

МОДИФИЦИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ НАНОЧАСТИЦ МАГНЕТИТА

ЧАН ТУАН ХОАНГ, Е.А. ВАЙГУЛЕВИЧ, Т.А. ЮРМАЗОВА

Томский политехнический университет

E-mail: yur-tatyana@yandex.ru

Настоящая работа является продолжением наших исследований по модификации поверхности наночастиц магнетита [1]. Частицы Fe_3O_4 проявляют ряд перспективных биомедицинских свойств, таких как биосовместимость, относительно низкая токсичность в организме человека, невысокая чувствительность к окислению, большая стабильность в магнитном отклике, возможность перехода в суперпарамагнитную форму за счет уменьшения размера частиц и легкость процесса синтеза и обработки поверхности [2]. Перспективным веществом для создания медико-биологических нанокомпозитов является кремнезем. Имобилизацию и инкапсулирование различных лекарственных препаратов позволяют осуществлять такие свойства нанокремнезема, как нетоксичность, биосовместимость, высокая стабильность, гидрофильность в сочетании с хорошо изученной химией поверхности [3]. Скорость выхода лекарственных препаратов с кремнеземными структурами может контролироваться подбором их размера и пористости. Создание кремнеземной оболочки вокруг магнитного материала может обеспечить сведение к минимуму эффектов его влияния на биологический организм.

Целью исследований было получение химическим способом магнетита модифицированного тетраэтоксисилоном (ТЭОС), исследование физико-химических характеристик полученных наносистем, изучение адсорбции доксорубина на их поверхности и установление перспективности их использования для создания средств направленной доставки лекарственных препаратов и адсорбционных материалов медико-биологического назначения

Коллоидный магнетит получали путем химического осаждения хлоридов железа (II) и (III) в соотношении 1 к 2 в щелочной среде. Для ограничения роста частиц, предотвращения коагуляции, а также для модификации поверхности магнетита в раствор вводили лимонную кислоту. Оболочка диоксида кремния на поверхности полученного магнетита формировалась в водной суспензии стабилизированных частиц добавлением тетраэтоксисилана (отношение Fe_3O_4 и TEOS составляло 2: 1), который гидролизировался с последующей конденсацией на наночастицах магнетита, выполняющих роль точек зарождения.

Полученные частицы исследовали рентгенографически на поликристалльном дифрактометре SHIMADZU XRD-6000. Для качественного анализа фазового состава использовали компьютерную базу данных рентгеновской порошковой дифрактометрии PDF4+ Международного центра дифракционных данных (ICDD, Denver, USA). Минеральный состав соответствует аморфной и кристаллической фазе Fe_3O_4 и SiO_2 (рис. 1). Дополнительно проводили анализ исследования формы частиц, их агрегации и распределение наночастиц по размерам в режиме просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) на электронном микроскопе «JEM-2100F» (Япония). Синтезированные наночастицы магнетита, стабилизированные лимонной кислотой и SiO_2 имеют узкое распределение по размерам (рис. 2). Средний размер наночастиц составил 20 ± 5 нм. При исследовании заряда поверхности магнетита был применен индикаторный метод [4]. Согласно проведенным исследованиям поверхность синтезированных частиц имеет отрицательный заряд.

Магнитные свойства синтезированных порошков исследовали на автоматизированном комплексе для исследования магнитных характеристик в импульсных магнитных полях (МАГНИТОМЕТР Н-04). Площадь удельной поверхности образцов $S_{уд}$ определены с помощью метода тепловой десорбции азота с использованием анализатора Sorbi-3M, Россия. В работе изучены сорбционные возможности нанокомпозита Fe_3O_4 / SiO_2 по

отношению к различным ионам, в том числе доксорубина, который используется в качестве препарата при лечении онкологических заболеваний. Результаты исследований представлены в таблице.

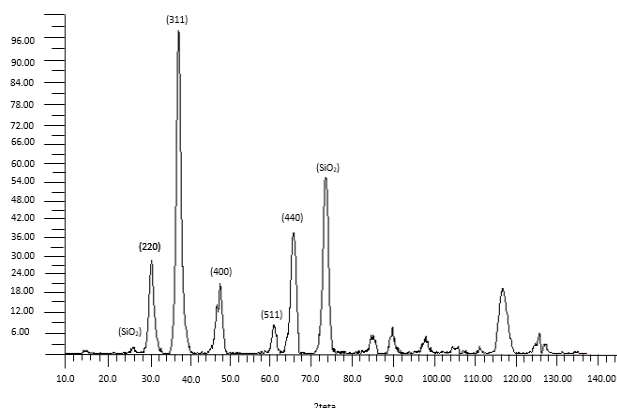


Рисунок 1 – XRD-спектр образцов наночастиц Fe_3O_4 , стабилизированных SiO_2

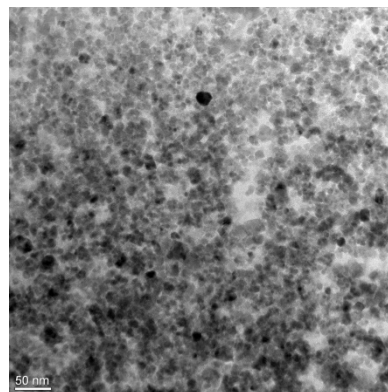


Рисунок 2 – ПЭМ фотографии поверхности образца магнетита после модифицирования поверхности

За изменением концентрации ионов при процессах сорбции наблюдали по оптической плотности растворов методом спектрофотометрии на 'ApelPD-303UV', Япония в максимуме полосы поглощения доксорубина при 480 нм. В работе получена изотерма сорбции, из которой определена максимальная сорбционная емкость. Полученная изотерма аппроксимируется линеаризованной формой уравнения Ленгмюра.

Таблица 1 – Физико-химические характеристики нанокompозитов $\text{Fe}_3\text{O}_4 / \text{SiO}_2$

Удельная поверхность, $\text{м}^2/\text{г}$	Средний размер частиц, нм	Магнитный момент при $H=0 \text{ kOe}$, (emu/g)	Количество адсорбированного ДР, мг/г	Биотрансформация частиц, масс. %
130.5	20 ± 5	97,58	34	11

Установлено, что максимальная сорбция наблюдается вблизи pH 4–6. Выявлены закономерности сорбции доксорубина на модифицированных наночастицах магнетита. Согласно проведенным исследованиям основное влияние на сорбцию различных веществ оказывает электростатический фактор. Биотрансформация частиц проводили в растворе аминоклазмы (близкий по составу с плазмой крови). Длительность эксперимента составляла 5 сут. при температуре 37 °C. Предположительно процесс биотрансформации связан с комплексобразованием между железом и аминокислотами.

Полученные результаты исследований показывают возможность использования полученных нанокompозитов для биомедицинских целей.

Список литературы

1. Sashko N., Vaitulevich E., Yurmazova T. Synthesis and Properties of Iron-Based Magnetic Nanoparticles // Key Engineering Materials: Scientific Journal. – 2016. – V. 712: Advanced Materials for Technical and Medical Purpose (AMTMP 2016). – P. 282–287.
2. Arruebo M., Galan M., Navascues N., Tellez C., Marquina C., Ricardo M., Santamaria J. Development of magnetic nanostructured silica-based materials as potential vectors for drug-delivery application // Chem. Mater. – 2006. –V. 18. – P. 1911–1919.
3. Prokopowicz M. In-vitro controlled release of doxorubicin from silica xerogels // J. Pharmacy and Pharmacology. 2007. –V. 59. – Iss. 10. – P. 1365–1373.
4. Ivanova V., Buldakov M., Galanov S., Yurmazova T. Study of Adsorption Doxorubicin by Iron-Carbon Composite // Powders, Key Engineering Materials. – 2016 – V. 683. P. 331–338.