

УДК 621.10.616.548.75

ГАММА-АКТИВАЦИОННЫЙ И СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА, СТРУКТУРЫ И СОРБЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ РАДИАЦИОННО - СИНТЕЗИРОВАННЫХ НАНОЧАСТИЦ МАГНЕТИТА И ОСМИЯ

Н.П. Дикий¹, А.Н. Довбня¹, Е.П. Медведева¹, Н.П. Хлапова², И.Д. Федорец²,
В.Л. Уваров¹, Ю.В. Ляшко¹

¹Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт»

Украина, 61108, Харьков, ул. Академическая, 1

Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, 61004, Харьков, пл. Свободы, 4

e-mail: fedorets@univer.kharkov.ua

Поступила в редакцию 11 сентября 2008 г.

Проведено облучение растворов сернокислого железа и тетраоксида осмия тормозным излучением на электронном ускорителе ННЦ ХФТИ. Методом гамма-активационного анализа изучен элементный состав синтезированных наночастиц магнетита и осмия. Морфология, размер частиц, распределение частиц по размерам, состояние кристаллической структуры, оптические и сорбционные свойства синтезированных наноматериалов исследовались с помощью просвечивающей электронной микроскопии, методом УФ-, видимой- и ИК- спектроскопии и методом хемилюминесцентного анализа. Показано, что синтезированные наночастицы магнетита могут быть использованы в качестве магнитоуправляемого сорбента к патогенным микроорганизмам.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: наночастицы осмия и магнетита, ускоритель электронов, гамма-активационный анализ, оптическая плотность, ИК-спектроскопия, биохемилюминесценция.

Разработка ядерно-физических методов для контроля качества наноматериалов и изучение влияния ионизирующих излучений на физико-химические процессы с участием этих наноматериалов является сравнительно новым направлением в решении приоритетных научных задач [1, 2]. На данный момент особый интерес вызывает возможность использования ускорительной техники для радиационного синтеза наночастиц различных веществ.

Для получения наноматериалов, в частности наномagnetита, используются различные способы, включая химическое соосаждение и микро-эмульсионный способ, золь-гель технологию, гидротермический и плазменный синтез, ультразвуковую технологию, метод импульсного разряда и др. [3-5]. Недавно появились сообщения о наночастицах Fe_3O_4 , синтезированных с помощью электронных, нейтронных и др. пучков [6]. Из перечисленных методов высокой производительностью получения наноматериалов отличаются химические методы, однако при этом часто наблюдается агломерация частиц, а сверхвысокая температурная обработка приводит к существенной кристаллизации порошка [7]. В отличие от химических методов, производительность и контролируемая композиция традиционных физических методов не всегда оказываются удовлетворительными. Новый метод радиационного синтеза с использованием ускорительной техники позволяет с успехом синтезировать наноматериалы высокой степени дисперсности и проводить весь процесс при комнатной температуре, нормальном давлении и без использования каких-либо катализаторов. При этом эффективность этого метода обеспечивается высокой точностью воздействия электронного пучка на исходные материалы и возможностью широкого варьирования параметров процесса облучения.

Особые физические свойства наноматериалов дают возможность использовать их в различных областях техники, медицины, биологии и т.д. [8-10]. Так, наночастицы осмия, благодаря стойкости к агрессивным средам и высокой сорбционной способности, могут быть использованы в качестве эффективных катализаторов в химических реакциях синтеза, окисления и гидрирования, а также в других высокотехнологических применениях.

Наночастицы магнетита, используемые в биомедицине, имеют контролируемые размеры в пределах от нескольких единиц до десятков нанометров, что помещает их в диапазон размеров, более меньших или сопоставимых с размерами клетки (10-100 нм), вирусов (20-450 нм) и протеинов (5-50 нм). Это является критически важным в том случае, когда требуется проникновение наночастиц через поры клеточной мембраны. Данное свойство в сочетании с главным достоинством магнитных наночастиц – возможностью дистанционного управления ими внешним магнитным полем – открывает множество вариантов применения магнитных наночастиц в биомедицине, включая транспортировку и иммобилизацию наночастиц, маркировку магнитным способом биологических объектов и т.п. В частности, их можно капсулировать и целенаправленно транспортировать в качестве антиракового препарата к опухолям [11,12].

В последнее время, в связи с интенсивным использованием наноматериала в различных объектах и процессах, на фоне улучшения их структурных, магнитных и оптических свойств, всесторонне исследуются возможности расширения их функциональности [8]. Вместе с тем повышается уровень требований,

предъявляемых к контролю качества синтезируемого наноматериалов.

Цель настоящей работы заключалась в изучении элементного состава, морфологии, структурных и оптических свойств радиационно-синтезированных наночастиц осмия и магнетита и исследование качества биологического магнитоуправляемого сорбента на основе наномангнетита.

Для определения элементного состава наночастиц магнетита и осмия был применен новый высокочувствительный гамма-активационный анализ на сильноточном ускорителе электронов ННЦ ХФТИ ($E=22$ МэВ, $I=500$ мкА), позволяющий проводить измерения содержания 10-15 элементов одновременно, с пределом их обнаружения от 10^{-4} до 10^{-7} %масс. Морфологию, размер частиц и распределение частиц по размерам, молекулярное строение, состояние кристаллической структуры, оптические и сорбционные свойства синтезированных наноматериалов исследовали с помощью просвечивающей электронной микроскопии, методом УФ- и ИК- спектроскопии, а также методом хемилюминесцентного анализа.

В работе представлены результаты исследований композиционного состава, морфологии, структурных и оптических свойств радиационно-синтезированного наноматериалов.

ЭКСПЕРИМЕНТ

В качестве объектов для синтеза наночастиц были использованы тетроксид осмия OsO_4 (чистота $\square 99,9\%$, производство США) и сульфат железа $Fe_2(SO_4)_3$ (чда). Раствор осмиевой кислоты готовили, исходя из величины навески тетроксид осмия –100 мг, хранящегося в стеклянной ампуле. На ампуле были сделаны несколько насечек напильником, после чего она опускалась в стеклянный сосуд с дистиллированной водой (50 мл). Ампула с OsO_4 была разбита при интенсивном встряхивании сосуда. После растворения навески большую часть жидкости декантировали в мерную колбу. Сосуд неоднократно промывали несколькими порциями дистиллированной воды.

Для получения раствора $Fe(OH)_3$ в работе использовались химические реактивы, включая сульфат железа $Fe_2(SO_4)_3$, полиэтиленгликоль ($-CH_2OH-CH_2OH-$), гидроксид аммония NH_4OH , этиловый спирт C_2H_6O и дистиллированную воду. Был приготовлен раствор соли $Fe_2(SO_4)_3$ в дистиллированной воде, в который для контроля размера частиц и для предотвращения их агрегирования вводилась поверхностно-активная добавка - полиэтиленгликоль (ПЭГ). Для ингибирования процесса радиационного окисления в полученный раствор соли в соответствующей пропорции добавлялся раствор этилового спирта. В раствор сульфата железа при интенсивном перемешивании добавлялся водный раствор NH_4OH и в результате реакции осаждения получали оранжево-окрашенный суспензионный раствор гидроокиси железа $Fe(OH)_3$.

Приготовленные растворы гидроокисей осмия и железа облучали тормозным излучением на сильноточном ускорителе электронов ННЦ ХФТИ с $E_{max}=40$ МэВ, в течение 6,25 часа, ток пучка электронов составил 6 мкА. После этого были проведены дополнительные процедуры, включающие многократную отмывку дистиллированной водой при $80^\circ C$, вакуумную просушку, сублимацию и др.

Спектры гамма-излучения регистрировались $Ge(Li)$ -детектором, объемом 50 см^3 с энергетическим разрешением 2,8 кэВ по линии 1333 кэВ. Абсолютизация измеренной концентрации макро- и микроэлементов проводилась методом стандартизации образцов. ИК-спектры исследуемых образцов, приготовленных методом прессования с KBr, записывались спектрофотометром Specord-75 IR в диапазоне частот $4000-400\text{ см}^{-1}$. На спектрофотометре СФ-46 (спектральная область от 190 до 1100 нм) были измерены коэффициенты оптической плотности. Морфология наночастиц Fe_3O_4 и Os была исследована с помощью электронного микроскопа (УЭМ-120) с напряжением 75 кВ [13].

На квантометрической установке с ФЭУ-140 (частотная характеристика 350-750 нм) была исследована интенсивность свободнорадикального перекисного окисления бактериальных клеток до и после введения наночастиц магнетита.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Из проведенного анализа измеренных гамма-спектров Fe_3O_4 следует, что в его состав входят такие примесные элементы как Ca, Na, Mn, Ni, Mg, Sr (табл. 1). Предел обнаружения элементов составил 10^{-5} % масс.

Таблица 1. Содержание примесных элементов в образце наномангнетита

Образец	Содержание элементов, мг/г						
	Ca	Na	Mn	Ni	Mg	Sr	Cr
Fe_3O_4	$20,06 \pm 1,03$	$1,43 \pm 0,07$	$1,50 \pm 0,08$	$0,31 \pm 0,015$	$0,01 \pm 0,001$	$0,27 \pm 0,015$	$0,27 \pm 0,016$

На рис. 1 представлен гамма-спектр наночастиц магнетита, подтверждающий высокую чистоту полученных наночастиц.

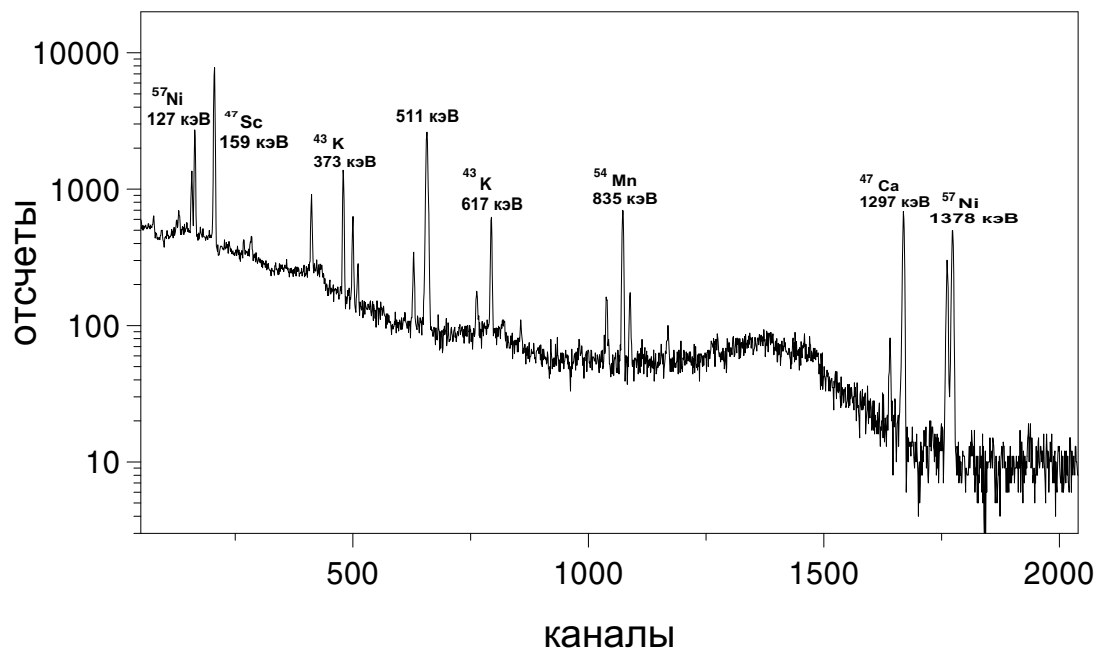


Рис. 1. Гамма-спектр образца наночастиц магнетита после облучения на ЛУЭ

На рис. 2 представлен гамма-спектр наночастиц осмия, подтверждающий высокую чистоту полученных наночастиц.

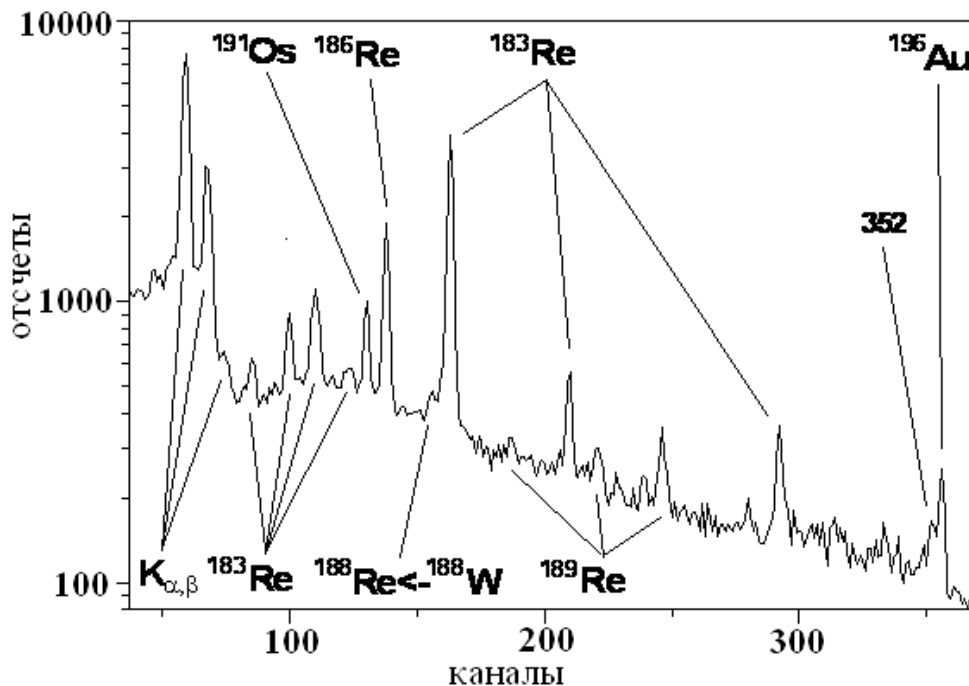


Рис. 2. Фрагмент гамма-спектра образца наночастиц осмия через двое суток после активации на ЛУЭ

Из рисунка видно, что использование детектора из сверхчистого германия позволяет разрешить g -линии ^{189}Re . Основная активность облученного образца обусловлена активностью ^{191}Os из реакции $^{192}\text{Os}(g,n)^{191}\text{Os}$. На спектрах четко видны линии $^{186,188,189}\text{Re}$ и ^{197}Au (примесь в осмии).

Результаты измерений ИК-спектров наномagnetита приведены на рис. 3, 2. В дальней области спектра ($\sim 800\text{--}400\text{ см}^{-1}$), наблюдаются две широкие полосы поглощения вблизи 590 и 440 см^{-1} , ассоциируемые с решеточными колебаниями Fe-O-вязей в тетраэдральных и октаэдральных позициях Fe_3O_4 , соответственно. Такое отнесение полос находится в согласии с [14], где две полосы при 580 и 400 см^{-1} приписываются колебательным модам Fe-O в катионных подрешетках магнетита. В этой же области спектра наблюдаются небольшие максимумы при 470 , 650 и 880 см^{-1} , обнаруживающие присутствие в составе наномagnetита оксидов железа Fe_2O_3 : α -гематита и γ -гематита, к которым магнетит медленно окисляется даже при комнатной

температуре [15]. В решеточных колебаниях наномagnetита принимают участие и оксиды примесных металлов (Mg, Ca, Na, Mn, Ti и т.п.), что проявляется заметным увеличением ширины полос при 590 и 440 см^{-1} и появлением на их фоне мало интенсивных резонансных пиков при $420, 450, 475, 520, 550, 595, 730$ и 810 см^{-1} .

В ближней области спектра наблюдается широкая полоса поглощения вблизи $3500\text{--}3490\text{ см}^{-1}$, относящаяся к валентным колебаниям связанных OH-групп. Присутствие подобных групп является косвенным свидетельством высокой активности поверхности наночастиц, проявляющейся в них при больших значениях отношения поверхности к объему. В этом случае на поверхности частиц образуется большое количество свободных связей и обнаженные атомы, такие, как Fe и O в наномagnetите, с большой вероятностью могли адсорбировать из своего окружения ионы OH^- и H^+ , в результате чего и образовалась поверхность, обогащенная активными OH-группами. В дальнейшем, как показано в [16], именно OH-группы, легко вступая во взаимодействие с полимерным (полиэтиленгликоль) или неорганическим (аминосилан) соединением, образуют прочное защитное покрытие для магнитных наночастиц.

Наряду с валентными колебаниями связанных OH-групп, в спектре наномagnetита проявляется полоса поглощения при 1630 см^{-1} , относящаяся к деформационным ножничным колебаниям остатков воды $\delta(\text{HON})$. Рядом наблюдается полоса поглощения около $1410\text{--}1390\text{ см}^{-1}$, ассоциируемая с колебаниями радикальной группировки $-\text{NO}_3$. В спектре также присутствуют и другие полосы, свидетельствующие о присутствии в исходных реактивах органических веществ: полоса при 1115 см^{-1} , обусловленная валентными колебаниями C-O-C связей, а также полосы с максимумом при 875 и 805 см^{-1} , относящиеся к деформационным колебаниям NH_2 групп и к валентным колебаниям NO-группы, соответственно [17].

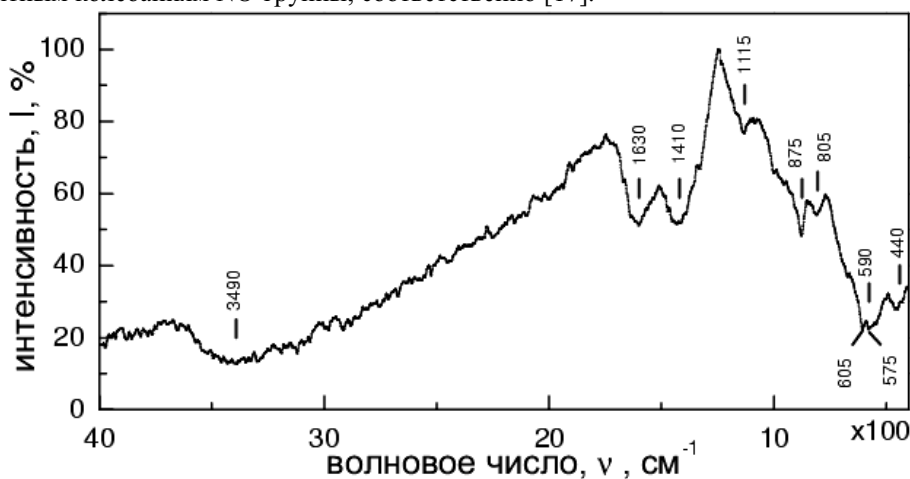


Рис. 3. ИК-спектр наномagnetита

Представляло интерес сравнить полученные данные о решеточных колебаниях Fe-O-связей наномagnetита с соответствующими данными для грубодисперсного magnetита. Теоретическое рассмотрение спектров ферритов (сложных оксидов типа MeFe_2O_4) показывает, что только два высокочастотных колебания – колебания атомов кислорода относительно катионов (ν_1 и ν_2) и два низкочастотных колебания – колебания катионов относительно друг друга (ν_3 и ν_4) активны в этой области спектра [18, 19]. Действительно, две полосы поглощения, соответствующие колебаниям ν_1 и ν_2 , обычно наблюдаются в ферритах и, в частности, в magnetите стехиометрического состава вблизи 570 и 380 см^{-1} . Мало интенсивные колебания катионов относительно друг друга происходят при более низких частотах ($\leq 350\text{ см}^{-1}$) и в спектральную область стандартных приборов не попадают.

Сопоставление этих данных с полученным ИК спектром наномagnetита показывает, что соответствующие полосы решеточных колебаний атомов в наномagnetите сдвинуты в сторону более высоких частот и проявляются, как было отмечено выше, при 590 и 440 см^{-1} . Кроме этого, в ИК-спектре наномagnetита, в отличие от блочного magnetита, наблюдается расщепление высокочастотной полосы ν_1 на два пика (605 и 575 см^{-1}). Эти два различия можно интерпретировать как результат влияния размерного фактора наночастиц. Действительно, как уже отмечалось выше, основным эффектом в окончательном состоянии наночастиц, с достижением их предельных наноразмеров, является разрушение большого числа межатомных связей на их поверхности, приводящее к возрастанию «натяжения» сохранившихся связей. В результате, по мере уменьшения размера частиц в наномасштабном диапазоне, силовая постоянная колебаний f ($\nu = \sqrt{f/m}$) будет увеличиваться и высокочастотные колебания ν_1 и ν_2 будут сдвигаться к более высоким частотам.

Таким образом, можно наблюдать голубой сдвиг полос поглощения Fe-O-связей в ИК-спектре наномagnetита по сравнению с грубодисперсным magnetитом. В дополнение к этому, расщепление высокочастотной полосы при 590 см^{-1} , указывающее на расщепление энергетических уровней наночастиц magnetита, тоже связано, на наш взгляд, с влиянием размерного фактора частиц magnetита. Можно предположить, что при сокращении размеров частиц Fe_3O_4 до наноразмеров, из-за перегруппировки на поверхности частиц делокализованных электронов, в кристаллической структуре Fe_3O_4 происходят

превращения, связанные с понижением симметрии лигандного окружения ионов Fe. В результате возникает

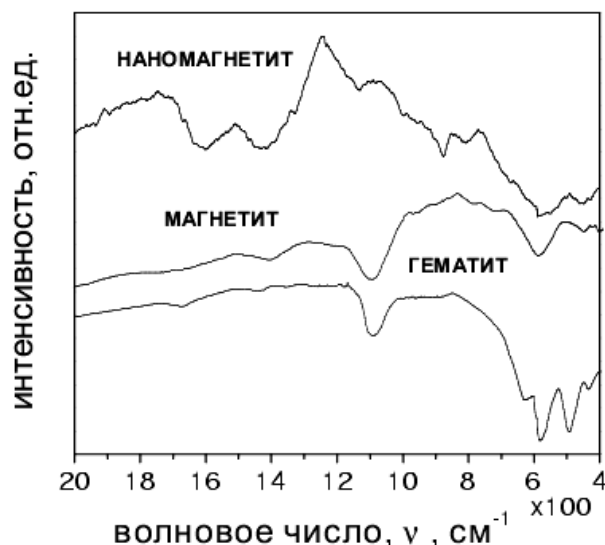


Рис.4. ИК-спектры наномagnetита и минералов магнетита и гематита

всего, является изоморфное замещение тяжелых катионов Fe^{3+} и Fe^{2+} на более легкие катионы Ti, Cr, Mg, Mn, Al и т.п. Как видно из рис.2, в отличие от спектров наномagnetита и минерала магнетита, спектр гематита представлен характерным дублетом узких и сближенных по частоте интенсивных полос ν_1 и ν_2 (545 и 470 cm^{-1}). ИК- спектры магнетита и гематита показывают, что в обоих минералах в значительном количестве присутствует диоксид кремния, характеристические полосы которого наблюдаются вблизи 1105 cm^{-1} .

дополнительное асимметричное воздействие со стороны сильных локальных электрических полей соседних ионов на 3d – оболочку иона Fe, что и приводит к наблюдаемому расщеплению полосы ν_1 .

На рис. 4 и табл. 2 представлены ИК-спектры наномagnetита и минералов магнетита и гематита [20].

Сравнивая ИК-спектры этих материалов, можно видеть, что профили спектров наномagnetита и минерала магнетита достаточно близки по своей форме. Принципиальное сходство спектральной картины в области 800-400 cm^{-1} образцов наномagnetита с грубодисперсным магнетитом свидетельствует о сохранении в наночастицах Fe_3O_4 кристаллической структуры типа обращенной шпинели. Можно отметить, что в ИК-спектре минерала магнетита, как и в случае наномagnetита, характеристические полосы поглощения ν_1 и ν_2 смещены в сторону более высоких частот и наблюдаются при 595 и 415 cm^{-1} . Однако, в отличие от наномagnetита, причиной наблюдаемого смещения в магнетите, вероятнее

Таблица 2. Полосы инфракрасного поглощения наномagnetита и минералов магнетита [20] и гематита [20]

Наномagnetит	Магнетит	Гематит	Тип колебания
440 ср.*	415 ср.	475 с.ост.	$\nu_2(\text{Fe-O})$ валентное
590 с. ш.	595 ср.ш.	545 с.ост.	$\nu_1(\text{Fe-O})$, валентное
805 ср.		—	$\nu(\text{NO})$, валентное
875 с.ост.			$\phi(\text{NH}_2)$ деформационное
1115 ср.	1110 ср._	1090 ср._	$\nu(\text{C-O-C})$, валентное $\nu(\text{SiO}_2)$, валентное
1410 с.ш.			$\nu(\text{NO}_3)$, валентное
1630 с.ш.			$\delta(\text{NOH})$, деформационное
3490 с.ш.	—	3500 сл.ш.	$\nu(\text{OH})$, валентное (связанные OH – группы)

Обозначения интенсивности полос: с.-сильная; сл.- слабая; о.с.- очень сильная; о.сл.- очень слабая; ост.-острая; ср.-средняя; ш.- широкая.

Измеренная оптическая плотность наночастиц магнетита представлена на рис. 5. Виден сложный спектр от УФ-области до ближней ИК-области. Множественные линии поглощения отвечают, по-видимому, содержащимся в образце наномagnetита различным дополнительным соединениям (полиэтиленгликоль, этиловый спирт, гидроокись аммония и др.).

На рис. 6 представлен спектр оптической плотности наночастиц осмия. Вблизи 275 нм наблюдается нерегулярность, обусловленная наночастицами осмия. При этом следует отметить сильную зависимость максимума ослабления электромагнитного излучения от морфологии наночастиц. Для сферических наночастиц этот максимум соответствует более коротковолновому диапазону [21]. Рассеяние и поглощение наночастиц осмия характеризуется большим значением мнимой части комплексного показателя преломления. Численные расчеты теории Ми для сферических проводящих частиц [22] для комплексного показателя преломления в воде $m=0,97-1,93 \times i$ дают максимум ослабления света для $x=1,1$ ($x=2 \times r \times a/l$), где a – диаметр частиц, l – длина волны. Значение комплексного показателя преломления осмия $m=1,29-2,58 \times i$ было использовано для оценки размера наночастиц осмия, который составил около 36 нм.

Морфологические свойства наночастиц магнетита и осмия исследованы при увеличении ($\times 1200$). Полученные наночастицы Fe_3O_4 и Os были однородны, округлой формы: средний размер частиц Fe_3O_4

составлял менее 40 нм, а для Os около 35 нм (рис. 7).

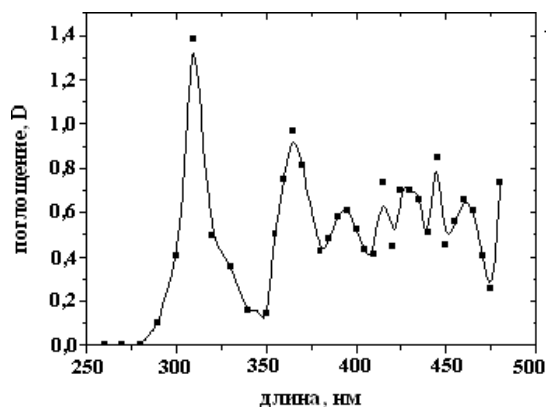


Рис. 5. Оптическая плотность наночастиц магнетита

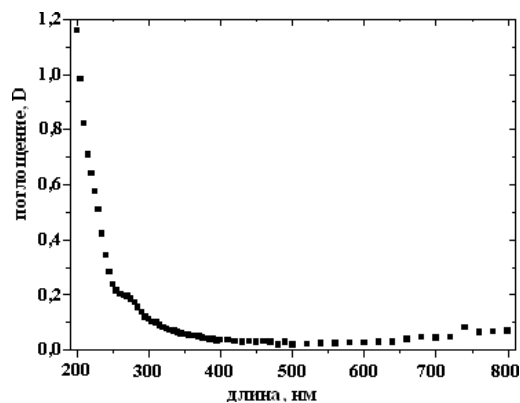


Рис. 6. Оптическая плотность наночастиц осмия

На квантометрической установке с ФЭУ-140 проведено измерение интенсивности свободнорадикального перекисного окисления липидов бактериальных клеток (*Staphylococcus aureus*, *Corynebacterium diphtheria*, *Escherichia coli*), проинкубированных при температуре 37°C в термостате в течение 30 мин. в присутствии наночастиц магнетита. В качестве контроля были взяты эти же клетки, проинкубированные в тех же условиях с добавлением физиологического раствора. Исследованы кинетические характеристики инициированной перекисью водорода (10%) хемилюминесценции бактериальных клеток, проинкубированных без и в присутствии наночастиц магнетита.

Из рис. 7 видно, что после инкубации бактериальных клеток с наночастицами магнетита амплитуда вспышки хемилюминесценции, инициированной раствором пероксида водорода, характеризует резистентность бактериальных клеток к перекисному окислению и практически совпадает с уровнем фона. Таким образом, процесс разбалансировки про- и антирадикальных продуктов характеризует прямое влияние магнитоуправляемого сорбента по отношению к патогенным микроорганизмам.

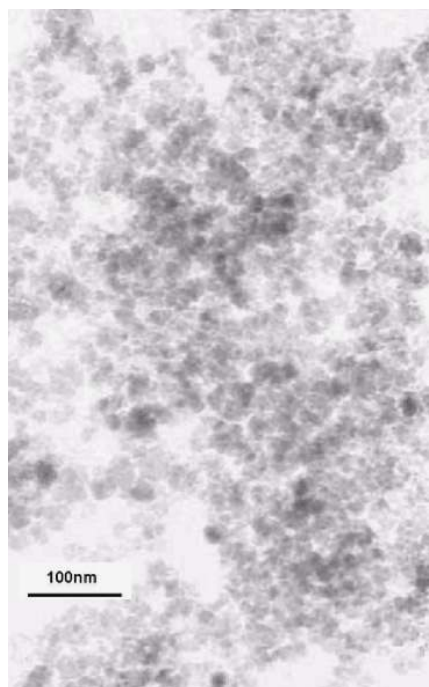


Рис. 7. Электронно-микроскопический снимок наночастиц магнетита

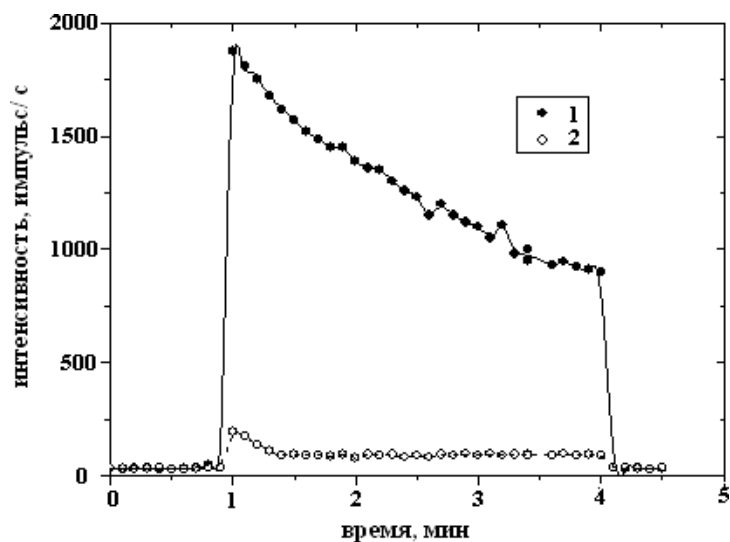


Рис. 8. Кинетика индуцированной хемилюминесценции *Esch.coli* без (1) и с (2) введенными наночастицами магнетита

ВЫВОДЫ

1. Проведенные экспериментальные исследования показывают, что гамма-активация растворов сульфата железа и осмиевой кислоты с помощью тормозного излучения на ЛУЭ-10 ННЦ ХФТИ может быть использована для синтеза наночастиц осмия и магнетита.

2. Результаты гамма-активационного анализа свидетельствуют о высокой чистоте синтезированных наноматериалов: содержание примесных элементов (Mg, Mn, Ca и др.) в них не превышало 20 мг/г.

Морфологические исследования показали, что полученные частицы соответствовали уровню наночастиц: наночастицы осмия и магнетита были однородны, округлой формы со средним размером не выше 40 нм.

3. Сравнительный анализ ИК-спектров наномagnetита и грубодисперсного магнетита показал, что в образцах наномagnetита сохранилась свойственная магнетиту, кристаллическая структура типа обращенной шпинели, а наблюдающийся в наномagnetите голубой сдвиг полос поглощения решеточных колебаний Fe-O - связей и расщепление высокочастотной полосы при 590 см^{-1} можно объяснить влиянием размерного фактора наночастиц на кристаллическую структуру Fe_3O_4 .

4. Синтезированные наночастицы магнетита могут быть использованы в качестве магнитоуправляемого сорбента к патогенным микроорганизмам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дикий Н.П., Залюбовский И.И., Медведева Е.П., Федоренко И.Д. Элементный состав и оптические свойства наночастиц магнетита для использования в медицинских целях // Тезисы 58 международного совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. - Москва, Россия, 23-27 июня 2008г. - С.283.
2. Дикий Н.П., Довбня А.Н., Залюбовский И.И., Ляшко Ю.В., Медведев Д.В., Медведева Е.П., Федоренко И.Д., Уваров В.Л. Ядерно-физические методы в изучении элементного состава наночастиц магнетита и возможности его использования для медицинских целей // Тезисы 2 межд. конференции «Актуальные проблемы ядерной физики и атомной энергетики». - Киев, Украина, 9-15 июня 2008 г. - С.107-108.
3. Caruso F., Caruso R., Mohwald H. Production of hollow microspheres from nanostructured composite particles // Chem. Mater. - 1999. - Vol.11. - P.3309-3314.
4. Osaka T., Matsunaga T., Nakanishi T. et al. Synthesis of magnetic nanoparticles and their application to bioassays // Anal. Bioanal. Chem. - 2006. - Vol.384. - P.593-600.
5. Sun S., Zeng H. The preparation of magnetite nanoparticles // J. Am. Chem.Soc. - 2002. - Vol.124. - P.8204-8205.
6. Zang X., Zhou R., Rao W., Cheng Y., Ekoko B.G. Influence of precipitator agents NaOH and NH_4OH on the precipitation of Fe_3O_4 nano-particles synthesized by electron beam irradiation // J. of Radioanal. And Nucl. Chem. - 2006. - Vol.270, №2. - P.285-289.
7. Lee P., Suematsu H., Jiang W. and Yatsui K. Novel Method to Synthesize Nanosized ZnFe_2O_4 // Powders Journal of the Ceramic Society of Japan. - 2005. - Vol.113. - P.663-665.
8. Salata O.V. Application of nanoparticles in biology and medicine // Journ. Nanobiotechnology. - 2004. - Vol.2. - P. 1-6.
9. Kalele S., Gosavi S.W., Urban J., Kulkarni S.K. Nanoshell particles: synthesis, properties and applications // Curr. Science. - 2006. - Vol.91, №8. - P.1038-1052.
10. West J.L., Halas N.J. Application of nanotechnology to biotechnology // Curr. Opin. Biotechnol. - 2000. - Vol.11. - P.215-217.
11. Pankhurst Q.A., Connolly J., Jones S.K., Dobson J. Applications of magnetic nanoparticles in biomedicine. // J. Phys. D. Appl. Phys. - 2003. - Vol.36. - P.167-181.
12. Masashige Shinkai: Functional Magnetic Particles for Medical Application. // J. Bioscience and Bioengineering. - 2002. - Vol.94. - P. 606-613.
13. Уикли Б. Электронная микроскопия. - М.: Мир, 1975. - 389 с.
14. Keiser J.T., Brown C.W., Heidersbach R.H. Infrared spectra of magnetite nanoparticles // J. Electrochem. Soc. - 1982. - Vol.129. - P.2686.
15. Tang J., Myers M., Bosnick K., Brus L. Magnetite Fe_3O_4 Nanocrystals: Spectroscopic Observation of Aqueous Oxidation Kinetics // J. Phys. Chem. B. - 2003. - Vol.107. - P.7501-7506.
16. Ma M., Zhang Yu., Wei Yu. et. al Preparation and characterization of magnetite nanoparticles coated by amino silane // Colloids and Surfaces: Physicochem. Eng. Aspects. - 2003. - Vol.212. - P.219-226.
17. Беллами Л. Инфракрасные спектры сложных молекул. - М.: ИЛ, 1963. - 590с.
18. Waldron R. D. IR spectra of Ferrites // Phys. Rev. - 1955. - Vol.99. - P.1727.
19. Farmer V.C. The Infrared Spectra of Minerals. - London: Published by the Mineralogical Society, 1974. - 539 p.
20. Болдырев А.И. ИК спектры минералов. - М.: Недра, 1976. - 76 с.
21. Gonzalez A.L., Noguez C. Influence of morphology on the optical properties of metal nanoparticles // ArXiv: physics. - 2006. - 0609015v1. - 9p.
22. Ван де Хюлст Г. Рассеяние света малыми частицами. - М.: ИЛ, 1961. - 536 с.

GAMMA ACTIVATION AND SPECTRAL ANALYSIS OF ELEMENT COMPOSITION, STRUCTURE AND SORPTION ACTIVITY OF RADIATION SYNTHESIZED MAGNETITE NANOPARTICLES

N.P. Dikiy¹, E.P. Medvedeva¹, N.P. Khlapova², I.D. Fedorets², V.L. Uvarov¹, Yu.V. Lyashko¹

¹National Scientific Center "Kharkov Institute of Physics and Technology", Akademicheskaya st. 1, Kharkov, Ukraine, 61108

²N.V.Karasin Kharkiv National University, Svobody sq. 4, Kharkov, Ukraine, 61077

Solutions of ferrum sulphate and osmium tetroxide have been irradiated with bremsstrahlung radiation from the electron accelerator in NSC KIPT. The elemental composition of the synthesized nanoparticles of magnetite and Os has been studied with gamma-activation approach. The morphology, particle dimensions and particle size distributions, crystal lattice state, optical and sorption properties of the synthesized nanomaterials were studied with the electron microscopy, with UV- Vis and IR-spectroscopy and with hemiluminiscent analysis. It was demonstrated that the synthesized magnetite particles can be used as an magnetic-driven sorbent to pathogenic microorganisms.

KEY WORDS: nanoparticles of magnetite and osmium, electron accelerator, gamma activation analysis, optical density, IR – spectroscopy, biochemiluminescence.