«УТВЕРЖДАЮ»
Директор
Федерального государственного
бюджетного учреждения науки Федерального
исследовательского центра проблем
химической физики и медицинской химии
Российской академии наук
к.ф.-м.н. Голосов Е.В.

«17» июля 2026 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра проблем химической физики и медицинской химии Российской академии наук (ФИЦ ПХФ и МХ РАН)

(142432, Московская обл., г.о. Черноголовка, г. Черноголовка, проспект Академика Семенова, д. 1, адрес сайта: https://icp-ras.ru/)

Диссертация «Синтез и каталитические свойства органо-неорганического гибридного материала йодид меди-полипиррол» на соискание ученой степени кандидата химических наук выполнена в отделе функциональных материалов для химических источников энергии, лаборатории электродных процессов в жидкостных системах ФИЦ ПХФ и МХ РАН.

В период подготовки диссертации соискатель Конаков Артём Олегович работал в ФИЦ ПХФ и МХ РАН, в отделе функциональных материалов для химических источников энергии, лаборатории электродных процессов в жидкостных системах в должности инженера, затем младшего научного сотрудника. В настоящее время работает в этом же подразделении ФИЦ ПХФ и МХ РАН в должности младшего научного сотрудника.

Соискатель в 2013 г. окончил Учреждение образования Белорусский государственный университет по специальности «Химия. Научно-производственная деятельность», специализация «Физическая химия». В 2014 г. окончил магистратуру Учреждения образования Института подготовки научных кадров Национальной академии наук Беларуси по специальности «Химия».

В 2017-2023 гг. соискатель прошел обучение в очной аспирантуре факультета фундаментальной физико-химической инженерии МГУ им. М.В. Ломоносова по направлению подготовки химические науки (04.06.01), специальность физическая химия (02.00.04). Для сдачи кандидатского экзамена по специальности 1.4.6. Электрохимия соискатель был прикреплен к ФИЦ ПХФ и МХ РАН. Справка об обучении с результатами сдачи кандидатских экзаменов выдана в 2026 г. ФИЦ ПХФ и МХ РАН в качестве подтверждающего документа.

Научный руководитель Золотухина Екатерина Викторовна, доктор химических наук (02.00.04 – физическая химия), ФИЦ ПХФ и МХ РАН, заместитель директора по научной работе.

По итогам обсуждения диссертации «Синтез и каталитические свойства органо-неорганического гибридного материала йодид меди-полипиррол» на заседании секции № 6 Ученого совета ФИЦ ПХФ и МХ РАН принято следующее заключение:

Работа Конакова А.О. посвящена определению закономерностей и условий формирования наноструктурированных электроактивных органо-неорганических гибридных материалов типа «неорганическая фаза-проводящий полимер» в ходе одноэтапного синтеза с воспроизводимыми морфологией и свойствами на примере композита йодид меди-полипиррол и установлению электроактивности получаемых материалов в зависимости от их морфологии.

Актуальность темы

Органо-неорганические гибридные материалы (ОНГ), содержащие проводящий полимер и неорганическую фазу, привлекают внимание исследователей за счет улучшения свойств материала по сравнению с отдельными компонентами или приобретения им принципиально новых свойств. Малоизученными являются ОНГ материалы, в которых неорганическая фаза (металл, оксид, соль) распределена внутри проводящей полимерной матрицы. Такие материалы находят применение в качестве материалов электрохимических сенсоров, в оптоэлектронике, в качестве катализаторов химических и электрохимических процессов.

В 2000-х годах в цикле работ Золотухиной Е.В. и Воротынцева М.В. был предложен ряд однофазных и одностадийных методов синтеза материалов неорганическая фаза-проводящий полимер в водном растворе без введения дополнительных реагентов, кроме тех, что участвуют в реакции, что соответствовало принципам «зеленой» химии. Предложенные подходы были успешно апробированы на системах палладий-полипиррол, берлинская лазурь-полипиррол, и затем серебро-полипиррол. Попытка перенесения разработанного подхода на системы, в которых формирование неорганической фазы

происходит гораздо быстрее полимерной, например, система йодид меди-полипиррол, CuI-PPy, привела к образованию двухфазного композита с крупными кристаллами маршита (1-5 мкм) в окружении глобул полипиррола, т.к. константа скорости реакции образования CuI в проводимых синтезах значительно превышала константу скорости окислительной полимеризации пиррола. Таким образом, для получения таких типов электроактивных систем требуется развитие подходов к одноэтапному синтезу.

Новизна и практическая значимость результатов работы

Предложен способ одноэтапного химического редокс-синтеза ОНГ материалов йодид меди-полипиррол с воспроизводимой морфологией из водных растворов прекурсоров. Показана возможность управления морфологией наноструктурированого материала путем изменения условий синтеза и подтверждена электрохимическая активность синтезированных ОНГ, аналогичная йодиду меди без полипиррольной матрицы. Путем подбора модельных систем получена информация о процессах, ответственных за токовые отклики при поляризации электродов, модифицированных порошками синтезированных материалов CuI-PPy в кислых и щелочных растворах. Показана возможность *in situ* модификации состава получаемых ОНГ материалов до оксидных ОНГ.

Полученные представления о закономерностях формирования композитов йодид меди-полипиррол и их электрохимической модификации до материалов оксид меди-полипиррол, открывают возможность управляемого синтеза аналогичных материалов со схожей кинетикой формирования неорганического и полимерного компонентов. Подтверждена электроактивность модифицированных материалов в реакции электроокисления метаналя, в том числе, в метанол-содержащих растворах. Показаны преимущества ОНГ материала в сравнении с чистым оксидом меди, сформированным путем электроокисления йодида меди.

Показана практическая ценность разработанных ОНГ CuI-PPy в качестве биоцидных добавок для лакокрасочных материалов, как проявляющих более высокую бактериостатическую и бактерицидную активность в сравнении с чистым неорганическим компонентом CuI. Полученные экспериментальные данные по электроокислению формальдегида на полученных электрохимической модификацией материалах оксид меди-полипиррол из ОНГ прекурсоров CuI-PPy позволяют рекомендовать подобные материалы в качестве активного слоя многоразового сенсора для амперометрического определения формальдегида в водных, в том числе метанолсодержащих средах.

Степень достоверности результатов проведенных исследований

Достоверность результатов, полученных в работе, подтверждается воспроизводимостью результатов экспериментов, согласованностью результатов различных методов анализа, а также непротиворечивостью полученных результатов известным из научной литературы.

Результаты работы подвергались многократной независимой положительной экспертизе и опубликованы в ведущих рецензируемых изданиях, индексируемых в Scopus, Web of Science, RSCI, относящихся к журналам К1 и К2 в классификации ВАК Минобрнауки РФ; основные результаты диссертации неоднократно обсуждались на российских и международных конференциях: XVII Плёсская Международная научная конференция «Современные проблемы теоретической и прикладной электрохимии» (2026), XI Международная научная конференция по химии и химическому образованию «Свиридовские чтения» (2026, 2024), Международная научно-практическая конференция «Химия и химическая технология в XXI», Томск (2019, 2022), International Meeting "Fundamental Problems of Solid State Ionics, Chernogolovka (2020, 2022), Всероссийская школа-конференция молодых ученых «Органические и гибридные наноматериалы», Иваново (2023), Международный молодежный научный форум «ЛОМОНОСОВ-2018», Москва (2018).

Плановый характер работы

Плановый характер работы. Основные результаты работы получены в рамках ПТНИ ФИЦ ПХФ и МХ РАН № госрегистрации АААА-А19-119061890019-5 и 124013000692-4.

Полнота опубликования результатов и ценность научных работ соискателя ученой степени

Всего по материалам диссертации соискателем совместно с соавторами (М. В. Дмитриева, К. В. Горьков, Н. Н. Дремова, Е. В. Золотухина, Н. Н. Талагаева, M. Koch, Ю. Е. Силина, А. М. Манукян, А. М. Мальтанова, С. К. Позняк, Т. В. Гаевская) опубликовано 4 статьи в журналах, рекомендуемых ВАК Минобрнауки РФ для защиты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, и 11 тезисов докладов на конференциях разного уровня.

Статьи по результатам работы:

1. *One-pot synthesis of copper iodide-polypyrrole nanocomposites / **A. O. Konakov**, N. N. Dremova, I. I. Khodos, M. Koch, E. V. Zolotukhina, Y. E. Silina // Chemosensors. – 2021. – Vol. 9. – Iss. 3.– P. 1-17 (IF = 4,2).*

*2. Toward detection of formaldehyde on copper oxide formed from copper (I) iodide-polypyrrole composite / **A. O. Konakov**, N.V. Talagaeva, E. V. Zolotukhina // Russian Journal of Electrochemistry. – 2024 – Vol. 60. № 12. – P. 1096 –1104.*

*3. Бактериостатический и бактерицидный эффекты органо-неорганического гибридного материала йодид меди-полипиррол/ **А. О. Конаков**, М. В. Дмитриева, К. В. Горьков, Н. Н. Дремова, Е. В. Золотухина // Перспективные материалы. – 2024. – №9. – С. 24–32.*

*4. Получение никелевых нанопроволок и модификация их поверхности для вольтамперометрического обнаружения формальдегида / А. М. Манукян, А. М. Мальтанова, **А. О. Конаков** [и др.] // Журнал Белорусского государственного университета. Химия. – 2025. – № 2. – С. 12-20.*

Все статьи, выполненные в соавторстве, процитированы в диссертации в соответствии с п. 14 критериев Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г., с учетом всех последующих изменений. Результаты, описанные в диссертации, являются оригинальными, заимствованные материалы без ссылки на источник заимствования отсутствуют.

В опубликованных материалах довольно полно изложены основные результаты работы. Работе [1] описан новый одностадийный химический синтез функциональных органо-неорганических гибридных материалов CuI-PPy, показана электрохимическая активность полученных материалов. Подробно изучено влияние определенных экспериментальных условий, а именно: продолжительности синтеза, последовательности добавления компонентов и концентраций исходных реагентов, на структуру, размерность и выход конечного продукта. Результаты работы указываются в главе 3 п. 3.1–3.3 диссертации. В работе [2] предложен подход к приготовлению катализаторов на основе оксида меди-полипиррол, образованных путем электроокисления слоев CuI-PPy на поверхности инертного стеклоуглеродного электрода. Были изучены электрохимические свойства электроокисленного CuI-PPy в реакциях окисления формальдегида и метанола (глава 4). В работе [3] описано применение органо-неорганического гибридного материала йодид меди-полипиррол (CuI-PPy) в качестве бактериостатического и бактерицидного средства на средах, содержащих культуру *Escherichia coli* BB. Результаты работы описаны в главе 3 п. 3.4. В работе [4] изучено электроокисление формальдегида на никелевых нанопроволоках, нанесенных на инертный стеклоуглеродный электрод, в аналогичных условиях, представленных в [2] для сравнения с системой оксид меди-полипиррол (глава

4, п. 4.2). Также в этих статьях описаны применявшиеся в работе физико-химические методы исследования, изложенные во второй главе диссертации.

Ценность научных работ соискателя для электрохимии обусловлена установленными закономерностями одноэтапного синтеза электроактивных сложных по составу гибридных материалов с резко различающихся кинетикой формирования входящих в их состав фаз и предложенным методом in situ модификации их состава поляризацией модифицированного электрода.

Личный вклад автора

В работах [1]–[3] формулировка целей, задач, постановка эксперимента, обобщение результатов в виде выводов к работе выполнена соискателем совместно с научным руководителем. Экспериментальные работы по синтезу ОНГ-материалов, электрохимическому окислению формальдегида, исследованию антибактериальной активности с помощью МТТ-теста выполнены соискателем лично. В работе [2] экспериментальные работы по изучению бактериостатического эффекта с помощью метода задержки роста бактериальных культур на полученных ОНГ-материалах выполнены совместно с к.х.н. н.с. лаборатории электродных процессов в жидкостных средах Дмитриевой М.В. В работе [4] соискателем были выполнены формулировка целей, задач, постановка эксперимента. В работах [1]–[4] характеризация морфологии и состава получаемых материалов выполнена сотрудниками аналитического центра коллективного пользования ФИЦ ПХФ и МХ РАН и Научно-исследовательский институт физико-химических проблем. Анализ, обобщение и интерпретация полученных данных выполнены соискателем лично. Подготовка публикаций и обобщение результатов работы выполнены совместно с научным руководителем.

Соответствие диссертации научным специальностям, отрасли науки

Диссертация Конакова А.О. на тему: «Синтез и каталитические свойства органо-неорганического гибридного материала йодид меди-полипиррол» является завершенной научно-квалификационной работой, в которой решена задача по установлению закономерностей одностадийного химического редокс-синтеза наноструктурированного электроактивного органо-неорганического гибридного материала йодид меди-полипиррол и *in situ* модификации его состава методом электрохимического окисления в электроактивный ОНГ смешанный оксид меди-полипиррол.

Работа соответствует паспорту специальности 1.4.6. Электрохимия, химические науки в п. 4 (Динамика процессов на межфазных границах (кинетика элементарных стадий электродных процессов, кинетика адсорбционных и хемосорбционных процессов, теория переноса электрона и ионов через границу раздела фаз, электрохимическая

интеркаляция). Электрокатализ. Электрохимические процессы на пористых электродах, макрокинетика электродных процессов), п.5 (Механистические и молекулярные аспекты многостадийных электрохимико-химических процессов с участием неорганических, металлорганических и органических веществ;), п. 12 (Микро- и наноэлектрохимия, электрохимическая нанотехнология).

Решение о рекомендации работы к защите

Диссертация Конакова Артёма Олеговича «Синтез и каталитические свойства органо-неорганического гибридного материала йодид меди-полипиррол» соответствует всем критериям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г. с учетом всех последующих изменений, применительно к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, и рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата наук по специальности 1.4.6. Электрохимия (химические науки).

Заключение принято на заседании секции № 6 Ученого совета ФИЦ ПХФ и МХ РАН (протокол № 8 от «01» июля 2026 г.). Присутствовало на заседании 18 членов совета из 22. Результаты голосования: «за» – 18, «против» – 0, «воздержались» – 0.

Председатель секции № 6
Ученого совета
ФИЦ ПХФ и МХ РАН
к.х.н. Н.В. Лысков

Секретарь секции № 6
Ученого совета
ФИЦ ПХФ и МХ РАН
к.х.н. А.В. Писарева