

ском способах обработки / Р.А. Ковалев, М.Г. Бурдова, И.В. Гришина // Известия ТулГУ. Технические науки. 2018. Вып. 10. С.343-346.

2. Майстренко В.Н., Хамитов Р.З., Будников Г.К. Эколого-аналитический мониторинг супертоксикантов / В.Н. Майстренко, Р.З. Хамитов, Г.К. Будников. М.: Химия. 1996. 319 с.

3. Филатова Е.Г. Обзор технологий очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов, основанных на физико-химических процессах // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2015. № 2 (13). С.97-109.

4. Колесников В. А., Ильин В. И., Бродский В. А., Колесников А. В. Электрофлотация в процессах водоочистки и извлечения ценных компонентов из жидких техногенных отходов. Обзор // Теоретические основы химической технологии. 2017. Т. 5. № 4. С. 361–375.

5. Гладких С.Н. Очистка гальванических стоков ремонтных предприятий. Материалы III Международной научно-практической конференции, посвященной Всенородному дню гражданской обороны : в 3 ч. Ч. II. Проблемы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций.– М. : Академия ГПС МЧС России. 2019. С.104-108.

6. Гладких С.Н. Очистка гальванических стоков // Труды Ростовского государственного университета путей сообщений. Научно-технический журнал. №1 (46). 2019. С.21-23.

УДК 628.316.12

А.А. Извекова, асп.;

Е.Ю. Квиткова, науч. сотр., канд. хим. наук;

А.А. Гушин, проф., д-р хим. наук

(Ивановский государственный химико-технологический университет,
г. Иваново, Россия)

ОЧИСТКА ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ОТ ХЛОРАМФЕНИКОЛА В ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОМ БАРЬЕРНОМ РАЗРЯДЕ

Загрязнение водоемов потенциально опасными веществами, включая фармацевтические препараты (ФП) и средства личной гигиены, остается одной из актуальных проблем современности, вызывающей серьезное беспокойство у научного сообщества и экологических организаций [1]. Первые случаи обнаружения ФП в водной среде и питьевой воде датируются 1980-ми годами [2]. С течением времени количество таких исследований увеличивается, подтверждая распространение данных веществ и их потенциальное воздействие на экосистемы и здоровье человека [3].

Основными путями проникновения ФП в окружающую среду являются использование населением фармацевтических препаратов,

утилизация через канализационные системы, сбросы сточных вод фармацевтическими предприятиями, а также дренаж медицинских отходов. Исследования показывают, что традиционные методы очистки стоков недостаточно эффективны для удаления ФП, что ведет к попаданию загрязняющих веществ в водоемы без надлежащей обработки.

Например, некоторые широко распространенные лекарственные средства, такие как ибупрофен, парацетамол, а также антибиотики левомецетин и тетрациклин, встречаются в значительных концентрациях в поверхностных водах, что создает серьезные риски для экологической безопасности и здоровья населения. Согласно результатам крупного исследования, проведенного учеными Йоркского университета, наиболее распространенным ФП являются гормоны и антибиотики, которые были обнаружены в 75% изученных проб благодаря их широкому применению и стойкости к разложению [4].

Усугубляет проблему тот факт, что многие из этих соединений характеризуются низкой биоразлагаемостью и способны аккумулироваться в водных источниках, создавая долговременную угрозу. Дополнительно возрастает риск появления устойчивых к антибиотикам бактерий из-за наличия остаточных количеств лекарств в водной среде. Современные технологии водоочистки пока не обеспечивают полного удаления данных соединений из сточных вод [5], поэтому необходимы инновационные подходы к нейтрализации фармацевтических примесей в стоках. В частности, плазменные технологии, включая применение диэлектрического барьерного разряда (ДБР), считаются перспективным методом для эффективной очистки воды от фармацевтических загрязнений [6].

Плазмохимические технологии относятся к современным окислительным методам, которые основаны на использовании высокоактивных гидроксильных радикалов и имеют высокую эффективность удаления органических соединений из воды.

В данной работе рассмотрена возможность применения ДБР для очистки воды от ФП (на примере хлорамфеникола). Хлорамфеникол (Торговое название – левомецетин) – антибиотик широкого спектра действия. Для приготовления модельных растворов использовался левомецетин, выпускаемый ЗАО «Производственная фармацевтическая компания Обновление».

Эксперимент проводился на установке, основным элементом которой является плазмохимический реактор с коаксиальным расположением электродов, описание конструктивных особенностей и принципа действия которого приведено в работе [6]. Оптимальными условиями обработки водных растворов хлорамфеникола в плазме диэлектрического барьерного разряда, являются: приложенное к элек-

тродам напряжение – 13 кВ (вкладываемая мощность в разряд – 11,61 Вт), время контакта раствора с зоной разряда – до 5 секунд.

Содержание хлорамфеникола в пробах осуществлялось путем его извлечения из водных растворов методом экстрагирования органическим растворителем – этилацетатом с последующим спектрофотометрированием (спектрофотометр «UNICO, мод. 2804»).

Процесс деструкции хлорамфеникола в реакторе ДБР протекает достаточно эффективно (степень разложения достигает 85 %). Эффективность очистки водных растворов от хлорамфеникола (α) оценивалась по формуле:

$$\alpha(\%) = \frac{C_{\text{нач}} - C}{C_{\text{нач}}} \cdot 100 \quad (1)$$

где $C_{\text{нач}}$ и C – начальная концентрация хлорамфеникола на входе в реактор и на выходе из него соответственно.

Исследование показало, что степень деградации хлорамфеникола под воздействием ДБР при начальных концентрациях (C_0) в диапазоне от 9 до 45 мг/л достигает значений 70 % – 85 %. Константа скорости деградации хлорамфеникола (k), рассчитанная на основании кинетической модели для этого диапазона начальных концентраций, снижается вдвое – с $(0,30 \pm 0,03)$ до $(0,16 \pm 0,01) \text{ с}^{-1}$ по мере увеличения начальной концентрации. В то время как скорость процесса деградации W , которая определяется как $W = k \cdot C_0$, возрастает с 8,2 до 22,0 мкмоль/л·с.

Сравнение кинетики деградации хлорамфеникола с аналогичными показателями для парацетамола свидетельствует о большей устойчивости хлорамфеникола к разложению в ДБР [7].

Эффективность процесса деградации исследуемого препарата с точки зрения затрат энергии (число разложенных молекул на каждые 100 эВ потребленной энергии) варьируется в пределах от 0,002 до 0,006 молекул/100 эВ, что существенно меньше соответствующих показателей для парацетамола в аналогичных условиях (от 0,015 до 0,022 молекул/100 эВ) [7].

Анализ продуктов разложения хлорамфеникола в водной среде выявил присутствие альдегидов, карбоновых кислот, аммонийного азота, а также нитритных и нитратных ионов. Увеличение продолжительности воздействия плазмы на раствор привело к повышению уровня альдегидов, ионов аммония (NH_4^+) и нитратов (NO_3^-). Установлено, что от 12,2% до 25,3% углерода, входящего в состав левомицетина, превращается в CO_2 . Степень минерализации исходного соединения увеличивается прямо пропорционально снижению его начальной концентрации в растворе.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что технология очистки сточных вод при помощи ДБР является перспективным мето-

дом для удаления фармацевтических веществ, таких как хлорамфеникол, из водных сред.

*Работа выполнялась в рамках государственного задания
на выполнение НИР: тема № FZZW-2023-0010.*

ЛИТЕРАТУРА

1. Comber S. et al. Active pharmaceutical ingredients entering the aquatic environment from wastewater treatment works: a cause for concern? // *Science of the total environment*. – 2018. – Т. 613. – С. 538-547.
2. Richardson M. L., Bowron J. M. The fate of pharmaceutical chemicals in the aquatic environment // *Journal of Pharmacy and Pharmacology*. – 1985. – Т. 37. – №. 1. – С. 1-12.
3. Datel J. V., Hrabankova A. Pharmaceuticals load in the svihov water reservoir (Czech Republic) and impacts on quality of treated drinking water // *Water*. – 2020. – Vol. 12. – No. 5. – P. 1387.
4. Wilkinson J. L. et al. Pharmaceutical pollution of the world's rivers // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. – 2022. – Vol. 119. – No. 8. – P. e2113947119.
5. Yang H. et al. Residues, bioaccumulation, and trophic transfer of pharmaceuticals and personal care products in highly urbanized rivers affected by water diversion // *Journal of hazardous materials*. – 2020. – Т. 391. – С. 122245.
6. Gushchin A. et al. Reducing the Toxicity of Tetracycline Solutions and the Kinetics of Decomposition under the Action of DBD in Oxygen // *Plasma Medicine*. – 2019. – Vol. 9. – No. 2.
7. Ignatiev, A. A., Gushchin, A. A., Grinevich, V. I., Kvitkova, E. Y., Izvekova, A. A., & Rybkin, V. V. // *High Energy Chemistry*. 2023. 57(6), P. 522-526.

УДК 621.357

Е.О. Черник, соискатель, нач. отдела ОНТМ, НИиНИРС;
И.И. Курило, зав. кафедрой ФКиАХ, канд. хим. наук;
А.А. Черник, зав. кафедрой ХТЭХПиМЭТ, канд. хим. наук
(БГТУ, г. Минск)

ОСАЖДЕНИЕ НИКЕЛЕВЫХ ПОКРЫТИЙ НА КОРПУСА СТОМАТОЛОГИЧЕСКОГО ИНСТРУМЕНТА В УСЛОВИЯХ ИМПУЛЬСНОГО ТОКА

Благодаря относительной простоте, электрохимический способ получения композиционных покрытий нашел широкое применение и активно используется для изготовления алмазного стоматологического инструмента.