ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Соколова Максима Римовича «Гибридные бифункциональные катализаторы на основе низкоразмерных частиц и органических хромофоров», представленной на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.4. Физическая химия

Химия гибридных материалов на основе низкоразмерных неорганических частиц и органических хромофоров представляет собой одну из наиболее динамично развивающихся областей физической химии. Такие системы позволяют объединить уникальные оптические и электронные свойства квазидвумерных носителей с богатой фотокаталитической и координационной активностью макроциклических молекул. При всех преимуществах подобных систем их рациональный дизайн и изучение механизмов синергии остаются сложной фундаментальной задачей, что открывает широкие перспективы для физико-химических исследований.

Диссертационное исследование М.Р. Соколова направлено на решение важнейших вопросов физической химии гибридных бифункциональных катализаторов на основе низкоразмерных частиц дисульфида молибдена, слоистых гидроксидов редкоземельных элементов и оксида графена, а также органических хромофоров порфиринового и периленового рядов. Автором поставлены весьма амбициозные задачи, включающие разработку универсального метода ион-управляемой нековалентной самосборки поверхностно-организованных металлорганических каркасов (ПОВМОК), исследование ультразвук-индуцированного допирования полупроводниковых нанолистов ионами РЗЭ, изучение фотокаталитической и биомиметической активности полученных гибридов, а также выявление механизмов синергетического усиления каталитических свойств. Автор не только разрабатывает методологию получения каталитических систем, но и успешно реализует прикладные аспекты использования данных систем в реакциях фотодеструкции органических поллютантов, антибактериальной обработки.

Диссертация построена традиционным образом и содержит введение, литературный обзор, экспериментальную часть, обсуждение результатов, заключение и список цитируемой литературы. Введение включает обоснование тематики исследования, актуальность, научную новизну, практическую значимость и основные положения, выносимые на защиту. Первая глава, представленная обзором литературы, посвящена анализу современного состояния исследований в области гибридных материалов, их классификации, методов получения низкоразмерных MoS_2, слоистых гидроксидов РЗЭ и оксида графена. Стоит отметить, что литературный обзор отличается полнотой и глубиной анализа приведённой информации. Во второй главе автор приводит подробное описание экспериментальных методов и процедур, включая синтез нанолистов, композитных матриц и гибридных материалов, а также методов их исследования. В третьей главе обсуждаются результаты диссертационного исследования, включающие данные о жидкофазном расщеплении, ультразвук-индуцированном допировании, нековалентной самосборке и каталитических свойствах полученных систем.

В рамках диссертационной работы автором использовался широкий круг методов физической химии для исследования свойств гибридов, а также подходов к исследованию структуры, представляющих золотой стандарт для современной химии материалов (СЭМ, ПЭМ, АСМ, РФА, РСМА, ИК- и КР-спектроскопия, ТГА/ДСК, БЭТ, MALDI-TOF, время-разрешённая флуоресцентная спектроскопия, конфокальная микроскопия). Диссертационное исследование реализовано на крайне высоком методологическом уровне, что не вызывает сомнений в **достоверности полученных результатов**.

Диссертационное исследование отличается высокой **научной новизной**. Автором разработан новый метод получения водных дисперсий химически чистых низкоразмерных частиц MoS_2 и слоистых гидроксидов РЗЭ в насыщенном водном растворе 2-метилимидазола. Впервые обнаружен эффект ультразвук-индуцированного допирования полупроводниковых нанолистов ионами РЗЭ, приводящего к фотосенсибилизации в видимой области спектра. Продемонстрирована универсальность метода ион-управляемой нековалентной

самосборки ПОВМОК на основе тетракарбоксифенилпорфирината цинка и металлокластеров $Zn_2(OAc)_4$ на планарных частицах различной химической природы. Получен первый представитель нанозимов на основе ПОВМОК и слоистых гидроксидов РЗЭ, аналог природной фосфатазы, а также впервые создан мультимодальный гибридный фотокатализатор ПОВМОК/MoS_2 с контролируемым переключением механизма фотокатализа. Полученные новые данные о реакционной способности гибридов легли в основу фундаментально важных исследований механизмов синергетического усиления каталитической и фотокаталитической активности.

Практическая значимость исследования определяется полученными знаниями о структуре и реакционной способности гибридных материалов на основе низкоразмерных частиц и органических хромофоров, предопределяющими их использование в практически важных процессах химической технологии — очистке сточных вод от токсичных загрязнителей, создании антисептических покрытий, а также в разработке материалов для абиотического гликолиза. Синтезированный гибрид-биомиметик, выступающий в роли искусственной фосфатазы, открывает перспективу создания искусственных ферментов с высокой устойчивостью в агрессивных средах.

Результаты диссертационной работы могут быть использованы в научных и образовательных организациях, например в Институте физической химии и электрохимии им. А. Н. Фрумкина РАН, Институте органической химии им. Н. Д. Зелинского РАН, Институте элементоорганических соединений им. А. Н. Несмеянова РАН, Институте металлоорганической химии им. Г. А. Разуваева РАН, Институте органической и физической химии им. А. Е. Арбузова ФИЦ КазНЦ РАН, Новосибирском институте органической химии СО РАН, , а также Московском государственном университете им. М. В. Ломоносова, Санкт-Петербургском государственном университете, , Уральском федеральном университете, Томском политехническом университете и других.

По работе имеются следующие вопросы и замечания:

1. Синтез материалов, в том числе наноразмерных является весьма

нетривиальной задачей с точки зрения воспроизводимости. Так, в диссертационном исследовании указано, что используется гомогенизатор Vibra-Cell VCX 750, но не приведены мощность, амплитуда, частота, диаметр зонда, режим импульсов (on/off), способ термостатирования при 80 °C. Эти параметры критичны для воспроизводимости и последующего масштабирования. Без них трудно оценить, насколько метод воспроизводим в других лабораториях и как влияет на дефектность/латеральные размеры. Оценивалась ли автором воспроизводимость получения каждого материала?

2. К недостаткам данного исследования можно отнести отсутствие анализа состояний атомов, входящих в структуру каталитической системы. Так, остается непонятным, сохраняют ли металлы свою степень окисления в ходе синтеза материала и проверки его каталитической активности. В случае нанокомпозита СГ Tb/MoS_2 была предпринята попытка оценить степень окисления тербия, однако из обзорного спектра РФэС, который представлен в диссертации, это сделать невозможно, необходима регистрация спектра высокого разрешения с последующей деконволюцией сигналов. Кроме этого, можно было бы дополнительно продемонстрировать «множественные взаимодействия между компонентами» (стр. 102) с помощью метода РФэС.
3. В разделе 3.2.2 приведено обсуждение предложенного механизма фотодеградации красителя. Подтверждались ли предположения автора контрольными экспериментами или применением, например, метода ЭПР с ловушками, РФэС, циклической вольтамперометрии?
4. При оценке фотокаталитической стабильности нанокомпозита СГ Tb/MoS_2 снижение активности обуславливается адсорбцией продуктов реакции на поверхности катализатора и вымыванием Tb, было ли это доказано экспериментально? Наблюдалась ли изначально адсорбция субстрата на фотокатализатор?
5. Ни в одной из фотокаталитических серий не указаны плотность светового потока, геометрия облучения и доля поглощённых фотонов.

Все сравнения эффективности построены на эффективных константах, которые зависят от геометрии реактора, расстояния до лампы и оптической плотности суспензии. Без измерения числа падающих/поглощённых фотонов и расчёта кажущегося квантового выхода невозможно ни сравнивать образцы между собой, ни сопоставлять их с литературными данными.

6. При исследовании фотодеградации ДГН в присутствии гибридов ОГ/$Zn(OAc)_2$/ПДИ-ПК и композита ОГ/ПДИ-ПК использовалась галогенная лампа, наблюдался ли нагрев реакционной массы? Исследовались ли термические эффекты и их влияние?

Прочие замечания:

1. На рисунках 36, 37, 48, 49 кинетические кривые лишены статистической обработки.
2. В тексте диссертации присутствуют грамматические ошибки, опечатки, а также несоответствие нумерации изображений и их упоминание в тексте.

Сделанные замечания не носят принципиального характера и не влияют на значимость представленной работы, выполненной на высоком научном уровне. В целом, по сути самой работы и объему экспериментального материала диссертация Соколова Максима Римовича «Гибридные бифункциональные катализаторы на основе низкоразмерных частиц и органических хромофоров», представленная на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.4. Физическая химия, является законченным научным исследованием, в котором получены новые знания о получении бифункциональных гибридных материалов на основе низкоразмерных частиц и органических хромофоров и их фотокаталитической активности. По теме диссертации опубликовано 5 статей в рецензируемых международных журналах, отвечающих требованиям ВАК. Печатные работы и автореферат в полной мере отражают содержание диссертации.

Заключение

В диссертационной работе Соколова Максима Римовича «Гибридные бифункциональные катализаторы на основе низкоразмерных частиц и органических хромофоров» решены важные задачи по синтезу бифункциональных гибридных материалов на основе низкоразмерных частиц и органических хромофоров и исследованию их фотокаталитической активности. Представленная работа по своим актуальности, новизне и значимости полученных результатов соответствует требованиям пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением правительства РФ №842 от 24.09.2013 г. (в редакции от 18.07.2026 г.), а ее автор Соколов Максим Римович заслуживает присуждения ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.4. Физическая химия.

Официальный оппонент
Доктор химических наук (1.4.3. Органическая химия и 1.4.4. Физическая химия)
Профессор исследовательской школы
химических и биомедицинских технологий
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский
Томский политехнический университет»,
634050, г. Томск, ул. Ленина 30
Рабочий телефон: +7(903)9136029
Email: postnikov@tpu.ru
09.10.2026

Постников Павел Сергеевич

Подпись в.н.с. МНИЛ НВХМ ИШХБМТ ТПУ, д.х.н. Постникова П.С. заверяю.

Ученый секретарь ТПУ Новикова В.Д.