

Фомина Лариса Валерьевна,  
к.т.н., доцент, Ангарский государственный технический университет,  
flvbaan@mail.ru

Денеко Дарья Александровна,  
магистрант гр.ХТм-22-1, Ангарский государственный технический университет,  
vzcdnk@gmail.com

## ОКИСЛЕНИЕ ИОДИД-ИОНОВ ПЕРСУЛЬФАТОМ АММОНИЯ В ПРИСУТСТВИИ ИОНОВ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

Fomina L.V, Deneko D.A.

### OXIDATION OF IODIDE IONS WITH AMMONIUM PERSULFATE IN THE PRESENCE OF TRANSITION METAL IONS

**Аннотация.** Фотоколориметрическим методом исследована каталитическая активность четырёх ионов металлов четвёртого периода таблицы Д.И. Менделеева в реакции окисления иодида калия персульфатом аммония. Наибольшее увеличение скорости реакции наблюдается в присутствии сульфата меди, наименьшее – в присутствии солей кобальта и никеля.

**Ключевые слова:** катализ переходными металлами, окисление, персульфат-ионы.

**Abstract.** The catalytic activity of four metal ions of the fourth period of the table by D.I. Mendeleev in the oxidation of potassium iodide with ammonium persulfate. The greatest increase in the reaction rate is observed in the presence of copper sulfate, the least in the presence of cobalt and nickel salts.

**Keywords:** transition metal catalysis, oxidation, persulfate-ions.

К окислительно-восстановительным превращениям относят процессы передачи электронов от восстановителя к окислителю. Окислителями выступают вещества, характеризующиеся высокими значениями окислительно-восстановительного потенциала: кислород, озон, перекисные соединения, персульфаты, перманганаты, гипохлориты, иодаты, нитраты и др. Важным в химическом процессе является не токсичность исходных реагентов и продуктов их превращения. Пероксид водорода (ПВ), озон, кислород – наилучшие, так как конечным продуктом их восстановления в водной среде является вода. Повысить эффективность действия окислителей позволяет введение катализаторов.

Окисление органических веществ пероксидом водорода проводят гомогенно и гетерогенно на катализаторах типа Фентона. В гомогенном катализе это сульфаты, либо нитраты переходных металлов (меди и железа); в гетерогенном – ионы кристаллической решетки оксидов переходных металлов [1]. В работе [2] исследовали окисление органических соединений кислородом воздуха в присутствии трет-бутилгидропероксида и диацетата меди (II). Авторами [3] предложено кондуктометрическое наблюдение за процессами глубокого окисления 4-нитрофенола, 2,4- и 2,6-динитрофенолов ПВ в присутствии ионов  $Fe^{2+}$ . Установлено [4], что окислительная деструкция *n*-аминобензолсульфамида в водных растворах в присутствии ПВ и катионов  $Fe^{3+}$  возрастает до 30 раз относительно некаталитического окисления. В работе [5] найдены условия эффективной каталитической делигнификации растительного сырья ПВ без использования органических кислот. При очистке сточных вод (СВ) [6] комбинированными окислительными методами перспективна окислительная деструкция примесей ПВ в присутствии металлов переменной валентности. Для очистки СВ от органиче-

ских красителей предложено [7] использовать  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и феррит-хромит никеля (II) – меди (II) ( $\text{Ni}_{0,3}\text{Cu}_{0,7}\text{Fe}_{0,6}\text{Cr}_{1,4}\text{O}_4$ ). Перспективным в процессах очистки СВ от органических соединений [8] является катализатор, содержащий оксиды Mn и Se. Окисление озоном на смеси оксидов меди и хрома рекомендовано для очистки СВ, образующихся при отмывке печатных плат в электронной промышленности [9]. Гальванокоагуляционный метод с эффектом короткозамкнутого гальванического элемента пары Fe-C позволяет проводить очистку СВ и оборотных вод за счет генерирования в системе ионов  $\text{Fe}^{2+}$  и  $\text{Fe}^{3+}$  – катализаторов разложения ПВ с образованием гидроксильных, супероксидных радикалов [10].

Персульфаты (пероксосульфаты) – соли пероксосерных кислот, растворимые в воде, содержат пероксидную цепочку в анионе, сильные окислители (восстанавливаются до сульфатов), разлагаются при нагревании с образованием кислорода, отбеливающие и дезинфицирующие средства, наряду с озоном применяются в получении окислительных битумов, как инициаторы радикальной полимеризации [11]. Механизмы реакций окисления персульфатами и ПВ включают стадии образования активных радикалов. Исследования превращения ПВ обширны в отличие от реакций с участием персульфат-иона.

Цель нашей работы – исследование влияния переходных металлов на кинетику окисления ионов  $\Gamma^-$  ионами  $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ . Фотоколориметрическим методом в водном растворе, при 20 °С определены значения средних скоростей окисления иодид-ионов персульфатом аммония в присутствии серной кислоты и простых солей двухвалентных металлов: Cu, Fe, Ni, Co. По результатам экспериментов ионы металлов можно расположить в ряд по убыванию каталитической активности в исследуемой реакции:  $\text{Cu}^{2+} > \text{Fe}^{2+} > \text{Co}^{2+} \approx \text{Ni}^{2+}$ .

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Конькова, Т.В.** Каталитическое окисление щавелевой кислоты в водных растворах пероксидом водорода / Т.В. Конькова, И.А. Почиталкина, Е.Ю. Либберман – Текст: электронный // Катализ в промышленности. – № 3. – 2007. – С. 14–18. – URL: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_11714278\\_67660043.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_11714278_67660043.pdf) (дата обращения: 20.02.2023).

2. **Додонов, В.А.** Селективное гетерогенно-каталитическое окисление C-H-связей некоторых углеводородов системой диацетат меди (II) – трет-бутилгидропероксид – кислород воздуха / В.А. Додонов, Т.И. Зиновьева. – Текст: электронный // Вестник Нижегородского университета, – 2004. – № 1(4). – С. 75–86. – URL: [http://www.unn.ru/pages/vestniki\\_journals/99990197\\_West\\_him\\_2004\\_1\(4\)/B\\_1-11.pdf](http://www.unn.ru/pages/vestniki_journals/99990197_West_him_2004_1(4)/B_1-11.pdf) (дата обращения: 20.02.2023).

3. **Немченко, М.Н.** Кондуктометрическое исследование окисления нитрофенолов пероксидом водорода в присутствии ионов железа (II) / М.Н. Немченко, А.А. Соловьёва, О.Е. Лебедева. – Текст: электронный // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. – 2008. – Т. 51. – № 5. – С. 34–36. – URL: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_17745374\\_55222146.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_17745374_55222146.pdf) (дата обращения: 20.02.2023).

4. **Дамбуева, Д.В.** Окислительная деструкция п-аминобензолсульфамида пероксидом водорода в присутствии катионов  $\text{Fe}^{3+}$  / Д.В. Дамбуева. – Текст:

электронный // Вестник Бурятского государственного университета. Химия, физика. – 2013. – № 3. – С. 26–29. – URL: [http://journals.bsu.ru/content/pages/156/himiya,\\_fizika.\\_2013\\_3.pdf](http://journals.bsu.ru/content/pages/156/himiya,_fizika._2013_3.pdf) (дата обращения: 20.02.2023).

5. **Пен, В.Р.** Кинетика разложения пероксида водорода в присутствии вольфрамата, молибдата, серной кислоты и их смесей / В.Р. Пен, Н.В. Каретникова, И.Л. Шапиро и др. – Текст: электронный // Успехи современного естествознания. – 2010. – № 9. – С. 212–213. – URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=8913> (дата обращения: 20.02.2023).

6. **Батоева, А.А.** Каталитическое окисление серосодержащих соединений / А.А. Батоева, Б.А. Цыбикова, С.Л. Будаев. – Текст: электронный // Вестник бурятского государственного университета. – 2011. – № 3. – С. 59–65. – URL: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_16382426\\_31970956.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_16382426_31970956.pdf) (дата обращения: 20.02.2023).

7. **Зеленская, Е.А.** Изучение каталитической активности оксидов переходных элементов в реакции разложения пероксида водорода / Е.А. Зеленская, В.М. Чернышев, Н.П. Шабельская и др. – Текст: электронный // Фундаментальные исследования. – № 4-2. – 2016. – С. 261–265. – URL: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_25953349\\_75538613.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_25953349_75538613.pdf) (дата обращения: 20.02.2023).

8. **Савиных, Д.С.** Синтез и исследование катализаторов для жидкофазного окисления органических веществ / Д.С. Савиных, Т.В. Конькова, Е.Ю. Либерман и др. – Текст: электронный // Успехи в химии и химической технологии. – 2008. – Т. XXII. – № 9 (89). – С. 87–91. – URL: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_20190487\\_23184640.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_20190487_23184640.pdf) (дата обращения: 20.02.2023).

9. **Фаттахова, А.М.** Применение катализаторов в окислительных процессах очистки природных и сточных вод / А.М. Фаттахова, А.Г. Кирсанова, Р.И. Хангильдин. – Текст: электронный // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. – 2011. – №2. – С. 83–87. – URL: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_20361910\\_23930337.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_20361910_23930337.pdf) (дата обращения: 20.02.2023).

10. **Цыбикова, Б.А.** Синергизм действия ионов меди и железа при гальванохимическом окислении тиоцианатов пероксидом водорода / Б.А. Цыбикова – Текст: электронный // Вестник Бурятского государственного университета. – 2013. – № 3. – С. 24–26. – URL: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_19041695\\_67940194.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_19041695_67940194.pdf) (дата обращения: 20.02.2023).

11. **Гудкова, В.Д.** Определение энергии активации гомогенной реакции окисления иодид-иона персульфатом / В.Д. Гудкова, В.А. Слободян, Е.Г. Шубенкова. – Текст: электронный // В книге: Техника и технология нефтехимического и нефтегазового производства. Материалы 9-ой международной научно-технической конференции. – 2019. – С. 272–273. – URL: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_39216007\\_45438821.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_39216007_45438821.pdf) (дата обращения: 20.02.2023).