

**А.В. Носков<sup>1,\*</sup>, О.В. Алексеева<sup>1</sup>, Д.Н. Яшкова<sup>1</sup>, А.В. Агафонов<sup>1</sup>,  
 М.Н. Шипко<sup>2</sup>, М.А. Степович<sup>3</sup>, Е.С. Савченко<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Институт химии растворов им. Г.А. Крестова РАН, г. Иваново,

<sup>2</sup> Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина, г. Иваново

<sup>3</sup> Ивановский государственный университет, г. Иваново

<sup>4</sup> Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва

\*avn@isc-ras.ru

Цель настоящей работы состояла в получении трехкомпонентных соединений оксид железа/оксид меди/галлуазит и исследовании их гранулометрического состава, поверхностной морфологии, кристаллической структуры и магнитных свойств.

В последнее время значительное внимание уделяется исследованию многокомпонентных композиционных материалов со специфическими механическими, оптическими, электрическими, магнитными, каталитическими, адсорбционными и т.д. свойствами. Среди широко изучаемых магнитных наночастиц можно выделить оксидные наноструктуры на основе металлов, таких как железо в различных его модификациях, обладающие низкой стоимостью, экологической безопасностью, каталитической активностью, а также большим набором отличительных физико-химических свойств.

Цель настоящей работы состояла в получении трехкомпонентных соединений оксид железа/оксид меди/галлуазит и исследовании их гранулометрического состава, поверхностной морфологии, кристаллической структуры и магнитных свойств.

В качестве объектов исследования были использованы смесь оксидов железа  $\text{Fe}_x\text{O}_y$ , бинарный композит  $\text{Fe}_x\text{O}_y/\text{CuO}$  и трехкомпонентный порошковый материал оксид железа/оксид меди/галлуазит ( $\text{Fe}_x\text{O}_y/\text{CuO}/\text{Hly}$ ).

На рис. 1 приведено распределение частиц синтезированного композита  $\text{Fe}_x\text{O}_y/\text{CuO}/\text{Hly}$  по размерам. Как видно, диаметры частиц не превышают 250 нм, что согласуется с данными, полученными с помощью электронной микроскопии (рис. 2). Полученный материал характеризуется широким мономодальным распределением частиц по размерам с максимумом около 30 нм.

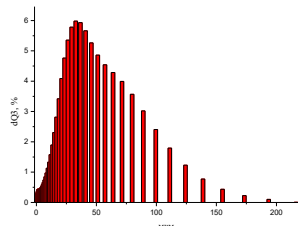


Рис. 1. Распределение частиц синтезированного композита  $\text{Fe}_x\text{O}_y/\text{CuO}/\text{Hly}$  по размерам.

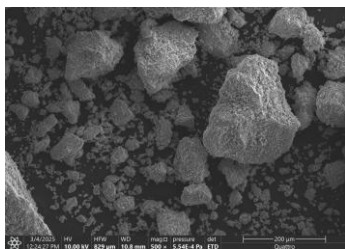


Рис. 2. РЭМ снимок поверхности композита  $\text{Fe}_x\text{O}_y/\text{CuO}/\text{Hly}$ .

РЭМ-изображения поверхности композита  $\text{Fe}_x\text{O}_y/\text{CuO}/\text{Hly}$  приведены на рис. 2. Видно, что синтези-

рованный порошок состоит из агрегатов частиц различных размеров и морфологии.

На рис. 3 представлены результаты энергодисперсионного анализа поверхности исследованного образца. Как видно, в EDX спектре наблюдаются пики кислорода, алюминия и кремния, входящих в состав галлуазита, а также пики железа и меди, которые (наряду с кислородом) входят в состав оксидов. Наличие пиков углерода, хлора и натрия в спектрах связано с особенностями синтеза материала и методики проведения анализа.

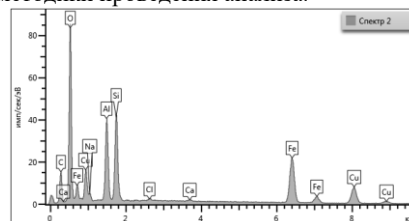


Рис. 3. Результаты энергодисперсионного анализа поверхности композита  $\text{Hly}/\text{Fe}_x\text{O}_y/\text{CuO}$ .

В ходе исследований магнитных свойств синтезированного материала  $\text{Fe}_x\text{O}_y/\text{CuO}/\text{Hly}$  была выявлена петля магнитного гистерезиса (рис. 4), что свидетельствует о ферромагнитной природе полученного порошка.

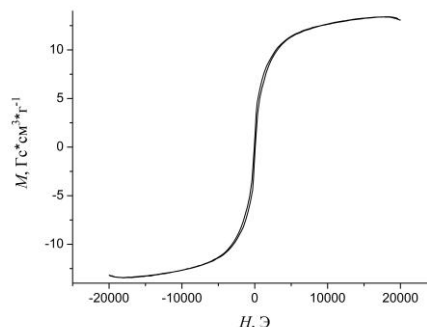


Рис. 4. Зависимость намагниченности от напряженности внешнего магнитного поля для порошка  $\text{Fe}_x\text{O}_y/\text{CuO}/\text{Hly}$ .

Петля гистерезиса характеризуется специфической особенностью при полях перемагничивания, превышающих 4 кЭ (присутствует «аппендикс»), что свойственно магнитной среде с высокой концентрацией дефектов. Она объясняется высокой протяженностью доменных стенок, закрепление которых происходит во многих местах, т.е. чаще, чем в среде с нормальной концентрацией дефектов. При достаточно высокой концентрации дефектов и полном упорядочении могут быть достигнуты высокие значения констант одноосной анизотропии. Это позволяет использовать синтезированный материал в магнитооптике и других радиотехнических и сверхвысокочастотных устройствах.