Масютин, Е. В. Москвичева // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2018. – № 4 (26). – С. 35–39.
7. Боронина Л. В. Экологическая оценка эффективности очистки вод для малых населенных пунктов / Л. В. Боронина, Г. Б. Абуова // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2019. – № 4 (30). – С. 38–42.
8. Zhu N. Fate and driving factors of antibiotic resistance genes in an integrated swine wastewater treatment system: From wastewater to soil / N. Zhu, H. Jin, X. Ye, W. Liu, D. Li, G. M. Shah, Y. Zhu // Science of The Total Environment. – 2020. – № 721. – С. 137654. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137654>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
9. Dinh Q. T. Occurrence of antibiotics in rural catchments / Q. T. Dinh, E. Moreau-Guigon, P. Labadie, F. Alliot, M. J. Teil, M. Blanchard, M. Chevreuil // Chemosphere. – 2017. – № 168. – С. 483–490. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.10.106>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
10. Santiago-Martín A. Pharmaceuticals and trace metals in the surface water used for crop irrigation: Risk to health or natural attenuation? / A. Santiago-Martín, R. Meffe, G. Teijón, V. M. Hernández, I. López-Heras, C. Alonso Alonso, M. A. Romasanta, I. Bustamante // Science of The Total Environment. – 2020. – № 705. – С. 135825. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135825>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
11. Abramova A. A. Classification of antibiotics contained in urban wastewater / A. A. Abramova, V. G. Isakov, A. M. Nepogodin, E. V. Grakhova, M. Y. Dyagelev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : III International Scientific



Conference: AGRITECH-III-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. – 2020. – С. 52078.

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

13. Абрамова А. А. Нормативное регулирование и оценка специфических загрязнений в поверхностных и сточных водах в России и за рубежом / А. А. Абрамова, М. Ю. Дягелев, В. Г. Исаков, А. М. Непогодин // Приволжский научный журнал. – 2023. – № 1 (65). – С. 96–103.

14. Егоров Н. С. Основы учения об антибиотиках / Н. С. Егоров. – Москва : Наука, 2004. – 528 с.

15. Страчунский Л. С. Современная антимикробная химиотерапия / Л. С. Страчунский, С. Н. Козлов. – Москва : Боргес, 2002. – 432 с.

16. Абрамова А. А. Оценка загрязненности городских сточных вод антибиотическими препаратами цефалоспориновой группы и возможности их определения спектрофотометрическим методом / А. А. Абрамова, А. М. Батуева, А. В. Васильев, М. Ю. Дягелев, Е. Д. Наумкина, И. О. Чурсин // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2021. – № 2 (42). – С. 53–65.

17. Алексеев В. Г. Бионеорганическая химия пенициллинов и цефалоспоринов / В. Г. Алексеев. – Тверь : Тверской государственный университет, 2009. – 104 с.

18. Алексеев В. А. Определение аварийного загрязнения антибиотиками сточных вод / В. А. Алексеев, В. П. Усольцев, С. И. Юран, Д. Н. Шульмин // Безопасность в техносфере. – 2018. – Т. 7, № 5. – С. 3–8.

19. Jansen K. U. The role of vaccines in fighting antimicrobial resistance (AMR) / K. U. Jansen, A. S. Anderson // Human Vaccines and Immunotherapeutics. – 2018. – № 14 (9). – С. 2142–2149. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1080/21645515.2018.1476814>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.

20. Moo C.-L. Mechanisms of antimicrobial resistance (AMR) and alternative approaches to overcome AMR / C.-L. Moo, S.-K. Yang, K. Yusoff, M. Ajat, W. Thomas, A. Abushelaibi, S.-H.-E. Lim, K.-S. Lai // Current Drug Discovery Technologies. – 2020. – № 17 (4). – С. 430–447. – Режим доступа: <https://doi.org/10.2174/1570163816666190304122219>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.

21. Yang L. In situ derivatization and hollow-fiber liquid-phase microextraction to determine sulfonamides in water using UHPLC with fluorescence detection / L. Yang, Y. Shi, J. Li, T. Luan // Journal of Separation Science. – 2018. – № 41 (7). – С. 1651–1662. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1002/jssc.201701041>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.

22. Краснова Т. А. Идентификация и определение антибиотиков в питьевой воде методом масс-спектрометрии с матрично-активированной лазерной десорб-цией/ионизацией / Т. А. Краснова, В. Г. Амелин // Вода, химия и экология. – 2013. – № 11. – С. 81–87.

23. Liang N. Solid-phase extraction in combination with dispersive liquid-liquid microextraction and ultra-high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry analysis: the ultra-trace determination of 10 antibiotics in water samples / N. Liang, P. Huang, X. Hou, Z. Li, L. Tao, L. Zhao // Analytical and Bioanalytical Chemistr. – 2016. – № 408 (6). – С. 1701–1713. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1007/s00216-015-9284-z>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.

24. Новикова В. Г. Особенности современных методов определения антибиотиков в пищевых продуктах / В. Г. Новикова, Е. А. Родионов, И. А. Чаркин, И. В. Ватутина, О. В. Маслов // Молодежный инновационный вестник. – 2012. – Т. 1, № 1. – С. 267–268.

24. Кулапина Е. Г. Современные методы определения антибиотиков в биологических и лекарственных средах (обзор) / Е. Г. Кулапина, О. В. Барнинова, О. И. Кулапина, И. А. Утц, С. В. Снесарев // Антибиотики и химиотерапия. – 2009. – № 54. – С. 53–60.

© М. Ю. Дягелев, А. А. Абрамова

#### Ссылка для цитирования:

Дягелев М. Ю., Абрамова А. А. Анализ методов обнаружения антибиотиков в городских сточных водах // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2023. № 4 (46). С. 23–28.

УДК 628.312.1+691.175

DOI 10.52684/2312-3702-2023-46-4-28-33

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И УДАЛЕНИЯ МИКРОПЛАСТИКА НА ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ КАНАЛИЗАЦИИ

**А. Ю. Федотова, Е. В. Астраханцева, М. Ю. Дягелев**

**Федотова Анастасия Юрьевна**, магистрант, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова, г. Ижевск, Российская Федерация; e-mail: kelso.nastya@mail.ru;

**Астраханцева Екатерина Вадимовна**, студент, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова, г. Ижевск, Российская Федерация; e-mail: katya\_astrahanceva27@mail.ru;

**Дягелев Михаил Юрьевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Водоснабжение и водоподготовка», Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова, г. Ижевск, Российская Федерация; e-mail: m.yu.dyagelev@istu.ru

Микропластик встречается повсеместно, что вызывает растущую озабоченность по поводу состояния окружающей среды, здоровья людей, социально-экономического и нормативного регулирования. Сооружения по очистке сточных вод являются конечным пунктом для накопления микропластика из разных источников и по причине отсутствия возможности полностью его удалить в ряде случаев являются причиной загрязнения. В данной работе рассмотрены физико-химические свойства микропластика, поступающего на очистные сооружения, – форма, полимерный состав и размеры. Представлены также данные о влиянии этих свойств на эффективность удаления микропластика на механической и биологической ступени очистки сточных вод.

**Ключевые слова:** сточные воды, микропластик, пластиковые отходы, водная токсикология, микрозагрязнители.