

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Радюк Дарьи Владимировны

«Формирование при активировании ультразвуком и свойства
нанокомпозитов на основе кислородсодержащего графена с атомами металла
и органическими комплексами», представленную на соискание ученой
степени доктора физико-математических наук по специальности 05.16.08 –
нанотехнологии и наноматериалы (по отраслям)

Соответствие диссертации специальности и отрасли науки, по которым она представлена к защите

Диссертация Радюк Д.В. по содержанию, основным положениям и
выводам полностью соответствует специальности 05.16.08 – нанотехнологии
и наноматериалы (по отраслям).

Тематика исследований соответствует пунктам раздела III 2 паспорта
специальности 05.16.08 – нанотехнологии и наноматериалы (по отраслям):
методы формирования наноразмерных структур (наноструктур) и
наноструктурированных материалов (наноматериалов); свойства
наноразмерных структур и наноструктурированных материалов; методы
контроля процессов формирования наноструктур и наноструктурированных
материалов; влияние внешних воздействий на свойства наноматериалов и
наноструктур; процессы и эффекты взаимодействия наноматериалов и
наноструктур с излучениями различной природы; закономерности
функционирования и применение наноматериалов и наноструктур.

Актуальность темы диссертации

Диссертационная работа Радюк Д.В. посвящена изучению
закономерностей формирования нанокompозитов на основе
кислородсодержащего графена (как платформы), атомов металлов и
органических молекул при активировании жидкофазных процессов
ультразвуком, а также исследованию оптических, электрических,
каталитических, биофункциональных свойств синтезированных
нанокompозитов как перспективных новых материалов электроники и
фотоники. Важнейшим преимуществом таких структур является
возможность использования широкого спектра физико-химических методов
для их функционализации и получения требуемых характеристик.
Исследования в этом направлении чрезвычайно актуальны из-за уникальных
синергетических свойств новых материалов, которые открывают новые
возможности в энергетике, экологии, медицине, электронике. В частности: в
биомедицине — это создание адресных систем доставки лекарств, магнитных
нанокompозитов для диагностики, материалов с избирательным
антибактериальным действием, которые разрушают патогены, не повреждая
здоровые клетки человека; в экологии — создание высокоэффективных
мембран и сорбентов для фильтрации воды, способных удалять тяжелые
металлы и органические загрязнители; в электронике — создание гибких

проводящих пленок, высокочувствительных сенсоров и уникальных люминесцентных наноструктур для современной микроэлектроники.

Актуальность данной работы определяется, прежде всего, проведенными в ней комплексными исследованиями свойств синтезированных наноструктурных функциональных материалов на основе кислородсодержащего графена. Выполненными исследованиями определяются условия получения таких материалов и возможности их практического применения.

Степень новизны результатов, полученных в диссертации, и научных положений, выносимых на защиту

Полученные в диссертационной работе Радюк Д.В. результаты и выносимые на защиту положения являются новыми. Среди результатов работы на мой взгляд можно выделить следующие:

- установлены закономерности формирования металлографеновых нанокompозитов на основе кислородсодержащего графена с атомами металла и органическими комплексами пропионовой, уксусной или салициловой кислоты в условиях ультразвуковой активации процессов для образования связей между карбоксильными и гидроксильными группами органических молекул и атомами металла, кислорода, углерода, водорода;

- оценена онкопротекторная активность металлографеновых нанокompозитов с комплексами салициловой кислоты в зависимости от их концентрации, связанная с воздействием органических комплексов с трех- и двухвалентным железом на митохондрии и клеточные мембраны, выявлено свойство аскорбиновой кислоты участвовать как молекулярный переключатель на поверхности нанокompозита в процессах генерации ионов водорода и образования гидроксильных радикалов, что может приводить к не менее чем десятикратному снижению жизнеспособности злокачественных клеток в водной среде;

- на основе модельных экспериментов продемонстрирована возможность повышения эффективности уничтожения злокачественных клеток за счет применения металлографеновых нанокompозитов с комплексами пропионовой кислоты в качестве покрытия металлического зонда, вводимого в опухолевую ткань и подаче на него электрического потенциала 0,5 – 0,6 В в условиях локального СВЧ-облучения, что сопровождается увеличением на три порядка концентрации ионов водорода и десятикратным повышением тепловыделения за счет дополнительного поглощения СВЧ-излучения органической подсистемой комплексов в окрестности атомов металла;

- обнаружены эффекты длинноволнового сдвига и роста интенсивности характеристических пиков в спектрах поглощения металлографеновых нанокompозитов по мере уменьшения концентрации функциональных групп в кислородсодержащем графене и стимулированном ультразвуком окислении органических комплексов гидроксильными радикалами, что позволяет контролировать состояние ионной, электронной, молекулярной структуры подсистем в металлографеновых нанокompозитах;

— экспериментально подтверждена возможность применения полученных металлографеновых нанокомпозитов с комплексами производных салициловой кислоты в качестве бактериостатических покрытий, как результат образования ковалентных и водородных связей между атомами металла, углерода, кислорода нанокомпозитов и клеточной мембраной.

Обоснованность и достоверность выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Основные положения и выводы диссертации представляются достоверными и научно обоснованными. Достоверность подтверждается использованием широкого спектра развитых методик измерений и современного оборудования, сопоставлением в необходимых случаях полученных экспериментальных результатов и рассчитанных на основе предложенных теоретических моделей. Результаты диссертационного исследования хорошо апробированы на международных научных конференциях и достаточно полно опубликованы в рейтинговых научных журналах.

Научная, практическая, экономическая и социальная значимость результатов диссертации, рекомендации по их использованию

Научная и практическая значимость результатов диссертации заключается в создании и использовании новых методов формирования сложных графеновых наноструктур на основе кислородсодержащего графена и металлоорганических комплексов с требуемыми функциональными характеристиками. Применение ультразвука в процессе введения в композит органических компонент позволило существенно повысить его эффективность за счет обеспечения одностадийности процесса. Кроме того, введение в композит металлоорганических комплексов осуществлялось в ходе их образования. Проведенные комплексные исследования свойств синтезированных наноструктурных функциональных материалов на основе кислородсодержащего графена как платформы наряду с модельными расчетами и теоретическим анализом позволили оценить их онкопротекторные, каталитические, антиоксидантные и др. свойства. Важно отметить, что амфифильность кислородсодержащего графена с включенными атомами металла и органическими комплексами позволяет значительно улучшить биофункциональные свойства полученных нанокомпозитов. Выполненными исследованиями определяются условия получения таких материалов и возможности их практического применения. Практическая значимость работы подтверждена несколькими актами об использовании результатов исследования.

Экономическая значимость работы состоит в повышении эффективности физико-химических процессов за счет действия ультразвука, доступности и относительной дешевизне метода. Ультразвуковая технология

позволяет значительно сократить затраты и себестоимость создаваемых новых функциональных наноматериалов.

Социальная значимость обусловлена внедрением результатов диссертационной работы в образовательный процесс, что способствует повышению уровня подготовки обучающихся. Кроме того, выявленные каталитические, антиоксидантные и онкопротекторные свойства полученных наноматериалов имеют перспективы применения в терапии ряда заболеваний.

Опубликованность результатов диссертации в научной печати

Результаты диссертации опубликованы в 42 научных работах, из которых: 2 -единоличные монографии, 1 – глава в книжном издании, 22 статьи в рецензируемых научных изданиях в соответствии с п.19 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий ВАК Республики Беларусь. Оставшиеся работы являются статьями и тезисами в сборниках материалов и тезисов международных конференций. Следует отметить высокий научный рейтинг публикационной активности соискателя. По состоянию на конец марта 2026 года за период с 2008 г. на ее работы было сделано 1403 ссылки, а индекс Хирша составил 17.

Соответствие оформления диссертации требованиям Инструкции ВАК

Оформление диссертации и автореферата полностью соответствует требованиям ВАК. Диссертационная работа содержит введение, общую характеристику работы, 6 глав, включая обзорную главу по тематике диссертации, заключение, библиографический список из 519 наименований и 8 приложений. Объем диссертации составляет 394 страницы, в которые включены 131 рисунок и 42 таблицы. Материал диссертации изложен логично и на высоком научном уровне. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Замечания по диссертации

По результатам рассмотрения работы можно сделать несколько замечаний, которые не являются принципиальными и не влияют на общую положительную оценку диссертации.

1. В работе предложена и реализована идея активации производной пропионовой кислоты в результате ее ультразвукового комплексообразования с металлографеновой наноструктурой. Из текста диссертации не совсем понятно, каким образом оценивается повышение эффективности действия производной пропионовой кислоты после активации под действием ультразвука.

2. Трудно согласиться с приведенной точностью оценки прогноза увеличения концентрации протонированного двухвалентного железа в 161,2 раза в комплексах с пропионовой кислотой и в 23,5 раза с салициловой при добавлении аскорбиновой кислоты. Можно было бы ограничиться порядками

величин, тем более что эти выводы сделаны по результатам модельных расчетов.

3. Несмотря на строгость и логичность изложения материала в данной диссертации встречаются опечатки и неудачные выражения. Например: стр.75 – в ультрафиолетовой и видимой области спектра (190 – 1100 нм). Область 800 – 1100 нм — это ближний ИК диапазон; в выводах к главе 2 говорится, что в работе детально описаны методы исследования для формирования наноструктур и их характеристики. Видимо имеется в виду описание методов формирования наноструктур и их характеристики.

Соответствие научной квалификации соискателя ученой степени, на которую он претендует

Апробация работ на многочисленных международных конференциях, публикация статей в рецензируемых высокорейтинговых научных журналах, обобщение полученных результатов в двух единоличных монографиях и главе книжного издания свидетельствуют о высоком научном уровне соискателя и соответствии его научной квалификации ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 05.16.08 – нанотехнологии и наноматериалы (по отраслям).

Выводы

По совокупности разработанных методов и изложенных в работе результатов можно сделать вывод, что диссертация Дарьи Владимировны соответствует всем требованиям ВАК Республики Беларусь, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук и установленным главой 3 «Положения о присуждении ученой степени и присвоении ученых званий».

Автор диссертации Радюк Дарья Владимировна заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 05.16.08 – нанотехнологии и наноматериалы (по отраслям) за принципиально новые научно обоснованные результаты, совокупность которых является крупным достижением в разработке методов получения новых нанокompозитных материалов на основе кислородсодержащего графена и металлоорганических комплексов и всестороннее исследование их свойств и возможных практических приложений:

- установление закономерностей формирования нанокompозитов на основе кислородсодержащего графена с атомами металла и органическими комплексами пропионовой, уксусной или салициловой кислоты в условиях ультразвуковой активации процессов образования связей между карбоксильными и гидроксильными группами органических молекул и атомами металла, кислорода, углерода, водорода;

- обнаружение эффектов длинноволнового сдвига и роста интенсивности характеристических пиков в спектрах поглощения металлографеновых нанокompозитов по мере уменьшения концентрации функциональных групп в кислородсодержащем графене и стимулированном

ультразвуком окислении органических комплексов гидроксильными радикалами, что позволяет контролировать состояние ионной, электронной, молекулярной структуры подсистем в металлографеновых нанокompозитах.

- анализ в рамках математической модели и оценка на эксперименте онкопротекторной активности металлографеновых нанокompозитов с комплексами салициловой кислоты в зависимости от их концентрации, что связано с воздействием органических комплексов с трех- и двухвалентным железом на митохондрии и клеточные мембраны, выявление свойства аскорбиновой кислоты участвовать в процессах генерации ионов водорода и образования гидроксильных радикалов как молекулярного переключателя онкопротекторных и антиоксидантных свойств на поверхности нанокompозита, что может приводить к не менее, чем десятикратному снижению жизнеспособности злокачественных клеток в водной среде;

- демонстрацию на основе математической модели возможности повышения эффективности уничтожения злокачественных клеток за счет применения металлографеновых нанокompозитов с комплексами пропионовой кислоты в качестве покрытия металлического зонда, вводимого в опухолевую ткань и подаче на него электрического потенциала 0,5 – 0,6 В в условиях локального СВЧ-излучения, что сопровождается увеличением на три порядка концентрации ионов водорода и десятикратным повышением тепловыделения за счет дополнительного поглощения СВЧ-излучения органической подсистемой комплексов в окрестности атомов металла;

- экспериментальное подтверждение возможности применения полученных металлографеновых нанокompозитов с комплексами производных салициловой кислоты в качестве бактериостатических покрытий в результате образования ковалентных и водородных связей между атомами металла, углерода, кислорода в нанокompозитах и с клеточной мембраной.

Я, Тихомиров Сергей Александрович, даю согласие на публикацию данного отзыва в открытом доступе на официальном сайте Белорусского государственного института информатики и радиоэлектроники.

Официальный оппонент

заместитель академика-секретаря

отделения физики, математики и информатики

НАН Беларуси, доктор физико-математических

наук, профессор, член-корреспондент

С.А. Тихомиров

05.10.2026

Личную подпись

удостоверяю:

начальник отдела кадров Главного
управления кадров и кадровой политики
аппарата НАН Беларуси

(подпись)

(инициалы, фамилия)

05.10.2026

