

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Дзеранова Артура Альбертовича

«рН-ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ МАГНИТНЫЕ МЕЗОПОРИСТЫЕ СОРБЕНТЫ
ЦИПРОФЛОКСАЦИНА», представленную на соискание ученой степени кандидата
химических наук по специальности 1.4.4. Физическая химия (химические науки)

Диссертационная работа Артура Альбертовича Дзеранова посвящена комплексной разработке и изучению нового класса функциональных материалов – магнитных мезопористых нанокомпозитов для применения в качестве стимул-чувствительных систем сорбции и контролируемой доставки антибиотика ципрофлоксацина. Выбор темы представляется исключительно **актуальным** и своевременным в свете глобальной проблемы антибиотикорезистентности. Поиск путей повышения эффективности существующих антибактериальных препаратов за счет создания адресных систем доставки, позволяющих снизить терапевтические дозы, минимизировать побочные эффекты и преодолеть защитные механизмы бактерий, в частности, в биопленках, является одним из приоритетных направлений современной наномедицины. Предложенный автором подход, сочетающий преимущества магнитных наночастиц для направленной доставки с внешним управлением, мезопористой структуры для высокой загрузки лекарством и рН-чувствительных полиэлектролитных оболочек демонстрирует глубокое понимание автором современных тенденций в области функциональных материалов для биомедицины.

Научная новизна работы не вызывает сомнений и убедительно продемонстрирована на протяжении всего исследования. Впервые с применением строгого математического аппарата, а именно методологии поверхности отклика, проведена оптимизация синтеза аминоорганосилоксановой матрицы, установлены количественные зависимости между условиями процесса и ключевыми функциональными характеристиками, такими как выход и ζ -потенциал. Особого внимания заслуживает реализованная автором стратегия получения нанокомпозитов с различной архитектурой – «ядро-оболочка» и с поверхностно-иммобилизованными наночастицами магнетита. Это позволило не просто получить ряд новых материалов, а провести сравнительный анализ и выявить фундаментальные закономерности влияния структуры на свойства. Установленные автором четкие корреляции между составом, поверхностным зарядом и кинетикой сорбции и высвобождения ципрофлоксацина в широком диапазоне рН, с доказательством преобладания электростатического механизма, представляют значительную ценность для физической химии поверхностных явлений. Отдельно хочется отметить обнаруженный и

детально исследованный автором высокий каталитический потенциал нанокompозитов типа R_1R_2-M в реакции фентон-подобного окисления, что открывает для этих материалов перспективу применения не только в качестве носителей, но и как активных агентов для деградации загрязнителей. **Практическая значимость** подкреплена демонстрацией пролонгированного высвобождения и усиления антибактериальной активности иммобилизованного антибиотика.

Все **научные положения, выводы** и рекомендации, сформулированные в диссертации, являются хорошо **обоснованными** и логически вытекают из представленного массива экспериментальных данных:

- Положение о ключевом влиянии соотношения АПТЭС/ТЭОС на ζ -потенциал ТА-матрицы убедительно доказано с помощью многофакторного ANOVA-анализа.
- Выводы о влиянии архитектуры нанокompозита ($M-R_1R_2$ vs R_1R_2-M) на его фазовый состав, морфологию, текстурные и магнитные характеристики подтверждены данными РФА, мёссбауэровской спектроскопии, ПЭМ и магнитометрии.
- Утверждение о доминировании электростатического механизма сорбции ципрофлоксацина надежно обосновано корреляцией между ζ -потенциалами сорбентов и сорбционной емкостью при разных pH, а также анализом изотерм сорбции (модели Ленгмюра, Фрейндлиха, Редлиха-Петерсона).
- Положение о pH-чувствительности высвобождения подтверждено кинетическими экспериментами в трех различных буферных системах и их успешным описанием моделью Корсмейера-Пеппаса.
- Вывод о высокой каталитической активности нанокompозитов R_1R_2-M в реакции Фентона обоснован сравнительными экспериментами по деградации ципрофлоксацина в присутствии и отсутствии H_2O_2 .

Достоверность полученных результатов и обоснованность всех выводов и научных положений не вызывает нареканий. Автор проводит исследование с применением мощного арсенала современных независимых физико-химических методов, включая РФА, мёссбауэровскую спектроскопию, ИК-спектроскопию, электронную микроскопию, магнитометрию, динамическое светорассеяние и другие. Глубина исследования подчеркивается использованием мёссбауэровской спектроскопии для анализа тонких фазовых превращений и состояния железа, что выходит за рамки стандартной характеристики подобных материалов. Математическая обработка данных, начиная от планирования эксперимента и заканчивая моделированием кинетики и изотерм сорбции, выполнена на высоком профессиональном уровне с применением адекватных моделей и

статистического анализа. Все выводы логически вытекают из представленного массива экспериментальных данных и хорошо согласуются между собой.

Результаты диссертационной работы опубликованы в ведущих рецензируемых научных изданиях. Соискателем по теме диссертации опубликовано 8 статей в журналах, входящих в перечень ВАК и индексируемых в международных базах данных Scopus и Web of Science, а также 12 тезисов докладов на конференциях различного уровня. Работа прошла широкую апробацию на 7 международных и всероссийских конференциях и школах, включая конференцию «Ломоносов», школы по химической физике, конференции по золь-гель синтезу, поверхностным явлениям и искусственному интеллекту в химии.

Несмотря на бесспорно высокий уровень выполненной работы, у меня возникли следующие вопросы и замечания, которые прошу соискателя прокомментировать:

1. Какую максимальную сорбционную емкость по ципрофлоксацину демонстрируют полученные нанокomпозиты в сравнении с другими известными из литературы магнитными сорбентами (например, на основе мезопористого кремнезема MCM-41, SBA-15 или углеродных материалов)? В чем заключаются преимущества предложенных систем, кроме их магнитных свойств и pH-чувствительности?
2. Каков, по мнению соискателя, наиболее перспективный путь практического применения разработанных систем: в качестве сорбентов для удаления антибиотиков из сточных вод (где важна каталитическая активность) или в качестве систем доставки лекарств в медицине? Какие ключевые проблемы необходимо решить для реализации второго направления?
3. Какой из двух предложенных методов синтеза нанокomпозитов ($M-R_1R_2$ или R_1R_2-M) представляется автору более технологичным и экономически целесообразным для потенциального масштабирования?
4. При описании кинетики сорбции ципрофлоксацина установлено, что модель псевдo-второго порядка (ПВП) демонстрирует лучшее соответствие. Однако известно, что эта модель часто эмпирически хорошо описывает данные, даже если истинный механизм сложнее. Каков, на Ваш взгляд, физико-химический смысл константы скорости ПВП (K_2) в контексте Ваших систем?
5. Исследование проводилось на модели одного амфотерного антибиотика. Проявляют ли полученные нанокomпозиты, в особенности с полиэлектролитными оболочками, селективность к ципрофлоксацину? Планировались ли эксперименты по конкурентной сорбции в присутствии других ионов или органических молекул, имитирующих состав реальных биологических сред или сточных вод, для оценки реального потенциала применения?

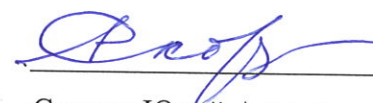
6. Глубокий анализ мёссбауэровских спектров, безусловно, укрепляет достоверность данных по фазовому составу. Были ли обнаружены признаки наличия ультрадисперсных суперпарамагнитных фракций железа в образцах, особенно в системах R_1R_2 -М, по характеру релаксации спектров при комнатной температуре? Как наличие таких фракций могло повлиять на наблюдаемые магнитные свойства и каталитическую активность?
7. В работе изучено влияние рН, что является сильной стороной работы. Однако в реальных условиях (физиологические жидкости, окружающая среда) важную роль играет ионная сила. Исследовалось ли влияние ионной силы раствора (например, концентрации NaCl) на стабильность суспензий нанокompозитов, их ζ -потенциал и, что наиболее важно, сорбционную емкость и кинетику высвобождения ципрофлоксацина?
8. Хотя магнитные свойства охарактеризованы, и указано, что их достаточно для управления, проводились ли исследования эффективности магнитной сепарации полученных нанокompозитов из суспензии? Например, определяли ли время, необходимое для полного осаждения частиц в магнитном поле определенной напряженности, или степень остаточной мутности супернатанта. Это критически важный параметр для их практического использования в качестве регенерируемых сорбентов или для магнитного таргетинга.

Эти вопросы направлены на углубление понимания ограничений работы и определение вектора для будущих исследований, что не умаляет значимости уже достигнутых результатов.

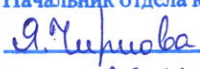
Заключение: Диссертационная работа Дзеранова А.А. представляет собой завершенное научное исследование, в котором решена значимая научная проблема, связанная с разработкой новых функциональных магнитных мезопористых наноматериалов с управляемыми сорбционными и каталитическими свойствами. Автор продемонстрировал глубокие теоретические знания, владение современным физико-химическим инструментарием и высокую квалификацию при проведении экспериментов и интерпретации результатов. Диссертационная работа соответствует требованиям, предъявляемым ВАК РФ к диссертациям на соискание ученой степени кандидата химических наук, согласно пунктам 9–14 «Положения о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства РФ от 24 сентября 2013. № 842) и соответствует паспорту

специальности 1.4.4. – Физическая химия, а ее автор – Дзеранов А.А. заслуживает присуждения степени кандидата химических наук по указанной специальности.

кандидат химических наук по специальности 02.00.04 – физическая химия,
доцент по специальности «Неорганическая химия»,
ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией природных полимеров
Филиала федерального государственного бюджетного учреждения «Петербургский
институт ядерной физики им. Б.П. Константинова Национального исследовательского
центра «Курчатовский институт» - Институт высокомолекулярных соединений
Адрес: 199004, г. Санкт-Петербург, В.О. Большой пр. 31
Е-mail: yury_skorik@mail.ru
Тел. +7-812-328-8504



Скорик Юрий Андреевич

ПОДПИСЬ ЗАВЕРЯЮ	
Начальник отдела кадров	
	Я.Н. Чиркова
Дата	28.11.2025

