

нальному использованию // Агрохимия. 2017. № 6. С. 3–11. 2.

2. Сычев В.Г., Лунев М.И., Павлихина А.В. Современное состояние и динамика плодородия пахотных почв России // Плодородие. 2012. № 4(66). С. 5–7. 3.

3. Тлеукенова С. У., Ишмуратова М. Ю. Изучение влияния внесения биоугля на pH почвы. – 2017.

4. Ушаков Р. Н. и др. Некоторые параметры устойчивости агроэкосистем // Агрохимия. – 2019. – №. 4. – С. 11-22.

5. Сычев В.Г., Шафран С.А. О балансе питательных веществ в земледелии России // Плодородие. 2017. № 1 (94). С. 1–4. 4.

6. Фрид А.С. Методология оценки устойчивости почв к деградации // Почвоведение. 1999. № 3. С. 399–404.

УДК 628.16.094.3-926.214, 66.087.3

Е.А. Сахно, студ.; Н.А. Иванцова, доц., канд. хим. наук
(РХТУ им. Д.И. Менделеева, г. Москва, Россия)

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ НИТРОФУРАЛА С ПОМОЩЬЮ ОЗОНИРОВАНИЯ И ЭЛЕКТРООКИСЛЕНИЯ

Загрязнение окружающей среды фармацевтическими отходами – серьезная мировая проблема, опасная для экологии и здоровья людей. Даже небольшие дозы лекарственных и косметических средств способны оказывать негативное воздействие на природные системы и организм человека [1].

Сточные воды фармацевтических предприятий образуются в различных стадиях производства: при подготовке сырья, в технологических процессах получения лекарственных препаратов и промежуточных продуктов, при регенерации и утилизации растворителей, а также при очистке газовых выбросов водой. Кроме того, сточные воды образуются в процессах фильтрации, экстракции, химической очистки препаратов и при промывке оборудования [2].

Для разложения фармацевтических препаратов возможно применение методов высокоинтенсивного окисления, которые основаны на активации озона, пероксида водорода или персульфата [3]. Озон демонстрирует высокую окислительную способность в отношении органических и неорганических веществ благодаря своему окислительному потенциалу 2,07 В [2]. Он эффективно окисляет органические соединения

при комнатной температуре, любых концентрациях и значениях pH [4]. В реакциях с органическими молекулами O_3 атакует двойные связи и активированные ароматические структуры [5]. Озонирование сточных вод не приводит к образованию осадков и не требует регенерации. Электрохимическое окисление обеспечивает удаление нитросоединений из сточных вод, но имеет ограничения, связанные с необходимостью использовать специальные установки, периодичностью, высокими затратами энергии и риском образования токсичных побочных продуктов.

Объектами исследования являлись модельные водные растворы нитрофурала (активного вещества фурацилина), произведенного «ИРБИТСКИМ ХФЗ». Нитрофурал (фурацилин) – мелкокристаллический порошок желтого или зеленовато-желтого цвета без запаха с горьким вкусом, является противомикробным средством с наружным или местным действием. Имеет молекулярную формулу $C_6H_6N_4O_4$ с молярной массой 198,136 г/моль. Нитрофураны были получены из 2-замещенного фурана присоединением к нему нитрогруппы в пятом положении [3]. В случае низких концентраций (до 100 мг/л) органических нитросоединений в сточных водах целесообразно применение деструктивных методов очистки, таких как электроокисление и озонирование [4]. Для приготовления растворов таблетку фурацилина измельчали, взвешивали необходимое количество в пересчете на нитрофурал, и затем растворяли в дистиллированной воде с помощью магнитной мешалки 10-15 минут до полного растворения антисептика. Исходная концентрация нитрофурала варьировалась в диапазоне 5-25 мг/л. Концентрацию определяли спектрофотометрически, измеряя оптическую плотность растворов при 375 нм.

Озонирование проводили на лабораторной установке, состоящей из генератора озона производительностью 1000 мг/ч, колонны озонирования, деструктора озона, подробное описание изложено в [6]. Для электроокисления использовали платинированные титановые аноды на установке, состоящей из источника постоянного тока DAZHENG PS-305D, анода, катода, мешалки, емкости с исследуемым раствором [7]. Во всех опытах электролиз проводился при токе 0,1 А, электролитом выступал NaCl, содержащийся в составе таблетки.

На рис. 1 представлены результаты окисления нитрофурала при различных исходных концентрациях озоном. Установлено, что с увеличением исходной концентрации нитрофурала в 12,5 раз (от 2-25 мг/л) эффективность его деструкции при времени обработки 20 мин снижается в 2,2 раза. Однако через 60 мин обработки (во всех случаях) степень

очистки от лекарственного вещества составила более 95%.

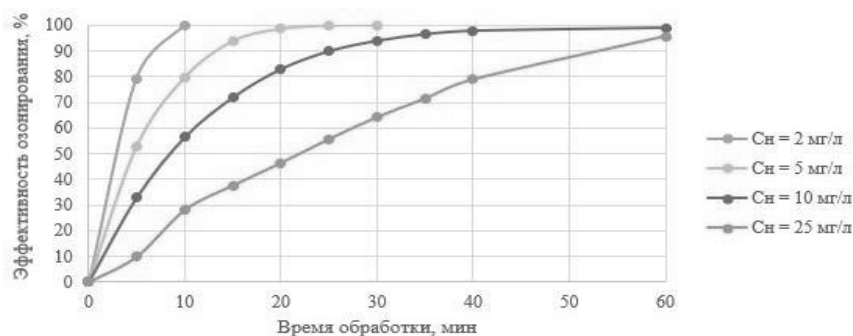


Рисунок 1 – Зависимость эффективности озонирования нитрофураля от времени обработки

На рис. 2 представлены результаты исследования электроокисления нитрофураля. При электроокислении водного раствора нитрофураля полная деструкция (степень очистки более 98 %) его водного раствора содержащего 2 и 5 мг/л достигается через 20 мин электролиза. В случае обработки более высоконцентрированных растворов – 10 и 25 мг/л – максимальная эффективность электроокисления (при времени обработки 60 мин) составила 98 и 80 % соответственно.

В данной сравнительной оценке эффективности очистки воды от нитрофураля с использованием методов озонирования и электроокисления были проанализированы ключевые аспекты каждого из этих методов.

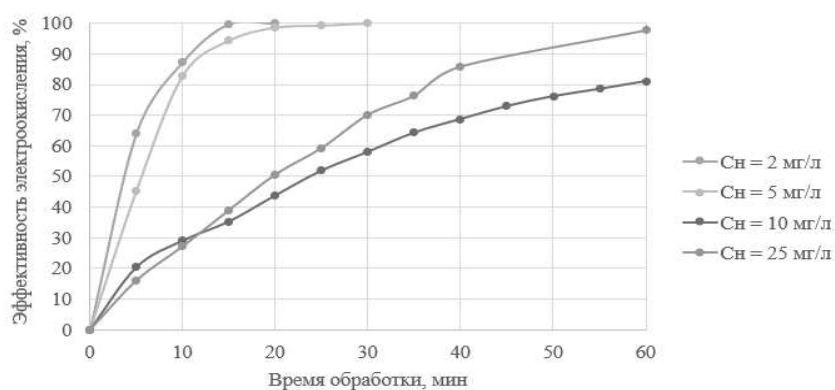


Рисунок 2 – Зависимость эффективности электроокисления нитрофураля от времени обработки

Озонирование показало высокую эффективность в разрушении нитрофураля благодаря мощному окислительному действию озона. Процесс позволяет достигать значительного снижения концентрации вещества в воде за короткие промежутки времени. Однако, озонирование требует тщательного контроля дозировки озона и может привести к образо-

ванию побочных продуктов. С другой стороны, электроокисление также зарекомендовало себя как перспективный метод очистки. Этот метод отличается низкими затратами на оборудование и энергоресурсы, но скорость процесса может говорить о необходимости удлинения времени обработки.

В итоге, выбор между озонированием и электроокислением должен основываться на конкретных условиях, таких как содержание нитрофурала в воде, требуемая степень очистки и экономическая составляющая. Рекомендуется дальнейшее исследование обеих технологий для оптимизации процессов и повышения их эффективности в удалении синтетических загрязнителей из водных ресурсов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Zhang, F. Application of ozone-catalyzed oxidation process for degradation of pharmaceuticals and personal care products // *Frontiers in Science and Engineering*. – 2024. – Т. 4. – №.8. – С. 45-49.
2. Тимонин А. С. Инженерно-экологический справочник. – 2003. – Т. 2. – 883 с.
3. Koundle P. et al. Tetracycline degradation for wastewater treatment based on ozone nanobubbles advanced oxidation processes (AOPs) – Focus on nanobubbles formation, degradation kinetics, mechanism and effects of water composition // *Chemical Engineering Journal*. – 2024. – Т. 501. – С. 156236.
4. Белов С. Г., Наумчик Г. О. Исследование деструкции нитрозамещённых органических веществ в водных растворах при озонировании // *Вестник Брестского государственного технического университета. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология*. – 2016. – №. 2. – С. 54-58.
5. Sharma V. K. Oxidative transformations of environmental pharmaceuticals by Cl_2 , ClO_2 , O_3 , and Fe (VI) : kinetics assessment // *Chemosphere*. – 2008. – Т. 73. – №. 9. – С. 1379-1386.
6. Каратаева П.Р., Иванцова Н.А. Каталитическое озонирование водного раствора парацетамола // *Экологическая химия*, 2022, Т.31, № 1, с. 34–39.
7. Kuznetsov V.V., Kuzin E.N., Ivantsova N.A., Pirogov A.V., Mezhev Y.O., Filatova E.A., Averina Y.M. Study of the Process of Electrochemical Oxidation of Active Pharmaceutical Substances on the Example of Nitrofurazone ((2E)-2-[(5- Nitro-2-furyl)methylene]hydrazine Carboxamide) // *Water*. 2023. Vol. 15. Art. № 3370/