

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу
**Гаджимагомедовой Заиры Магомедовны «Разработка и исследование
нанокompозитов на основе редкоземельных элементов для потенциального
применения в рентгеновской фотодинамической терапии»,**
представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности
2.6.6. Нанотехнологии и наноматериалы (физико-математические науки)

Диссертационная работа Гаджимагомедовой Заиры Магомедовны посвящена разработке и комплексному исследованию физико-химических свойств новых нанокompозитных материалов на основе рентгенолюминесцентных наночастиц $BaGdF_5$, допированных редкоземельными ионами (Eu^{3+} , Tb^{3+}), и органических фотосенсибилизаторов. Эти системы ориентированы на решение одной из ключевых проблем современной фотодинамической терапии – преодоление ограниченной глубины проникновения активирующего излучения в видимой и ультрафиолетовой областях в биологические ткани. Рентгеновская фотодинамическая терапия представляет собой перспективную альтернативу, однако её развитие сдерживается отсутствием оптимальных нанокompозитных биосовместимых материалов, обеспечивающих эффективную передачу энергии поглощенного рентгеновского излучения фотосенсибилизаторам.

Исследования, проведенные в работе З.М. Гаджимагомедовой посвящены **актуальной и практически важной задаче** – разработке биосовместимых нанокompозитов на основе редкоземельных рентгенолюминофоров ($BaGdF_5$, легированных Eu^{3+} и Tb^{3+}) и фотосенсибилизаторов (метиленового синего и бенгальского розового) для потенциального применения в качестве тераностического агента в рентгеновской фотодинамической терапии.

Для решения поставленных задач в диссертационной работе был применен широкий спектр методик, позволивший пройти путь от получения и оптимизации рентгенолюминесцентных наноматериалов до создания функциональных нанокompозитов с контролируруемыми свойствами и анализа их поведения *in vivo*.

Наиболее значимые результаты, определяющие научную новизну, состоят в следующем:

1. Впервые изучены рентгенолюминесцентные свойства наночастиц $BaGd_{1-x}F_5:Tb_x$ и $BaGd_{1-x}F_5:Eu_x$, синтезированных микроволновым методом, и

установлены оптимальные концентрации легирующих элементов (10% Eu^{3+} и 25% Tb^{3+}), обеспечивающие максимальную интенсивность эмиссии в красной (591 нм) и зелёной (544 нм) областях спектра.

2. Разработана новая одностадийная методика синтеза нанокompозита $\text{BaGd}_{0,75}\text{F}_5:\text{Tb}_{0,25}$ с бенгальским розовым с использованием проточной микрофлюидной системы, что позволило совместить процессы формирования люминофора и его конъюгации с фотосенсибилизатором, существенно сократив время синтеза и расход реагентов.

3. Впервые реализована возможность *in situ* регистрации спектров рентгенолюминесценции в процессе микрофлюидного синтеза, что открывает новые перспективы для контролируемого получения наноматериалов с заданными оптическими свойствами без этапа пост-синтетической отмывки и сушки.

4. Установлено влияние способа синтеза (микроволнового и сольвотермального) и соотношения растворителей этиленгликоль/вода на размер формируемых кристаллитов $\text{BaGdF}_5:\text{Tb}$, что позволяет осуществлять направленный синтез частиц с размером от 7 до 49 нм.

5. Исследованы биораспределение и контрастирующая способность нанокompозитов $\text{BaGdF}_5:\text{Tb}@PБ$ в организме лабораторных мышей линии BALB/c с помощью микро-КТ, выявлена нелинейная динамика накопления в печени и селезёнке, включая эффект повторного накопления на второй-третьей неделях.

Описанные результаты определяют **научную новизну данной диссертационной работы.**

Достоверность и практическая значимость диссертационного исследования не вызывает сомнений и подтверждается:

- Использование комплекса современных и взаимодополняющих методов диагностики: порошковой рентгеновской дифракции, просвечивающей электронной микроскопии, энергодисперсионного рентгеновского анализа, ИК-Фурье спектроскопии, динамического рассеяния света, термогравиметрического анализа, УФ-видимой спектроскопии, а также рентгенолюминесцентной спектроскопии, а также методами *in vitro* и *in vivo*.

- Апробацией работы в высокорейтинговых рецензируемых журналах, индексируемых в Scopus и Web of Science (6 статей, из них 5 в журналах Q1), а также получением патентов РФ.

К работе имеются следующие **замечания:**

1. Главное замечание, или скорее комментарий, заключатся в следующем. Обсуждая действие рентгеновских люминофоров, автор пишет, что они переизлучают поглощенную энергию в видимом и ультрафиолетовом диапазонах. Да, в этих диапазонах они энергию действительно переизлучают, и механизмы фотодинамической терапии работают. Однако, здесь не следует забывать, что основная доля переизлученной энергии после фотоионизации внутренних оболочек тяжелых атомов, входящих в рентгеновские люминофоры (например, атомов гадолиния и бария) приходится все же на энергию оже-электронов, испускаемых в процессе каскадного распада вакансий. Эти электроны могут вызывать образование АФК, так же, как и разрывы цепей ДНК при неупругом взаимодействии. Этот механизм еще называют фотон-активационной терапией. Что же касается каскадных фотонов, то лишь их весьма малая часть будет иметь энергию в видимой и УФ области. По моему мнению, эффекты от воздействия РФДТ и фотон-активационной терапии трудно разделить. Скорее всего, при использовании рентгеновских люминофоров с тяжелыми атомами основной вклад в разрушение раковых клеток вносят именно каскадные оже электроны. Указанное обстоятельство, конечно, не отменяет важность проведенных в работе исследований. Радиосенсибилизация за счет каскадных распадов вакансий и воздействие на опухоли за счет фотодинамического эффекта дадут синергетический эффект.
2. На стр. 19-20 обсуждается эффективность ферстеровского резонансного переноса энергии, приводятся формулы и графики для этой величины. Однако, не дано определение этой величины.
3. В главе 1 одна и та же идея, о необходимости использования рентгеновской фотодинамической терапии вместо традиционной фотодинамической терапии из-за малой проникающей способности видимого и УФ излучений излагается несколько раз с небольшими перерывами, и каждый раз как бы заново. Это, однако, не большой грех. Повторение - мать учения.
4. Количество опечаток и стилистических погрешностей незначительно. В качестве примера из обнаруженных рецензентом: В таблице 3 фигурирует «объем решетки» Видимо, имелся в виду объем элементарной ячейки

Следует отметить, что сделанные замечания не снижают общей весьма высокой оценки работы. Основные положения диссертации достаточно обоснованы, обладают научной новизной и практической значимостью.

Все вышеизложенное позволяет считать, что представленная к защите диссертационная работа Гаджимагомедовой З. М. выполнена на высоком научном уровне и полностью отвечает критериям раздела 2 Положения о присуждении ученых степеней в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Южный Федеральный Университет», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а соискатель Гаджимагомедова Заира Магомедовна заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.6.6. Нанотехнологии и наноматериалы (физико-математические науки).

Согласен на обработку моих персональных данных.

26.05.2026 г.

Кочур Андрей Григорьевич,
доктор физико-математических наук
(специальность 01.04.07 - физика конденсированного состояния), профессор,
заведующий кафедрой «Физика»,
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Ростовский государственный университет путей сообщения»,
официальный оппонент
(Адрес: 344038, Ростовская обл., г. Ростов-на-Дону,
пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д. 2,
тел.: +7 (863) 272-64-20, e-mail: agk@rgups.ru)

Подпись Кочур А. Г.

УДОСТОВЕРЯЮ

Начальник управления делами
ФГБОУ ВО РГУПС

« 26 » 05 2026



Т.М. Канина