

Александров О. В.,  
Цихановская И. В.,  
Барсова З. В.

## СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ РАСТВОРЕНИЯ МАГНЕТИТА В МОДЕЛЬНЫХ СРЕДАХ

*Изучена кинетика растворения магнетита в модельных средах в зависимости от времени растворения и рН среды. Приведены результаты растворимости спектрофотометрическим, атомно-абсорбционным и весовым методами. Подобрана оптимальная концентрация исходных веществ и условия проведения синтеза магнетита. Установлено, что растворимость возрастает при увеличении времени инкубации.*

**Ключевые слова:** синтез, кинетика, магнетит, растворимость, концентрация, среда.

### 1. Введение

На сегодняшний день актуальной является проблема разработки технологии синтеза веществ, особенно с использованием ресурсосберегающих технологий. Синтез магнетита методом соосаждения не требует дополнительных ресурсозатрат и возможен с использованием отходов производств. Одной из важных проблем является поступление достаточного количества двухвалентного железа в организм, так как недостаток его приводит к расстройству клеточных функций: нарушению обеспечения тканей кислородом и возникновению железодефицитных анемий. Источником двухвалентного железа может служить магнетит. Поэтому разработка технологии синтеза магнетита и исследование процессов, происходящих с ним в различных средах является актуальной и важной задачей.

### 2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Магнетит имеет ряд уникальных свойств и содержится в живой и не живой природе [1–4], и даже в тканях человека, что доказывает его биологическую совместимость с живыми организмами. Установлено, что он имеет низкую токсичность  $LD_{50} = 10$  г/кг, низкий уровень мутагенной опасности, ему присущи бактерицидность, и бактериостатичность. Выявляет отсутствие отрицательных реакций организма при внутривенном, внутриартериальном, внутрибрюшинном путях введения коллоидного магнетита [5–7]. Помимо этого, магнетит обладает уникальными свойствами, имеет высокое значение магнитных характеристик, в том числе температуры Кюри. В целом магнетит оказывает положительное влияние на организм человека и соответственно пригоден в качестве источника двухвалентного железа. Однако, результаты исследования поведения магнетита в различных средах в зависимости от рН и длительности нахождения его в этих средах, авторами не были обнаружены.

### 3. Объект, цель и задачи исследования

Объектом исследований является магнетит.

Целью проведенных исследований было изучение растворимости магнетита и подбор оптимальных условий синтеза.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- провести исследование кинетики растворения синтезированного магнетита в зависимости от рН среды и времени растворения;
- подобрать оптимальную концентрацию исходных веществ и условия проведения синтеза магнетита.

### 4. Результаты экспериментальных исследований и их обсуждение

Изучена растворимость мелкодисперсного порошка магнетита в условиях модельного эксперимента с учетом рН среды, количества и времени пребывания. Для создания кислой и щелочной среды использовали 0,2 М растворы соляной кислоты и натрия гидрокарбоната соответственно. Исследования проводили в отсутствие и с добавлением ферментов. В исходные растворы (50 см<sup>3</sup>) добавляли навески опытных образцов магнетита (2,5 г) [8, 9] при медленном перемешивании. Полученную смесь выдерживали в термостате при температуре 37 °С в течение 180 минут при постоянном перемешивании (50 об/мин). Через каждые 30, 60, 150 и 180 минут проводили отбор проб, в которых определяли концентрацию Fe (III), Fe (II) и Fe (общ). В анализируемые пробы для полного окисления Fe<sup>2+</sup> до Fe<sup>3+</sup> добавляли концентрированную азотную кислоту. Результаты исследований растворимости магнетита спектрофотометрическим [10] и атомно-абсорбционным методами показали, что лучше магнетит растворяется в кислой среде. При уменьшении кислотности среды (с рН 1,8 до 5) растворимость Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ухудшается на 6,35 мас. %. Это связано с образованием комплексных соединений железа и более легким переходом Fe из твердого состояния в раствор в виде растворимых ионов в среде с меньшим значением рН. В модельной среде (рН = 1,8) без ферментов растворимость Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> выше по сравнению со средой, содержащей ферменты. Возможно, это связано с ингибированием процессов растворения магнетита. В модельной среде без ферментов (рН = 5) растворимость магнетита ухудшается. Анализ растворимости магнетита, в щелочных средах, показал, что лучше магнетит растворяется в более щелочных средах. Что связано с образованием водорастворимых гидроксокомплексов железа в щелочной

среде. В модельной среде при pH = 7,2 без ферментов растворимость Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ниже по сравнению со средой, содержащей ферменты.

При определении концентрации железа в модельных средах лучшей методикой является атомно-абсорбционная спектроскопия. Используя экспериментальные данные, определили порядок реакции (реакция I-го порядка) и константу скорости реакции растворения магнетита.

Растворимость магнетита улучшается при увеличении времени пребывания Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> в анализируемых модельных средах. Во всех модельных средах растворимость магнетита увеличивалась с возрастанием времени инкубации Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, что связано, по-видимому, с прохождением химических реакций и физико-химических превращений в растворе Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> со средой, приводящих к образованию растворимых аква- и гидро-ксокомплексов железа.

## 5. Выводы

В результате проведенных исследований:

1. Изучена растворимость магнетита в модельных средах в зависимости от времени растворения и pH среды. Выбран оптимальный метод для исследования растворимости Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. Установлено, что растворимость магнетита возрастает при увеличении времени инкубации и описывается уравнением первого порядка.

2. Выявлено, что магнетит способен растворяться в модельных средах и может быть использован для поставки в организм усваиваемого железа (II).

## Литература

- Брусенцов, Н. А. Физические и химические критерии ферромагнетиков для биомедицинских целей [Текст] / Н. А. Брусенцов, В. В. Гогосов, М. В. Лукашевич // Химико-фармацевтический журнал. — 1996. — № 10. — С. 48–53.
- Vidal-Gadea, A. Animal magnetism: how the magnetic field influences animal navigation [Text] / A. Vidal-Gadea // eLife Sciences Publications. — 2015. — P. 1–2.
- Whiting, J. How do animals use their magnetic superpowers? [Text] / J. Whiting // Adaptations, Technology. — 2015. — P. 1–3.
- Киршвинк, Д. Д. Биогенный магнетит и магниторецепция [Текст] / Д. Д. Киршвинк. — М.: Мир, 1989. — Т. 1. — 352 с.
- Joao, T. Comet assay assessment of oleic acid-coated magnetite nanoparticles on human SHSY5Y neuronal cells [Electronic resource] / T. Joao, L. Blanca, K. Gözde, F.-B. Natalia, C. Carla, C. Solange et al. // Frontiers in Genetics. — 2015. — Vol. 6. — Available at: \www/URL: <http://doi.org/10.3389/conf.fgene.2015.01.00026>
- Илюха, Н. Г. Технология производства и показатели качества пищевой добавки на основе магнетита [Текст] / Н. Г. Илюха, З. В. Барсова, В. А. Коваленко, И. В. Цихановская // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2010. — № 6/10(48). — С. 32–35. — Режим доступа: \www/URL: <http://journals.urau.ru/eejet/article/view/5847>
- Белоусов, А. Н. Влияние магнетита — препарата нанотехнологии на клеточный метаболизм [Текст] / А. Н. Белоусов // Вісник проблем біології і медицини. — 2003. — № 7. — С. 36–37.
- Levitin, Y. Physical and technological principles of creating biocompatible superparamagnetic particles [Text] / Y. Levitin, A. Koval, I. Vedernikova, L. Ol'khovik, M. Tkachenko // Acta Poloniae Pharmaceutica, Drug Research. — 2011. — Vol. 68, № 4. — P. 549–553.
- Спосіб отримання магнетиту [Електронний ресурс]: патент України № 54284 / Ілюха М. Г., Барсова З. В., Цихановська І. В., Тимофєєва В. П., Ведерникова І. О.; заявник та власник патенту УІПА. — опубл. 10.11.2010, Бюл. № 21. — Режим доступу: \www/URL: <http://uapatents.com/3-54284-sposib-otrimannya-magnetitu.html>
- Прайс, В. Аналитическая атомно-абсорбционная спектроскопия [Текст] / В. Прайс; пер. с англ. Б. В. Львова. — М.: Мир, 1976. — 360 с.

## СИНТЕЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ РОЗЧИНЕННЯ МАГНЕТИТУ В МОДЕЛЬНИХ СЕРЕДОВИЩАХ

Досліджено кінетику розчинення магнетиту в модельних середовищах в залежності від часу розчинності та pH середовища. Приведені результати розчинності одержані спектрофотометричним, атомно-адсорбційним та ваговим методами. Підібрана оптимальна концентрація вихідних речовин та умови проведення синтезу магнетиту. Встановлено, що розчинність збільшується при збільшенні часу інкубації.

**Ключові слова:** синтез, кінетика, магнетит, розчинність, концентрація, середовище.

*Александров Александр Валентинович, кандидат химических наук, доцент, заведующий кафедрой пищевых и химических технологий, Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков, Украина.*

*Цихановская Ирина Васильевна, кандидат химических наук, доцент, кафедра пищевых и химических технологий, Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков, Украина.*

*Барсова Зоя Валериевна, кандидат технических наук, старший преподаватель, кафедра пищевых и химических технологий, Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков, Украина, e-mail: [zoya\\_barsova@mail.ru](mailto:zoya_barsova@mail.ru).*

*Александров Олександр Валентинович, кандидат хімічних наук, доцент, завідувач кафедри харчових та хімічних технологій, Українська інженерно-педагогічна академія, Харків, Україна.*

*Цихановська Ірина Василівна, кандидат хімічних наук, доцент, кафедра харчових та хімічних технологій, Українська інженерно-педагогічна академія, Харків, Україна.*

*Барсова Зоя Валеріївна, кандидат технічних наук, старший викладач, кафедра харчових та хімічних технологій, Українська інженерно-педагогічна академія, Харків, Україна.*

*Alexandrov Alexandr, Ukrainian Engineering-Pedagogics Academy, Kharkiv, Ukraine.*

*Cychanovskaya Irina, Ukrainian Engineering-Pedagogics Academy, Kharkiv, Ukraine.*

*Barsova Zoya, Ukrainian Engineering-Pedagogics Academy, Kharkiv, Ukraine, e-mail: [zoya\\_barsova@mail.ru](mailto:zoya_barsova@mail.ru)*