

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Румянцевой Виктории Олеговны «СИНТЕЗ 3D-СТРУКТУР НА ОСНОВЕ ТРЕСКОВОГО КОЛЛАГЕНА В УСЛОВИЯХ ГЕТЕРОГЕННОГО ФОТОКАТАЛИЗА В ПРИСУТСТВИИ СЛОЖНЫХ ОКСИДОВ МЕТАЛЛОВ», представленной на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.7. –высокомолекулярные соединения.

Развитие направления химии высокомолекулярных соединений, связанное с разработкой материалов для регенеративной медицины, привело к широкому спектру предлагаемых решений. В данной диссертации приведены исследования синтеза 3D-структур на основе трескового коллагена в условиях гетерогенного фотокатализа в присутствии сложных оксидов металлов. В последнее время при радикальном инициировании развиваются энергоэффективные способы, в частности, фотокатализ в области видимого света, для снижения химического загрязнения в рамках «зеленой химии». В представленной работе Румянцевой В.О. впервые развивается именно такой подход для получения трехмерных структур – как материалов для регенеративной медицины, с использованием трескового коллагена, как основы. Удачно подобранные условия проведения процесса, соотношение и природа компонентов позволили Румянцевой В.О. с соавторами получить устойчивые трехмерные полимерные структуры для регенеративной медицины. Их эффективность подтверждена испытаниями на животных. Очевидно, что работа представляет несомненную научную ценность и является **актуальной**.

Диссертационная работа Румянцевой В.О. имеет классическое структурное построение, состоит из введения, 3 глав (литературного обзора, экспериментальной части, обсуждения результатов), заключения, списка цитируемой литературы (356 наименований), 3 приложений, изложена хорошим литературным языком. Работа представлена на 192 страницах машинописного текста, включая 14 таблиц, 47 рисунков.

Введение имеет все необходимые структурные компоненты этого раздела: обосновывается актуальность диссертационного исследования; формулируется цель и основные задачи работы; описывается предлагаемый автором подход к решению поставленных задач; характеризуется степень новизны полученных результатов, их апробация и т. д.

Первая глава – литературный обзор, содержит обоснованный и достоверный, подготовленный по известным литературным данным отечественных и зарубежных авторов последних лет, подробную информацию о способах получения новых материалов на основе природных полимеров приемами радикального инициирования, особенностях природы белковых природных высокомолекулярных соединений, важности особенностей

ферментативного разрушения белков и гетерогенного фотокатализа – источника гидроксильных радикалов в дисперсии с водой. Достаточно полно освещены эти важные в плане проведенных автором исследований литературные данные. Материалы литературного обзора дополнены рисунками и схемами. Они позволяют легко ориентироваться в материале. Это является большим достоинством работы. Завершает литературный обзор заключение о том, что в работах последних лет очевидно стремительное развитие возможностей макромолекулярного дизайна полимерных материалов, что позволяет моделировать условия на стадии синтеза с целью получения материалов с желаемыми свойствами. Исследования, представленные в данной диссертации, связанные с получением и характеристикой трехмерных структур для медицинских целей с использованием гетерогенного фотокатализа в присутствии сложных оксидов под действием видимого света для радикального инициирования привитой сополимеризации ММА на ТК при варьировании состава исходной реакционной смеси путем введения известных модифицирующих добавок, начаты в 2020 году и продолжают развиваться. Следует также указать, что аналогичные исследования с использованием в качестве инициатора окислительно-восстановительных систем на основе триалкилборанов проводятся также с 2020 г. Они опубликованы в рецензируемых журналах. Часть этих исследований легла в основу диссертации Лобановой К.С. «Синтез сополимеров коллагена и (мет)акриловых мономеров в присутствии борорганических соединений», которая была успешно защищена в 2025 г. В связи с этим выбранное автором работы направление исследований является оригинальным и не описанным в литературе на момент начала разработок, занимает свое определенное место в совершенствовании методов синтеза новых трехмерных полимерных структур для медицины.

Во второй главе приведены характеристики исходных веществ, методики подготовки исходных веществ, а также методы исследования свойств веществ, традиционно применяемые при изучении подобных материалов. Используемые методики являются нормативными или апробированными. Все сказанное позволяет охарактеризовать методический уровень работы как соответствующий требованиям современной химии. **Достоверность** полученных результатов исследования обеспечиваются четкостью методологических позиций, комплексом теоретических и эмпирических методов, и не вызывает сомнений.

В третьей главе приводится обсуждение новых результатов, полученных Румянцевой В.О. с соавторами, при выполнении поставленных в работе задач. Первая часть исследований получению трехмерных структур на основе природных и синтетических полимеров в присутствии сложных оксидов. В результате проведенных экспериментов

Румянцевой В.О. с соавторами впервые подобрать условия получения привитого сополимера коллаген-ПММА в использовании фотокатализа при облучении видимым светом водной дисперсии в присутствии ряда сложных оксидов, более всего на примере сложного оксида $RbTe_{1.5}W_{0.5}O_6$, а также устойчивых гидрогелей путем дополнения реакционной смеси добавками реагентов (ПЭГ, ТГМ-3, АК и ГА) в присутствии сложного оксида $RbTe_{1.5}W_{0.5}O_6$. Новые полимерные продукты охарактеризованы по физико-химическим параметрам, ММ, содержанию коллагена, морфологии поверхности и др. В аналогичных описанным условиях вместо ТК был исследован его денатурированный аналог – тресковый желатин (ТЖ). Привитой сополимер ТЖ-ПММА по характеристикам: содержание азота, ММ, морфология лиофильно высушенного образца мало отличался от сополимера ТК-ПММА. Важно подчеркнуть, что на целом ряде сложных оксидов разной природы установлено влияние природы сложного оксида металлов на продукты фотокатализа реакций метилметакрилата и трескового коллагена в водной дисперсии. Выявлены интересные факты: в мономерно-полимерной дисперсии сложных оксидов металлов в условиях фотокатализа при облучении видимым светом могут присутствовать продукты реакций: привитой полимеризации ММА на ТК, окисления ММА – ОММА, радикальной полимеризации ММА и ОММА, прививки ММА и ОММА на катализатор.

Последующие исследования связаны ферментативным гидролизом трескового коллагена и трехмерных структур на его основе разными протеолитическими ферментами.

Оказалось, что ферментативное разрушения ТК его сополимеров и гидрогеля имеет место, но модификация природного белка приводит к замедлению процесса биодеградации. Этот факт имеет важное значение, т.к. биоразрушение гидрогеля при использовании в раневых покрытиях должно проходить в процессе выздоровления ткани. Завершают диссертационное исследование испытания биосовместимости новых гидрогелей на основе трескового коллагена. Румянцевой с соавторами показано, что гидрогели на основе коллагена проявляют свойства грибостойкости, хорошей биосовместимости (по данным МТТ-теста разбавления экстрактов нецитотоксичны), эффективны в репарации ожоговых ран, обладают хорошим влагопоглощением и устойчивостью.

Следует подчеркнуть, что материал проведенных исследований изложен четко, хорошо иллюстрирован. Результаты получены Румянцевой В.О. с коллегами **впервые** и являются весьма значимыми для развития сфер совершенствования приемов радикальной химии в создании новых полимерных структур, а также применения гидрогелей в регенеративной медицине.

Экспериментальные исследования в диссертационной работе построены, выполнены, обсуждены логично и последовательно. Это свидетельствует о хорошей теоретической подготовке автора и глубоком осмыслении материала.

В ходе решения поставленных задач Румянцева В.О. получила ряд новых научных данных.

Новизна научных положений заключается в следующем:

Впервые для инициирования радикальных процессов при получении привитых сополимеров акрилатов на ТК/ТЖ, а также устойчивых полимерных 3D-структур на их основе с включением модификаторов и сшивающих агентов, использован фотокатализ при облучении видимым светом сложных оксидов, более всего $RbTe_{1.5}W_{0.5}O_6$, в водной дисперсии и инертной атмосфере с целью получения активного гидроксильного радикала.

Значимость выводов и рекомендаций диссертанта для науки и практики состоит в том, что результаты исследований являются развитием представлений о возможности стратегии радикальных реакций в мономерно-полимерной среде в условиях фотокатализа в присутствии сложных оксидов. Показана возможность получения в одну стадию 3D-структур, гидрогелей на основе ТК путем фотокатализа при облучении видимым светом сложного оксида $RbTe_{1.5}W_{0.5}O_6$, что соответствует принципам «зеленой химии». Дальнейшее развитие метода «зеленой химии» как жизнеспособной «более экологичной» альтернативы методам, использующим высокие температуры и давление, является актуальным и востребованным. Гидрогели на основе ТК имеют перспективу применения в качестве клеточных матриц в тканевой инженерии при повреждении органов или тканей, а также в качестве раневых покрытий повреждений кожи любой этиологии. ТК превосходит по всем показателям животный коллаген. Уникальность новых покрытий также связана с антигрибковыми свойствами, позволяющими их использование в нестерильных условиях.

Личный вклад соискателя в разработку научной проблемы подтверждается при анализе диссертационного исследования, автореферата и основных публикаций следующим: Представленные в диссертации исследования являются результатом:

- глубокого авторского анализа современной научной и технической литературы по проблеме;
- получения, обработки и анализа полученных в работе результатов на высоком квалифицированном уровне;
- подготовки к публикации текстов статей и тезисов докладов конференций, а также представлением результатов диссертационного исследования на многочисленных научных мероприятиях в соответствии с требованиями ВАК.

Работа полностью соответствует паспорту специальности 1.4.7. — высокомолекулярные соединения: п. 2. «Синтез олигомеров, в том числе специальных мономеров, связь их строения и реакционной способности. Катализ и механизмы реакций полимеризации, сополимеризации и поликонденсации с применением радикальных, ионных и ионно-координационных инициаторов, их кинетика и динамика. Разработка новых и усовершенствование существующих методов синтеза полимеров и полимерных форм»; п. 5. «Исследование молекулярной и надмолекулярной структуры биоорганических полимеров. Выявление специфических факторов, обуславливающих их самоорганизацию, и распространение найденных закономерностей на область синтетических полимеров. и п. 9. «Целенаправленная разработка полимерных материалов с новыми функциями и интеллектуальных структур с их применением, обладающих характеристиками, определяющими области их использования в заинтересованных отраслях науки и техники».

В качестве замечаний и пожеланий можно отметить следующее:

1. Представляется не очень удачным название раздела диссертации «3.1. Теоретическое обоснование концепции получения трехмерных структур на основе природных и синтетических полимеров в присутствии сложных оксидов», т.к. в разделе приводятся и экспериментальные данные получения трехмерных структур на основе коллагена. Видимо, следовало назвать «3.1. Теоретическое обоснование концепции и получение трехмерных структур на основе природных и синтетических полимеров в присутствии сложных оксидов».
2. В диссертации автор делает акцент на различия рыбного и животного коллагена/желатина. Коллаген животного происхождения тоже различается по своей природе. Иногда автор указывает это. Например, на странице 16 речь идет о коллагене из крысиных хвостов, на странице 27 – о бычьем коллагене, а иногда о коллагене животного происхождения. Видимо, следовало бы всегда пояснять происхождение животного коллагена. Кроме того, в тексте употребляется понятие «морской коллаген» (страница 28, 42, 95 и др. Это понятие тоже следовало бы объяснить в тексте работы.
3. В диссертации обсуждаются противогрибковые свойства получаемых материалов. Можно было добавить литературные данные о противогрибковых добавках для предотвращения разрушения полимеров, особенно природных, в литературный обзор.
4. В экспериментальной части указаны ферменты тромбин, трипсин и панкреатин, использованные в работе, но не указано содержание активного вещества.
5. В разделе 2.1. не указаны производитель и марка используемого ТГФ.
6. На рисунках 32- 35 и 39 в точке пересечения осей ординат стоят два нуля. Это не корректно.

7. В обсуждении результатов в разделе 3.1. идет речь об образовании макромолекулярных радикалов при взаимодействии с аминокислотными фрагментами коллагена. Следовало бы указать конкретные аминокислотные остатки в структуре коллагена, о которых идет речь.

8. На рис. 24 приводится схема различных направлений взаимодействия радикалов с субстратом. Можно было бы этот рисунок подробно прокомментировать.

Нужно отметить, что приведенные замечания носят непринципиальный характер и не влияют на общую высокую оценку работы, являются пожеланиями по дальнейшему проведению исследований и оформлению результатов.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, не вызывает сомнений. Основные положения, выносимые на защиту, и выводы диссертационной работы Румянцевой В.О. являются обоснованными, как результатами проведенного собственного исследования, так и общепринятыми закономерностями современной химии высокомолекулярных соединений в отношении

Научная обоснованность и достоверность результатов, полученных автором, обеспечивается сравнением новых экспериментальных результатов с ранее полученными данными, широтой и разносторонностью экспериментального исследования. Достоверность полученных результатов обусловлена использованием комплекса современных физико-химических методов исследования.

Основная часть результатов диссертационной работы изложена в открытой печати в 12 научных статьях, из них 5 статей в журналах, рекомендованных ВАК, 7 статей в журналах, рецензируемых WoS и Scopus, 1 монографии, 2 патентах РФ. Всесторонность освещения работы подтверждается представлением результатов на международных и всероссийских научных конференциях.

В заключении диссертации обсуждается значимость работы, содержатся 6 выводов, которые четко сформулированы, конкретизируют полученные данные и полностью соответствуют поставленным задачам, обсуждены перспективы работы.

Опубликованные работы отражают основное содержание работы.

Автореферат отражает содержание и выводы работы.

Таким образом, проведенное в данной работе оригинальное, законченное научное исследование, посвященное синтезу трехмерных структур с использованием гетерогенного фотокатализа в присутствии сложных оксидов металлов под действием видимого света в водной дисперсии для радикального инициирования привитой сополимеризации метилметакрилата (ММА) на ТК при варьировании состава исходной реакционной смеси

путем введения известных модифицирующих добавок, а также исследованию биоразрушения коллагена и сополимеров на его основе и испытанию биосовместимости новых гидрогелей. лежит в русле современных тенденций химии высокомолекулярных соединений, а также открывает новые перспективы их развития. Задачи, поставленные Румянцевой Викторией Олеговной, полностью выполнены; сформулированные по результатам работы выводы и положения достоверны и обоснованы.

Заключение по диссертационной работе

По научной новизне, актуальности и достоверности полученных результатов, уровню их обсуждения и практической значимости диссертационная работа Румянцевой Виктории Олеговны представляет собой законченную научно-квалификационную работу в области высокомолекулярных соединений, которая полностью соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, установленным в п. 9 «Положения о присуждения учёных степеней», утверждённого Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года №842 (в действующей редакции), так как в диссертации содержится решение научной задачи, имеющей значение для развития химии высокомолекулярных соединений.

Автор диссертационной работы, Румянцева Виктория Олеговна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.7. – высокомолекулярные соединения.

Официальный оппонент: доктор химических наук (специальность 02.00.06 Высокомолекулярные соединения), ведущий научный сотрудник, заведующий Лабораторией фотополимеризации и полимерных материалов Института металлоорганической химии им. Г.А. Разуваева РАН



Чесноков Сергей Артурович

8 06.2026

Подпись Чеснокова С.А. удостоверяю:

Учёный секретарь ИМХ РАН

К.Г. Шальнова

Чесноков Сергей Артурович

адрес: г. Нижний Новгород, ул. Тропинина 49. ИМХ РАН

телефон: 8(920)024-47-94

e-mail: sch@iomc.ras.ru



Вход. № 05-8029

« 10 » 06 2026 г.

подпись

