

УТВЕРЖДАЮ:

Директор Федерального государственного
бюджетного учреждения науки Федеральный
исследовательский центр проблем
химической физики и медицинской химии
Российской академии наук
к.ф.-м.н. Е.В. Голосов



Е.В. Голосов

2025 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федеральный
исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии
Российской академии наук**

**142432, Московская обл., г. Черноголовка, пр. Академика Семенова, д. 1, адрес
сайта: <https://icp-ras.ru/>**

Диссертация «рН-Чувствительные магнитные мезопористые сорбенты ципрофлоксацина» выполнена на кафедре 903 «Перспективные материалы и технологии аэрокосмического назначения» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» и в лаборатории металлополимеров отдела полимеров и композиционных материалов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии Российской академии наук (ФИЦ ПХФ и МХ РАН).

В период подготовки диссертации соискатель Дзеранов Артур Альбертович и в настоящее время работает в ФИЦ ПХФ и МХ РАН в Отделе полимеров и композиционных материалов, в лаборатории металлополимеров в должности младшего научного сотрудника.

Дзеранов Артур Альбертович в 2021 году окончил магистратуру Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» по направлению подготовки 24.04.04 «Авиационное строительство».

Дзеранов А.А. в период с 01 сентября 2021 года по 31 августа 2025 года обучался в очной аспирантуре Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)». Диплом об окончании аспирантуры 107718 1413824 по направлению подготовки 22.06.01 «Технологии материалов» выдан 07 июля 2025 г. Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Московский авиационный

институт (национальный исследовательский университет)». Справки о сдаче кандидатских экзаменов выданы в 2025 году.

Научный руководитель – Кыдралиева Камиля Асылбековна, доктор химических наук, доцент, работает в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», кафедра 903 «Перспективные материалы и технологии аэрокосмического назначения» в должности профессора.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертационная работа Дзеранова А.А. посвящена установлению физико-химических закономерностей сорбции/десорбции ципрофлоксацина (модельного амфотерного лекарственного препарата) магнитными мезопористыми нанокompозитами и оценке перспектив практического применения получаемых соединений.

В диссертационной работе решались следующие задачи:

1. Оптимизация условий получения и характеристика мезопористой матрицы на основе ТЭОС и АПТЭС по показателям выхода продукта и дзета-потенциала поверхности с использованием многофакторного анализа;
2. Получение нанокompозитов на основе наночастиц магнетита, аминоорганосилоксанов (R_1) и гуминовых кислот (R_2) различными методами: послойная сборка структур ядро-оболочка ($M-R_1R_2$) и *in statu nascendi* (R_1R_2-M) и их характеристика;
3. Исследование сорбционных свойств, определение кинетических параметров и механизмов сорбции нанокompозитов при разных значениях pH в отношении ципрофлоксацина;
4. Исследование кинетики высвобождения ципрофлоксацина из нанокompозитов в физиологически релевантных условиях (pH биологических сред организма, буферные растворы, 0,9 % NaCl);
5. Анализ антибактериальной активности нанокompозитов ($M-R_1R_2$) по отношению к бактериям *Escherichia coli*;
6. Исследование окислительно-восстановительных свойств нанокompозитов (R_1R_2-M): деградация ципрофлоксацина в реакции Фентона, анализ Fe^{3+}/Fe^{2+} , образование активных форм кислорода.

Актуальность работы

Диссертация посвящена получению стимул-чувствительных магнитных мезопористых нанокompозитов и установлению физико-химических закономерностей адсорбции/десорбции ципрофлоксацина, выбранного в качестве модельного лекарственного препарата. Интерес к исследованию стимул-чувствительных систем обусловлен возможностью их применения в качестве биосенсоров и систем доставки лекарств благодаря способности изменения свойств

материала в ответ на внешние и внутренние стимулы. Подобные системы, реагирующие на изменение условий окружающей среды, позволяют доставлять в орган-мишень и контролируемо высвобождать лекарственные препараты, повышая терапевтический эффект препарата.

В качестве магнитных мезопористых нанокомпозитов в работе получены и проведен сравнительный анализ наночастиц магнетита, иммобилизованных на поверхности или инкапсулированных в мезопористую матрицу интерполиэлектrolитных комплексов (ИПЭК) разнозаряженных гуминовых кислот и аминоорганосилоксанов (неорганического сополимера тетраэтоксисилана, ТЭОС и 3-аминопропилтриэтоксисилана, АПТЭС). На базе этих компонентов получены pH-чувствительные нанокомпозиты типа ядро-оболочка, способные менять поверхностный заряд в зависимости от кислотности среды и обеспечивающие контролируемое высвобождение лекарственных средств в физиологически релевантных условиях (pH биологических сред организма, буферные растворы, 0,9 % NaCl). Изменение порядка внесения компонентов в процессе синтеза позволило получить системы, чувствительные к окислительно-восстановительным процессам, которые также могут служить стимулом для запуска терапевтического действия нанокомпозитов.

Наиболее существенные результаты, полученные соискателем

1. Значимым параметром синтеза аминоорганосилоксановой матрицы с целевым дзета потенциалом является соотношение прекурсоров (ТЭОС/АПТЭС).
2. Формирование наночастиц магнетита на поверхности мезопористой матрицы приводит к изменению его фазового состава, морфологии, текстурных и магнитных параметров.
3. pH-чувствительность нанокомпозитов к сорбции и высвобождению ЦИП, в том числе пролонгированному, проявляется для структур ядро-оболочка с поверхностными гуминовыми кислотами вследствие электростатических взаимодействий нанокомпозита с ЦИП.
4. Результаты анализа каталитической активности нанокомпозита с иммобилизованными наночастицами магнетита (*in statu nascendi*) при деградации ЦИП в реакции Фентона.

Личный вклад автора в диссертационную работу состоит в сборе, анализе и систематизации данных о магнитных нанокомпозитах, синтезе и их физико-химическом анализе (спектроскопические, сорбционные и электрокинетические методы), обработке и систематизации полученных экспериментальных данных, формулировании выводов и заключения диссертационной работы, написании статей.

Степень достоверности и апробация полученных результатов

Достоверность и обоснованность полученных результатов обеспечиваются выполнением работы с применением разнообразных методов анализа и использованием комплекса современного оборудования АЦКП ФИЦ ПХФ и МХ РАН.

Основные положения и выводы диссертации были представлены в форме устных или стендовых докладов на международных и всероссийских научно-практических конференциях: международной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов» (Москва, 2021, 2024), всероссийской школы молодых ученых «Научные школы большой химической физики» (Черноголовка, 2021), международной конференции по химии и физикохимии олигомеров «Олигомеры-2022» (Суздаль, 2022), седьмой международной конференции стран СНГ «Золь-гель синтез и исследование неорганических соединений, гибридных функциональных материалов и дисперсных систем» (Москва, 2023), всероссийской конференции «Поверхностные явления в дисперсных системах» (Москва, 2023), научной конференции-школы «Искусственный интеллект в химии и материаловедении» (Москва, 2023), молодежной конференции с международным участием "Биохимическая физика" (Москва, 2024).

Степень новизны полученных результатов

Основные результаты, представленные в данной диссертационной работе, являются новыми и оригинальными.

1. Установлена взаимосвязь между фазовым составом, морфологией и площадью поверхности наночастиц на основе оксидов железа, синтезированных методом *in statu nascendi* путем их формирования из образующихся комплексов ионов железа с ИПЭК аминоорганосилоксанов и ГК и прооксидантными свойствами нанокомпозитов.
2. Установлены взаимосвязи между составом и архитектурой нанокомпозитов и скоростью сорбции и высвобождения ЦИП из полученных сорбентов при различных pH среды.
3. Показано, что направленная модификация и темплатный синтез наночастиц магнетита в мезопористой матрице интерполиэлектrolитных комплексов аминоорганосилоксанов и гуминовых кислот позволяет создать нетоксичные pH-чувствительные нанокомпозиты в качестве носителей ципрофлоксацина.
4. Оценка деградации ципрофлоксацина в реакции Фентона наночастицами магнетита, иммобилизованных на поверхности мезопористой матрицы ИПЭК аминоорганосилоксанов и гуминовых кислот, показала высокую каталитическую активность нанокомпозитов.

Практическая значимость и ценность работ соискателя

Теоретическая значимость результатов работы состоит в обосновании физико-химических принципов формирования мезопористых поверхностно-модифицированных нанокомпозитов регулируемой структуры (архитектуры) путем варьирования и контроля соотношения прекурсоров, условий реакции (температура, тип прекурсоров) с использованием наночастиц магнетита и интерполиэлектrolитных комплексов аминоорганосилоксанов и гуминовых кислот для связывания лекарственных препаратов.

Варьирование структуры магнитных мезопористых нанокомпозитов путем направленной модификации и темплатному синтезу наночастиц магнетита в мезопористой матрице интерполиэлектrolитных комплексов аминокорганосилоксанов и гуминовых кислот позволяет получать стимул-чувствительные системы различного механизма действия. Полученные в работе нанокомпозиты, а также разработанные способы их синтеза представляют интерес в качестве основы для создания биологически активных препаратов с адаптивными покрытиями, например, стимул-чувствительных соединений, обладающих антибактериальными свойствами, ферроптоз-индуцирующих систем.

Полнота изложения результатов в работах, опубликованных автором

По теме диссертации опубликовано 8 статей, из них 2 включенные в перечень журналов МРБД и 8 в изданиях, включенных в международные системы цитирования (Scopus, Web of Science), а также 12 тезисов докладов в материалах конференций всероссийского и международного уровней.

Основное содержание работы изложено в следующих публикациях:

Статьи:

1. Bondarenko L., Pankratov D., Dzeranov A., Dzhardimalieva G., Streltsova A., Zarrelli M., Kydralieva K. A simple method for the quantification nonstoichiometric magnetite using conventional X-ray diffraction technique. *Mendeleev Communications*, 2022, 32, P. 642-644. DOI: 10.1016/j.mencom.2022.09.025. (Категория K2, 4 с., №141, перечень журналов МРБД от 12.12.2016, Scopus Q3, Web of Science). Личный вклад автора заключается в синтезе образцов; обработке результатов исследования микроструктуры образцов методом рентгенофазового анализа.
2. Dzeranov A., Bondarenko L., Pankratov D., Prokof'ev M., Dzhardimalieva G., Jorobekova Sh., Trop'skaya N., Telegina L., Kydralieva K. Iron oxides nanoparticles as components of ferroptosis-inducing systems: screening of potential candidates. *Magnetochemistry*, 2022, 9, 3. <https://doi.org/10.3390/magnetochemistry9010003>. (Категория K2, 14 с., Scopus Q2, Web of Science). Личный вклад автора заключается в синтезе образцов; обработке результатов исследования микроструктуры и текстурных характеристик образцов методами рентгенофазового анализа и низкотемпературной адсорбции азота соответственно; определении равновесной концентрации высвободившихся в раствор $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ в суспензии наночастиц оксидов железа.
3. Dzeranov A., Bondarenko L., Pankratov D., Dzhardimalieva G., Jorobekova Sh., Saman D., Kydralieva K. Impact of silica-modification and oxidation on crystal structure of magnetite. *Magnetochemistry*, 2023, 9, 18. <https://doi.org/10.3390/magnetochemistry9010018>. (Категория K2, 15 с., Scopus Q2, Web of Science). Личный вклад автора заключается в синтезе образцов; обработке результатов исследования микроструктуры образцов методами рентгенофазового анализа и Мессбауэровской спектроскопии.

4. Kiryushina A., Bondarenko L., Dzeranov A., Kydralieva K., Patsaeva S., Terekhova V. The effect of silica-magnetite nanoparticles on the ecotoxicity of the antibiotic ciprofloxacin. *Environmental Science and Pollution Research*, 2023, 30, P. 55067-55078. DOI: 10.1007/s11356-023-26233-9. PMID: 36884170. (Категория K1, 12 с., Scopus Q1, Web of Science). Личный вклад автора заключается в синтезе образцов; обработке результатов исследования микроструктуры образцов методом рентгенофазового анализа; проведение многофакторного анализа методом планирования эксперимента.
5. Bondarenko L., Saveliev Y., Chernyaev D., Baimuratova R., Dzhardimalieva G., Dzeranov A., Kelbysheva E., Kydralieva K. A statistical design approach to sol-gel synthesis of (amino)organosilane hybrid nanoparticles. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 2023, 23, P. 15862-15872. DOI: <https://doi.org/10.1039/D3CP01404E>. (Категория K2, 11 с., Scopus Q2, Web of Science). Личный вклад автора заключается в синтезе образцов; обработке результатов исследования строения и морфологии образцов методами ИК спектроскопии и сканирующей электронной микроскопии соответственно; проведение многофакторного анализа методом планирования эксперимента.
6. Dzeranov A., Bondarenko L., Dzhardimalieva G., Kelbysheva E., Zmeev D., Patsaeva S., Tropkaya N., Jorobekova Sh. and Kydralieva K. Enhanced interaction of ciprofloxacin with humic substances and magnetite-silica-nanoparticles in multicomponent system: Spectrophotometric and electrokinetic studies. *Journal of Biomedical Photonics & Engineering*, 2024, 10, No. 2, P. 020301. ISSN 2411-2844. <http://dx.doi.org/10.18287/JBPE24.10.020301>. (Категория K3, 12 с., №124, перечень журналов в МРБД от 31.12.2023, Scopus Q4). Личный вклад автора заключается в синтезе нанокомпозитов; обработке результатов исследования микроструктуры, строения и текстурных характеристик нанокомпозитов методами рентгенофазового анализа, ИК спектроскопии и низкотемпературной адсорбции азота соответственно; проведение и анализ результатов эксперимента по сорбции ципрофлоксацина.
7. Dzeranov A., Bondarenko L., Saman D., Prokof'ev M., Terekhova V., Telegina L., Dzhardimalieva G., Bolotskaya S., Kydralieva K. Effects of water induced aging on iron (oxyhydr)oxides nanoparticles: linking crystal structure, iron ion release, and toxicity. *Chemical Papers*, 2024. <https://doi.org/10.1007/s11696-024-03373-x>. (Категория K2, 15 с., Scopus Q2, Web of Science). Личный вклад автора заключается в синтезе образцов; обработке результатов исследования микроструктуры наночастиц методами рентгенофазового анализа и Мессбауэровской спектроскопии; определении равновесной концентрации высвободившихся в растворе Fe^{3+} в суспензии наночастиц оксидов железа.
8. Dzeranov A., Pankratov D., Bondarenko L., Telegina L., Dzhardimalieva G., Saman D. and Kydralieva K. Humic acids-modified mesoporous silica encapsulating magnetite: crystal and surface characteristics. *CrystEngComm*, 2024, 26, P. 3250-3262. <https://doi.org/10.1039/D4CE00281D>. (Категория K1, 13 с., Scopus Q2, Web of Science). Личный вклад автора заключается в синтезе нанокомпозитов; обработке результатов исследования

микроструктуры нанокомпозитов методами рентгенофазового анализа и Мессбауэровской спектроскопии; обработке результатов исследования морфологии нанокомпозитов методами сканирующей и просвечивающей электронной микроскопией; обработке результатов исследования текстурных характеристик нанокомпозитов методом низкотемпературной адсорбции азота; обработке результатов исследования окислительно-восстановительного потенциала нанокомпозитов методом циклической вольтамперометрии.

Материалы конференций:

1. Дзеранов А., Бондаренко Л., Панкратов Д., Джардималиева Г., Кыдралиева К.; Исследование микроструктуры модифицированных наночастиц магнетита методами рентгенофазового анализа и Мессбауэровской спектроскопии. XXVIII Международная конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов», 12-23 апреля 2021 г, [Электронный ресурс] – М.: МАКС Пресс, 2021. ISBN 978-5-317-06593-5, https://lomonosov-msu.ru/archive/Lomonosov_2021/data/section_38_22374.htm. Устный
2. Dzeranov A., Bondarenko L., Pankratov D., Terekhova V., Dzharzhimalieva G., Kydralieva K. Influence of oxidation on the microstructure and ecotoxicity of modified magnetite nanoparticles. Материалы Международной сателлитной конференции "Экологический мониторинг: методы и подходы" и XX Международного симпозиума "Сложные системы в экстремальных условиях", 20-24 сентября 2021 / [отв. за вып. О. В. Крюкова]. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2021. - С. 56-59. ISBN 978-5-7638-4569-3. Устный
3. Дзеранов А., Марочко Т., Бондаренко Л., Джардималиева Г., Кузнецова С., Змеев Д., Учанов П., Кыдралиева К.; Сорбционные и детоксицирующие свойства модифицированных наночастиц оксидов железа по отношению к ципрофлоксацину. Сборник тезисов Всероссийской школы молодых ученых "Научные школы большой химической физики", Черноголовка, Россия, 29 ноября - 3 декабря 2021, Тезисы докладов. / [отв. ред. - М.П. Березин]. – Черноголовка: ИПХФ РАН, 2021. - С.181-182, ISBN 978-5-6044508-6-4. Стендовый
4. Дзеранов А., Павленко А., Бондаренко Л., Джардималиева Г., Тропская Н., Кыдралиева К.; 3D- и 2D-сополимеризация органосиланов: моделирование в рамках многофакторного эксперимента. Олигомеры-2022: сборник трудов XIX Международной конференции по химии и физикохимии олигомеров, 19 – 24 сентября 2022 г. Тезисы докладов. Т. 2. / [отв. ред. - М.П. Березин]. – Суздаль: ФИЦ ХФ РАН, 2022. - С. 192. ISBN 978-5-91845-098-7. Устный
5. Dzeranov A., Bondarenko L., Dzhardimalieva G., Kelbysheva E., Zmееv D., Patsaeva S. and Kydralieva K. Spectrophotometric and electrokinetic studies of interaction of ciprofloxacin with humic substances and silica magnetite nanoparticles; «Saratov fall meeting XXVI «Nanobiophotonics XVIII»», Саратов, Россия, 26-30 сентября 2022, https://sfmconference.org/sfm/sfm22/conferences_workshops/nanobiophotonics-xviii/preliminary/1731/. Устный

6. Дзеранов А.А., Лернер В.Л., Гасанов М.Э., Бондаренко Л.С., Джардималиева Г.И., Тропская Н.С., Кыдралиева К.А. Кристаллическая структура наночастиц Fe_3O_4 -АПТЭС и перезарядка поверхности в присутствии гуминовых кислот. Сборник тезисов докладов Седьмой международной конференции стран СНГ «Золь-гель синтез и исследование неорганических соединений, гибридных функциональных материалов и дисперсных систем «Золь-гель 2023», 28-31 августа 2023, Москва, - С. 42. ISBN 978-5-6048945-9-0. Устный

7. Dzeranov A.A., Saman D., Bondarenko L.S., Kydralieva K.A. A statistical design approach to sol-gel synthesis of (amino)organosilane hybrid nanoparticles. Сборник тезисов докладов Седьмой международной конференции стран СНГ «Золь-гель синтез и исследование неорганических соединений, гибридных функциональных материалов и дисперсных систем «Золь-гель 2023», 28-31 августа 2023, Москва, - С. 78. ISBN 978-5-6048945-9-0. Стендовый

8. Саман Д., Дзеранов А.А., Бондаренко Л.С., Тропская Н.С., Кыдралиева К.А. Влияние поверхностных модификаторов на дзета-потенциал наночастиц магнетита. Всероссийская конференция «Поверхностные явления в дисперсных системах»: посвященная 125-летию со дня рождения выдающегося советского ученого, академика АН СССР Петра Александровича Ребиндера, Москва, Россия, 2–6 октября 2023 г, - С. 237. Стендовый

9. Дзеранов А.А., Бондаренко Л.С., Саман Д., Джардималиева Г.И., Тропская Н.С., Кыдралиева К.А. Влияние условий синтеза на электрокинетические свойства наночастиц Fe_3O_4 /АПТЭС. Всероссийская конференция «Поверхностные явления в дисперсных системах»: посвященная 125-летию со дня рождения выдающегося советского ученого, академика АН СССР Петра Александровича Ребиндера, Москва, Россия, 2–6 октября 2023 г, - С.175. Стендовый

10. Гасанов М.Э., Лернер В.Л., Бондаренко Л.С., Кирюшина А.П., Дзеранов А.А., Сидоров М.Ю., Славиогло В.Д., Шулаков А.Ю., Кыдралиева К.А. Применение QSAR для прогнозирования биоактивности модифицированных наночастиц магнетита в условиях малой выборки. Научная конференция-школа «Искусственный интеллект в химии и материаловедении». Москва, Россия, 18-20 декабря 2023, ИОХ им. Н. Д. Зелинского РАН, г. Москва. - С. 86. Стендовый

11. Дзеранов А.А., Саман Д. «Старение наночастиц (оксигидр)оксидов железа в водной среде: связь кристаллической структуры, высвобождения ионов железа и токсичности». Материалы Международного молодежного научного форума «ЛОМОНОСОВ-2024» / Отв. ред. И.А. Алешковский, А.В. Андриянов, Е.А. Антипов, Е.И. Зимакова. [Электронный ресурс] – М.: МОО СИПНН Н.Д. Кондратьева, 2024. ISBN 978-5-901-64042-5/ Стендовый

12. Кичеева А.Г., Сушко Е.С., Бондаренко Л.С., Дзеранов А.А., Баймуратова Р.К., Джардималиева Г.И., Кудряшева Н.С., Кыдралиева К.А. Магнетит-содержащие наночастицы как основа магнитоуправляемых медицинских препаратов. Физико-химические, цитотоксические и прооксидантные характеристики. Труды XXIV Ежегодной молодежной конференции с

международным участием ИБХФ РАН-ВУЗЫ "БИОХИМИЧЕСКАЯ ФИЗИКА". Москва, 18-20 ноября 2024 г. Р. 148-151. Устный

Диссертационная работа Дзеранова А.А. является законченным научным исследованием и удовлетворяет основным требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Рассмотренная работа соответствует специальности 1.4.4. - Физическая химия (химические науки).

Диссертационная работа «pH-Чувствительные магнитные мезопористые сорбенты ципрофлоксацина» Дзеранова Артура Альбертовича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.4. - Физическая химия (химические науки).

Заключение принято на заседании секции № 5 Ученого совета ФИЦ ПХФ и МХ РАН.

Присутствовало на заседании 45 человек.

Результаты голосования: «за» – 45 чел., «против» – 0 чел., «воздержалось» – 0 чел. (протокол № 214 заседания ученого совета № 5 от 04 июля 2025 года).

Присутствовали:

доктора химических наук: Аллаяров С.Р., Бадамшина Э.Р., Джардималиева Г.И., Кыдралиева К.А., Савченко В.И.; кандидаты химических наук: Абакумов М.А., Аккуратов А.В., Баймуратова Р.К., Баскаков В.А., Богатыренко В.Р., Бондаренко Л.С., Березин М.П., Грачев В.П., Гурьева Л.Л., Диденко Л.П., Зайченко А.Ю., Карпов С.В., Кичигина Г.А., Кнерельман Е.И., Кузнецов И.Г., Курмаз С.В., Курочкин С.А., Макарян И.А., Файнгольд Е.Е.; кандидаты технических наук: Букичев Ю.С., Квурт Ю.П.; кандидаты физико-математических наук: Анохин Д.В., Вашуркин Д.В., Закиев С.Е., Костин А.Ю., Лесничая В.А.; научные сотрудники: Голубева Н.Д., Кугабаева Г.Д., Заморецков Д.С., Лашманов Н.Н., Капашаров А.Т., Мулюкина С.М., Пирязев А.А., а также аспиранты и студенты: Винников Д.С., Гальцов-Циенциала М.С., Ершов А.А., Собенин Д.В., Ульянов И.В.

Председатель секции № 5
Ученого совета ФИЦ ПХФ и МХ РАН
к.х.н., зав. отделом полимеров
и композиционных материалов

Ученый секретарь секции № 5
к.х.н., в.н.с.



Малков Г. В.



Файнгольд Е. Е.

УТВЕРЖДАЮ

**Проректор по научной работе
федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего
образования**

**«Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)»
доктор технических наук**



А.В. Иванов

«16» июля 2025 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Московский авиационный институт (национальный
исследовательский университет)»**

Диссертационная работа «рН-Чувствительные магнитные мезопористые сорбенты ципрофлоксацина» выполнена на кафедре 903 «Перспективные материалы и технологии аэрокосмического назначения» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» и в лаборатории металлополимеров отдела полимеров и композиционных материалов федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии Российской академии наук».

В 2021 году с отличием окончил магистратуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» по направлению подготовки 24.04.04 - «Авиационное строительство».

В период подготовки диссертации соискатель Дзеранов Артур Альбертович работал в должности ассистента кафедры 903 «Перспективные материалы и технологии аэрокосмического назначения», инженера научно-исследовательского отделения института №9 федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» и в должности младшего научного сотрудника лаборатории металлополимеров, отдела полимерных и композиционных материалов федерального государственного

бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии Российской академии наук».

В 2025 году окончил очную аспирантуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» по направлению подготовки 22.06.01 - «Технологии материалов», диплом об окончании аспирантуры: №107718, регистрационный номер: 1413824, выдан федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» 07.07.2025 г.

Справки о сдаче кандидатских экзаменов выданы в 2025 г. федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» и федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением науки «Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии Российской академии наук».

Научный руководитель – Кыдралиева Камиля Асылбековна, доктор химических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», профессор кафедры 903 «Перспективные материалы и технологии аэрокосмического назначения».

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Применение систем доставки лекарственных препаратов с контролируемым высвобождением требует получения и исследования стимул-чувствительных систем, способных реагировать на изменение окружающей среды. Благодаря различию кислотности в здоровой и воспалительной средах перспективным является применение pH-чувствительных магнитных мезопористых нанокомпозитов, способных изменять заряд поверхности в разных биологических средах. Окислительно-восстановительные процессы, протекающие при воспалительных реакциях, также могут выступать в качестве стимулов, запускающих терапевтическое действие нанокомпозитов. В этой связи перспективным является получение нанокомпозитов с адаптивной pH-чувствительной поверхностью на основе модифицированных разнозаряженными полиэлектролитами наночастиц магнетита, обеспечивающей управляемое высвобождение лекарственных препаратов анионного, катионного и цвиттер-ионного типов.

Таким образом, диссертационная работа, посвященная установлению физико-химических закономерностей сорбции/десорбции ципрофлоксацина (модельного амфотерного лекарственного препарата) магнитными мезопористыми нанокомпозитами, несомненно, является актуальной. В качестве магнитных мезопористых нанокомпозитов в работе исследуются наночастицы магнетита, иммобилизованные на поверхности или инкапсулированные в

мезопористую матрицу интерполиэлектrolитных комплексов разнозаряженных молекул гуминовых кислот и аминоорганосилоксанов.

Научная новизна диссертационной работы:

1. Установлена взаимосвязь между фазовым составом, морфологией и площадью поверхности наночастиц на основе оксидов железа, синтезированных методом *in statu nascendi* путем их формирования из образующихся комплексов ионов железа с ИПЭК аминоорганосилоксанов и ГК и прооксидантными свойствами нанокомпозитов.
2. Установлены корреляции между составом и архитектурой нанокомпозитов и скоростью сорбции и высвобождения ЦИП из полученных сорбентов при различных рН среды.
3. Показано, что направленная модификация и темплатный синтез наночастиц магнетита в мезопористой матрице интерполиэлектrolитных комплексов аминоорганосилоксанов и гуминовых кислот позволяет создать нетоксичные рН-чувствительные нанокомпозиты в качестве носителей ципрофлоксацина.
4. Оценка деградации ципрофлоксацина в реакции Фентона наночастицами магнетита, иммобилизованных на поверхности мезопористой матрицы ИПЭК аминоорганосилоксанов и гуминовых кислот, показала высокую каталитическую активность нанокомпозитов.

Личный вклад автора в диссертационную работу состоит в сборе, анализе и систематизации данных о магнитных нанокомпозитах, синтезе и их физико-химическом анализе (спектроскопические, сорбционные и электрокинетические методы), обработке и систематизации полученных экспериментальных данных, формулировании выводов и заключения диссертационной работы, написании статей.

Достоверность полученных в работе данных обеспечивается использованием комплекса современных независимых физико-химических и биологических методов анализа.

Основные положения и выводы диссертации были представлены в форме устных или стендовых докладов на международных и всероссийских научно-практических конференциях: международной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов» (Москва, 2021, 2024), всероссийской школы молодых ученых «Научные школы большой химической физики» (Черноголовка, 2021), международной конференции по химии и физикохимии олигомеров «Олигомеры-2022» (Суздаль, 2022), седьмой международной конференции стран СНГ «Золь-гель синтез и исследование неорганических соединений, гибридных функциональных материалов и дисперсных систем» (Москва, 2023), всероссийской конференции «Поверхностные явления в дисперсных системах» (Москва, 2023), научной конференции-школы «Искусственный интеллект в химии и материаловедении»

(Москва, 2023), молодежной конференции с международным участием "Биохимическая физика" (Москва, 2024).

Теоретическая значимость результатов работы состоит в обосновании физико-химических принципов формирования мезопористых поверхностно-модифицированных нанокомпозитов регулируемой структуры (архитектуры) путем варьирования и контроля соотношения прекурсоров, условий реакции (температура, тип прекурсоров) с использованием наночастиц магнетита и интерполиэлектrolитных комплексов аминорганосилоксанов и гуминовых кислот для связывания лекарственных препаратов. Варьирование структуры магнитных мезопористых нанокомпозитов путем направленной модификации и темплатного синтеза наночастиц магнетита в мезопористой матрице интерполиэлектrolитных комплексов аминорганосилоксанов и гуминовых кислот позволяет получать стимул-чувствительные системы различного механизма действия. Полученные в работе нанокомпозиты, а также разработанные способы их синтеза представляют интерес в качестве основы для создания биологически активных препаратов с адаптивными покрытиями, например, стимул-чувствительных соединений, обладающих антибактериальными свойствами, ферроптоз-индуцирующих систем.

По теме диссертации опубликовано 8 статей, из них 2 включенные в перечень журналов МРБД и 8 в изданиях, включенных в международные системы цитирования (Scopus, Web of Science), а также 12 тезисов докладов в материалах конференций всероссийского и международного уровней.

Основные положения диссертации с достаточной полнотой представлены в следующих публикациях:

Статьи:

1. Bondarenko L., Pankratov D., Dzeranov A., Dzhardimalieva G., Streltsova A., Zarrelli M., Kydralieva K. A simple method for the quantification nonstoichiometric magnetite using conventional X-ray diffraction technique. *Mendeleev Communications*, 2022, 32, P. 642-644. DOI: 10.1016/j.mencom.2022.09.025. (Категория K2, 4 с., №141, перечень журналов МРБД от 12.12.2016, Scopus Q3, Web of Science). Личный вклад автора заключается в синтезе образцов; обработке результатов исследования микроструктуры образцов методом рентгенофазового анализа.

2. Dzeranov A., Bondarenko L., Pankratov D., Prokof'ev M., Dzhardimalieva G., Jorobekova Sh., Trop'skaya N., Telegina L., Kydralieva K. Iron oxides nanoparticles as components of ferroptosis-inducing systems: screening of potential candidates. *Magnetochemistry*, 2022, 9, 3. <https://doi.org/10.3390/magnetochemistry9010003>. (Категория K2, 14 с., Scopus Q2, Web of Science). Личный вклад автора заключается в синтезе образцов; обработке результатов исследования микроструктуры и текстурных характеристик образцов методами рентгенофазового анализа и низкотемпературной адсорбции азота соответственно; определении равновесной концентрации высвободившихся в раствор $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ в суспензии наночастиц оксидов железа.

3. Dzeranov A., Bondarenko L., Pankratov D., Dzhardimalieva G., Jorobekova Sh., Saman D., Kydralieva K. Impact of silica-modification and oxidation on crystal structure of magnetite. *Magnetochemistry*, 2023, 9, 18. <https://doi.org/10.3390/magnetochemistry9010018>. (Категория K2, 15 с., Scopus Q2, Web of Science). Личный вклад автора заключается в синтезе образцов; обработке результатов исследования микроструктуры образцов методами рентгенофазового анализа и Мессбауэровской спектроскопии.

4. Kiryushina A., Bondarenko L., Dzeranov A., Kydralieva K., Patsaeva S., Terekhova V. The effect of silica-magnetite nanoparticles on the ecotoxicity of the antibiotic ciprofloxacin. *Environmental Science and Pollution Research*, 2023, 30, P. 55067-55078. DOI: 10.1007/s11356-023-26233-9. PMID: 36884170. (Категория K1, 12 с., Scopus Q1, Web of Science). Личный вклад автора заключается в синтезе образцов; обработке результатов исследования микроструктуры образцов методом рентгенофазового анализа; проведение многофакторного анализа методом планирования эксперимента.

5. Bondarenko L., Saveliev Y., Chernyaev D., Baimuratova R., Dzhardimalieva G., Dzeranov A., Kelbysheva E., Kydralieva K. A statistical design approach to sol-gel synthesis of (amino)organosilane hybrid nanoparticles. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 2023, 23, P. 15862-15872. DOI: <https://doi.org/10.1039/D3CP01404E>. (Категория K2, 11 с., Scopus Q2, Web of Science). Личный вклад автора заключается в синтезе образцов; обработке результатов исследования строения и морфологии образцов методами ИК спектроскопии и сканирующей электронной микроскопии соответственно; проведение многофакторного анализа методом планирования эксперимента.

6. Dzeranov A., Bondarenko L., Dzhardimalieva G., Kelbysheva E., Zmeev D., Patsaeva S., Tropkaya N., Jorobekova Sh. and Kydralieva K. Enhanced interaction of ciprofloxacin with humic substances and magnetite-silica-nanoparticles in multicomponent system: Spectrophotometric and electrokinetic studies. *Journal of Biomedical Photonics & Engineering*, 2024, 10, No. 2, P. 020301. ISSN 2411-2844. <http://dx.doi.org/10.18287/JBPE24.10.020301>. (Категория K3, 12 с., №124, перечень журналов в МРБД от 31.12.2023, Scopus Q4). Личный вклад автора заключается в синтезе нанокомпозитов; обработке результатов исследования микроструктуры, строения и текстурных характеристик нанокомпозитов методами рентгенофазового анализа, ИК спектроскопии и низкотемпературной адсорбции азота соответственно; проведение и анализ результатов эксперимента по сорбции ципрофлоксацина.

7. Dzeranov A., Bondarenko L., Saman D., Prokof'ev M., Terekhova V., Telegina L., Dzhardimalieva G., Bolotskaya S., Kydralieva K. Effects of water induced aging on iron (oxyhydr)oxides nanoparticles: linking crystal structure, iron ion release, and toxicity. *Chemical Papers*, 2024. <https://doi.org/10.1007/s11696-024-03373-x>. (Категория K2, 15 с., Scopus Q2, Web of Science). Личный вклад автора заключается в синтезе образцов; обработке результатов исследования микроструктуры наночастиц методами рентгенофазового анализа и Мессбауэровской

спектроскопии; определении равновесной концентрации высвободившихся в раствор Fe^{3+} в суспензии наночастиц оксидов железа.

8. Dzeranov A., Pankratov D., Bondarenko L., Telegina L., Dzhardimalieva G., Saman D. and Kydralieva K. Humic acids-modified mesoporous silica encapsulating magnetite: crystal and surface characteristics. *CrystEngComm*, 2024, 26, P. 3250-3262. <https://doi.org/10.1039/D4CE00281D>. (Категория K1, 13 с., Scopus Q2, Web of Science). Личный вклад автора заключается в синтезе нанокомпозитов; обработке результатов исследования микроструктуры нанокомпозитов методами рентгенофазового анализа и Мессбауэровской спектроскопии; обработке результатов исследования морфологии нанокомпозитов методами сканирующей и просвечивающей электронной микроскопией; обработке результатов исследования текстурных характеристик нанокомпозитов методом низкотемпературной адсорбции азота; обработке результатов исследования окислительно-восстановительного потенциала нанокомпозитов методом циклической вольтамперометрии.

Материалы конференций:

1. Дзеранов А., Бондаренко Л., Панкратов Д., Джардималиева Г., Кыдралиева К.; Исследование микроструктуры модифицированных наночастиц магнетита методами рентгенофазового анализа и Мессбауэровской спектроскопии. XXVIII Международная конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов», 12-23 апреля 2021 г, [Электронный ресурс] – М.: МАКС Пресс, 2021. ISBN 978-5-317-06593-5, https://lomonosov-msu.ru/archive/Lomonosov_2021/data/section_38_22374.htm. Устный
2. Dzeranov A., Bondarenko L., Pankratov D., Terekhova V., Dzharzhimalieva G., Kydralieva K. Influence of oxidation on the microstructure and ecotoxicity of modified magnetite nanoparticles. Материалы Международной сателлитной конференции "Экологический мониторинг: методы и подходы" и XX Международного симпозиума "Сложные системы в экстремальных условиях", 20-24 сентября 2021 / [отв. за вып. О. В. Крюкова]. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2021. - С. 56-59. ISBN 978-5-7638-4569-3. Устный
3. Дзеранов А., Марочко Т., Бондаренко Л., Джардималиева Г., Кузнецова С., Змеев Д., Учанов П., Кыдралиева К.; Сорбционные и детоксицирующие свойства модифицированных наночастиц оксидов железа по отношению к ципрофлоксацину. Сборник тезисов Всероссийской школы молодых ученых "Научные школы большой химической физики", Черноголовка, Россия, 29 ноября - 3 декабря 2021, Тезисы докладов. / [отв. ред. - М.П. Березин]. – Черноголовка: ИПХФ РАН, 2021. - С.181-182, ISBN 978-5-6044508-6-4. Стендовый
4. Дзеранов А., Павленко А., Бондаренко Л., Джардималиева Г., Тропская Н., Кыдралиева К.; 3D- и 2D-сополимеризация органосиланов: моделирование в рамках многофакторного эксперимента. Олигомеры-2022: сборник трудов XIX Международной конференции по химии и физикохимии олигомеров, 19 – 24 сентября 2022 г. Тезисы докладов. Т. 2. / [отв. ред. - М.П. Березин]. – Суздаль: ФИЦ ХФ РАН, 2022. - С. 192. ISBN 978-5-91845-098-7. Устный

5. Dzeranov A., Bondarenko L., Dzhardimalieva G., Kelbysheva E., Zmeev D., Patsaeva S. and Kydralieva K. Spectrophotometric and electrokinetic studies of interaction of ciprofloxacin with humic substances and silica magnetite nanoparticles; «Saratov fall meeting XXVI «Nanobiophotonics XVIII»», Саратов, Россия, 26-30 сентября 2022. Устный
6. Дзеранов А.А., Лернер В.Л., Гасанов М.Э., Бондаренко Л.С., Джардималиева Г.И., Тропская Н.С., Кыдралиева К.А. Кристаллическая структура наночастиц Fe_3O_4 -АПТЭС и перезарядка поверхности в присутствии гуминовых кислот. Сборник тезисов докладов Седьмой международной конференции стран СНГ «Золь-гель синтез и исследование неорганических соединений, гибридных функциональных материалов и дисперсных систем «Золь-гель 2023», 28-31 августа 2023, Москва, - С. 42. ISBN 978-5-6048945-9-0. Устный
7. Dzeranov A.A., Saman D., Bondarenko L.S., Kydralieva K.A. A statistical design approach to sol-gel synthesis of (amino)organosilane hybrid nanoparticles. Сборник тезисов докладов Седьмой международной конференции стран СНГ «Золь-гель синтез и исследование неорганических соединений, гибридных функциональных материалов и дисперсных систем «Золь-гель 2023»», 28-31 августа 2023, Москва, - С. 78. ISBN 978-5-6048945-9-0. Стеновый
8. Саман Д., Дзеранов А.А., Бондаренко Л.С., Тропская Н.С., Кыдралиева К.А. Влияние поверхностных модификаторов на дзета-потенциал наночастиц магнетита. Всероссийская конференция «Поверхностные явления в дисперсных системах»: посвященная 125-летию со дня рождения выдающегося советского ученого, академика АН СССР Петра Александровича Ребиндера, Москва, Россия, 2–6 октября 2023 г, - С. 237. Стеновый
9. Дзеранов А.А., Бондаренко Л.С., Саман Д., Джардималиева Г.И., Тропская Н.С., Кыдралиева К.А. Влияние условий синтеза на электрокинетические свойства наночастиц Fe_3O_4 /АПТЭС. Всероссийская конференция «Поверхностные явления в дисперсных системах»: посвященная 125-летию со дня рождения выдающегося советского ученого, академика АН СССР Петра Александровича Ребиндера, Москва, Россия, 2–6 октября 2023 г, - С.175. Стеновый
10. Гасанов М.Э., Лернер В.Л., Бондаренко Л.С., Кирюшина А.П., Дзеранов А.А., Сидоров М.Ю., Славиогло В.Д., Шулаков А.Ю., Кыдралиева К.А. Применение QSAR для прогнозирования биоактивности модифицированных наночастиц магнетита в условиях малой выборки. Научная конференция-школа «Искусственный интеллект в химии и материаловедении». Москва, Россия, 18-20 декабря 2023, ИОХ им. Н. Д. Зелинского РАН, г. Москва. - С. 86. Стеновый
11. Дзеранов А.А., Саман Д. «Старение наночастиц (оксигидр)оксидов железа в водной среде: связь кристаллической структуры, высвобождения ионов железа и токсичности». Материалы Международного молодежного научного форума «ЛОМОНОСОВ-2024» / Отв. ред. И.А. Алешковский, А.В. Андриянов, Е.А. Антипов, Е.И. Зимакова. [Электронный ресурс] – М.: МОО СИПНН Н.Д. Кондратьева, 2024. ISBN 978-5-901-64042-5/ Стеновый
12. Кичеева А.Г., Сушко Е.С., Бондаренко Л.С., Дзеранов А.А., Баймуратова Р.К., Джардималиева Г.И., Кудряшева Н.С., Кыдралиева К.А. Магнетит-содержащие наночастицы как основа магнитоуправляемых медицинских

препаратов. Физико-химические, цитотоксические и прооксидантные характеристики. Труды XXIV Ежегодной молодежной конференции с международным участием ИБХФ РАН-ВУЗЫ "БИОХИМИЧЕСКАЯ ФИЗИКА". Москва, 18-20 ноября 2024 г. Р. 148-151. Устный

Публикации полностью соответствуют теме диссертационного исследования и раскрывают её основные положения.

По тематике, методам исследования, предложенным новым научным положениям диссертация соответствует паспорту специальности 1.4.4. - Физическая химия (химические науки) в пунктах: п. 3. «Определение термодинамических характеристик процессов на поверхности, установление закономерностей адсорбции на границе раздела фаз и формирования активных центров на таких поверхностях» в части изменения сорбционной емкости от величины дзета-потенциала нанокомпозитов при разных pH; п. 9. «Связь реакционной способности реагентов с их строением и условиями протекания химической реакции» в части изменения магнитных свойств в зависимости от типа модификации наночастиц магнетита (иммобилизация/инкапсулирование), pH-чувствительности – от строения нанокомпозитов (ядро-оболочка/*in statu nascendi*), пролонгированного высвобождения ЦИП нанокомпозитов, содержащих ГК; каталитической деградации ЦИП в реакции Фентона нанокомпозитом с иммобилизованными наночастицами магнетита (*in statu nascendi*); п. 12. «Физико-химические основы процессов химической технологии и синтеза новых материалов» в части синтеза *in statu nascendi* наночастиц магнетита на поверхности мезопористой матрицы полиэлектролитов (алкоксисиланов и ГК).

Диссертация «pH-Чувствительные магнитные мезопористые сорбенты ципрофлоксацина» Дзеранова Артура Альбертовича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.4. - Физическая химия (химические науки).

Заключение принято на заседании кафедры 903 «Перспективные материалы и технологии аэрокосмического назначения» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

Протокол № 13 от «02» июля 2025 г. Присутствовало на заседании - 17 чел. Результаты голосования: «за» - 17 чел., «против» - 0 чел., «воздержалось» - 0 чел.

Доктор физико-математических наук, профессор, кафедра 903 «Перспективные материалы и технологии аэрокосмического назначения», заведующий кафедрой,

Рабинский Лев Наумович