

# МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОЧАСТИЦ ЖЕЛЕЗА

Мешкова А.Д.<sup>1</sup>, Оксененко О.И.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Мешкова Анна Дмитриевна – студент,  
фармацевтический факультет;

<sup>2</sup>Оксененко Ольга Ивановна - кандидат химических наук, доцент,  
кафедра общей и биоорганической химии,  
Курский государственный медицинский университет,  
г. Курск

**Аннотация:** в статье анализируются современные способы получения наноматериалов на основе соединений железа (III).

**Ключевые слова:** наночастицы оксида железа, гидратированные оксиды железа, шпинели, способы получения.

На сегодняшний день актуальным направлением в науке являются исследования в области нанотехнологии, связанные с использованием частиц, достигающих в размерах не более 100 нм. Нанотехнологии – это одно из самых перспективных направлений развития и современной медицины, с помощью которого можно разрабатывать высококлассное оборудование и лекарственные препараты, что в будущем поможет в лечении целого ряда заболеваний. На данный момент известен метод профилактики гемолитической анемии с помощью наночастиц железа [1]. Флуоресцентные магнитные наночастицы используются в качестве пенетрантов для дефектоскопии и меток для определенных клеток организма [2]. Большой интерес представляют возможности использования наночастиц железа для адресной доставки лекарственных средств.

Железо представляет собой важнейший элемент, который присутствует в организме человека в виде различных соединений коллоидальной степени дисперсности и выполняет многие жизненно-важные функции: участвует в переносе кислорода к органам и тканям; является неотъемлемой составляющей процессов кроветворения и обмена веществ. При определенных заболеваниях происходит накопление наноразмерных частиц железа в головном мозге (болезни Альцгеймера, Хантингтона, Паркинсона, синдром Халлервордена-Шпатца). Изучение анализируемых наночастиц, причин и механизмов их действия в организме человека поможет решить глобальные проблемы медицины.

Целью данного исследования является изучение представленных в литературе современных методов получения наночастиц железа с перспективой дальнейшего их практического получения и изучения свойств.

На сегодняшний день существует множество вариантов, с помощью которых можно получить наночастицы. Одним из способов является получение наночастиц оксида железа с использованием микроэмульсий [3]. Для этого была взята система гептан-вода; а в качестве мицеллообразующего агента - цетилтриметиламмоний бромид (сокращенно ЦТАБ). Опыт проводили при температуре 35°C и интенсивном перемешивании. Сообщается, что сначала смешивали две эмульсии, которые содержали: 1) наонагидрат нитрата железа (III), гептан, дистиллированную воду, 3% ЦТАБ и 2) гептан, концентрированный раствор аммиака, дистиллированную воду, 3% ЦТАБ. Затем образовавшийся немагнитный осадок аморфного гидроксида железа (III) коричневого цвета отделяли, промывали небольшими порциями воды и этилового спирта (многократно). Далее осадок подвергали сушке при температуре 60 °С, после чего подвергали воздействию температуры от 200 до 1000 °С в течение 20 минут с дальнейшей закалкой в трубчатой печи при температуре 350 °С.

В другом опыте наночастицы шпинелей с общими формулами  $ZnFe_2O_4$ ,  $LiFe_5O_8$ ,  $\gamma-Fe_2O_3$  получили на основе пиролиза аэрозолей [4]. Отмечается, что с помощью данного метода можно получить однородные, однофазные и высокодисперсные образцы. Исходными реагентами для фазы  $ZnFe_2O_4$  являлись гранулированный цинк и карбонильное железо, которые были взяты в стехиометрическом соотношении. Далее для получения 0,25 М нитратного раствора реагенты растворяли в азотной кислоте. Затем получали фазу  $LiFe_5O_8$  с помощью 0,25 М растворов нитрата лития и железа, которые были взяты в соотношении 1:5. Для получения наноразмерного оксида железа (III) были использованы растворы нитрата железа (III) и мочевины. С целью изоляции наночастиц получившегося оксида железа (III) в водорастворимой матрице, к раствору мочевины и нитрата железа добавляли хлорид натрия в соотношении 1:10. Растворы, полученные в ходе данного опыта, распыляли, используя ультразвуковую установку с частотой ультразвуковых колебаний 2,64 МГц, с размером капель аэрозоля 0,5 – 5 мкм. Полученный аэрозоль потоком воздуха со скоростью, равной 500 – 1300 мл/мин, направляли в разогретую до 250 – 1300 °С печь, после чего улавливали частицы на выходе из печи микропористым стеклянным фильтром. На сегодняшний день с помощью шпинелей проводятся множественные исследования, направленные на получение биосовместимых наноматериалов с определенными свойствами.

Известен способ получения наночастиц оксида железа (III), стабилизированных олеиновой кислотой [3]. К смеси, состоящей из диоктилового эфира и олеиновой кислоты, прибавляли карбонил железа. Далее нагревали до температуры 265°C и выдерживали один час, постоянно перемешивая, после чего смесь охлаждали. Затем прибавляли триметиламин N-оксид, затем опять нагревали до 130°C и выдерживали два часа в атмосфере азота. Далее температуру медленно повышали до 265°C, выдерживали один час, после этого охлаждали, промывали этанолом и отделяли осадок с помощью центрифугирования, который в последствии растворяли в гексане и

оставляли сушиться в атмосфере азота Данная технология является перспективной разработкой лекарственных препаратов, в особенности, используемых для поступления нуклеиновых кислот в печень [5].

Для образования гидратированных оксидов железа (III) к исходному раствору сульфата железа (II) в концентрации 0,3 моль/л прибавляли 10% раствор аммиака, чтобы достичь значения pH=7. Образовавшийся осадок болотно-зелёного цвета окисляли воздухом, пропуская его со скоростью 200 мл/мин. Полученный бежевый осадок лепидокрокита отделяли декантацией, многократно промывали деионизированной водой и высушивали. Далее порошок лепидокрокита подвергали отжигу при температуре 250°C в течение двух часов [3].

Наночастицы оксида железа (III) получены путем смешивания в течение 10 минут 0,5 г хлорида железа (III), растворенного в 20 мл дистиллированной воды, с 6 мл водного 40% раствора аммиака. При этом повышалось рассеивание света образующимися наночастицами, раствор гидроксида железа (III) приобретал коричневую окраску. Далее его отделяли от воды центрифугированием с последующей сушкой в течение суток. После этого гидроксид железа (III) при обжиге давал оксид железа (III) (температура 450°C). Далее проводили воздействие полученными наночастицами на патогенную микрофлору, чтобы проанализировать влияние наночастиц железа на ее рост. Для этого частицы растворяли в воде и вводили в микрофлору, облучая при этом светодиодом от 5 до 30 минут с диапазоном длин волн 385 – 425 нм. Данный диапазон совпадает с максимумом поглощения наночастиц в видимой области спектра. В присутствии наночастиц концентрация патогенных микроорганизмов вида *Staphylococcus aureus* убывает значительно быстрее даже в течение первых 10-20 минут. Облучение микроорганизмов вида *Staphylococcus Simulans* приводит к уменьшению концентрации менее чем за 10 минут. Однако отмечено, что при последующем облучении микроорганизмов более 30 минут наблюдалось увеличение численности патогенной микрофлоры, более прогрессирующей в присутствии наночастиц железа [6].

Синтез магнитных наночастиц оксида железа (III) проводили, осаждая соли железа в щелочной среде. Навески солей  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  массой 1,9 г и  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  массой 3,6 г растворяли в 80 мл воды, очищенной от ионов, затем медленно нагревали до температуры 70°C. Далее в полученный раствор вливали 20 мл аммиака, постоянно перемешивая на магнитной мешалке, после чего в раствор добавляли лимонную кислоту в расчете 5 г на 10 мл, повышали температуру до 90°C и перемешали в течение 1 часа. В ходе эксперимента получили суперпарамагнитные частицы железа с формулой  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , которые далее подвергали стабилизации цитратом. Крупные частицы отделяли с помощью центрифугирования в течение 10 минут. Размер получившихся наночастиц определяли трансмиссионным электронным микроскопом JEOL JEM 200. Средний размер наночастиц, полученный данным способом, не превышал 15 нм [7].

В ходе данной работы были исследованы различные способы получения наночастиц соединений железа. Анализ литературных данных показывает, что наибольшее распространение получили методы химической конденсации и электрического диспергирования, в результате которых получается достичь образования однородной по размеру и составу нанодисперсии.

#### Список литературы

1. Богословская О.А. Применение наночастиц железа в профилактике экспериментальной гемолитической анемии / О.А. Богословская, А.А. Рахметова, Д.П. Коноваленко, А.А. Хомяков, И.П. Ольховская, Н.Н. Глушенко // Медико-фармацевтический журнал «Пульс», 2014. №3 (16). С. 7-8.
2. Сычев Н.Е. Получение флуоресцентных наночастиц на основе  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  / Н.Е. Сычев, М.П. Зайцева, А.Г. Мурадова, Е.В. Юртов, В.Б. Зайцев // Успехи в химии и химической технологии, 2019. Т. 33. № 10. С. 56-58.
3. Чеканова А.Е. Биосовместимые магнитные наноматериалы на основе оксида железа (III): автореф...дис. кан. хим. наук. М., 2008. 23 с.
4. Kim D.K., Mikhaylova M., Zhang Y., and Muhammed M. Protective Coating of Super paramagnetic Iron Oxide Nanoparticles // Chem. Mater. 2003. V. 15. P. 1617-1627.
5. Яушева Е.В. Исследование биологического действия наночастиц металлов / Е.В. Яушева, С.А. Мирошников, Е.А. Сизова, А.С. Васильченко // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии, 2013. Т. 11. № 9. С. 54-59.
6. Куликова М.В. Синтез и оптические свойства наночастиц оксида железа для фотодинамической терапии / Куликова, М.В., Кочубей И. // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. Т. 14. №4. С. 206-209.
7. Гервальд А.Ю. Синтез суперпарамагнитных наночастиц магнетита / А.Ю. Гервальд, Н.И. Прокопов, Ю.М. Ширякина // Вестник МИТХТ, 2010. Т. 5. № 3. С. 45-49.