

## ОКИСЛИТЕЛЬНАЯ ДЕСТРУКЦИЯ ИНДИГОКАРМИНА В ПРИСУТСТВИИ СОЛЕЙ МАГНИЯ<sup>1</sup>

**К.С. Ерохин<sup>1</sup>**

**К.К. Кишибаев<sup>2</sup>**

**О.Е. Лебедева<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Белгородский государственный национальный исследовательский университет,  
Россия, 308015, г. Белгород,  
ул. Победы, 85

E-mail: OLebedeva@bsu.edu.ru

<sup>2</sup> Казахский национальный университет им. аль-Фараби,  
Республика Казахстан, 050040,  
Алматы, просп. аль-Фараби, 71

Изучена окислительная деструкция индигокармина системами Фентона и Раффа в присутствии солей магния. Показано, что введение нитрата магния в систему не оказывает влияния на деструкцию индигокармина, тогда как в присутствии сульфата магния отчетливо видны признаки ингибирования целевого процесса. Высказано предположение, что в результате взаимодействия с сульфат-ионами происходит гибель реакционноспособных радикальных частиц.

Ключевые слова: индигокармин, окислительная деструкция, система Фентона, система Раффа, соли магния.

### Введение

Химическая деструкция органических загрязнителей изучена в модельных системах для достаточно широкого круга субстратов. Однако применение окислительно-деструктивных процессов для очистки воды сдерживается ограниченными знаниями о протекании этих процессов в реальных системах, даже достаточно простых, содержащих набор типичных для природной пресной воды компонентов. Так, дискуссионным остается вопрос о влиянии солей на окислительную деструкцию органических субстратов системами Фентона и Раффа. Например, опубликованы экспериментальные результаты, согласно которым присутствие сульфат-ионов в системе ингибирует окисление 2-нитрофенола и 2-хлорфенола реактивом Фентона [1]. Наши исследования окислительной деструкции динитрофенолов реактивом Фентона, напротив, свидетельствуют о весьма незначительном влиянии сульфата натрия на скорость и глубину окисления органического субстрата [2]. Представляло интерес проверить общность полученных результатов с применением субстрата другого состава и использованием сульфата другого металла. С этой целью нами было выполнено исследование окислительной деструкции индигокармина в присутствии сульфата магния. Окисление индигокармина в модельных системах изучено ранее [3].

### Экспериментальная часть

В работе использовали индигокармин марки «чда», пероксид водорода «медицинский», точное значение концентрации которого определяли методом косвенного окислительно-восстановительного титрования тиосульфатом натрия в кислой среде,  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  марки «чда»,  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$  марки «чда»,  $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$  марки «чда»,  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$  марки «чда».

Эксперименты по окислительной деструкции осуществлялись в водных растворах индигокармина объемом 50 мл с начальной концентрацией субстрата 70 мкмоль/л. Окисление проводили либо реактивом Фентона (пероксид водорода в сочетании с двухзарядными ионами железа), либо реактивом Раффа (пероксид водорода в сочетании с трехзарядными ионами железа). Концентрация пероксида водорода в начале эксперимента во всех случаях составляла 0.34 ммоль/л, концентрация ио-

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг., госконтракт № П397 от 12 мая 2010 г.



нов железа – 25 мкмоль/л, независимо от окислительной системы. Эксперименты по окислению проводились при исходном значении рН реакционных смесей 3.0–3.5 без дополнительного регулирования.

Для оценки влияния посторонних ионов на процесс окислительной деструкции в исследуемый раствор вводили соли магния: сульфат или нитрат.

Изменения концентрации индигокармина в растворах фиксировали методом спектрофотометрии при помощи прибора Specord 50 с автоматической регистрацией оптической плотности.

### Результаты и их обсуждение

Соли магния вводили в исследуемые системы в концентрации 7 ммоль/л. Именно такое значение концентрации сульфата натрия использовано авторами [1]. Отметим, что это значение близко к верхней границе минерализации пресных природных вод [4].

Первоначально изучали влияние солей магния на скорость и глубину окислительной деструкции индигокармина системой Фентона. Соответствующие кинетические кривые представлены на рис.1 в сравнении с кривой для модельной системы – раствора, в котором присутствуют только индигокармин, пероксид водорода и соль железа. Как видно из представленных данных, в присутствии сульфата магния скорость деструкции, определяемая наклоном кривой, заметно меньше, чем для модельной системы, а для полной деструкции индигокармина требуется значительно больше времени, чем в модельной системе. В то же время кинетическая кривая, полученная в присутствии нитрата магния, практически совпадает с кривой для модельной системы. Результаты сравнения двух солей магния однозначно свидетельствуют о влиянии на процесс именно аниона; катион магния, как и следовало ожидать, в изучаемом процессе индифферентен. Нитрат также не влияет на ход окислительной деструкции индигокармина.

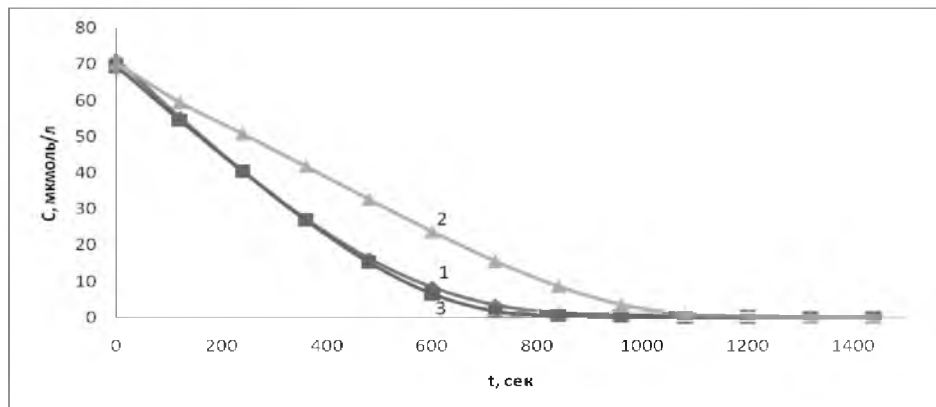


Рис. 1. Кинетические кривые окисления индигокармина системой Фентона: 1 –  $C(Mg(NO_3)_2)=7$  ммоль/л; 2 –  $C(MgSO_4)=7$  ммоль/л; 3 – в отсутствие солей  $Mg^{2+}$

К аналогичному заключению приводит окисление индигокармина системой Раффа: присутствие нитрата магния не сказывается на виде кинетической кривой, тогда как при введении в систему сульфата магния отчетливо видны признаки ингибирования окисления индигокармина (рис. 2).

Как известно, окисление органических субстратов системами Фентона и Раффа протекает по радикальному механизму; гидроксильные либо гидропероксильные радикалы генерируются из пероксида водорода под действием двух- или трехзарядных ионов железа соответственно. Авторы [1] объясняют ингибирующую способность сульфат-ионов их взаимодействием с радикалами-окислителями, в результате чего снижается количество активных частиц в системе. В то же время образующиеся новые радикальные частицы  $SO_4^{\cdot-}$  достаточно активны и могут сами вносить вклад в окисление субстрата.

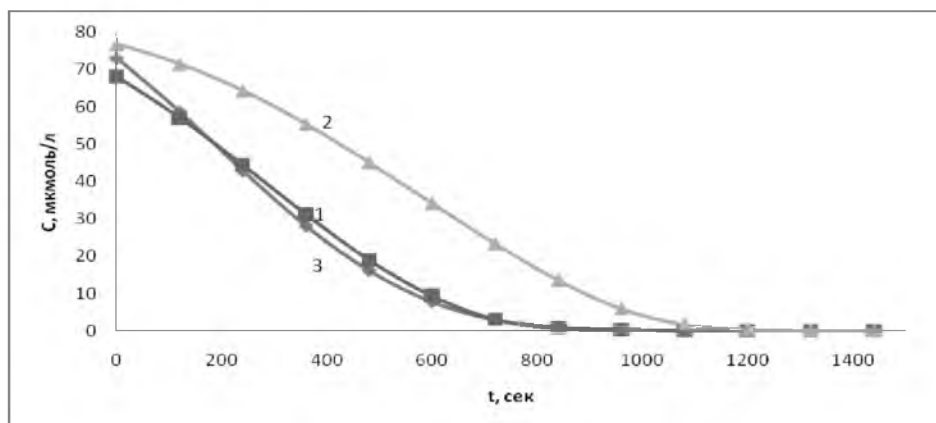


Рис. 2. Кинетические кривые окисления индигокармина системой Раффа: 1 –  $C(Mg(NO_3)_2)=7$  ммоль/л; 2 –  $C(MgSO_4)=7$  ммоль/л; 3 – в отсутствие солей  $Mg^{2+}$

Таким образом, наблюдаемые экспериментально эффекты влияния посторонних анионов в системах Фентона/Раффа являются усредненным результатом параллельного протекания нескольких процессов: гибели гидроксильных (пергидроксильных) радикалов при взаимодействии с введенным веществом или реакционными интермедиатами и деструкции субстрата под воздействием не только основных частиц-окислителей, но и вновь возникающих реакционных интермедиатов. Следовательно, конечный результат зависит от соотношения реакционной способности гидроксильных (пергидроксильных) радикалов, и радикалов, образующихся с участием сульфат-ионов, а также устойчивости субстрата к деструкции.

#### Список литературы

1. Sidlecka E. M., Stepnowski P. Phenols degradation by Fenton reaction in the presence of chlorides and sulfates // Polish J. Environmental Studies. -2005. – V. 14. – N 6. – P.823-828.
2. Соловьева А. А., Пашина М. А., Лебедева О. Е. Окислительная деструкция динитрофенолов реактивом Фентона в присутствии неорганических солей // Ж. прикладной химии. – 2007. – Т. 80. – № 2. – С. 276 – 279.
3. Ерохин К.С., Жибурт В.С., Глухарева Н.А., Лебедева О.Е. Окислительная деструкция индигокармина // Научные ведомости БелГУ. Сер. Естественные науки. – 2011. – № 9 (104) – Вып. 15. – С. 142-146.
4. ГОСТ 17403-72. Гидрохимия. Основные понятия. Термины и определения.

## OXIDATIVE DESTRUCTION OF INDIGOCARMIN IN THE PRESENCE OF MAGNESIUM SALTS

**C.S. Yerohin**<sup>1</sup>  
**K.K. Kishibaev**<sup>2</sup>  
**O.E. Lebedeva**<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Belgorod State National Research University  
 Pobedy St., 85, Belgorod, 308015, Russia  
 E-mail: OLebedeva@bsu.edu.ru

<sup>2</sup>Al-Farabi Kazakh National University  
 Al-Farabi av., 71, Almaty, 050040, Republic of Kazakhstan

Oxidative destruction of indigocarmine by Fenton and Ruff systems in the presence of magnesium salts was studied. Introduction of magnesium nitrate into the system was demonstrated not to affect the destruction of indigocarmine while the indication of inhibition of indigocarmine destruction in the presence of magnesium sulfate was distinctly observed. The interaction of reactive radical particles with sulfates was assumed to result in the termination of the particles.

Key words: indigocarmine, oxidative destruction, Fenton system, Ruff system, magnesium salts.