Минобрнауки России
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт физической химии и электрохимии
им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук
(ИФХЭ РАН)
ДИССОВЕТ ПО ЗАЩИТЕ ДОКТОРСКИХ И КАНДИДАСКИХ ДИССЕРТАЦИЙ 24.1.141.03
ПРИ ИНСТИТУТЕ ФИЗИЧЕСКОЙ ХИМИИ И ЭЛЕКТРОХИМИИ
ИМЕНИ А.Н. ФРУМКИНА РАН

«УТВЕРЖДАЮ»
директор Института, член-корреспондент РАН
доктор химических наук

А.К. Буряк

Протокол заседания диссертационного совета 24.1.141.03
№5 от 30 июня 2026 года
Присутствовали:

Председатель заседания, зам.председателя, доктор хим.наук (2.6.9.) В.Н. Андреев
Ученый секретарь, к.х.н. (1.4.4) Т. Р. Асламазова
Доктор химических наук (2.6.9.) Я.Г. Авдеев
Доктор химических наук (2.6.9.) Н.Н. Андреев
Доктор химических наук (1.4.4) В.В. Арсланов
Доктор химических наук (1.4.4), член-корреспондент РАН А.К. Буряк
Доктор химических наук (1.4.1) Я. З. Волошин
Доктор химических наук (1.4.1) М. С. григорьев
Доктор химических наук (1.4.4) О.В. Дементьева
Кандидат химических наук (2.6.9.) В. В. Душик
Доктор химических наук (1.4.4), член-корреспондент РАН Б. Г. Ершов
Доктор химических наук (2.6.9.) Ю.И. Кузнецов
Доктор физико-математических наук (1.4.4) В.А. Ломовской
Доктор химических наук (2.6.9.) А.И. Маршаков
Доктор химических наук (1.4.4) А.А. Некрасов
Доктор химических наук (2.6.9.) В.А. Сафонов
Доктор химических наук (1.4.4) С. Л. Селектор
Доктор физико-математических наук (1.4.4) А. Р. Тамеев
Доктор физико-математических наук (1.4.4) Д. Л. Тытик
Доктор физико-математических наук (1.4.4) Л.И. Трахтенберг
Доктор физико-математических наук А. А. Фомкин (1.4.4)
Доктор физико-математических наук (1.4.4.) А.Н. Ходан
Доктор химических наук (1.4.1) А.А. Ширяев

Ученый секретарь совета оглашает приказ №71 от 16 июня 2026 года о проведении заседания совета в удаленном интерактивном режиме.

Председатель заседания оглашает ПОВЕСТКУ: принятие к защите диссертации аспиранта лаборатории биоэлектрохимии ИФХЭ РАН Соколова М. Р. «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 (химические науки).

Научный руководитель – главный научный сотрудник лаборатории биоэлектрохимии ИФХЭ РАН, доктор химических наук (1.4.4.), профессор РАН Калинина Мария Александровна.

Диссертация Соколова М. Р. прошла предварительную экспертизу на заседании секции Ученого совета «Физикохимия нано- и супрамолекулярных систем» при ФГБУН ИФХЭ РАН, протокол №206 от 23 июня 2026 г., где получила положительную оценку и рекомендована к защите на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.4. - Физическая химия (химические науки) на диссовете 24.1.141.03, действующем при Институте.

Научный руководитель д.х.н. Калинина М.А. в своем выступлении отметила, что изначально работа проводилась в рамках двух специальностей: 1.4.10 - Коллоидная химия и 1.4.4. - Физическая химия. Тем не менее, специальность 1.4.4. - Физическая химия явно составляет основную часть представленной работы, включая определение кинетических констант реакций, механизмов их протекания, характеризацию материалов и определение из физико-химических свойств. При этом основные результаты работы – создание двух катализаторов нового класса, включающие в себя мультимодальный переключаемый фотокатализатор и катализатор со свойствами нанозима. Эти материалы с принципиально новыми физико-химическими свойствами, несомненно, являются передовым краем развития современной физической химии как в России, так и в мире. Поэтому по своему содержанию представленная работа, безусловно, относится к области физической химии и отвечает специальности 1.4.4. – Физическая химия. Коллоидно-химическая часть в данной работе остается в рамках синтетических методов, представленных в первом разделе, однако не выступает в качестве ключевых результатов диссертации и не направлена на решение специфических коллоидно-химических проблем. Поскольку в работе решались именно физико-химические проблемы: получение новых типов фотокатализаторов и катализаторов-нанозимов и исследование механизмов возникновения синергетических эффектов в таких системах, представленную работу следует отнести к специальности 1.4.4. – Физическая химия.

Доктор химических наук Калинина М.А. отметила выступление на секции 23 июня 2026 года председателя диссертационного совета **академика РАН Цивадзе А.Ю.**, который дополнительно подчеркнул, что коллоидная химия безусловно является одним из важных составных разделов физической химии. При этом, учитывая представленные в работе результаты, ее коллоидно-химическую составляющую резонно рассматривать как составную часть более широкой дисциплины - физической химии, а не как вторую специальность.

Слушали: ученого секретаря диссовета Т.Р. Асламазову.

Комиссия диссовета в составе докторов наук (1.4.4.): Дементьева О.В., Лисичкин Г В., Фомкин А.А.- ознакомились с диссертацией и авторефератом и рекомендовали ее к защите на нашем совете.

Диссертацию представляет председатель комиссии Дементьева О.В.

Диссертация Соколова М. Р. по своему содержанию в полной мере является научно-квалификационной работой и соответствует научным специальности «Физическая химия». Основные результаты работы в кратком виде представлены в автореферате. Полнота изложения полученных научных данных отражена в перечне печатных работ, опубликованных в рецензируемых научных журналах химического и физико-химического профиля, рекомендованных ВАК РФ, а также представлены на многочисленных конференциях.

Комиссия отмечает следующее.

Диссертация Соколова Максима Римовича посвящена разработке универсальной стратегии супрамолекулярной самосборки гибридных катализаторов на основе органических хромофоров (порфирината цинка и производных перилендиимида) и низкоразмерных планарных коллоидных частиц (дисульфида молибдена, слоистых гидроксидов редкоземельных элементов и оксида графена), обладающих фотокаталитической и биомиметической активностью, и выявление механизмов синергетического усиления активности в полученных гибридных системах.

Поиск и синтез новых гибридных материалов для катализа и фотокатализа является одним из наиболее активно развивающихся направлений на стыке современной коллоидной и физической химии. Актуальность этого направления определяется критической важностью проблем, связанных с возрастанием антропогенной нагрузки на окружающую среду и сокращением доступности невозобновляемых сырьевых ресурсов. Это требует изменения технологической парадигмы современной химической промышленности для ее перевода на устойчивые источники энергии и ресурсосберегающие процессы. В этом контексте особое значение приобретает разработка новых легкодоступных и недорогих материалов для гетерогенного фотокатализа в водной среде, способных конвертировать солнечную энергию видимой части спектра в химическую работу в процессах регенерации природных водных источников от синтетических загрязнителей, конверсии диоксида углерода, расщепления воды и химического синтеза в водной среде.

Гибридные материалы на основе низкоразмерных коллоидных частиц и органических хромофоров составляют новый, быстро расширяющийся класс наноструктурированных систем, наиболее востребованных для этих задач. Особый интерес представляют структуры, объединяющие собственную фотокаталитическую активность органических поли- и макроциклических хромофоров с уникальными свойствами неорганических низкоразмерных частиц графеноподобных соединений, таких, как оксид графена, дисульфид молибдена, слоистые гидроксиды редкоземельных элементов и ряд других.

Цель работы - разработка универсальной стратегии супрамолекулярной самосборки гибридных катализаторов на основе органических хромофоров (порфирината цинка и производных перилендиимида) и низкоразмерных планарных коллоидных частиц (дисульфида молибдена, слоистых гидроксидов редкоземельных элементов и оксида графена), обладающих фотокаталитической и биомиметической

активностью, и выявление механизмов синергетического усиления активности в полученных гибридных системах.

В рамках поставленной цели решены следующие **задачи:**

1. Разработан метод жидкофазного расщепления объёмных дисульфида молибдена и слоистых гидроксидов редкоземельных элементов в горячем насыщенном растворе 2-метилимидазола, позволяющий получать химически чистые водные дисперсии нанолистов с латеральными размерами 50–200 нм и толщиной 1–2 молекулярных слоя.
2. Обнаружен и исследован эффект механохимического допирования полупроводниковых нанолистов MoS_2 ионами редкоземельных элементов при смешивании гидрозолей СГ РЗЭ и MoS_2, приводящий к фотосенсибилизации полупроводника в видимой области спектра.
3. Обоснована универсальность метода ион-управляемой нековалентной самосборки поверхностно-организованных металлоорганических каркасов (ПОВМОК) на основе тетракарбоксифенилпорфирината цинка и металлокластеров $Zn_2(OAc)_4$ на планарных неорганических частицах различной химической природы (полярных и неполярных).
4. Получены двойные гибридные системы ПОВМОК/MoS_2 и ПОВМОК/СГ РЗЭ, изучена их фотокаталитическая (включая переключаемые режимы) и биомиметическая (искусственная фосфатаза) активность; проведено сравнение эффективности наноразмерной и объёмной матриц СГ РЗЭ для биомиметического катализа.
5. Получен трёхкомпонентный гибрид ПОВМОК/СГ Tb/MoS_2 на основе композитной матрицы, полученной механохимическим допированием, и количественно охарактеризовано синергетическое усиление его фотокаталитической активности по сравнению с двойными гибридами и их механическими смесями.
6. Предложен механизм синергии в трёхкомпонентном гибриде, объясняющий неаддитивное возрастание активности через анализ путей переноса заряда и энергии между компонентами системы.

Научная новизна. В диссертационной работе разработан универсальный подход к получению водных дисперсий низкоразмерных частиц дисульфида молибдена и слоистых гидроксидов редкоземельных элементов методом жидкофазного расщепления в водном растворе 2-метилимидазола. Полученные нанолисты имеют высокую химическую чистоту, толщину 1–2 молекулярных слоя и латеральные размеры 50–200 нм.

Обнаружен и обоснован эффект механохимического допирования полупроводниковых нанолистов (MoS_2, оксид графена, нитрид бора, диоксид титана) ионами редкоземельных элементов при смешивании гидрозолей, который сам по себе сообщает фотокаталитическую активность в видимой области даже материалам, не поглощающим видимый свет.

Доказана универсальность метода ион-управляемой нековалентной самосборки поверхностно-организованных металлоорганических каркасов (ПОВМОК) на основе

тетракарбоксифенилпорфирината цинка и металлокластеров $Zn_2(OAc)_4$. Показано, что этот метод позволяет получать идентичные по структуре ПОВМОК на планарных неорганических частицах различной химической природы, включая полярные (слоистые гидроксиды РЗЭ, оксид графена) и неполярные (дисульфид молибдена) поверхности.

Впервые получен биомиметический катализатор на основе ПОВМОК и слоистых гидроксидов РЗЭ, выступающий в роли искусственной фосфатазы в реакциях кислого гидролиза органических фосфатов. Установлено, что низкоразмерная дисперсная матрица СГ РЗЭ обеспечивает более высокую глубину конверсии и скорость реакции по сравнению с объёмной анионообменной матрицей.

Создан мультимодальный гибридный фотокатализатор ПОВМОК/MoS_2, способный к контролируемому переключению механизма фотокатализа в зависимости от длины волны возбуждения и присутствия кислорода в реакционной среде. Продемонстрирована реализация безызлучательного резонансного переноса энергии по механизму Фёрстера и отсутствие контактного тушения триплетного состояния порфирина благодаря пространственной организации плёнки ПОВМОК.

Собран трёхкомпонентный гибрид ПОВМОК/СГ Tb/MoS_2 и количественно охарактеризовано неаддитивное синергетическое усиление его фотокаталитической активности по сравнению с двойными гибридами и их механическими смесями. Предложен механизм синергии, объясняющий усиление через анализ конкурирующих путей переноса заряда и энергии между компонентами гибридной структуры.

Теоретическая и практическая значимость работы. *Теоретическая значимость* данной работы состоит в развитии фундаментальных представлений о методах получения, строении и свойствах гибридных катализаторов на основе низкоразмерных коллоидных частиц графеноподобных соединений и органических поли- и макроциклических хромофоров. Установлено, что разработанный метод нековалентной самосборки позволяет получать организованные структуры порфириновых ПОВМОК с идентичным мотивом упаковки за счёт координационных взаимодействий с поверхностью графеноподобных планарных наночастиц. Строение полученных ПОВМОК определяется упаковкой якорного слоя металлокластера и геометрией планарных неорганических носителей и не зависит от их химических свойств и степени лиофильности. Изучен механизм синергетического поведения компонентов в структуре гибридного катализатора-биомиметика на основе слоистых гидроксидов РЗЭ и порфирина, который определяется взаимной стабилизацией компонентов. Выявлено влияние степени дисперсности неорганической матрицы на глубину конверсии и скорость протекания каталитической реакции. Установлен механизм усиления фотокаталитической активности нанокомпозитов на основе дисульфида молибдена и слоистых гидроксидов РЗЭ, полученных методом механохимического допирования. Этот механизм связан с образованием реакционно-активных одноатомных центров Tb(IV) и Eu(II) в результате разделения фотоиндуцированных экситонных пар. Для полученного материала на основе

порфирина и дисульфида молибдена определён механизм управляемого переключения режима фотокатализа в зависимости от условий фотовозбуждения и наличия в системе кислорода, выступающего в роли окислителя.

Практическая значимость работы заключается в разработке универсального синтетического подхода к получению семейства новых гибридных бифункциональных катализаторов, проявляющих как свойства искусственных ферментов-биомиметиков, так и фотокатализаторов с активностью в видимой области. Полученные материалы с фотокаталитической активностью могут служить основой для разработки высокоэффективных технологических процессов очистки сточных вод от токсичных загрязнителей, в том числе фосфорорганических производных и органических красителей, а также могут быть применены при создании антисептических покрытий. Синтезированный гибрид-биомиметик, выступающий в роли искусственной фосфатазы, открывает перспективу разработки материалов для обеспечения цикла абиотического гликолиза.

По материалам диссертационной работы опубликована 6 статей в рецензируемых высокорейтинговых журналах, индексируемых WoS, Scopus и РИНЦ и входящих в «Белый список», а также в перечень ВАК для опубликования основных научных результатов диссертации на соискание ученой степени кандидата химических наук, 25 тезисах докладов. Основные результаты исследования прошли апробацию и неоднократно докладывались на международных и российских научных конференциях.
Личный вклад автора. Диссертантом выполнен основной объем экспериментальных исследований, связанных с разработкой и оптимизацией методов получения гибридных систем, проведен синтез исходных неорганических наночастиц, анализ и интерпретация данных по характеризации структуры и свойств всех полученных гибридных систем, проведено исследование их фотокаталитической активности, изучена кинетика реакций фотодеструкции водных растворов модельных субстратов при фотовозбуждении в УФ и видимом диапазоне, изучена кинетика биомиметической реакции гидролиза фосфорорганических эфиров в присутствии гибридных искусственных ферментов на основе объемных и низкоразмерных неорганических носителей, составлены общие схемы путей каталитических и фотокаталитических процессов и их механизмов, обобщены и описаны результаты полученных экспериментальных данных.

Выводы работы обоснованы и корректны, работа хорошо апробирована.

Цели, поставленные в диссертации, достигнуты.

Диссертационная работа Соколова М. Р. соответствует паспорту специальности 1.4.4. – «Физическая химия» (химические науки).

Автореферат диссертации полностью отражает результаты диссертационной работы.

Достоверность полученных результатов и обоснованность выводов обеспечивалась путем использования комплекса современных методов исследования, наличием воспроизводимости и согласованности полученных экспериментальных

данных, применением стандартных и принятых в мировой научной практике методик и теоретических положений при обработке и интерпретации результатов измерений.

По материалам работы опубликованы 6 статей в рецензируемых журналах, индексируемых базами данных WoS, Scopus и РИНЦ и входящих в «Белый список», а также в перечень ВАК по специальности «Физическая химия» и 25 тезисов докладов на международных и российских конференциях.

Диссертация Соколова М. Р. является завершенной научно-квалификационной работой: в ней решена научно-практическая задача, связанная с поиском метода супрамолекулярной интеграции квазидвумерных частиц и органических хромофоров, предотвращающего контактное тушение путем строгой пространственной организации компонентов в гибридном фотокатализаторе и позволяющего реализовать синергетическое усиление каталитической активности за счет контролируемых межкомпонентных взаимодействий компонентов на наномасштабе. Решение поставленной задачи позволило разработать универсальную стратегию супрамолекулярной самосборки гибридных катализаторов на основе органических хромофоров (порфирината цинка и производных перилендиимида) и низкоразмерных планарных частиц (дисульфида молибдена, слоистых гидроксидов редкоземельных элементов и оксида графена), обладающих фотокаталитической и биомиметической активностью. Механизм синергетического усиления активности в полученных гибридных системах определяется большей доступностью каталитических центров. Деградация гибридной структуры в процессе каталитической реакции предотвращается вследствие взаимной синергетической стабилизации компонентов гибридного материала.

В качестве официальных оппонентов предлагаются:

1) доктор химических наук (1.4.3; 1.4.4.), профессор Исследовательской школы химических и биомедицинских технологий **Павел Сергеевич Постников** (ФГАОУ ВО «Национальный Исследовательский Томский Политехнический Университет»), postnikov@tpu.ru; адрес: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30 Томск, проспект Ленина, 43а; +7 (3822) 60-99-09.

2) доктор химических наук (1.4.4), ведущий научный сотрудник лаборатории химии каликсаренов, **Альбина Юлдузовна Зиганшина** (Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук»), az@iopc.ru; адрес: Россия, Республика Татарстан, Казань, улица Академика Арбузова, 8. тел.: (843) 273-93-65; priem@iopc.ru

В качестве ведущей организации предлагается: ФГБУН Директор, член-корреспондент РАН, доктор химических наук А. А. Трифонов ФГБУН **Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН** trifonov@ineos.ac.ru. Адрес: Москва, 119334, ул. Вавилова, 28, стр. 1. Тел. 499 135 92 02. Отзыв готовит д.х.н., проф. РАН, зам.директора по научной работе, руководитель отдела металлоорганических соединений Белкова Наталья Викторовна.

Соколов М. Р. стал стипендиатом Президента РФ 2026 года для аспирантов, обучающихся по очной форме обучения в российских организациях, осуществляющих образовательную деятельность, и проводящих научные исследования в рамках реализации приоритетов научно-технического развития РФ, определенных в стратегии научно-технического развития РФ.

Постановили:

1) Принять к защите диссертацию аспиранта лаборатории биоэлектрохимии ИФХЭ РАН Соколова М. Р. «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 (химические науки).

Научный руководитель – главный научный сотрудник лаборатории биоэлектрохимии ИФХЭ РАН, доктор химических наук (1.4.4.), профессор РАН Калинина Мария Александровна.

2)Утвердить официальными оппонентами: (1) доктор химических наук, профессор Исследовательской школы химических и биомедицинских технологий **Павел Сергеевич Постников** (ФГАОУ ВО «Национальный Исследовательский Томский Политехнический Университет»);

(2) доктор химических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории химии каликсаренов **Альбина Юлдузовна Зиганшина** (Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук»

3) Утвердить ведущую организацию - **ФГБУН Институт элементоорганических соединений имени А.Н. Несмеянова Российской академии наук**.

4)Разрешить публикацию автореферата диссертации Соколова М. Р.

5)Утвердить список специалистов и организаций, которым необходимо разослать автореферат диссертации Соколова М Р.

6)Установить дату защиты диссертации Соколова М Р. 05 ноября 2026 г.

Председатель заседания диссовета, заместитель председателя совета, доктор химических наук — В.Н. Андреев

Ученый секретарь диссовета, кандидат химических наук — Т.Р.Асламазова

30 июня 2026