

УТВЕРЖДАЮ

Проректор ФГАОУ ВО НИТУ «МИСиС

доктор технических наук, профессор

М.Р. Филонов



«22» 12 2020 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» по диссертационной работе А.А. Никитина «Анизотропные наночастицы магнетита: синтез, исследование физических и биологических свойств, а также оценка перспективы использования в МРТ-диагностике», представляемой на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 05.16.08 – Нанотехнологии и наноматериалы

Диссертационная работа «Анизотропные наночастицы магнетита: синтез, исследование физических и биологических свойств, а также оценка перспективы использования в МРТ-диагностике» выполнена в лаборатории «Биомедицинские наноматериалы» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (далее – НИТУ «МИСиС»).

В период подготовки диссертации соискатель Никитин Алексей Андреевич работал в должности инженера в лаборатории «Биомедицинские наноматериалы» НИТУ «МИСиС».

В 2015 году Никитин Алексей Андреевич окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова», где получил степень специалиста по направлению 240901 – биотехнология. С 01.10.2016 по 30.09.2020 года обучался в очной аспирантуре Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (далее МГУ им. М.В. Ломоносова). по специальности 02.00.03 – органическая химия. Диплом (№ АА 002565), подтверждающий успешное освоение образовательной программы подготовки научно-педагогических кадров высшей квалификации в аспирантуре по направлению 04.06.01 – химические науки, выдан 21.09.2020 года решением государственной экзаменационной комиссии МГУ им. М.В. Ломоносова.

Научные руководители: доктор химических наук, профессор РАН, ректор РХТУ им. Д.И. Менделеева Мажуга Александр Георгиевич; доцент, кандидат

химических наук, заведующий лабораторией «Биомедицинские наноматериалы» НИТУ «МИСиС» Абакумов Максим Артемович (научный консультант).

Тема диссертационного исследования, научный руководитель и консультант утверждены на заседании кафедры физического материаловедения – расширенного научного семинара кафедры, протокол № 02-12 от 21 декабря 2020 г.

Рецензенты:

Доцент кафедры физического материаловедения НИТУ «МИСиС», зав. каф. общей и неорганической химии РХТУ им. Д.И. Менделеева, к.х.н. Свириденкова Наталья Васильевна.

В обсуждении участвовали:

профессор, д. ф.-м. н. Лилеев Алексей Сергеевич
зав. каф., к. ф.-м. н. Савченко Александр Григорьевич
доцент, к. т. н. Горшенков Михаил Владимирович
доцент, к.ф.-м.н. Менушенков Владимир Павлович
доцент, к.ф.-м.н. Перминов Александр Сергеевич
инженер 1 кат., к.х.н. Низамов Тимур Радикович

По докладу были заданы следующие вопросы:

зав. каф., к. ф.-м. н. Савченко А.Г.: 1) Чем обоснован ваш выбор наночастиц магнетита в качестве контрастного агента для МРТ-диагностики? 2) Какой тип синтезированных вами наночастиц является оптимальным и наиболее перспективным с точки зрения применения в МРТ-диагностике? 3) В чем превосходство синтезированных вами наночастиц над имеющимися коммерческими аналогами? 4) Почему стержневидные наночастицы магнетита не продемонстрировали высокого накопления в опухолях различного типа, в отличие от наночастиц другой формы?

профессор, д. ф.-м. н. Лилеев А.С.: 1) На основании полученных вами данных, можете ли вы сделать вывод о влиянии размера магнитного ядра наночастиц на их магнитные характеристики? Данный результат носит фундаментальный научный характер, и он должен быть отражен в основном докладе по проведенной работе. 2) Проводили ли вы сравнительный анализ влияния реакционных параметров (температура реакции, скорость нагрева реакционной смеси и т.д.) на форму и размер получаемых наночастиц? 3) На основании полученных результатов можете ли вы сделать вывод о влиянии формы наночастиц на конкретные пути их биораспределения в организме?

доцент, к.ф.-м.н. Перминов А.С.: 1) На основании представленных результатов можно видеть, что кубические наночастицы с размерами 10-15 нм имеют несовершенную округлую форму, в отличие от кубических наночастиц с размерами 20-30 нм. Какие реакционные параметры могли повлиять на данный результат? 2) Из некоторых литературных источников известно, что наночастицы с острыми гранями могут оказывать ярко выраженный цитотоксический эффект. Наблюдали ли вы нечто подобное в *in vitro* экспериментах для синтезированных вами наночастиц? 3) Чем обусловлен выбор именно таких экспериментальных опухолевых моделей для оценки эффективности наночастиц в качестве контрастных агентов в *in vivo* МРТ-

экспериментах?

доцент., к. т. н. Горшенков М.В.: 1) Как вы проводили количественную оценку размеров наночастиц методом просвечивающей электронной микроскопии? Что использовали в качестве стандарта? 2) В связи с тем, что микрофотографии наночастиц представлены только в одной проекции, можно ли достоверно утверждать, что предполагаемая форма наночастиц совпадает с их действительной формой? 3) Исследовали ли вы образцы методом электронной дифракции?

Докладчик подробно ответил на все вопросы.

Выступали: *доцент, к.х.н. Свириденкова Н. В.* – рецензент (Отзыв положительный): Работа А.А. Никитина несомненно представляет большой интерес как с точки зрения фундаментальной науки для расширения понимания процессов формирования магнитных наночастиц с контролируемой формой и размером, так и в отношении перспективы применения таких наночастиц в биомедицине, в частности в качестве контрастных агентов в МРТ-диагностике. В экспериментах *in vitro* и *in vivo* показано, что полученные материалы не оказывают токсического эффекта. Автором получен и проанализирован большой объем экспериментальных данных, представлено обсуждение результатов, которое является логичным и хорошо структурированным, а также представлены обоснованные выводы по проделанной работе. Рекомендую работу Никитина А.А. к защите по специальности 05.16.08 на соискание ученой степени кандидата химических наук.

Актуальность проблемы. Магнитные наночастицы (МНЧ) все чаще применяются в различных направлениях биомедицины, например, выступая в качестве платформы для адресной доставки лекарств, в гипертермии для преобразования энергий внешних электромагнитных полей в тепловую энергию или в МРТ-диагностике. Несмотря на то, что ранее неоднократно было показано, что форма и размер нанокристаллов МНЧ обладают существенным влиянием на их магнитные и релаксационные свойства, до сих пор отсутствуют фундаментальные экспериментальные работы, которые устанавливали бы взаимоотношения между типом МНЧ, их физическими характеристиками, *in vitro* токсичностью, биораспределением в организме и контрастирующими свойствами в МРТ-диагностике на примере различных экспериментальных опухолевых моделей. МРТ, в отличие от других диагностических методов, позволяет достичь высокого пространственного разрешения и не имеет ограничений по проникновению вглубь тканей, а комбинация МРТ с T1- и T2-контрастными агентами (КА) позволяет контролируемо влиять на релаксацию протонов в окружающих тканях и получать МРТ-изображения с точной локализацией и границами опухолевого очага. КА на основе МНЧ сложных оксидов железа выступают безопасной альтернативой T1-КА, которые представлены хелатными комплексами Gd^{3+} и Mn^{2+} (Dotarem[®], Omniscan[®] и Gadavist[®]). В настоящий момент в клинике используется всего лишь один пероральный T2-КА Feraheme[®] (полидисперсные 3 нм НЧ $\gamma-Fe_2O_3$), применяемый при диагностике рака желудка и колоректального рака. Использование МНЧ Fe_3O_4 различной морфологии в качестве КА обусловлено, в первую очередь, биосовместимостью, низкой токсичностью, а

также выраженными магнитными свойствами такого материала. Большинство экспериментальных работ, описывающих перспективы использования МНЧ Fe_3O_4 в КА, проведено на примере сферических МНЧ, тогда как наиболее привлекательными КА являются МНЧ с ярко выраженной анизотропией формы, изменяя которую можно управлять магнитными свойствами материала. Разработка новых методик синтеза анизотропных МНЧ с контролируемой формой и размером, в том числе последующая оценка перспективы использования таких МНЧ в качестве МРТ-контрастных агентов, позволит получить фундаментальные знания о взаимоотношении тип МНЧ – физические свойства МНЧ – биологический отклик, что обуславливает актуальность данной работы.

Цели и задачи работы. Цель данной работы заключалась в разработке методик синтеза и исследовании анизотропных МНЧ сложных оксидов железа с контролируемой формой и размером для получения фундаментальных знаний о взаимоотношении тип МНЧ – физические свойства МНЧ – *in vitro* и *in vivo* свойства МНЧ, в том числе оценка перспективы их использования в качестве МРТ-КА.

Для достижения поставленной цели были сформулированы и решены следующие **задачи**:

1. Разработать методики синтеза анизотропных МНЧ сложных оксидов железа с контролируемой формой и размером;
2. Исследовать структуру и морфологию МНЧ методами ПЭМ, рентгеноструктурного анализа, ИК-спектроскопии, в том числе, исследовать их статические и динамические магнитные свойства;
3. Разработать способ получения стабильных водных коллоидов МНЧ в физиологических условиях;
4. Исследовать цитотоксичность МНЧ различных форм и размеров *in vitro*, изучить их биораспределение на животных с экспериментальными опухолевыми моделями, а также оценить перспективы использования таких МНЧ в качестве МРТ-КА.

Научная новизна. Впервые была разработана методика синтеза кластерных наночастиц магнетита (КлНЧМ) с использованием алифатических и ароматических циклических карбоновых кислот, а также исследовано влияние последних на форму и размер получаемых НЧ. Было показано, что как размер КлНЧМ, так и размер отдельных кристаллитов, из которых они состоят, уменьшается по логарифмическому закону с увеличением константы липофильности в ряду циклических алифатических карбоновых кислот. Измерения магнитных свойств КлНЧМ продемонстрировали высокие значения удельной намагниченности насыщения кристаллов, присущие объемному материалу, что объясняется проявлением магнитостатического эффекта в полученных кластерных структурах.

Кроме того, была разработана оригинальная двухстадийная методика синтеза стержневидных наночастиц магнетита (СНЧМ) с использованием микроволнового излучения, позволяющая проводить контролируемое восстановление немагнитного прекурсора – стержневидных НЧ акагенина, до магнитных НЧ без потери их формы.

В случае кубических наночастиц магнетита (КНЧМ) было показано, что размер их магнитного ядра можно контролировать путем подбора мольного соотношения железосодержащего прекурсора к поверхностно-активным веществам (ПАВ), таким как олеиновая кислота и олеат натрия. При этом было показано, что размер ядра КНЧМ уменьшается по экспоненциальному закону с увеличением общего количества таких ПАВ в реакционной смеси. Также было систематически изучено влияние размера КНЧМ на их статические и динамические магнитные свойства в диапазоне размеров 10 – 30 нм. Было показано, что КНЧМ позволяют получать наибольшие значения скорости r_2 -релаксации протонов воды в сравнении с НЧ другой формы и несколько раз превышают аналогичные значения для коммерческих КА.

In vitro эксперименты на клеточных культурах 4Т1 (рак молочной железы), В16 (меланома), СТ26 (рак толстой кишки) показали нетоксичность функционализированных сополимером Pluronic F-127 НЧ в широком диапазоне концентраций вплоть до 200 мкг Fe·мл⁻¹, а *in vivo* МРТ-эксперименты на трех экспериментальных опухолевых моделях выявили высокую избирательность в их отношении именно КНЧМ и КлНЧМ. Выраженное накопление КНЧМ и КлНЧМ наблюдалось во всех трех типах опухолей, а в случае опухолевой модели В16 удалось достигнуть накопления КНЧМ почти в 10 раз превышающее среднее значение для пассивной доставки, известное из литературы.

Кроме того, впервые была проведена комплексная оценка влияния морфологии НЧ на их биораспределение в организме. Так, при изучении биораспределения КНЧМ и КлНЧМ кубической формы с одинаковыми размерами магнитного ядра (30 нм) и гидродинамическим размером (130 нм) было обнаружено непредсказуемое накопление КлНЧМ в почках экспериментальных мышей, ранее неопианное в научной литературе для НЧ такого типа. В результате, впервые с использованием комбинации методов интравитальной и просвечивающей электронной микроскопии был установлен подробный механизм накопления и выведения НЧ почками.

Личный вклад автора. Представленные в работе данные получены лично автором или при непосредственном участии автора на всех этап проводимых исследований. Вся синтетическая часть работы, ключевые физико-химические исследования, а также обработка данных по биораспределению НЧ в экспериментах на различных опухолевых моделях была проведена лично автором. Автор самостоятельно сформулировал цель и задачи работы, проанализировал весь массив полученных данных, на основании которых сделал соответствующие заключения и сформулировал выводы по проделанной работе.

Степень достоверности и апробация работы. Все эксперименты, представленные в работе, проведены с использованием современных физико-химических методов исследования и высокоточного аналитического оборудования. Степень достоверности представленных количественных данных определяется инструментальной погрешностью такого оборудования и статистической обработкой полученных результатов. Результаты работы были представлены в виде устных и стендовых докладов на российских и международных научных конференциях, в числе

которых: Nanotechnology in Medicine: From Molecules to Humans (Хернштайн, Австрия, 2016); VII International Conference «Nanoparticles, nanostructured coatings and microcontainers: technology, properties, applications» (Томск, Россия, 2016); XII Международная (XXI Всероссийская) Пироговская научная медицинская конференция студентов и молодых ученых (Москва, Россия, 2017); Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов-2017» (Москва, Россия, 2017); II Международная научно-практическая школа-конференция «Магнитные наноматериалы в биомедицине: получение, свойства, применение» (Звенигород, Россия, 2017); International Baltic Conference on Magnetism «IBCM 2017» (Светлогорск, Россия, 2017); International Conference On Nanomedicine And Nanobiotechnology «ICONAN 2017» (Барселона, Испания, 2017); XII International Conference on the Scientific and Clinical Applications of Magnetic Carriers «MagMeet 2018» (Копенгаген, Дания, 2018); XI International Conference on Nanomaterials - Research & Application «NANOCON 2019» (Брно, Чешская Республика, 2019), VII Троицкая конференция с международным участием "Медицинская физика" (ТКМФ-7) (Москва, Россия, 2020).

Публикации. По материалам диссертации опубликована 21 печатная работа, в числе которых 2 статьи в изданиях из перечня ВАК, 1 статья, входящая в базу данных научного цитирования РИНЦ, 7 статей, входящих в базы данных научного цитирования Scopus/Web of Science, 9 тезисов докладов всероссийских и международных научных конференций, 2 патента на изобретение.

Публикации в научных изданиях из перечня ВАК

1. Изучение эффективности контрастирования различных видов опухолей с использованием кубических наночастиц магнетита / **А. А. Никитин**, В. А. Науменко, С. С. Водопьянов, А. С. Гаранина, Н. Д. Федорова, Е. Д. Калабай, А. Г. Савченко, М. А. Абакумов, А. Г. Мажуга // Бюллетень сибирской медицины. – 2018. – Т. 17, № 1. – С. 139–148.
2. Магнитно-резонансная томография для персонализированной оценки и прогнозирования эффективности доставки наноформуляций противоопухолевых препаратов / В. А. Науменко, А. С. Гаранина, С. С. Водопьянов, **А. А. Никитин**, А. О. Преловская, Е. И. Демихов, М. А. Абакумов, А. Г. Мажуга, В. П. Чехонин // Вестник Российского государственного медицинского университета. – 2018. – № 6. – С. 22–26.

Публикации в научных изданиях, индексируемых в базе данных РИНЦ

3. Иванова, А. В. Исследование гидродинамических параметров коллоидов наночастиц методом динамического светорассеяния / А. В. Иванова, **А. А. Никитин**, М. А. Абакумов // Известия Российской академии наук. Серия физическая. – 2020. – Т. 84, № 11. – С. 1580–1586.

Публикации в научных изданиях, индексируемых в базах данных Scopus/Web of Science

4. Anisotropic iron-oxide nanoparticles for diagnostic mri: synthesis and contrast properties. / **А. А. Nikitin**, М. А. Khrantsov, А. G. Savchenko, М. А. Abakumov, А. G. Mazhuga // Pharmaceutical Chemistry Journal. – 2018. – Vol. 52, No. 3 – P. 231–235.

5. Synthesis of iron oxide nanorods for enhanced magnetic hyperthermia / **A. Nikitin**, M. Khramtsov, A. Garanina, P. Mogilnikov, N. Sviridenkova, I. Shchetinin, A. Savchenko, M. Abakumov, A. Majouga // *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. – 2019. – Vol. 469. – P. 443–449.
6. Synthesis of iron oxide nanoclusters by thermal decomposition / **A. Nikitin**, I. Shchetinin, N. Tabachkova, M. Soldatov, A. Soldatov, N. Sviridenkova, E. Beloglazkina, A. Savchenko, N. Fedorova, M. Abakumov, A. Majouga // *Langmuir*. – 2018. – Vol. 34, № 15. – P. 4640–4650.
7. Synthesis, characterization and MRI application of magnetite water-soluble cubic nanoparticles / **A. Nikitin**, M. Fedorova, V. Naumenko, I. Shchetinin, M. Abakumov, A. Erofeev, P. Gorelkin, G. Meshkov, E. Beloglazkina, Y. Ivanenkov, N. Klyachko, Y. Golovin, A. Savchenko, A. Majouga // *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. – 2017. – Vol. 441. – P. 6–13.
8. Neutrophil-mediated transport is crucial for delivery of short-circulating magnetic nanoparticles to tumors / V. Naumenko, **A. Nikitin**, A. Garanina, P. Melnikov, S. Vodopyanov, K. Kapitanova, D. Potashnikova, D. Vishnevskiy, I. Alieva, A. Ilyasov, B. Eletskaia, M. Abakumov, V. Chekhonin, A. Majouga // *Acta Biomaterialia*. – 2020. – Vol. 104. – P. 176–187.
9. Intravital microscopy reveals a novel mechanism of nanoparticles excretion in kidney / V. Naumenko, **A. Nikitin**, K. Kapitanova, P. Melnikov, S. Vodopyanov, A. Garanina, M. Valikhov, A. Ilyasov, D. Vishnevskiy, A. Markov, S. Golyshev, D. Zhukov, I. Alieva, M. Abakumov, V. Chekhonin, A. Majouga // *Journal of Controlled Release*. – 2019. – Vol. 307. – P. 368–378.
10. Biodistribution and Tumors MRI Contrast Enhancement of Magnetic Nanocubes, Nanoclusters, and Nanorods in Multiple Mice Models / V. Naumenko, A. Garanina, **A. Nikitin**, S. Vodopyanov, N. Vorobyeva, Y. Tsareva, M. Kunin, A. Ilyasov, A. Semkina, V. Chekhonin, M. Abakumov, A. Majouga // *Contrast Media and Molecular Imaging*. – 2018. – Vol. 2018, P. 1–12.

Публикации в сборниках материалов и тезисов научных конференций

1. Experimental evaluation of magneto-mechanical forces mediated by magnetic nanoparticles in low-frequency magnetic field / **A. Nikitin**, A. Yurenya, T. Zatsepin, A. Majouga, M. Abakumov // XI International Conference on Nanomaterials – Research & Application «NANOCON 2019»: book of abstracts / chairman R. Zboril. – Brno : Tanager, 2019. – P. 85. – ISBN: 978-80-87294-94-9.
2. Development and use of iron oxide nanoclusters in biomedicine / **A. A. Nikitin**, N. D. Fedorova, V. A. Naumenko, A. S. Garanina, S. S. Vodopyanov, N. S. Vorobyeva, A. Yu. Yurenya, A. G. Savchenko, M. A. Abakumov, A. G. Majouga // 12th International conference on the scientific and clinical applications of magnetic carriers (MagMeet) : book of abstracts / organizers U. Hafeli, W. Schuett, M. Zborowski. – Copenhagen, 2018. – P. 144.
3. Magnetite nanoclusters as promising material for biomedical applications / **A. Nikitin**, M. Fedorova, N. Fedorova, I. Shchetinin, V. Naumenko, M. Abakumov, A. Savchenko, A.

- Majouga // International Conference On Nanomedicine And Nanobiotechnology (ICONAN) : book of abstracts / Pompeu Fabra University. – Barcelona, 2017. – P. 165–166.
4. One-pot method for producing magnetic nanocrystal clusters / **A. A. Nikitin**, N. D. Fedorova, M. F. Fedorova, I. V. Schetinina, V. A. Naumenko, M. A. Abakumov, A. G. Savchenko, A. G. Majouga // International Baltic Conference On Magnetism (IBCM) : book of abstracts / Immanuel Kant Baltic Federal University. – Svetlogorsk, 2017. – P. 137.
5. Advantages and disadvantages of cubic magnetite nanoparticles for therapy and diagnostics of malignant neoplasms / **A. Nikitin**, V. Naumenko, I. Schetinina, M. Abakumov, A. Savchenko, A. Majouga // II Международная научно-практическая школа-конференция «Магнитные наноматериалы в биомедицине: получение, свойства, применение» : сборник тезисов / Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС». – Звенигород, 2017. – С. 33–34.
6. Кластеры из наночастиц магнетита для биомедицинского применения / **A. A. Никитин**, Н. Д. Федорова, И. В. Щетинин, М. А. Абакумов, А. Г. Савченко, А. Г. Мажуга // «Ломоносов–2017» : материалы международного молодежного научного форума / отв. Ред. И. А. Алешковский, А. В. Андриянов, Е. А. Антипов. – М. : МАКС Пресс, 2017. – 1 электрон. опт. диск (DVD-ROM); 12 см. – ISBN 978-5-317-05504-2.
7. Федорова, Н. Д. Кластеры из наночастиц магнетита для биомедицинского применения / Н. Д. Федорова, **A. A. Никитин**, М. А. Абакумов // XII Международная (XXI Всероссийская) Пироговская научная медицинская конференция студентов и молодых ученых : сборник тезисов / под редакцией П. Б. Курапова, М. А. Абакумова, В. В. Шумянцева, В. В. Стрельникова. – Москва, 2017. – С. 60–61.
8. **Nikitin, A.** Shape- and size-controlled synthesis of magnetite nanoparticles for mri And drug delivery / A. Nikitin, A. Savchenko, A. Majouga // 7th International Conference on nanoparticles, nanostructured coatings and microcontainers: technology, properties, applications : book of abstracts of / Tomsk Polytechnic University. – Tomsk, 2016. – P. 56–57.
9. Theranostic Materials for MRI and targeted delivery based on functionalized magnetite nanoparticles / **A. Nikitin**, M. Fedorova, M. Abakumov, I. Schetinina, A. Savchenko, A. Majouga // Nanotechnology in Medicine: From Molecules to Humans : book of abstracts / Engineering Conference International : USA, 2016. – P. 10.

Патенты РФ

1. Патент № 2664062 Российская Федерация, МПК C01G 49/08 (2006.01), B82B 3/00 (2006.01), B82Y 30/00 (2011.01), A61K 49/18 (2006.01). Способ получения кластеров из наночастиц магнетита : № 2016151256 : заявл. 26.12.2016 : опубл. 14.08.2018 / А. А. Никитин, М. Ф. Федорова, И. В. Щетинин, М. А. Абакумов, Е. К. Белоглазкина, Н. Л. Клячко, Ю. И. Головин, А. Г. Савченко, А. Г. Мажуга. – 7 с. : ил.
2. Патент № 2686931 Российская Федерация, МПК C01G 49/08 (2006.01), B01J 19/12 (2006.01), B82B 3/00 (2006.01), B82Y 30/00 (2011.01), B82Y 5/00 (2011.01), A61P 35/00 (2006.01), A61K 33/26 (2006.01), A61K 41/00 (2006.01), A61K 49/06 (2006.01). Способ получения стержневых наночастиц магнетита : № 2017144639 : заявл. 19.12.2017 : опубл. 06.05.2019 / А. А. Никитин, М. А. Храмцов, М. А. Абакумов, А. Г.

Мажуга. – 2 с. : ил.

По тематике, методам исследования, предложенным новым научным положениям диссертация соответствуют паспорту специальности научных работников 05.16.08 «Нанотехнологии и наноматериалы» в части «Нанотехнологии и наноматериалы – область науки и техники, включающая теоретические и практические аспекты получения, обработки и применения материалов, состоящих из нанометрических (до 100 нм) элементов (кластеров, зёрен), структуры которых оказывают определяющее влияние на их механические, физические и химические свойства; изучение связи между химическим составом, структурным состоянием и свойствами наноматериалов; установление закономерностей влияния технологии получения и обработки наноматериалов на их структуру, механические, химические и физические свойства, «Экспериментальные исследования процессов получения наноматериалов, синтеза порошков наноразмерных сложных оксидов; выявление влияния размерного фактора на функциональные свойства и качества наноматериалов»

Связь работы с государственными программами. Результаты работы были получены в рамках грантов ФЦП №14.607.21.0132; РФФИ № 18-29-0906; Министерства образования и науки РФ № К2-2018-008.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, обзора литературы, описания материалов и методов исследований, экспериментальной части, описывающей материалы, методики синтеза НЧ и методы их исследования, результатов и их обсуждения, выводов и списка литературы. Работа изложена на 108 страницах печатного текста, содержит 11 таблиц и 63 рисунка. Список литературы включает 145 источников.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Диссертационная работа А.А. Никитина является законченной научной работой, в которой выполнено большое комплексное исследование, включающее разработку оригинальных методик синтеза анизотропных магнитных наночастиц оксидов железа различной формы и размеров, изучение их структурных и магнитных свойств, а также оценку перспектив использования полученных материалов в качестве контрастных агентов для повышения эффективности визуализации опухолевых очагов при проведении МРТ-диагностики. В том числе, в представленной работе автором было использовано большое количество методик по исследованию физико-химических и биологических характеристик полученных материалов. Практическая значимость представленных исследований, а также их достоверность, подтверждается наличием у автора большого количества научных публикаций в высокорейтинговых журналах, цитируемых в международных базах данных WoS и Scopus. Содержание диссертационной работы «Анизотропные наночастицы магнетита: синтез, исследование физических и биологических свойств, а также оценка перспективы использования в МРТ-диагностике» соответствует специальности 05.16.08 – Нанотехнологии и наноматериалы и рекомендуется к защите на соискание учёной степени кандидата химических наук.

Заключение принято на заседании расширенного научного семинара кафедры физического материаловедения ФГАОУ ВО НИТУ «МИСиС».

Присутствовало на заседании 19 чел.

В том числе: заведующий кафедрой физического материаловедения, к.ф.-м.н. Савченко А.Г., доцент, к.ф.-м.н. Перминов А.С., доцент, к.х.н. Абакумов М.А., доцент, к.ф.-м.н. Введенский В.Ю., ведущий эксперт, к.ф.-м.н. Дьяконова Н.П., старший преподаватель Захарова Е.А., аспирант Иванова А.В., профессор, д.ф.-м.н. Лилеев А.С., ассистент Медведева Т.М., доцент, к.ф.-м.н. Менушенков В.П., ассистент Минкова И.О., доцент, к.ф.-м.н. Могильников П.С., инженер, к.х.н. Низамов Т.Р., доцент, к.ф.-м.н. Савченко Е.С., доцент, к.ф.-м.н. Сундеев Р.В., аспирант Царева Я.О., доцент, к.ф.-м.н. Шуваева Е.А., доцент, к.т.н. Щетинин И.В.

Результаты голосования «за» – 19 чел., «против» – нет чел., «воздержалось» – нет чел., протокол № 02-12 от 21 декабря 2020 года.

Председатель расширенного научного семинара, заведующий кафедрой физического материаловедения, к.ф.-м.н.
Секретарь расширенного научного семинара кафедры физического материаловедения
к.ф.-м.н., доцент

А.Г. Савченко

Д.Г. Жуков