

2. *Шадыро О. И.* Разработка инновационных противовирусных средств и организация производства противогерпетического препарата бутаминофена // Вестник БГУ. Сер.2. 2010. № 3. С. 3–10.
3. Технология лекарственных форм: учебник в 2 томах. Том 1 / Под ред. Кондратьевой Т.С. М.: Медицина, 1991.
4. Биофармация: Учебник для студентов фармацевтических вузов и факультетов / Под ред. А.И. Тихонова. Харьков: Изд-во НФаУ; Золотые страницы, 2003.
5. Государственная фармакопея Республики Беларусь: офиц. издание: в 3 т. / Центр экспертиз и испытаний в здравоохранении; под общей ред. А.А. Шерякова – Молодечно: типография Победа, 2008. Т. 2: Контроль качества вспомогательных веществ и лекарственного растительного сырья.

## **МАГНИТНЫЕ ЧАСТИЦЫ ДЛЯ КОНТРАСТИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ В МАГНИТОРЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ**

**Е. Г. Петрова, Д. А. Котиков, В. В. Паньков**

### **ВВЕДЕНИЕ**

Магнитные наночастицы благодаря возможности управления их свойствами под воздействием внешнего магнитного поля представляют особый интерес для медицины. Широко известны такие области их применения, как магнитная гипертермия злокачественных опухолей, адресная доставка лекарств и контрастирование в магниторезонансной томографии (МРТ) [1]. Наиболее распространенными для указанных применений являются материалы на основе магнитных оксидов железа со структурой шпинельного типа (магнетита  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  и маггемита  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ), отличающихся высокой стабильностью магнитных характеристик и низкой токсичностью. При этом магнитные характеристики полученных материалов определяются как их химическим составом, так и размером частиц. Так, известно, что введение цинка в решетку  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  позволяет, в зависимости от содержания допирующего иона, повысить значение максимальной намагниченности материала за счет понижения антиферромагнитного взаимодействия между ионами  $\text{Fe}^{3+}$ , находящимися в А и В местоположениях кристаллической решетки, вызванного перераспределением ионов  $\text{Fe}^{3+}$  в А и В местоположениях решетки шпинели [2, 3].

Целью данной работы является синтез материалов различного состава системы  $\text{Zn}_x\text{Fe}_{3-x}\text{O}_4$  для использования в МРТ-контрастировании, установление содержания цинка, отвечающего наилучшим магнитным характеристикам, и выбор метода синтеза, позволяющего получить частицы с размерами, необходимыми для данного применения ( $\sim 10$  нм).

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Наночастицы составов  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{Zn}_{0,18}\text{Fe}_{2,82}\text{O}_4$ ,  $\text{Zn}_{0,45}\text{Fe}_{2,55}\text{O}_4$  и  $\text{ZnFe}_2\text{O}_4$  с контролируемыми размерами были получены золь-гель методом при осаждении из растворов нитратов  $\text{Zn}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$  и  $\text{Zn}^{2+}/\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ . Дополнительно был проведен синтез наночастиц методами аэрозольного и пламенного пиролиза.

Структуру образцов исследовали методами рентгенофазового анализа (РФА), просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) и сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). Рентгенограммы порошкообразных образцов записывали на дифрактометре ДРОН-2.0 с использованием  $\text{Co K}\alpha$ -излучения ( $\lambda = 0,178896$  нм) и Ni-монохроматора. Для выполнения исследований в просвечивающем электронном микроскопе порошкообразные образцы, прокаленные при необходимой температуре, диспергировали ультразвуком в воде или метаноле. Суспензию наносили на опорные медные сетки, покрытые коллодиевой пленкой. Анализ проводили на электронном микроскопе высокого разрешения LEO 906E. СЭМ-исследования выполняли на микроскопе LEO 1420. Измерения магнитных характеристик проводились в Институте тепло- и массообмена НАН Беларуси (ИТМО) с использованием намагничивающего устройства Г56 и гистерезисметров Ф5155/1 и Ф5155/2 как при низких (5 К), так и при комнатных температурах (300 К).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно данным РФА, все синтезированные наночастицы являются хорошо закристаллизованными. На дифрактограммах регистрируются наиболее интенсивные рефлексы, соответствующие структуре типа шпинели (Рис. 1).

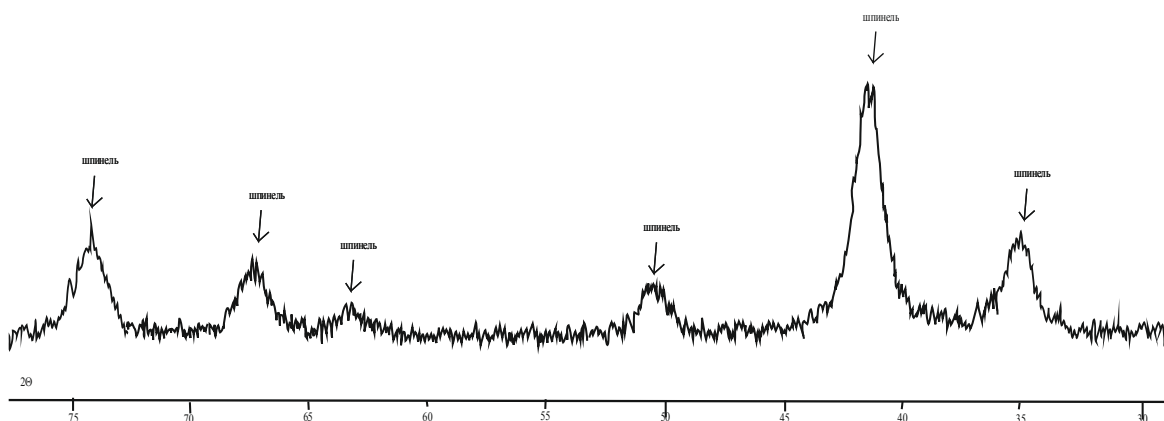


Рис. 1. Рентгенограмма смешаннооксидных фаз системы  $\text{Zn}_x\text{Fe}_{3-x}\text{O}_4$ , полученных золь-гель методом и методом аэрозольного пиролиза

Это свидетельствует о том, что при использовании данных методов синтеза, как и предполагали, уже на стадии соосаждения гидроксидов формируется требуемая кристаллическая структура.

По данным электронной микроскопии частицы образцов  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{Zn}_{0,18}\text{Fe}_{2,82}\text{O}_4$ ,  $\text{Zn}_{0,45}\text{Fe}_{2,55}\text{O}_4$  и  $\text{ZnFe}_2\text{O}_4$ , полученные золь-гель методом, имеют форму, близкую к сферической, и размеры, не превышающие 10 нм (Рис. 2 а). Частицы таких же размеров получаются и при использовании пиролитических методов синтеза, однако в ходе пиролиза они агломерируют в крупные сферы размером порядка 100 нм (Рис. 2 б), разделение которых связано с определенными трудностями. Эта проблема решается при использовании в ходе пиролиза инертного компонента – хлорида натрия – образующего на поверхности частиц пленку, препятствующую их дальнейшему росту и агрегации и впоследствии легко удаляющуюся вымыванием.

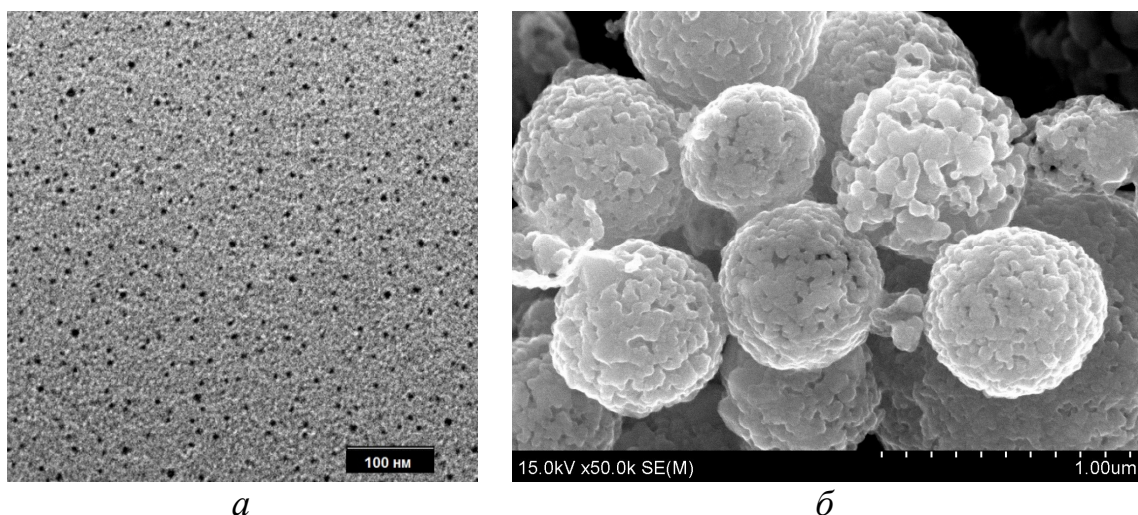


Рис. 2. Электронно-микроскопические изображения фаз системы  $\text{Zn}_x\text{Fe}_{3-x}\text{O}_4$ , полученных золь-гель методом (а) и методом аэрозольного пиролиза в отсутствие инертного компонента (б)

Результаты магнитных измерений исследуемых составов при температурах 5 К и 300 К приведены на рис. 3 а, б, а также в таблице. Видно, что при температуре 5 К значения максимальной намагниченности наночастиц составов  $\text{Zn}_{0,18}\text{Fe}_{2,82}\text{O}_4$  и  $\text{Zn}_{0,45}\text{Fe}_{2,55}\text{O}_4$  превышают значения максимальной намагниченности чистого магнетита, чем подтверждают целесообразность введения ионов цинка в магнетит с целью улучшения магнитных характеристик. При температуре 300 К наилучшими магнитными характеристиками по сравнению с чистым магнетитом обладают только частицы  $\text{Zn}_{0,18}\text{Fe}_{2,82}\text{O}_4$ . Это свидетельствует о том, что изменение максимальной намагниченности при допировании магнетита ионами цинка определяется концентрацией примесных ионов, причем

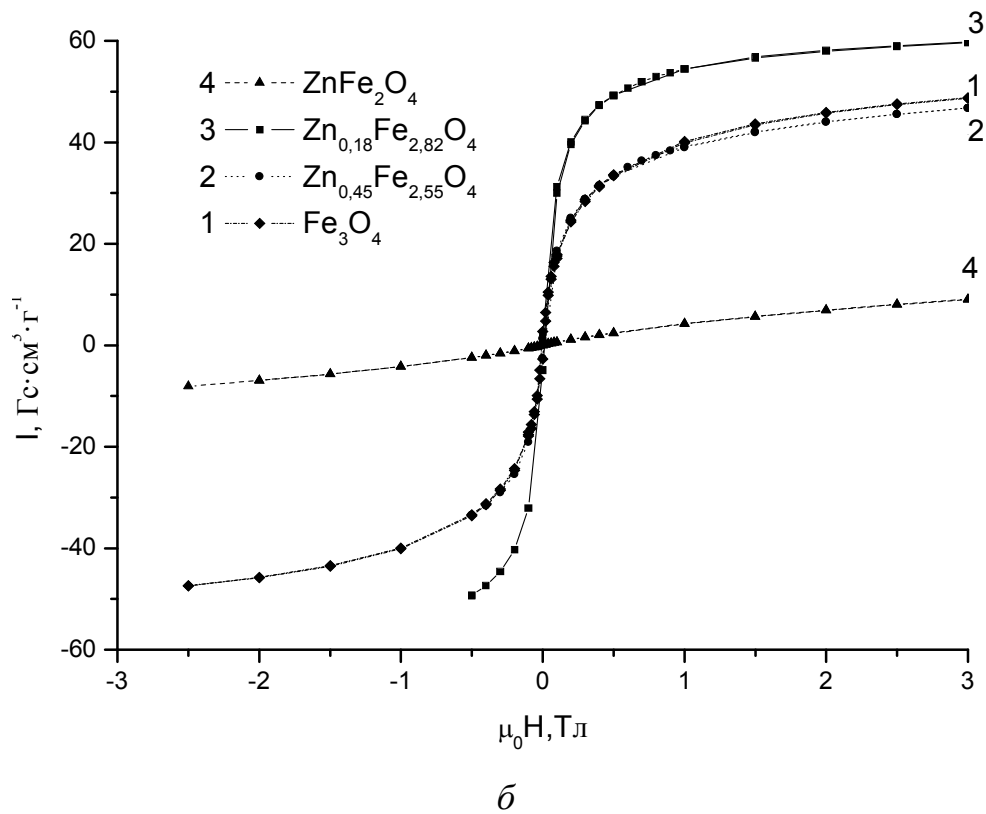
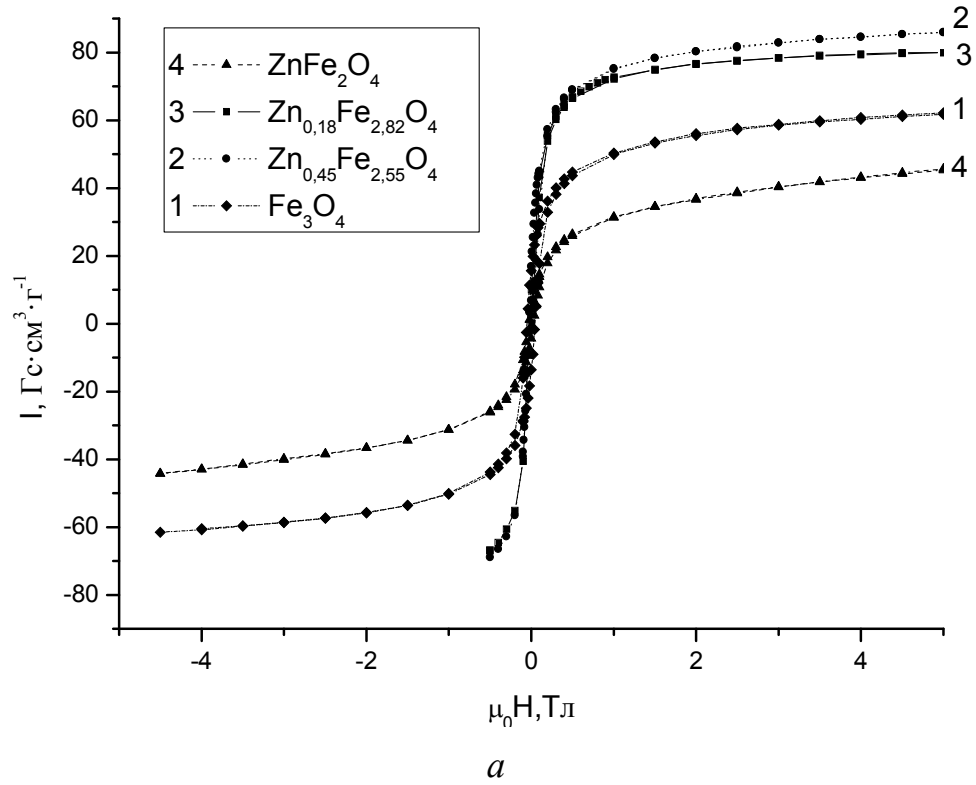


Рис. 3. Зависимость намагниченности от величины магнитного поля для  $Zn_xFe_{3-x}O_4$  при температурах 5 К (*a*) и 300 К (*б*)

существует оптимальная их концентрация, соответствующая наибольшему значению максимальной намагниченности.

Таблица

**Значения максимальной намагниченности синтезированных материалов при температурах 5 и 300 К**

Температура, К	Максимальная намагниченность наночастиц исследуемых составов, Гс·см <sup>3</sup> ·г <sup>-1</sup>			
	Zn <sub>0,18</sub> Fe <sub>2,82</sub> O <sub>4</sub>	Zn <sub>0,45</sub> Fe <sub>2,55</sub> O <sub>4</sub>	ZnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>
5 К	80	86	45	62
300 К	59	46	9	49

Значения максимальной намагниченности наночастиц цинкового феррита ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> как при температуре 5 К, так и при 300 К оказались намного ниже, чем у прочих образцов. Это можно объяснить тем, что при формировании шпинельной структуры лишь незначительная доля ионов Zn<sup>2+</sup> заняла октаэдрические (В) позиции в кристаллической решетке.

При комнатной температуре для синтезированных материалов не замечено гистерезиса на кривых намагничивания, а значения коэрцитивной силы оказались близкими к нулю, что свидетельствует об их суперпарамагнетизме.

Таким образом, золь-гель синтез наночастиц в системе Zn<sub>x</sub>Fe<sub>3-x</sub>O<sub>4</sub> приводит к случайному перераспределению ионов Zn<sup>2+</sup> и Fe<sup>3+</sup> в структуре шпинели. В такой ситуации сильное обменное взаимодействие между ионами железа приводит к возрастанию ферромагнитных свойств, которое сопровождается ростом намагниченности наночастиц.

**Литература**

1. *Першина А. Г., Сазонов А. Э., Мильто И. В.* Использование магнитных наночастиц в биомедицине // Бюллетень сибирской медицины. 2008. №2. С.70–78.
2. *Lin C. H., Kuo P. C., Pan J. L., Huang D. R.* Effects of Zn ion on magnetic properties of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> magnetic colloids // J. Appl. Phys. 1996. Vol. 79. P. 6035.
3. *Barcena C., Sra A. K., Chaubey G. S., Khemtong C., Liu J. P. and Gao J.* Zinc ferrite nanoparticles as MRI contrast agents // Chem. Commun. 2008. P. 2224–2226.

**СОСТОЯНИЕ И БИОЛОГИЧЕСКАЯ ДОСТУПНОСТЬ УРАНА В ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСАХ БЕЛАРУСИ**

**М. В. Попеня, О. А. Ильюкевич, С. И. Станкевич, А. В. Черкас**

**ВВЕДЕНИЕ**

Настоящая работа посвящена изучению поведения <sup>238</sup>U в системе «почва–растение» природных и аграрных экосистем. Уран является од-