

ОКИСЛИТЕЛЬНАЯ ДЕСТРУКЦИЯ ТЕТРАЦИКЛИНА РАЗЛИЧНЫМИ ПЕРОКСИДНЫМИ СИСТЕМАМИ

Устинова М.Н., Филиппова К.А.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород

Изучена окислительная деструкция тетрациклина рядом пероксидных систем различного состава: пероксид водорода в присутствии ионов железа (II), пероксид водорода в присутствии ионов железа (III), пероксид водорода в присутствии одновременно ионов железа (II) и (III), пероксид водорода в присутствии комплекса ЭДТА – Fe^{2+} и пероксид водорода в присутствии комплекса ЭДТА – Fe^{3+} . Определены оптимальные условия процесса, подобраны эффективные соотношения реагентов, рассчитаны степени деструкции и начальные скорости процессов. Показано, что совместное присутствие ионов железа (II) и ионов железа (III) в системе снижает расход пероксида водорода при окислении тетрациклина. Установлено, что замена гидратированных ионов железа на комплексы с ЭДТА незначительно влияет на эффективность окисления тетрациклина. Доказано, что в водных растворах действующее вещество тетрациклина может быть окислено при комнатной температуре и атмосферном давлении пероксидом водорода в присутствии ионов железа (II) и/или железа (III). Этот способ может быть рекомендован для деструкции и инактивации фармацевтических поллютантов тетрациклинового ряда.

Ключевые слова: тетрациклин, реактив Фентона, система Раффа

С бурным развитием фармацевтической индустрии интенсивно набирает обороты проблема загрязнения биосферы загрязнителями фармацевтического происхождения [1, с.195; 2, с.100].

Так, тетрациклины - высокоэффективные противомикробные препараты с относительно низкой стоимостью, а потому востребованы в медицине, а также в ветеринарии для лечения и профилактики инфекционных заболеваний. Антибиотики данного класса также стимулируют рост животных и занимают лидирующее место по применению среди других ветеринарных препаратов.

Медикаменты могут поступать в окружающую среду различными способами: со сточными водами фармацевтических предприятий, через выделительные системы человека или животного, в результате утилизации населением просроченных препаратов [3, с.609; 4, с.77; 5, с.8].

Поиск путей очистки природных объектов от загрязнителей или способов инактивации данного класса поллютантов является крайне

актуальной задачей [6, с.36, 7, с.131]. В настоящее время известны различные методы очистки сточных вод [8, с.275; 9, с.81]. Однако не найдено универсального, высокоэффективного и наименее затратного метода деструкции [10, с.25; 11, с.1166]. В данной работе исследовались химические методы деструкции.

Целью настоящей работы является исследование процесса окисления тетрациклина различными окислительными системами на основе пероксида водорода.

Для изучения процесса деструкции был выбран лекарственный препарат «Тетрациклин». Данный антибиотик выпускается в виде таблеток с содержанием 100 мг основного вещества - тетрациклина гидрохлорида (рисунки 1), а также добавок: стеарата кальция, диоксида титана, целлюлозы.

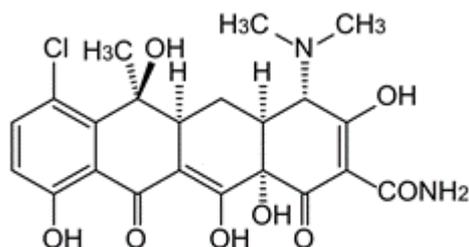


Рис. 1. Структурная формула тетрациклина гидрохлорида

Для исследования процесса деструкции тетрациклина готовили растворы малых концентраций, характерные для сточных вод фармацевтических предприятий. Для этого таблетку тетрациклина тщательно растирали в агатовой ступке, затем полученную навеску растворяли в соляной кислоте и перемешивали в течении 30 минут для полного растворения лекарственного препарата. Раствор тетрациклина готовили в 0,1 моль/л растворе соляной кислоты в колбе на 100 мл, далее отбирали необходимое количество в реакционную колбу.

Расчет концентрации делали относительно действующего вещества, конечная концентрация в рабочем растворе составляла 0,08 ммоль/л.

Для приготовления системы Фентона, включающего пероксид водорода и соль двухвалентного железа, использовали пероксид водорода «медицинский», концентрацию которого определяли по плотности с помощью ареометра и методом окислительно-восстановительного титрования перманганатом калия в кислой среде. Концентрация составила 11 моль/л, дальнейшие исследования проводили путём разбавления рабочего раствора.

Источником ионов железа (II) служила соль Мора ($\text{FeSO}_4 \cdot (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$). Для приготовления раствора брали навеску, растворяли в воде и количественно переносили в колбу на 25 мл. Далее из полученного раствора отбирали необходимые объемы и переносили в

колбу на 25 мл. Концентрации полученных рабочих растворов варьировались в диапазоне от 0,11 до 0,88 ммоль/л.

Пероксид водорода для системы Раффа готовили аналогично, как и для системы Фентона. Источником трехвалентного железа в реактиве Раффа служил хлорид железа 6-ти водный. Для приготовления раствора брали навеску $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, растворяли в воде и количественно переносили в колбу на 25 мл. Дальнейшие исследования проводили путем разбавления данного раствора. Концентрация рабочих растворов варьировалась в диапазоне от 0,11 до 0,88 ммоль/л.

Раствор ЭДТА с ионами железа (II) или (III) готовили в соотношении 1:1. Для приготовления раствора ЭДТА использовали раствор с концентрацией 0,0489 моль/л, из которого отбирали необходимый объем и дистиллированной водой в мерной колбе на 100 мл доводили до метки. Итоговая концентрация раствора ЭДТА составляла 2,2 ммоль/л.

Деструкцию тетрациклина изучали спектрофотометрическим методом, с помощью спектрофотометра Spесord 200 plus. До начала проведения исследования сняли спектр поглощения раствора тетрациклина. Как видно из рисунка 2, в спектре поглощения тетрациклина наблюдается несколько характерных полос с максимумами при 220, 265, 365 нм [12, с.34]. Однако для учета влияния пероксида водорода и ионов железа (высокая оптическая плотность пероксида водорода наблюдается до 240 нм), была выбрана аналитическая длина волны тетрациклина – 365 нм.

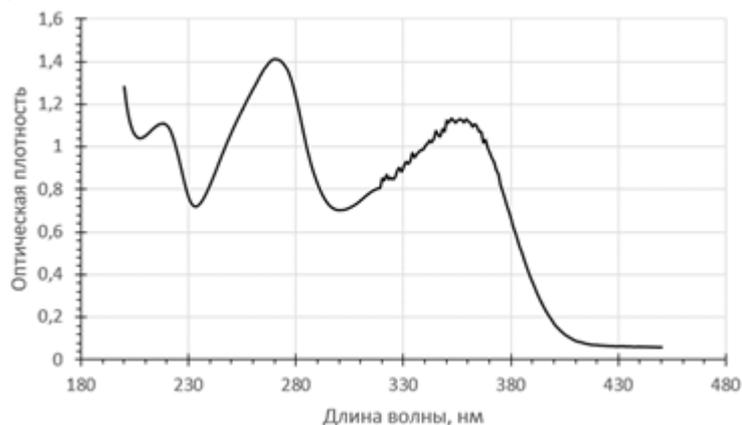


Рис. 2. Спектр поглощения тетрациклина ($C=0,08$ ммоль/л)

Необходимо было также убедиться, что изменение оптической плотности тетрациклина не связано ни с чем иным, кроме снижения концентрации в ходе деструкции. Чтобы исключить влияние комплексообразования в системе, регистрировали спектр раствора, содержащий тетрациклин и ионы железа. Сравнение спектров показало, что в присутствии железа не наблюдается ни образования новых

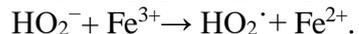
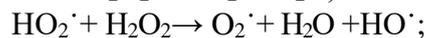
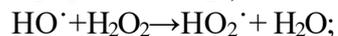
максимумов, ни сдвига существующих полос поглощения. Это позволило сделать вывод об отсутствии в исследуемой смеси комплексообразования с ионами железа.

Эксперимент проводили при постоянном значении температуры 22⁰С. Также неизменным параметром являлось значение рН, за ним следили во всех экспериментах, работали в диапазоне 2.9-3.2 [13, с.73].

Данная работа является продолжением исследований окисления лекарственных препаратов, проводимых на кафедре общей химии НИУ «БелГУ», [14, с.1], данная работа посвящена изучению окисления тетрациклина реактивом Фентона, Раффа и другими пероксидными системами [15, с.1687].

Перед началом работы был проведен эксперимент окисления тетрациклина только пероксидом водорода, результат показал, что производить очистку от органических загрязнителей таким способом неэффективно. При таких условиях исследуемый лекарственной препарат не разлагается. Пероксид водорода является сильным окислителем в присутствии добавок, инициирующих процесс радикального распада пероксида. Самыми распространенными катализаторами такого рода являются катионы железа, причём, как отмечается применяют как Fe²⁺ – система Фентона, так и Fe³⁺ – система Раффа.

Гомогенно-каталитическая генерация радикалов ·ОН, в реакции радикального распада пероксида водорода в присутствии ионов железа, происходящая благодаря попеременному чередованию стадий окисления и восстановления ионов двух- и трехвалентного железа, позволяет получать свободные радикалы при комнатной температуре [16, с.52]:



Ион железа (II) в данной реакции является катализатором, свободные радикалы, образовавшиеся в ходе разложения пероксида водорода, являются сильными окислителями. Разложение пероксида водорода под действием катализатора ионов двухвалентного железа "сопрягается" с вторичной реакцией окисления тетрациклина пероксидом водорода. В этом случае гидроксильный радикал является переносчиком индуцирующего действия пероксида водорода на вторичную реакцию.

Последующие исследования окисления тетрациклина проводили реактивом Фентона. По полученным данным, на скорость процесса деструкции влияет как содержание пероксида водорода, так и ионов железа.

Расчет начальных скоростей процесса проводили на основании определения скорости: экспериментальные кривые аппроксимировали полиномами вида $y = ax^4 - bx^3 + cx^2 - dx + l$ или $y = ax^6 - bx^5 + cx^4 - dx^3 + ex^2 - ix + l$, где a, b, c, d, e, i, l – константы; начальную скорость процесса (w_0) рассчитывали, как значение производной данных функций при $t=0$. Расчет степени деструкции (F) проводили по разности концентраций в нулевой момент времени и в момент времени t , отнесенную к исходной концентрации субстрата.

Можно видеть (таблица 1), что оптимальная концентрация пероксида водорода составляет 0,22 моль/л, при такой концентрации степень деструкции через час достигает 85%. Начальная скорость процесса деструкции сопоставима для всех изученных варьируемых концентраций. Снижение содержания пероксида водорода, как и его увеличение не значительно влияет на начальную скорость деструкции, однако уменьшает степень превращения тетрациклина до 80%.

Таблица 1
Кинетические характеристики деструкции тетрациклина реактивом Фентона

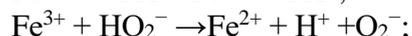
Концентрация окислительных реагентов	F, %		w_0 , ммоль/л×мин
	15 мин	60 мин	
[Fe ²⁺] = 0,11 ммоль/л; [H ₂ O ₂] = 0,22 моль/л	75,0	85,2	0,076
[Fe ²⁺] = 0,44 ммоль/л; [H ₂ O ₂] = 0,22 моль/л	77,7	84,4	0,102
[Fe ²⁺] = 0,88 ммоль/л; [H ₂ O ₂] = 0,22 моль/л	68,4	71,5	0,081
[Fe ²⁺] = 0,22 ммоль/л; [H ₂ O ₂] = 0,11 моль/л	77,0	82,1	0,098
[Fe ²⁺] = 0,22 ммоль/л; [H ₂ O ₂] = 0,44 моль/л	72,5	80,0	0,094

Эффективность окисления тетрациклина безусловно зависит и от содержания ионов железа (II) в растворе. Оптимальным является соотношение ионов железа (II) и пероксида водорода равное 1:2000, при такой концентрации эффективность процесса деструкции тетрациклина гидрохлорида наиболее высока.

Образующиеся в ходе разложения пероксида водорода гидроксильные и пергидроксильные радикалы образуют различные продукты, состав которых зависит от степени разбавления пероксида водорода, причем радикал $\cdot\text{OH}$ ведет неселективное окисление, а радикал $\text{HO}_2\cdot$ - селективное. Однако в фентоновской системе ведущим активным центром является радикал $\cdot\text{OH}$, который является неселективным активным центром, так как он обладает способностью одинаково

успешно атаковать другую сложную молекулу по различным связям.

Не смотря, на то, что в механизме Фентона задействованы ионы и двух- и трехвалентного железа, в системе Раффа исходным инициатором разложения пероксида водорода является ион железа (III) и первично генерируется $\text{HO}_2\cdot$ радикал. Радикал $\text{HO}_2\cdot$ является селективным окислителем, сохраняет донорно-акцепторные свойства пероксида водорода, и, представляет собой его активную форму.



Дальнейшие эксперименты деструкции тетрациклина проводили с помощью системы Раффа, включающий пероксид водорода и соль трехвалентного железа. Аналогично ионам двухвалентного железа, были рассчитаны начальные скорости процесса деструкции и степени деструкции (таблица 2).

Т а б л и ц а 2

Кинетические характеристики деструкции тетрациклина системой Раффа

Концентрация окислительных реагентов	F, %		w_0 , ммоль/л×мин
	15 мин	60 мин	
$[\text{Fe}^{3+}] = 0,11$ ммоль/л; $[\text{H}_2\text{O}_2] = 0,22$ моль/л	71,6	82,7	0,094
$[\text{Fe}^{3+}] = 0,44$ ммоль/л; $[\text{H}_2\text{O}_2] = 0,22$ моль/л	75,0	81,2	0,080
$[\text{Fe}^{3+}] = 0,88$ ммоль/л; $[\text{H}_2\text{O}_2] = 0,22$ моль/л	65,4	70,3	0,065
$[\text{Fe}^{3+}] = 0,22$ ммоль/л; $[\text{H}_2\text{O}_2] = 0,11$ моль/л	78,3	84,6	0,086
$[\text{Fe}^{3+}] = 0,22$ ммоль/л; $[\text{H}_2\text{O}_2] = 0,44$ моль/л	66,5	77,3	0,079

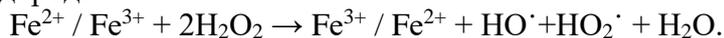
Как видно из таблицы, оптимальная концентрация пероксида водорода составляет 0,11 моль/л, при такой концентрации степень деструкции через час достигает 85%. Начальная скорость процесса деструкции сопоставима для всех изученных варьируемых концентраций. Увеличение содержания пероксида водорода не значительно влияет на начальную скорость деструкции, однако уменьшает степень превращения тетрациклина.

Эффективность окисления тетрациклина также зависит и от содержания ионов железа (III) в растворе, оптимальной по данным серии опытов являлась концентрация 0,22 ммоль/л. Полученное оптимальное соотношение ионов железа и пероксида водорода является 2:1000, при такой концентрации эффективность процесса деструкции тетрациклина гидрохлорида наиболее высока.

Таким образом, можно сделать вывод, что механизмы каталитического разложения пероксида водорода в системах Фентона и Раффа имеют много общего, но различаются механизмом инициирования.

Ввиду прямого влияния концентрации ионов железа (II) и (III) на процесс деструкции представляло интерес изучить совместное влияние обоих ионов железа на процесс деструкции и сопоставить данные с полученными ранее.

Предполагаемый механизм процесса позволял заключить, что оптимальным будет соотношение реагентов при удвоенном содержании пероксида водорода:



В таблице 3 представлены расчетные кинетические данные процессов деструкции при различных соотношениях реагентов.

Таблица 3

Кинетические характеристики деструкции тетрациклина системой Фентон-Рафф

Концентрация окислительных реагентов	F, %		w ₀ , ммоль/л×мин
	15 мин	60 мин	
[Fe ²⁺] = 0,11 ммоль/л; [Fe ³⁺] = 0,11 ммоль/л; [H ₂ O ₂] = 0,22 моль/л	74,7	82,9	0,103
[Fe ²⁺] = 0,11 ммоль/л; [Fe ³⁺] = 0,11 ммоль/л; [H ₂ O ₂] = 0,11 моль/л	78,9	85,3	0,085
[Fe ²⁺] = 0,11 ммоль/л; [Fe ³⁺] = 0,11 ммоль/л; [H ₂ O ₂] = 0,055 моль/л	79,7	85,9	0,097
[Fe ²⁺] = 0,11 ммоль/л; [Fe ³⁺] = 0,11 ммоль/л; [H ₂ O ₂] = 27,5 ммоль/л	79,2	85,8	0,091
[Fe ²⁺] = 0,11 ммоль/л; [Fe ³⁺] = 0,11 ммоль/л; [H ₂ O ₂] = 13,75 ммоль/л	77,2	85,3	0,095

Из полученных данных видна определенная закономерность: при концентрациях пероксида водорода в диапазоне от 0,11 моль/л и до 13,75 ммоль/л степень деструкции тетрациклина через час окисления сопоставима и составляет 85%. Увеличение концентрации пероксида водорода выше данного диапазона, как и уменьшение ниже него снижает эффективность процесса. Оптимальным при этом является соотношение с двухкратным уменьшением пероксида водорода в системе, вопреки ожиданиям.

В литературе [18, с.81] встречаются данные, что при

использовании вместо гидратированных ионов железа его комплексных соединений, меняется ход химического процесса. Так, система Уденфрида с аскорбиновой и этилендиаминтетрауксусной кислотой, уравнивает каталитическую активность ионов Fe^{2+} и Fe^{3+} . Гидроксидирующие каталитические системы, содержащие Fe^{2+} , проявляют ограниченную активность, в результате чего выходы продуктов реакций и селективность также становятся невысоки.

Возник интерес изучения влияния введения в систему дополнительного агента – двузамещенной этилендиаминтетрауксусной кислоты. Согласно литературным данным, высокая лабильность координационной сферы иона железа в комплексе ЭДТА служит причиной его высокой реакционной способности в окислительно-восстановительных реакциях по отношению к различным субстратам. Поэтому нами была предпринята попытка применить подобные окислительные системы для деструкции тетрациклина.

В первой серии экспериментов изучалось поведение в окислительно-деструктивных процессах комплекса ионов железа (II) с ЭДТА:



При изучении данных систем получено, что скорость разложения зависит от концентрации пероксида водорода, оптимальной является 0,44 ммоль/л. Однако при данных концентрациях начальная скорость процесса ниже других изученных (таблица 4).

Таблица 4

Кинетические характеристики деструкции тетрациклина системами $EDTA-Fe^{2+} - H_2O_2$ и $EDTA-Fe^{3+} - H_2O_2$

Концентрация окислительных реагентов	F, %		w_0 , ммоль/л×мин
	15 мин	60 мин	
$[EDTA-Fe^{2+}] = 0,22$ ммоль/л; $[H_2O_2] = 0,44$ моль/л	76,9	85,4	0,079
$[EDTA-Fe^{2+}] = 0,22$ ммоль/л; $[H_2O_2] = 0,22$ моль/л	78,3	85,3	0,094
$[EDTA-Fe^{2+}] = 0,22$ ммоль/л; $[H_2O_2] = 0,11$ моль/л	75,2	84,4	0,085
$[EDTA-Fe^{3+}] = 0,22$ ммоль/л; $[H_2O_2] = 0,44$ моль/л	59,6	84,3	0,069
$[EDTA-Fe^{3+}] = 0,22$ ммоль/л; $[H_2O_2] = 0,22$ моль/л	62,7	85,9	0,065

Также необходимо отметить, что комплекс железа (III) с ЭДТА является менее эффективным «активатором» пероксида водорода, чем гидратированные ионы железа на начальном этапе процесса:



Показано, что в первые 15 минут степень деструкции тетрациклина значительно ниже аналогичной в предыдущих экспериментах (60%). Однако через час достигает 86%, что сопоставимо с другими окислительными системами. Вероятно, данный факт связан с иным механизмом образования свободных радикалов в системе, а также их накоплением для инициирования процесса деструкции. Комплексы железа (III) с ЭДТА более эффективны в деструктивном процессе тетрациклина, в то время как реактив Фентона эффективнее системы Раффа.

Оптимальные соотношения окислительных реагентов, при которых была достигнута максимальная степень деструкции препаратов через час, представлены в таблице 5.

Таблица 5

Оптимальные условия окислительной деструкции тетрациклина

№	Окислительная система	Оптимальное соотношение реагентов	F _{max} , %
1	[Fe ²⁺]:[H ₂ O ₂]	1:2000	85,2
2	[Fe ³⁺]:[H ₂ O ₂]	2:1000	84,6
3	[Fe ²⁺]:[Fe ³⁺]:[H ₂ O ₂]	1:1:500	85,9
4	[ЭДТА-Fe ²⁺]:[H ₂ O ₂]	1:2000	85,4
5	[ЭДТА-Fe ³⁺]:[H ₂ O ₂]	1:1000	85,9

Таким образом, на основании многочисленных исследований механизмов превращения субстратов в фентоноподобных системах, пришли к выводу, что образуемые интермедиаты для каждой изучаемой системы носят специфический характер и зависят от физико-химических свойств субстрата, что делает невозможным предсказание структуры промежуточных продуктов и активных центров или составление единого алгоритма протекания химических реакций.

Заключение

Установлено, что в водных растворах действующее вещество тетрациклина может быть окислено при комнатной температуре и атмосферном давлении пероксидом водорода в присутствии ионов железа (II) и железа (III). Этот способ может быть рекомендован для деструкции и инактивации фармацевтических поллютантов тетрациклинового ряда.

Определены оптимальные условия окисления тетрациклина: концентрация субстрата, пероксида водорода, ионов железа (II), ионов железа (III), pH протекания реакции. Показано, что совместное присутствие ионов железа (II) и ионов железа (III) в системе снижает расход пероксида водорода при окислении тетрациклина.

Показано, что замена гидратированных ионов железа на комплексы железа с ЭДТА незначительно влияет на эффективность

окисления тетрациклина. Выявлено, что комплексы железа (III) с ЭДТА более эффективны в деструктивном процессе тетрациклина, в то время как реактив Фентона более эффективен системы Раффа.

Список литературы

1. Козырев С.В., Кораблев В.В., Якуцени П.П. Новый фактор экологического риска: лекарственные вещества в окружающей среде и питьевой воде. // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 2012. № 4 (159). С. 195–201.
2. Яковлева И.Ю., Михайлова Т.А., Фадеева О.М., Высоких Т.В. Экологический кризис. // В сборнике: Актуальные вопросы современной науки. труды международной научно-практической конференции. 2016. С. 100–102.
3. Водяницкий Ю.Н., Яковлев А.С. Загрязнение почв и почвенно-грунтовых вод новыми органическими микрополлютантами (обзор) // Почвоведение. 2016. № 5. С. 609–619.
4. Козлова М.А. Лекарственное загрязнение природных и сточных вод: методы очистки и результаты исследования. // Экологический вестник Северного Кавказа. 2020. Т. 16. № 1. С. 77–80.
5. Самойленко Н.Н., Ермакович И.А. Загрязнение муниципальных вод фармацевтическими препаратами и их производными. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2013. Т. 4. № 10 (64). С. 8–11.
6. Гетьман М.А., Наркевич И.А. Прогнозирование и контроль поступления остатков ЛС в окружающую среду Ремедиум. // Журнал о российском рынке лекарств и медицинской техники. 2013. № 5. С. 36–44.
7. Баренбойм Г.М., Чиганова М.А., Березовская И.В. Особенности загрязнения поверхностных водных объектов компонентами лекарственных средств. // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2014. № 3. С. 131–141.
8. Гуцин А.А., Емжина В.В., Извекова Т.В., Квиткова Е.Ю., Мыльникова Т.Д. Окислительная деструкция водных растворов тетрациклина в диэлектрическом барьерном разряде. // В сборнике: Актуальные проблемы биологии и экологии. Материалы международной заочной научно-практической конференции. 2017. С. 275–280.
9. Емжина В.В., Иванцова Н.А., Кручинина Н.Е. Озонирование активных фармацевтических субстанций в присутствии пероксида водорода // Вестник Технологического университета. 2018. Т. 21. № 4. С. 81–85.
10. Максименя Г.Г. Ликвидация некачественной фармацевтической продукции // Медицинский журнал. 2019. № 1 (67). С. 25–31.
11. Новикова Ю.А., Маркова О.Л., Фридман К.Б. Основные направления минимизации рисков здоровью населения, обусловленных загрязнением поверхностных источников питьевого водоснабжения лекарственными средствами. // Гигиена и санитария. 2018. Т. 97. № 12. С. 1166–1170.

12. Тыжигирова В.В. Применение ультрафиолетовой, видимой и инфракрасной спектроскопии в анализе лекарственных средств: учебное пособие. ФГБОУ ВО ИГМУ Минздрава России, Кафедра фармацевтической и токсикологической химии. Иркутск: ИГМУ. 2018. 72 с.
13. Желовицкая А. В., Дресвянников А. Ф., Чудакова О. Г. Применение перспективных окислительных процессов для очистки сточных вод, содержащих фармацевтические препараты (обзор) // Вестник технологического университета. 2015. Т.18. №20. С.73–79.
14. Филиппова К.А., Устинова М.Н. Окислительная деструкция тетрациклина. Выпускная квалификационная работа, 2021. 41 с.
15. Ustinova M.N., Lebedeva O.E. Oxidative Inactivation of Drugs // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 5(5), 2014. P. 1687–1690
16. Долгопоск Б.А., Тинякова Е.И. Окислительно–восстановительные системы как источники свободных радикалов М.: Наука, 1972. 240 с.
17. Нагиев, Т.М. Химическое сопряжение: сопряженные реакции окисления перекисью водорода. – М.: Наука, 1989. 216 с
18. Сычев А.Я., Травин С.О. Каталитические реакции и охрана окружающей среды. - Кишинев: Штиинца, 1983. 216 с.

Об авторах:

УСТИНОВА Мария Николаевна – кандидат химических наук, доцент кафедры общей химии, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, *e-mail: ustinova@bsu.edu.ru*

ФИЛИППОВА Ксения Алексеевна, студентка 4 курса специальности 04.03.01 Химия, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, *e-mail: 1248517@bsu.edu.ru*

OXIDATIVE DEGRADATION OF TETRACYCLINE BY VARIOUS PEROXIDE SYSTEMS

M.N. Ustinova, K.A. Filippova

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Belgorod State University», Belgorod

The oxidative degradation of tetracycline was studied by the methods: hydrogen peroxide in the presence of iron (II) ions, hydrogen peroxide in the presence of iron (III) ions, hydrogen peroxide in the presence of iron (II) and (III) ions, hydrogen peroxide in the presence of the complex EDTA – Fe²⁺ and hydrogen peroxide in the presence of the complex EDTA – Fe³⁺. The optimal conditions of the process are determined, the effective ratios of reagents are selected, the degrees of destruction and the initial speeds of the processes are calculated. It is shown that the combined presence of iron (II) ions and iron (III)

ions in the system reduces the consumption of hydrogen peroxide during the oxidation of tetracycline. It was found that the replacement of hydrated iron ions with iron complexes with EDTA slightly affects the efficiency of tetracycline oxidation.

It is proved that in aqueous solutions, the active substance of tetracycline can be oxidized at room temperature and atmospheric pressure with hydrogen peroxide in the presence of iron (II) and/or iron (III) ions. This method can be recommended for the destruction and inactivation of pharmaceutical pollutants of the tetracycline series.

Keywords: *tetracycline, Fenton's reagent, Ruff's system*