

На правах рукописи



Румянцева Виктория Олеговна

**СИНТЕЗ 3D-СТРУКТУР НА ОСНОВЕ ТРЕСКОВОГО КОЛЛАГЕНА
В УСЛОВИЯХ ГЕТЕРОГЕННОГО ФОТОКАТАЛИЗА В ПРИСУТСТВИИ
СЛОЖНЫХ ОКСИДОВ МЕТАЛЛОВ**

1.4.7. Высокомолекулярные соединения

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата химических наук

Казань – 2026

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»

Научный руководитель: доктор химических наук, доцент
Семенычева Людмила Леонидовна

Официальные оппоненты:

Чесноков Сергей Артурович, доктор химических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт металлоорганической химии им. Г.А. Разуваева Российской академии наук», лаборатория фотополимеризации и полимерных материалов, заведующий;

Низамов Айдар Азатович, кандидат химических наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный энергетический университет», кафедра материаловедения и технологий материалов, доцент.

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», г. Нижний Новгород.

Защита диссертации состоится «_1_» июля 2026 г. в 10⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета 24.2.312.09, созданного на базе ФГБОУ ВО «КНИТУ» по адресу: 420015, г. Казань, ул. К. Маркса, 68, зал заседаний Ученого совета, А-330.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ФГБОУ ВО «КНИТУ» и на сайте: <https://www.kstu.ru/event.jsp?id=178893>.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах с подписями, заверенными печатями, просим направлять по адресу: 420015, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 68, ученый совет и e-mail: upak@kstu.ru.

В отзыве указываются фамилия, имя, отчество (полностью), ученая степень с указанием специальности, ученое звание, наименование организации и должность лица, представившего отзыв, с указанием структурного подразделения, почтовый адрес, телефон и адрес электронной почты (при наличии) (п. 28 Положения о присуждении ученых степеней).

Автореферат разослан «___» апреля 2026 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета, д.х.н.

Черезова Елена Николаевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Насущные проблемы современной медицины привели к возникновению новой области полимерной науки – химии биомедицинских полимеров, основным направлением которой является получение материалов для фармацевтической и биотехнологической промышленности. Такие материалы находят применение в различных составах для заживления ран любой этиологии, тканевой инженерии, а новые подходы к получению таких продуктов делают разработки важным инструментом в выборе нужных направлений управления процессом выздоровления человека. Известные доступные природные полимерные материалы, особенно белки, довольно широко исследованы в этом плане и представлены в литературе. Основной причиной непригодности использования только белков в ранозаживляющих покрытиях является отсутствие устойчивой трехмерной структуры и связанных с ней параметров – прочности, долговечности, а также гидрофильно-гидрофобного баланса. Проблема все чаще решается путем введения модифицирующих добавок или получения гибридных материалов с включением биосовместимых полимерных фрагментов. В этом случае прививка полимеров с помощью активаторов стала одним из часто применяемых подходов. В последнее время при радикальном иницировании предпочтение имеют энергоэффективные способы, в частности, фотокатализ в области видимого света, для снижения химического загрязнения в рамках «зеленой химии». В то же время рыбный коллаген стал предметом изучения в области медицинских материалов благодаря замечательной биосовместимости и содержанию ценных биоактивных компонентов. В связи с этим синтез трехмерных структур на основе трескового коллагена (ТК), полученных в условиях гетерогенного фотокатализа в области видимого света в присутствии сложных оксидов металлов, является своевременным и актуальным.

Степень разработанности темы исследования. Использование гетерогенного фотокатализа в условиях мягкого облучения – это тренд «зеленой химии», более всего работ связано с очисткой воды и воздуха от загрязнителей, разложением органических отходов. $\text{HO}\cdot$ -радикалы в этом случае являются основным инструментом гетерогенного фотокатализа¹. В области получения полимерных материалов более всего известны исследования по фотокатализу в условиях контролируемой радикальной полимеризации ATRP и RAFT². В то же время привитая сополимеризация с помощью различных активаторов стала одним из часто применяемых подходов при получении полимерных продуктов³.

Целью работы является синтез трехмерных структур с использованием гетерогенного фотокатализа в присутствии сложных оксидов металлов под действием видимого света в водной дисперсии для радикального иницирования привитой сополимеризации метилметакрилата (ММА) на ТК при варьировании состава исходной реакционной смеси путем введения известных модифицирующих добавок, а также

¹ S. Sikiru, et al. *J. Polym. Mater.* **42**(1), 1–31 (2025).

² J.G. Baker, et al. *Chem. Sci.* **16**(34), 15298–15309 (2025).

³ D. Kumar, et al. *Open Med Chem J.* **11**, 109–126 (2017).

исследование биоразрушения коллагена и сополимеров на его основе и испытание биосовместимости новых гидрогелей.

Достижение поставленной цели требовало решения следующих **задач**:

1. Установление условий получения и физико-химических характеристик привитого сополимера ТК–полиметилметакрилат (ПММА), а также исследование побочных реакций с участием ММА в условиях фотокатализа при облучении видимым светом в присутствии ряда сложных оксидов, более всего на примере сложного оксида $RbTe_{1.5}W_{0.5}O_6$.
2. Выяснение влияния модифицирующих добавок (полиэтиленгликоля (ПЭГ), диметакрилата триэтиленгликоля (ТГМ-3), акриловой кислоты (АК) и глутарового альдегида (ГА)) на процесс формирования устойчивых 3D-структур на основе сополимера ТК–ПММА с участием оксида $RbTe_{1.5}W_{0.5}O_6$.
3. Изучение поверхности сложного оксида $RbTe_{1.5}W_{0.5}O_6$ после катализа полимеризации и условий его регенерации.
4. Анализ особенностей гидролиза ТК разными протеолитическими ферментами при разном фермент-субстратном соотношении, а также сополимеров на его основе;
5. Сравнение трескового желатина (ТЖ) и трескового коллагена (ТК) как компонентов разработанных гибридных материалов по ряду характеристик.
6. Испытания гидрогелей на основе ТК на некоторые биомедицинские характеристики: устойчивость, влагопоглощение, цитотоксичность, грибостойкость, эффективность в репарации ожоговых ран.

Научная новизна работы. 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.

Теоретическая значимость работы. Результаты исследований имеют важное значение, т.к. 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.

Практическая значимость работы состоит в том, что 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.

Методология и методы исследования. Работа выполнена при использовании комплексного подхода к решению задач, поставленных целью. Суть такого подхода – логичное сочетание методов синтеза полимеров с современными методами физико-химического анализа. Объектами исследования явились ТК/ТЖ, ММА, ПЭГ, АК, ТГМ-3 и ГА, полимеры и привитые сополимеры с включением перечисленных компонентов, сложные оксиды разной природы на основе металлов Na, K, Cs, Rb, Bi, V, Mo, Te, Ni, W, Mn, Co, Cu, Nb, протеолитические ферменты: панкреатин, трипсин, тромбин. Исходные вещества и продукты синтеза изучены с помощью методов ИК- и ЯМР-спектроскопии, РФЭС, МАЛДИ, ГПХ, ПГХ, СЭМ, CHNS-элементного анализа, РМА. Применялись релевантные методы анализа структурной устойчивости, влагопоглощения и грибоустойчивости гидрогелей. Цитотоксичность исследовали методом МТТ-теста *in vitro* на клеточных культурах дермальных фибробластов человека (ДФЧ). Исследование эффективности гидрогелей в репарации ожоговых ран проводили на крысах.

Положения, выносимые на защиту:

- условия синтеза привитого сополимера ТК/ТЖ–ПММА и гидрогелей на их основе в условиях фотокатализа в водной дисперсии в присутствии сложных оксидов, более всего на примере $RbTe_{1.5}W_{0.5}O_6$;
- свойства привитых сополимеров на основе ТК/ТЖ и гидрогелей на их основе: состав, морфология поверхности, молекулярно-массовые характеристики, устойчивость, влагопоглощение, отношение к грибам, биосовместимость гидрогелей на основе ТК как модели скаффолда и раневого покрытия;
- ферментативный гидролиз ТК/ТЖ и сополимеров на их основе;
- идентификация побочных реакций при синтезе гидрогелей в условиях фотокатализа в водной дисперсии в присутствии сложных оксидов;

Степень достоверности результатов. Достоверность полученных результатов исследований и выводов подтверждается воспроизводимостью характеристик новых полимеров, использованием комплекса современных физико-химических методов анализа и испытаний, соотносением полученных экспериментальных результатов с данными, опубликованными в открытой печати, разносторонностью и обширностью экспериментального исследования.

Апробация работы и публикации. Основное содержание диссертации изложено 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 и 10 тезисах докладов на конференциях различного уровня: International conference «Chemistry of Organoelement Compounds and Polymers» (Moscow, 2019); Международная научная конференция «Современная химическая физика на стыке физики, химии и биологии» (Черноголовка, 2021); XVII Международная научно-практическая конференция «Новые полимерные композиционные материалы. Микитаевские чтения» (Нальчик, 2021), XX и XXII Международная конференция по химии и физикохимии олигомеров (Суздаль, 2022, Самара, 2024); International conference “Materials science of the future: research, development, scientific training

(MSF'2022, Nizhny Novgorod); Международная научно-практическая конференция «Приоритетные направления научных исследований. анализ, управление, перспективы» (Уфа, 2025); XXII и XXIII Всероссийская конференция молодых ученых-химиков (Нижний Новгород, 2019, 2020); XXX Российская молодежная научная конференция с международным участием «Проблемы теоретической и экспериментальной химии» (Екатеринбург, 2020), Девятая Всероссийская Каргинская конференция «Полимеры – 2024» (Москва, 2024).

Соответствие диссертации паспорту специальности. Выполненная диссертационная работа по цели и задачам, научной новизне, актуальности исследований, содержанию соответствует пунктам 2, 5, 9 паспорта специальности 1.4.7. Высокмолекулярные соединения.

Личный вклад автора являлся основополагающим на всех этапах выполнения работы и состоял в проведении синтеза полимерных материалов, подготовке образцов для исследований их свойств, проведении исследований, обобщении и систематизации полученных результатов, подготовке публикаций и докладов к научным конференциям.

Объем и структура диссертации. Диссертационная работа изложена на 192 страницах, состоит из введения, 3 глав, заключения, списка используемой литературы (356 наименований), 3 приложений, включает 14 таблиц и 47 рисунков.

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках государственного задания (базовая часть 0729–2020-0053, FSWR-2023-0024, FSWR-2026-0006) и программы «Приоритет-2030».

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во «**Введении**» содержится обоснование актуальности проблемы исследования, сформулированы основные цели и задачи, определены научная новизна и практическая значимость работы. В «**Литературном обзоре**» описываются способы получения новых материалов на основе природных полимеров приемами радикального инициирования, особенности природы белковых природных соединений и гидрогелевых материалов на их основе, включая получение и применение, а также гетерогенный фотокатализ как новое направление в синтезе полимерных материалов. В «**Экспериментальной части**» приводится описание исходных реагентов и растворителей, описаны методики получения и анализа основных и промежуточных материалов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В связи с поставленной целью – формирование трехмерных структур на основе ТК – выбрана стратегия радикальных реакций в дисперсной водной мономерно-полимерной среде с использованием гетерогенного фотокатализа в присутствии сложных оксидов металлов под действием видимого света как способа образования активных $\text{HO}\cdot$ -радикалов.

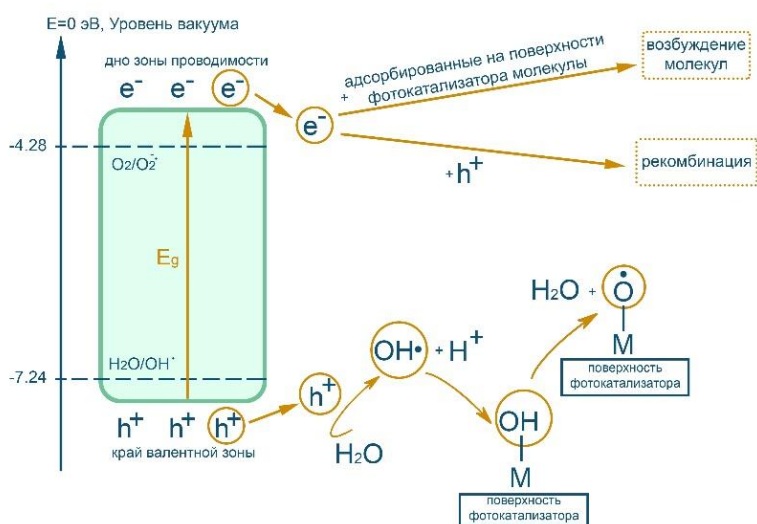


Рис. 1. Схема превращений при фотокатализе в водной дисперсии со сложными оксидами в атмосфере инертного газа

В атмосфере инертного газа облучение видимым светом сложного оксида при контакте с водой приводит к образованию электронодырочных пар, которые могут приводить к ряду превращений на рис. 1. Взаимодействие образующегося активного HO•-радикала с атомами водорода гидроксильных и углеводородных групп органического субстрата приводит к образованию соответствующего радикала

субстрата, значительно более стабильного, чем HO•-радикал, способного к радикальным превращениям: рекомбинации, присоединению к кратной связи и т.п.

К началу экспериментальных исследований образования привитых сополимеров MMA на ТК в условиях гетерогенного фотокатализа образование HO•-радикала было подтверждено в реакционной системе с использованием поглотителей радикалов в случае оксида $RbTe_{1.5}W_{0.5}O_6$, исследованного в представленной работе. В дисперсии воды, ТК, MMA (объемное соотношение 70:5:25) и катализатора (соотношение эмульсия:катализатор = 100:1) при облучении с использованием светодиодной лампы видимого света (LED, 30 Вт) в течение 5 ч при комнатной температуре при постоянном перемешивании происходит прививка MMA на коллаген с образованием сополимера ТК-ПММА.

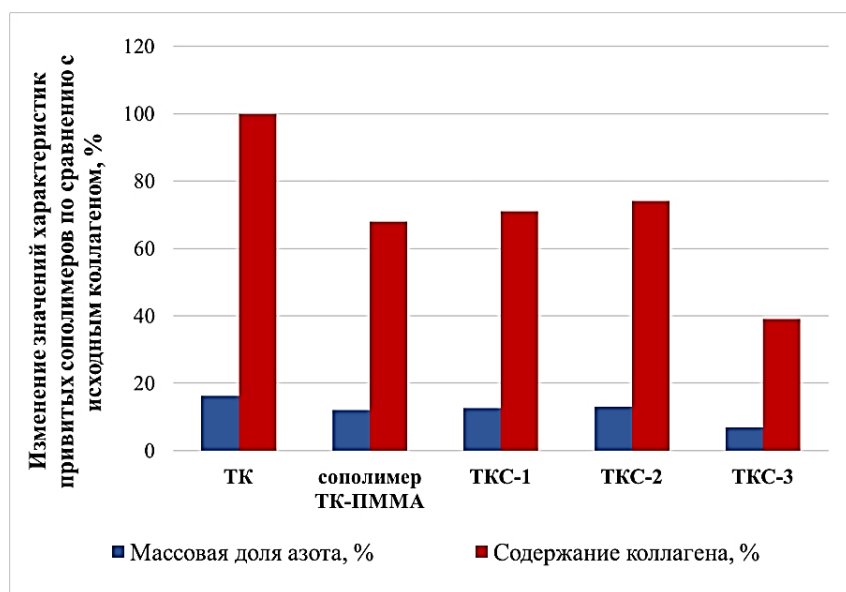


Рис. 2. Содержание азота и коллагена в образцах по данным элементного анализа

После отделения катализатора в водной фазе идентифицировали сополимер по уменьшению содержания азота (рис. 2), увеличению молекулярной массы (ММ) (M_w с 240 до 270 кДа), заметно изменившейся морфологии лиофильно высушенного образца (рис. 3, а, б) и ИК-спектру, содержащему все полосы, характерные для ТК и ПММА по отдельности.

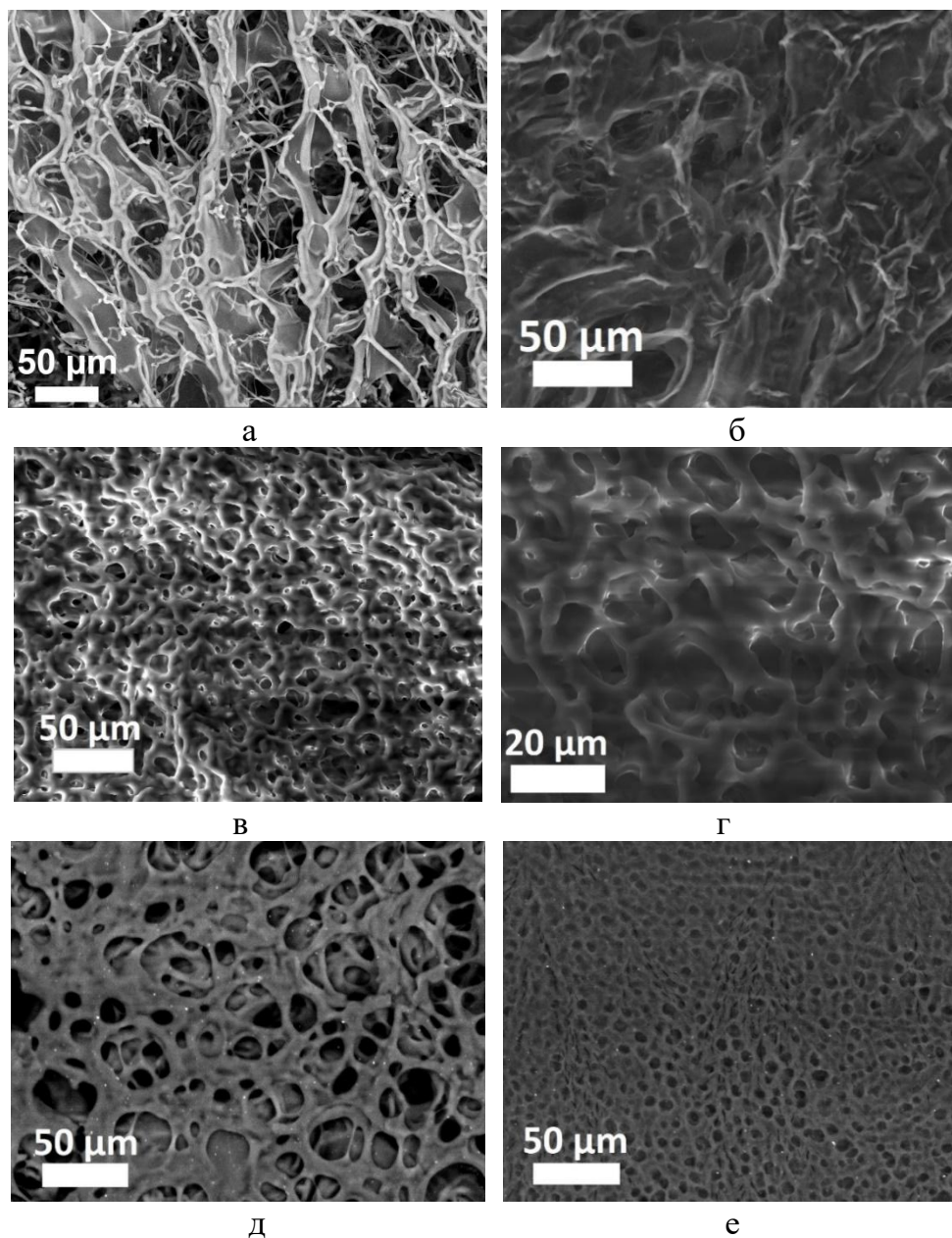
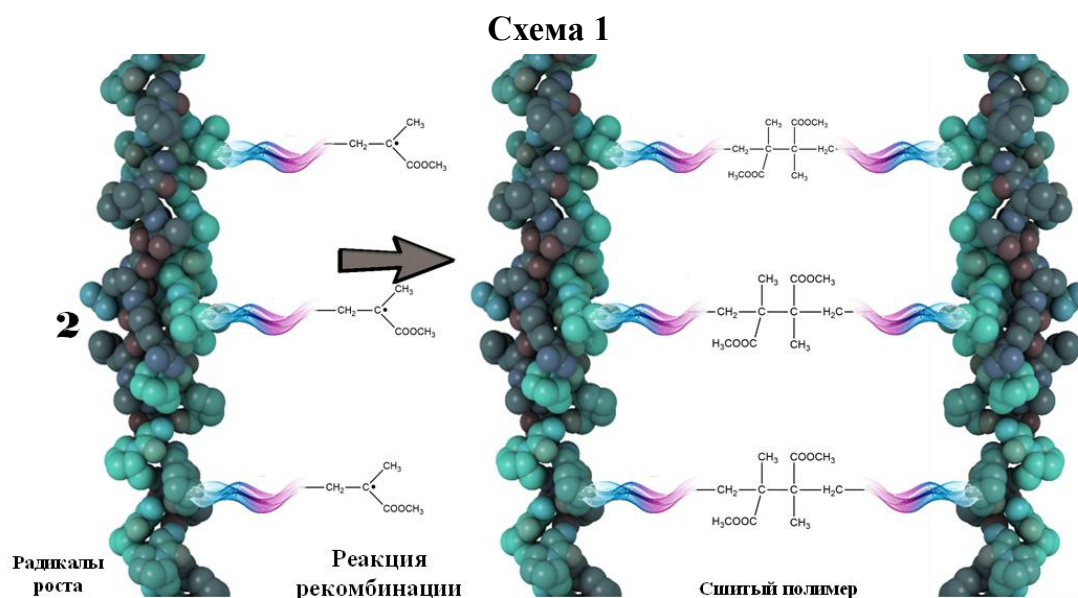
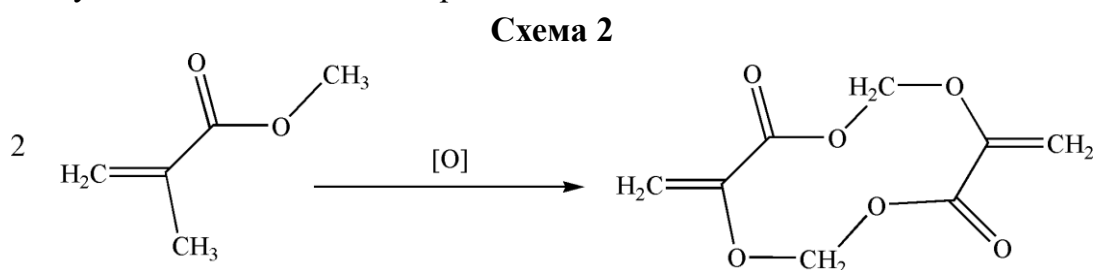


Рис. 3. Изображения СЭМ лиофильно высушенных губок ТК (а), сополимеров ТК–ПММА (б), ТКС-1 (в, г), ТКС-2 (д), ТКС-3 (е)

Очевидно, что наряду с трехмерными макромолекулами сшитой структуры за счет димеризации радикалов, представляющими особый интерес в данной работе (схема 1), образуются фрагменты разветвленного сополимера по реакции передачи цепи и диспропорционирования. В аналогичных описанным условиях вместо ТК был исследован его денатурированный аналог - ТЖ. Привитой сополимер ТЖ-ПММА по характеристикам: содержание азота, ММ, морфология лиофильно высушенного образца мало отличался от сополимера ТК-ПММА.



Для сравнения в условиях, аналогичных синтезу сополимера ТК-ПММА, проведена полимеризация MMA в водной дисперсии с порошком сложного оксида. После экстракции водной фазы хлороформом выделили полимер (5–10%) с $M_w=310-315$ кДа. Методами МАЛДИ и ЯМР продукта, смытого с порошка оксида и выделенного из органической фазы (в спектре ^1H синглеты при 4.69 м.д. ($-\text{OCH}_2\text{OC}(\text{O})-$) и 8.10 м.д. ($\text{H}_2\text{C}=\text{C}$) с соотношением интенсивностей 1:1, в спектре ^{13}C сигналы 62.7 м.д. ($-\text{OCH}_2\text{O}-$), 129.7 м.д. ($\text{H}_2\text{C}=\text{C}$), 133.8 м.д. ($\text{C}=\text{CH}_2$) и 165.3 м.д. ($-\text{C}(\text{O})\text{O}-$) относятся к продукту окисления MMA (ОММА)), доказано существование реакции окисления мономера в указанных условиях по схеме 2 с образованием ОММА.



В последующих исследованиях сополимер ТК-ПММА стал основой для получения устойчивых трехмерных 3D-структур, предназначенных для использования в раневых покрытиях и скаффолдах. В этом случае важное значение имеет скорость разрушения материала под действием протеолитических ферментов организма. Результаты исследований об особенностях гидролиза ТК в присутствии разных протеолитических ферментов (панкреатин, тромбин, трипсин при разном фермент-субстратном соотношении) и сополимеров на основе ТК показали, что привитые к макромолекуле коллагена синтетические фрагменты не препятствуют гидролизу, но изменяют скорость деструкции полимеров - разрушение происходит значительно медленнее, чем исходного ТК: в присутствии панкреатина ТК распадается в течение нескольких минут преимущественно до пептидов с $MM \sim 10$ кДа (рис. 4, а, в), в случае сополимера ТК-ПММА гидролиз проходит значительно медленнее (рис. 4, б, г), соотношение фракций с $MM \sim 10$ кДа и 20 кДа различается значительно меньше и их

изменения проходят симбатно, а содержание полимера с ММ более 20 кДа через час после начала процесса составляет ~70% (рис. 4, г). За 3 суток снижается содержания полимера с ММ более 20 кДа практически до нулевых значений и уменьшении ММ до 20 кДа и 10 кДа.

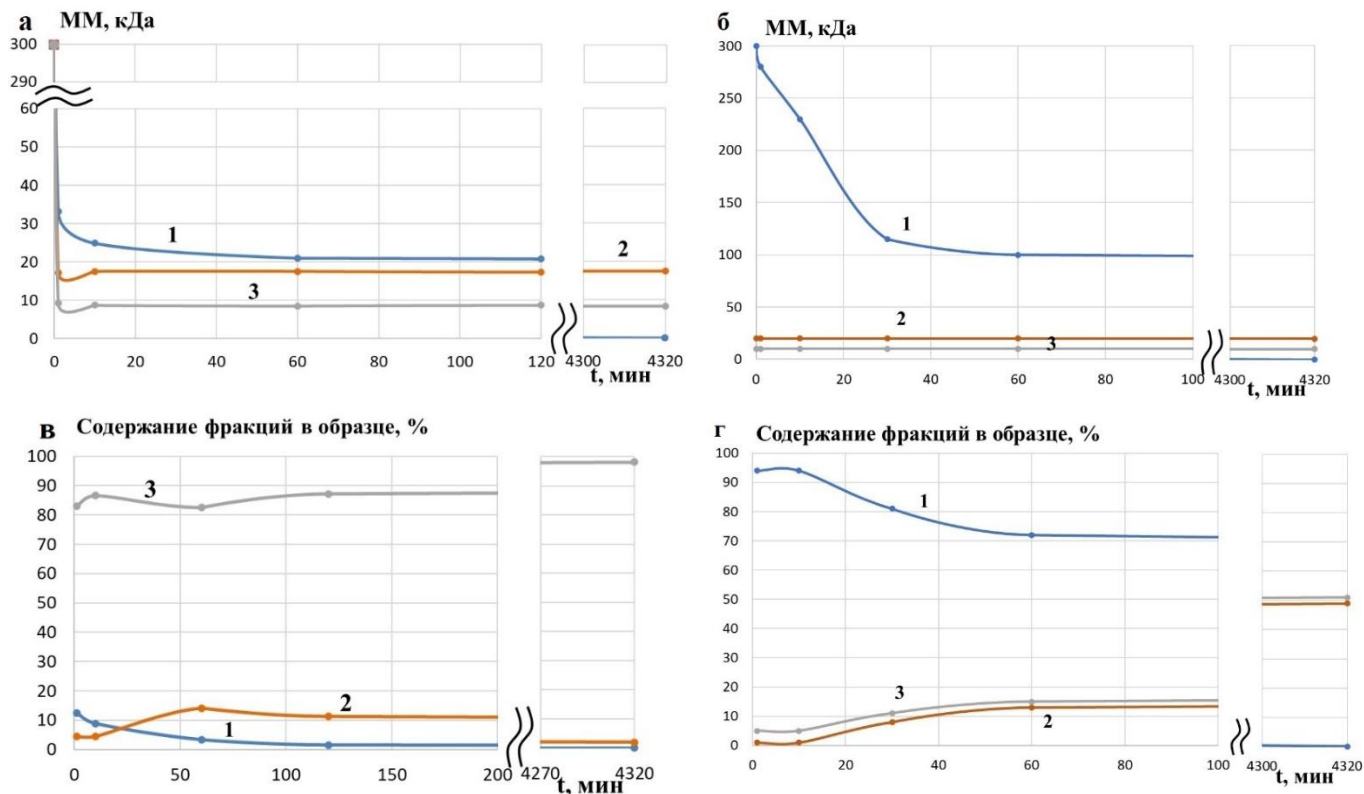


Рис. 4. Изменение молекулярно-массовых характеристик разных фракций при гидролизе раствора ТК (а, в) и сополимера ТК–ПММА (б, г) панкреатином в течение 3-х суток: 1 – Фракция с ММ выше 20 кДа; 2 – Фракция с ММ ~20 кДа; 3 – Фракция с ММ~10 кДа

Для получения устойчивых гидрогелей были использованы следующие известные подходы:

- Дополнение состава исходной реакционной смеси сшивающим агентом для акрилатных фрагментов - ТГМ-3 и АК для образования дополнительной к известной естественной для белков ионной «сшивки» в композите после нейтрализации конечного продукта;
- Введение в состав исходной смеси ПЭГ - модификатора свойств белковых субстратов;
- Дополнение исходного состава известным сшивающим агентом для белков – ГА.

Образование поперечных сшивок за счет реакций с ТГМ-3 и АК представлено на схемах 3, 4.

Схема 3

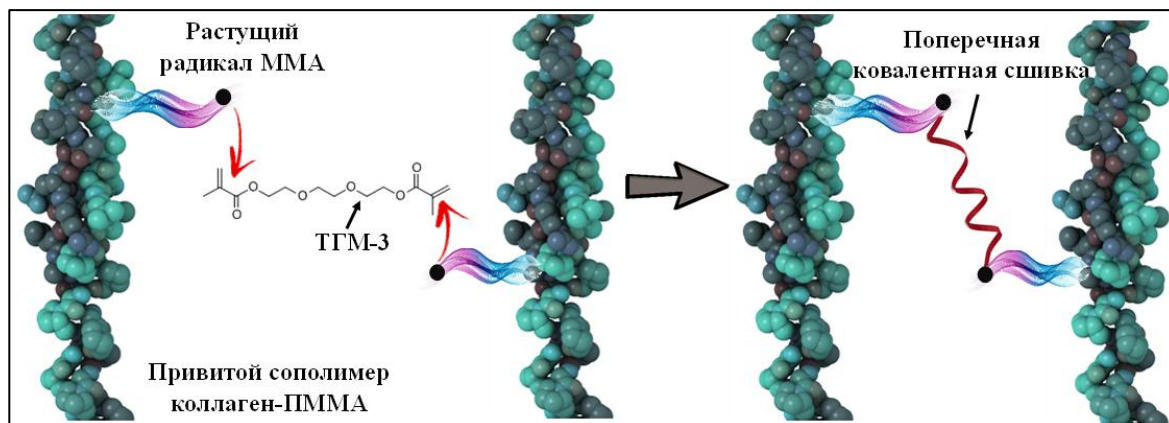


Схема 4

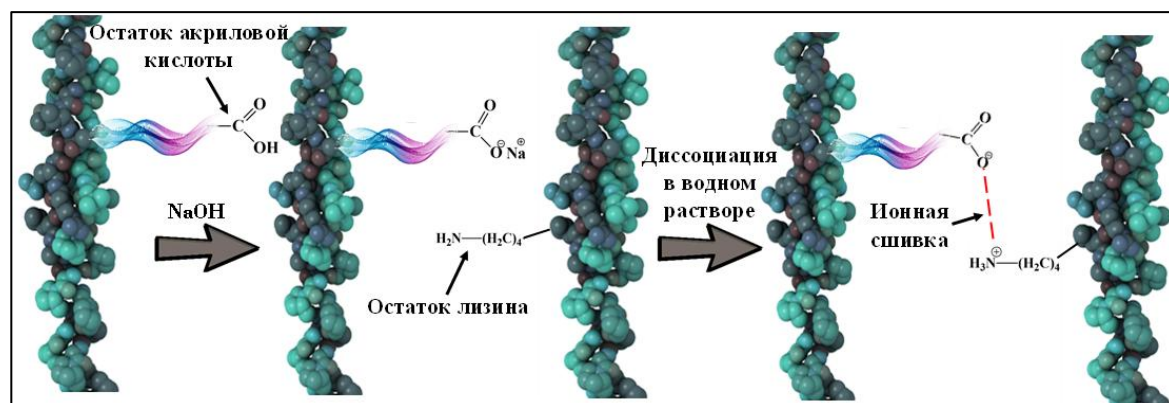


Схема 5

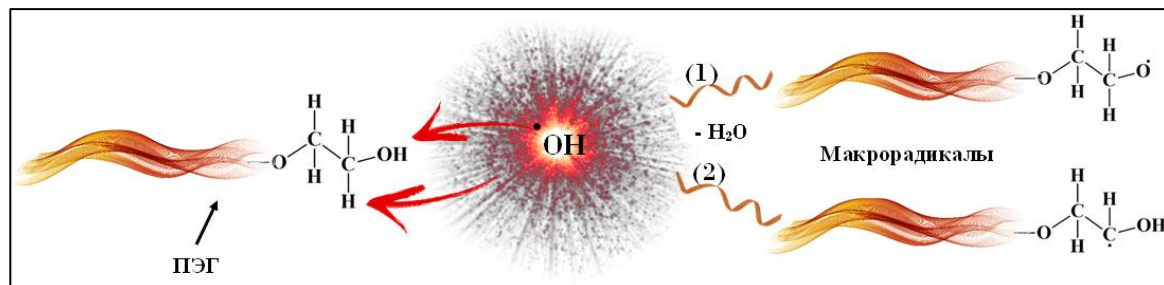
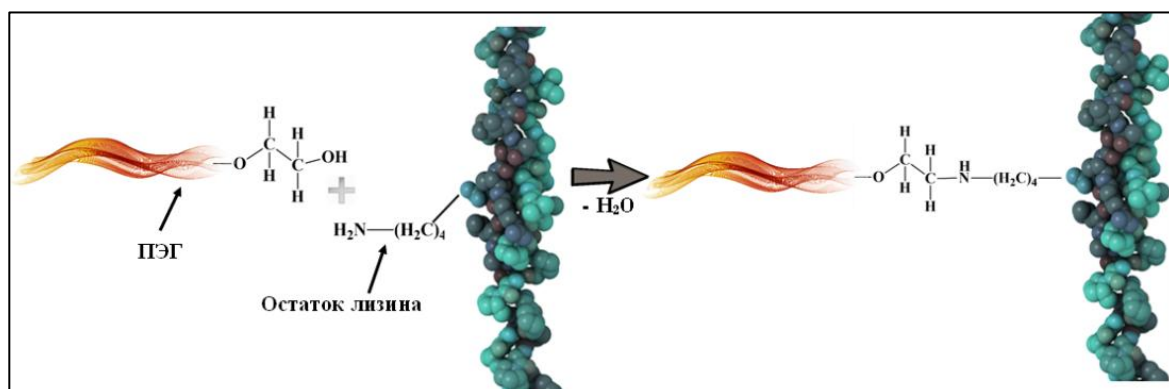


Схема 6



При введении в исходную дисперсию ТГМ-3 и АК (в соотношении MMA:ТГМ-3:АК=1:0,01:1), водная фаза в конце синтеза представляет собой так же, как и в случае сополимера ТК-PMMA, устойчивый однородный раствор белого цвета (образец ТКС-1) (рис. 5, а).

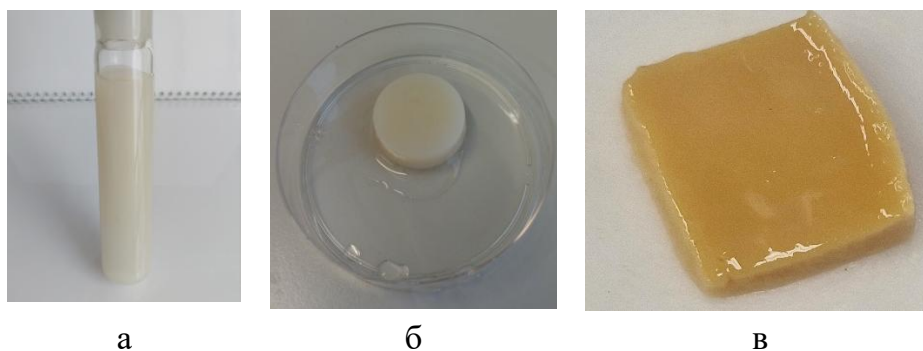


Рис. 5. Фотографии раствора ТКС-1 (а), геля ТКС-3 (б), ТКС-Г (в)

В ТКС-1 содержание азота близко к таковому, как и содержание коллагена, для сополимера без сшивающих добавок (рис. 2), на изображениях СЭМ видно, что за счет дополнительной сшивки при нейтрализации раствора полимера и с помощью ТГМ-3 образовалась матрица с мелкой ячеистой структурой (рис. 3, в, г). Увеличение ТК в реакционной смеси в 2 раза в сравнении с ТКС-1 привело к незначительному увеличению содержания азота и соответствующему уменьшению содержания синтетического фрагмента в полимере (образец ТКС-2). Сравнение изображений СЭМ образцов ТКС-2 (рис. 3, д) с образцом ТКС-1 (рис. 3, в, г) показывает, что в этом случае морфология матриц очень похожа. Можно отметить большой разброс размеров ячеек.

Гидрогель после нейтрализации водной дисперсии по окончании синтеза коагулировал в случае, когда в смесь ввели ПЭГ (ММ 4000/6000) в количестве, сопоставимом с концентрацией ТК (образец ТКС-3), видимо, за счет его взаимодействия в процессе синтеза так же, как и в случае коллагена, с $\text{HO}\cdot$ -радикалом за счет отрыва атома водорода от гидроксильной или углеводородной части молекулы ПЭГ (схема 5), а также дополнительных сшивок за счет известного ковалентного взаимодействия ПЭГ с фрагментами аминокислот, например, лизина (схема 6). В образце ТКС-3 наблюдается заметное уменьшение содержания азота и, соответственно, коллагена в гидрогеле в сравнении с ранее приведенными образцами (рис. 2). Сравнение изображений СЭМ образцов ТКС-3 (рис. 3, е) с ранее описанными образцами ТКС-1 и ТКС-2 (рис. 3, в-д) показывает, что наблюдается в основном матрица с мелкой ячеистой структурой. При ферментативном разрушении ТКС-3 наблюдается еще более медленное изменение ММ высокомолекулярной фракции и после 3-х суток гидролиза ее содержание остается около 10% с уменьшением ММ (с 300 кДа до ~50 кДа). Кроме того, после 60 минут гидролиза появляется фракция с ММ~40 кДа, которая сохраняется и после 3-х суток наблюдения. При этом на фракции с ММ ~20 кДа и 10 кДа приходится 30 и 40%, соответственно, от общего содержания всех фракций в образце, что меньше, чем в случае разрушения ТК и сополимера ТК–ПММА.

Гидрогель ТКС-3 при выдерживании при комнатной температуре теряет свою форму. Введение в состав смеси незначительных количеств ГА, являющегося эффективным сшивающим агентом для белков, приводит к образованию структурно-устойчивого гидрогеля (образец ТКС-Г). Такой гидрогель сохраняет форму при

длительном хранении и восстанавливает ее при размещении в водном растворе (рис. 5, в).

В условиях, аналогичных процессу в присутствии сложного оксида $\text{RbTe}_{1.5}\text{W}_{0.5}\text{O}_6$, получены продукты взаимодействия MMA и ТК в вводной дисперсии в присутствии фотокатализаторов - сложных оксидов разной природы: CsTeMoO_6 , RbNbTeO_6 , CsNbTeO_6 , NaVMoO_6 , KVMoO_6 , $\text{CsV}_{0.625}\text{Te}_{1.375}\text{O}_6$, $\text{CsNi}_{0.25}\text{W}_{1.75}\text{O}_6$, $\text{CsMn}_{0.25}\text{W}_{1.75}\text{O}_6$, $\text{CsCo}_{0.25}\text{W}_{1.75}\text{O}_6$, $\text{CsCu}_{0.25}\text{W}_{1.75}\text{O}_6$, Bi_2WO_6 , Bi_2MoO_6 . Ранее экспериментально доказано, что соединения могут генерировать $\text{HO}\cdot$ -радикалы при облучении видимым светом водной дисперсии всех соединений. Заметные изменения содержания азота в образцах в сравнении с исходным коллагеном имеют место только в случае четырех оксидов: NaVMoO_6 , KVMoO_6 , $\text{CsV}_{0.625}\text{Te}_{1.375}\text{O}_6$, CsTeMoO_6 , хотя значительно меньшем, чем для оксида $\text{RbTe}_{1.5}\text{W}_{0.5}\text{O}_6$, т.е. образование сополимера ТК-ПММА в заметных количествах проходит только в случае указанных сложных оксидов. Наряду с этим следует отметить, что при выбранном соотношении компонентов в реакционной смеси наблюдается и образование следовых количеств гомополимера MMA.

В данной работе проведен цикл исследований по повторному использованию фотокатализатора $\text{RbTe}_{1.5}\text{W}_{0.5}\text{O}_6$ после процесса полимеризации. С целью более глубокого анализа поверхности сложного оксида $\text{RbTe}_{1.5}\text{W}_{0.5}\text{O}_6$ и изучения адсорбции органических субстратов при фотокатализе в гетерогенной смеси $\text{RbTe}_{1.5}\text{W}_{0.5}\text{O}_6$ и MMA в воде при облучении видимым светом при температуре 20-25⁰С использовали методы СЭМ и РФЭС, которые позволяют качественно и количественно определить химический состав соединений на приповерхностном слое толщиной 1-2 нм. Анализ сложного оксида после полимеризации только MMA в воде методом СЭМ показал присутствие на поверхности значительного количества волокон и частиц полимера. Исследование поверхности после промывания в ТГФ и CHCl_3 также показало наличие полимера. Однако после очистки в воде с помощью ультразвука волокна полимера не идентифицировались методом СЭМ. Тем не менее, этот порошок при повторном использовании также показал падение его эффективности (конверсия MMA менее 5% по сравнению с 5-10% со свежим порошком).

Более глубокое исследование поверхности $\text{RbTe}_{1.5}\text{W}_{0.5}\text{O}_6$ методом РФЭС показало, что на поверхности образца порошка, отмытого в ультразвуке, присутствует химически адсорбированный MMA и его олигомеры. После промывания в кипящем CHCl_3 поверхностный слой адсорбированного MMA заметно окисляется. После промывания в ТГФ избыток ТГФ адсорбируется на поверхности катализатора с открытием кольца⁴. Исследование состава образцов катализатора по глубине при ионном профилировании показывает, что уже после 2-4 нм адсорбированные мономеры и олигомеры в линии C 1s отсутствуют. Для регенерации фотокатализатора и удаления органических молекул с поверхности использовали обжиг его при температуре 300-400⁰С после ультразвуковой обработки.

⁴ S. Park, et al. *ACS Omega*. 5(36), 22926 – 22930 (2020).

Исследование поверхности других порошков после синтезов с ТК методом СЭМ показало, что в случае ряда оксидов хорошо видны частицы катализатора (рис. 6, б, г) или полимерные волокна (рис. 6, б). В случае NaVMoO_6 , KVMoO_6 , $\text{CsNi}_{0.25}\text{W}_{1.75}\text{O}_6$, $\text{CsMn}_{0.25}\text{W}_{1.75}\text{O}_6$, $\text{CsCo}_{0.25}\text{W}_{1.75}\text{O}_6$, $\text{CsCu}_{0.25}\text{W}_{1.75}\text{O}_6$ поверхность покрыта слоем органического полимера (рис. 6, а, в, на примере NaVMoO_6 и KVMoO_6).

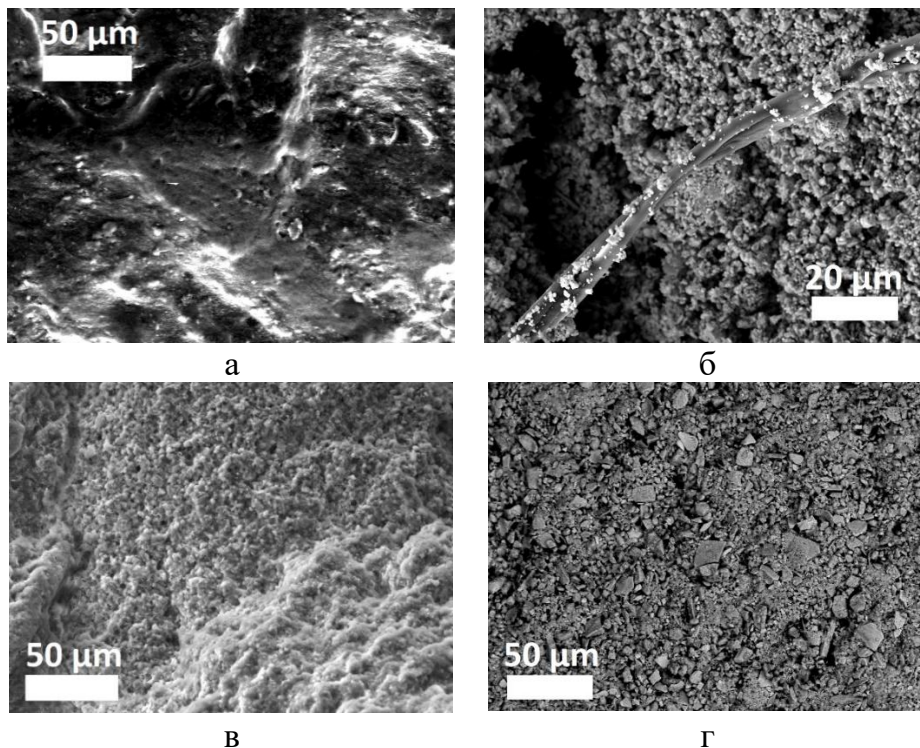


Рис. 6. Изображения СЭМ поверхности катализаторов после фотокатализа с ТК NaVMoO_6 (а), CsTeMoO_6 (б), KVMoO_6 (в), $\text{CsV}_{0.625}\text{Te}_{1.375}\text{O}_6$ (г)

Это подтверждается картами распределения элементов по данным РМА поверхности катализаторов на примере KVMoO_6 (рис. 7), которые демонстрируют равномерное распределение углерода на поверхности, около 50%.



Рис. 7. Карта распределения элементов для изображения СЭМ поверхности катализатора KVMoO_6 после синтеза с коллагеном

В серии экспериментов по фотокатализу с участием сложных оксидов Bi_2WO_6 , Bi_2MoO_6 , $\text{CsV}_{0.625}\text{Te}_{1.375}\text{O}_6$, KVMoO_6 и NaVMoO_6 в тех же условиях, что и ранее, но без введения коллагена в реакционную смесь, была предпринята попытка получить только полимер ОММА (ПОММА). В случае фотокатализа дисперсий с Bi_2WO_6 и Bi_2MoO_6 был

выделен полимер (менее 1% конверсии) с молекулярной массой $M_n=620$ кДа и 900 кДа и $M_w/M_n = 3,4$ и 2,6, соответственно. В остальных случаях было выделено небольшое количество полимеров, что не позволило провести ГПХ анализ. Состав полимеров, высаженных из органической фазы синтеза, и смытых с порошков фотокатализаторов был проанализирован методом ЯМР (см. табл. 1).

Таблица 1. Результаты ЯМР анализа полимеров

№	Катализатор	Содержание компонентов, масс. %		
		ПММА	ПОММА	ОММА
1	$CsV_{0.625}Te_{1.375}O_6^*$	62	38	-
2	$CsV_{0.625}Te_{1.375}O_6^{**}$	-	18	82
3	$KVMoO_6^*$	76	24	-
4	$NaVMoO_6^*$	91	9	-
5	$NaVMoO_6^{**}$	-	10	90
6	$Bi_2WO_6^*$	100	-	-
7	$Bi_2WO_6^{**}$	43	42	15
8	$Bi_2MoO_6^*$	78	22	-
9	$Bi_2MoO_6^{**}$	-	16	84
10	$Bi_2MoO_6^*$ (гексан)	-	100	-
11	$Bi_2MoO_6^{**}$ (гексан)	-	67	33

*полимер из органической фазы

** полимер, отмытый с катализатора хлороформом в Сокслете

Для полимеров в спектре ЯМР 1H наблюдали сигналы: синглеты при 4.69 и 8.10 м.д. с соотношением интенсивностей 1:1, которые относятся к ОММА (схема 2) и сигналы в области 0.95-2.50 м.д. и 3.65 м.д., которые относятся к ПММА, сигналы в области 1.22-1.42 м.д., 3.57-3.72 и 4.32 м.д., которые относятся к полимеру ОММА. Из табл. следует, что в некоторых случаях имеет место образование ПММА и ПОММА, в других случаях образуется мономер и полимер ОММА. В случае

Bi_2WO_6 в органической фазе образуется только ПММА. Интересно, что добавление гексана, растворителя ММА, осадителя ПММА и, видимо, ОММА и ПОММА, в реакционную смесь ММА с водой и Bi_2MoO_6 привело к тому, что в органической фазе образовался только ПОММА. Хотелось бы еще раз обратить внимание на тот факт, что в присутствии ряда сложных оксидов прививка ММА на ТК практически не имела места, хотя $HO\cdot$ -радикал эти соединения могут генерировать. Вероятнее всего, это связано с заметной адсорбцией ММА на поверхности катализатора при фотокатализе, параллельно протекающим окислением ММА до ОММА и последующей полимеризацией мономеров. Образовавшийся полимер удерживается на катализаторе за счет двойных связей мономера и вакантных орбиталей металла.

На основании всех результатов можно схематически представить реакции в дисперсии катализатора с мономером, в том числе в присутствии природного полимера, следующим образом (рис. 8).

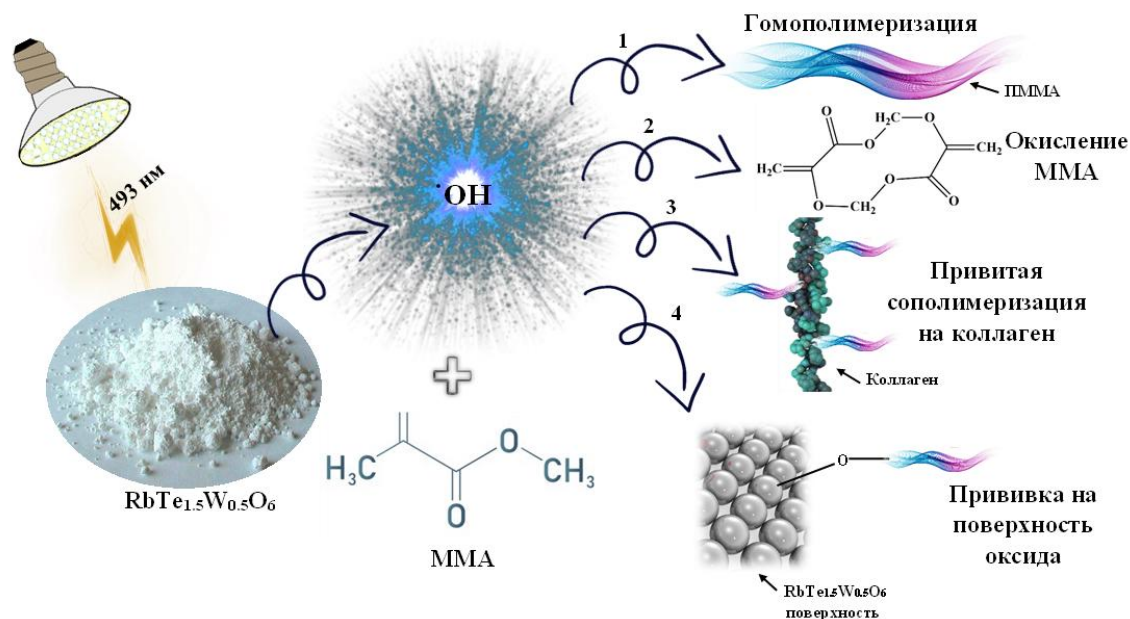


Рис. 8. Схема различных направлений взаимодействия образованных радикалов с субстратом

Одним из ключевых свойств гидрогелей, обеспечивающих их уникальные свойства в качестве матриц-носителей клеток в регенеративной медицине, является их способность удерживать большое количество воды. Это позволяет обеспечить поддержание условий среды, способствующей клеточному росту, дифференциации и регенерации тканей. Не менее важна способность «сухих» матриц в водной фазе активно поглощать воду и сохранять структурную устойчивость образовавшегося геля. Такое свойство способно обеспечить впитывание экссудата в ране при использовании матрицы в качестве раневого покрытия. Результаты испытаний образцов ТКС-Г на структурную устойчивость показали, что в течение 30 мин центрифугирования они выдерживали нагрузку при значениях рН 6,8 и 7,2. Кроме того, было установлено, что влагопоглощение образцов происходит во времени. За первую минуту образцы ТКС-Г поглощают воду в 2 раза больше, чем собственная масса, а за трое суток масса воды превосходит исходную массу ТКС-Г практически в 9 раз.

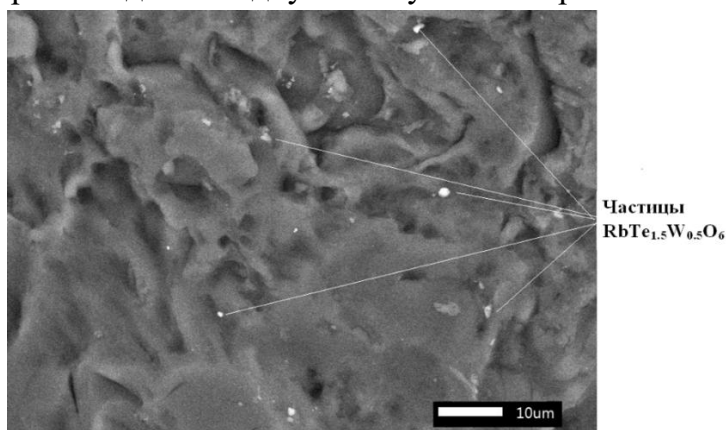


Рис. 9. Изображение СЭМ высушенной пленки сополимера коллаген–ПММА.

Исследования пленок сополимеров ТК–ПММА, ТКС-3, ТКС-Г на грибостойкость по ГОСТ-9.049-91 показали, что все образцы грибостойки (0 баллов - под микроскопом прорастания спор и конидий не обнаружено), благодаря присутствию на поверхности частиц $\text{RbTe}_{1.5}\text{W}_{0.5}\text{O}_6$ размером ≤ 2 нм, которые выполняют функции противогрибковой добавки.

Анализ на цитотоксичность по методике МТТ-теста (ГОСТ Р ИСО 10993-5-2009) для образцов ТКС-Г, ТКС-З, а также продукта ферментативного разрушения образца ТКС-З – образец ТКС-Ф, показал, что цитотоксичность экстрактов образцов если и наблюдается в ряде примеров, то нивелируется при увеличении разведений экстрактов. Кроме того, снижение жизнеспособности клеток при больших концентрациях экстракта может быть связано не с выделением цитотоксичных веществ из геля, а снижением количества специфических компонентов полной культуральной среды, используемой для получения экстрактов, за счет известной адсорбции белков среды компонентом геля. Разведение экстракта приводило к стимулирующему эффекту веществ, входящих в его состав, т.е. усилению пролиферативной активности клеток. Так, в случае ТКС-Г при проведении микроскопического исследования культура ДФЧ под действием экстракта в разведениях 1:1-1:8 представляла собой конфлюэнтный монослой, сформированный веретеновидными клетками, плотно прилегающими друг к другу, который соответствовал таковому в контроле (рис. 10).

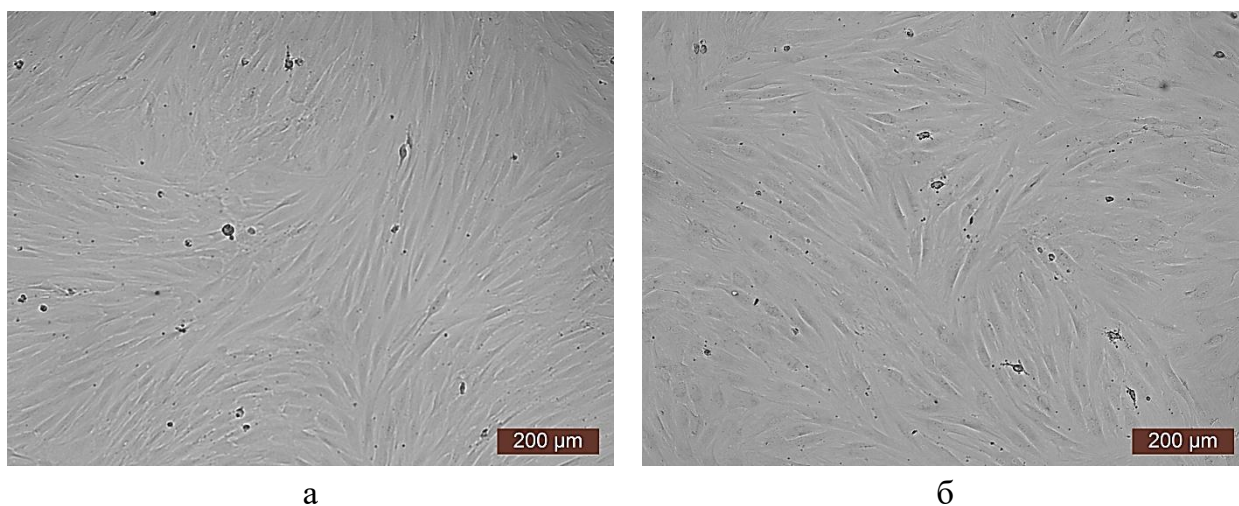


Рис. 10. Репрезентативные фотографии состояния культуры клеток после культивирования с экстрактом образца ТКС-Г (24 часа культивирования, увеличение 100х): контроль (а), экстракт 1:2 образца ТКС-Г (б)

Данные МТТ-теста экстракта образца ТКС-Ф и все его разведения не проявляли цитотоксичности. Последнее позволяет допустить, что разрушение гидрогеля в случае его использования на раневой поверхности, не приводит к выделению токсичных осколков гидрогеля.

Испытания ранозаживления на крысах⁵ с использованием нового покрытия на основе гидрогеля ТКС-Г (рис. 11) показали значительно более высокую эффективность в сравнении с коммерческим образцом на основе бычьего коллагена.

⁵Эксперимент на животных был проведен с соблюдением принципов гуманности, согласно директивам Европейского сообщества (№86/609/ЕЕС, Страсбург, 1986) и соответствовал Хельсинской декларации (2000).



Рис. 11. Фотография гидрогеля ТКС-Г в виде пластины-губки

На 28 сутки эксперимента зона ожога у крыс опытной группы была представлена соединительно-тканными рубцами и местами напоминала неповрежденную кожу, начал восстанавливаться шерстный покров, что свидетельствует о практически полном завершении регенераторных процессов под влиянием исследуемого покрытия (рис. 12, в). У крыс контрольных групп регенерация ожога была еще не завершена на 28-е сутки (рис. 12, а, б). Исследования полимерных материалов на основе ТК на модели термического ожога могут быть использованы при разработке стратегии лечения не только ожогов, но и

трофических язв, а также могут быть использованы в реабилитации, экстремальной военной и спортивной медицине.

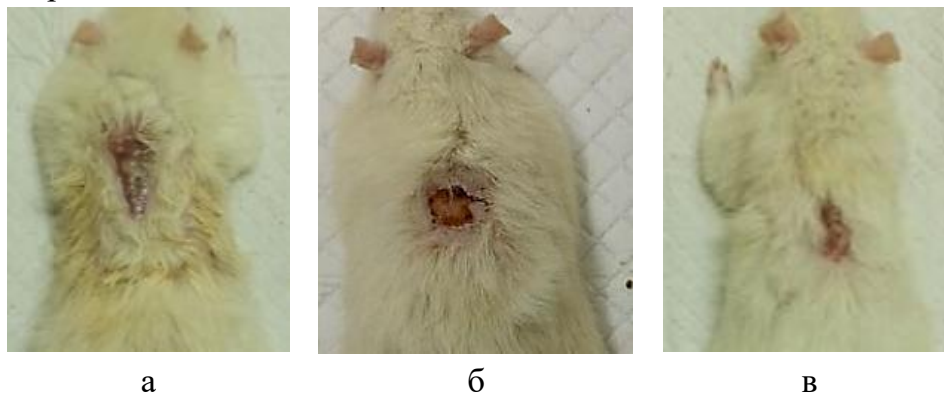


Рис. 12. Регенерация кожных покровов на 28 сутки после ожога: контроль 1 (ожог без лечения) (а), контроль 2 (коммерческое покрытие) (б), опыт 1 (гидрогель ТКС-Г) (в)

Заключение

Разработка ранозаживляющих гелей на основе биосовместимых и биodeградируемых природных полимеров является одним из приоритетных направлений развития совместных исследований специалистов химии и биологии. Это связано с проблемой качественного лечения ран разной этиологии. В настоящее время востребованность материалов, имеющих в первую очередь высокий регенеративный потенциал, крайне высокая в силу недостатка таких материалов, одновременно активно проходит замена ассортимента традиционных перевязочных материалов (бинты, марлевые повязки и т.п.) на гидрогелевые с широкой областью действия. Раневые покрытия для заживления ран любой этиологии (гидрогели на основе натуральных полимеров) имеют ряд неоспоримых достоинств: биосовместимость, биоразлагаемость, регенерирующие и противовоспалительные свойства и т.д. Основная цель работы – получение биосовместимых, биоразлагаемых гидрогелей трехмерной структуры на основе трескового коллагена, синтезированных с использованием гетерогенного фотокатализа в присутствии сложных оксидов металлов под действием видимого света как инструмента радикального инициирования достигнута. Результаты, полученные в процессе выполнения работы, имеют важное

теоретическое значение, т.к. 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 пригодных для использования в раневых покрытиях и скаффолд-технологиях 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». Прикладное общественное значение состоит в том, что на основании нового подхода создания трехмерных полимерных структур получены гидрогели, которые после проведения клинических испытаний могут найти широкое применение как ранозаживляющие покрытия и скаффолды для заживления ран разной этиологии. На основании проведенных исследований можно сделать следующие **выводы**:

1. Подобраны условия получения привитого сополимера коллаген–ПММА в условиях 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;
2. Показано, что желатин в реакциях привитой полимеризации в водной дисперсии со сложным оксидом $RbTe_{1.5}W_{0.5}O_6$ в условиях фотокатализа при облучении видимым светом мало отличается от коллагена;
3. Выявлены побочные реакции, протекающие в водной дисперсии ММА и ТК. Показано, что 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;
4. Исследован процесс ферментативного разрушения ТК и его сополимеров, который свидетельствует о замедлении гидролиза при введении в структуру материала синтетических фрагментов;
5. Изучена поверхность сложного оксида $RbTe_{1.5}W_{0.5}O_6$ после катализа полимеризации и определены условия его регенерации;
6. Предварительные испытания гидрогелей на основе ТК, полученных в условиях фотокатализа при облучении видимым светом $RbTe_{1.5}W_{0.5}O_6$, проявляют свойства грибостойкости, хорошей биосовместимости (по данным МТТ-теста разбавления экстрактов нецитотоксичны), эффективны в репарации ожоговых ран, обладают хорошим влагопоглощением и устойчивостью.

Перспективы развития работы связаны с развитием исследований синтеза в одну стадию 3D-структур на основе ТК путем фотокатализа дисперсий в присутствии сложных оксидов с использованием в качестве модифицирующих добавок полисахаридов (пектина, хитозана и т.п.) для разработки новых материалов с биомиметическими свойствами для биотехнологии и медицины.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в рецензируемых научных журналах и изданиях, рекомендованных ВАК для размещения материалов диссертаций

1. Семенычева, Л.Л. Синтез графт-сополимера полиметилметакрилат–коллаген с использованием фотокатализатора – сложного оксида $\text{RbTe}_{1.5}\text{W}_{0.5}\text{O}_6$ / Л.Л. Семенычева, **В.О. Часова (Румянцева)**, Д.Г. Фукина, А.В. Корягин, Н.Б. Валетова, Е.В. Сулейманов // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2021. – № 7. – С. 15-23. [Semenycheva, L.L. Synthesis of polymethyl-methacrylate–collagen-graft copolymer using a complex oxide $\text{RbTe}_{1.5}\text{W}_{0.5}\text{O}_6$ photocatalyst / L.L. Semenycheva, **V.O. Chasova (Rumyantseva)**, D.G. Fukina, A.V. Koryagin, N.B. Valetova, E.V. Suleimanov // Polymer Science - Series D. – 2022. - V. 15. - № 1. - P. 110–117].
2. **Часова (Румянцева), В.О.** Влияние превращений метилметакрилата при фотокатализе в присутствии $\text{RbTe}_{1.5}\text{W}_{0.5}\text{O}_6$ на изменение поверхности сложного оксида / В.О. Часова (Румянцева), Д.Г. Фукина, А.В. Боряков, Е.В. Жижин, А.В. Королева, Л.Л. Семенычева, Е.В. Сулейманов // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2022. – Т. 12. – №2. –С. 208-221. [**Chasova (Rumyantseva), V.O.** The effect of methyl methacrylate transformations during photocatalysis in the presence of $\text{RbTe}_{1.5}\text{W}_{0.5}\text{O}_6$ on the change of the complex oxide surface / V. Chasova (Rumyantseva), D.G. Fukina, A.V. Boryakov, E.V. Zhizhin, E.V. Koroleva, L.L. Semenycheva, E.V. Suleimanov // Izvestiya vuzov-prikladnaya khimiya i biotekhnologiya. - 2022. - V. 12. - № 2. - P. 208-221].
3. Семенычева, Л.Л. Синтез биodeградируемых материалов медицинского назначения на основе привитых сополимеров акрилатов на коллаген, полученных в условиях фотокатализа / Л.Л. Семенычева, **В.О. Румянцева**, Д.Г. Фукина, Н.Б. Валетова, Е.В. Сулейманов // Клеи. Герметики. Технологии. - 2024. - №3. - С. 31-43. [Semenycheva, L.L. Synthesis of Biodegradable Medical Materials Based on Grafted Acrylate Copolymers on Collagen Obtained under Photocatalysis Conditions / L.L. Semenycheva, **V.O. Rumyantseva**, D.G. Fukina, N.B. Valetova, E.V. Suleimanov // Polymer Science, Series D. – 2024. – V. 17. – P. 615–625].
4. Семенычева, Л.Л. Некоторые характеристики матриц на основе сополимеров рыбного коллагена и акрилатов для регенеративной медицины, полученных в условиях фотокатализа видимым светом в присутствии оксида $\text{RbTe}_{1.5}\text{W}_{0.5}\text{O}_6$ / Л.Л. Семенычева, **В.О. Румянцева**, Н.Б. Валетова, М.Н. Егорихина, Е.В. Сулейманов // Известия академии наук. Серия химическая. – 2025. – Т. 74. – № 5. – С. 1333-1341. [Semenycheva, L.L. Some properties of matrices based on copolymers of fish collagen and acrylates designed for regenerative medicine and obtained under conditions of photocatalysis by visible light in the presence of $\text{RbTe}_{1.5}\text{W}_{0.5}\text{O}_6$ oxide / L.L. Semenycheva, **V.O. Rumyantseva**, N.B. Valetova, M.N. Egorikhina, E.V. Suleimanov // Russian Chemical Bulletin. – 2025. – V. 74. – P. 1333-1341].
5. Семенычева, Л.Л. Влияние природы сложных оксидов металлов на продукты фотокатализа реакций метилметакрилата и морского коллагена в водной дисперсии / Л.Л. Семенычева, Ю.А. Курский, **В.О. Румянцева**, Н.Б. Валетова, В.В. Продаевич, Д.Г. Фукина, А.С. Белоусов, А.В. Митин, Е.В. Сулейманов // Известия Академии наук.

Серия химическая. – 2025. – Т. 74. – № 10. – С. 3854–3862. [Semenycheva, L.L. Effect of complex metal oxides on the products of photocatalysis in reactions of methyl methacrylate and marine collagen in aqueous dispersion / L.L. Semenycheva, Y.A. Kursky, **V.O. Rumyantseva**, N.B. Valetova, V.V. Prodaevich, D.G. Fukina, A.S. Belousov, A.V. Mitin, E. V. Suleimanov // Russian Chemical Bulletin. – 2025. – V. 74. – P. 3854–3862].

Статьи в научных журналах и изданиях, рецензируемых WoS и Scopus

6. Semenycheva, L.L. Features of polymerization of methyl methacrylate using a photocatalyst–the complex oxide $\text{RbTe}_{1.5}\text{W}_{0.5}\text{O}_6$ / L.L. Semenycheva, **V.O. Chasova (Rumyantseva)**, Yu.O. Matkivskaya, D.G. Fukina, A.V. Koryagin, T.A. Belaya, A.O. Grigoreva, Yu.A. Kurskii, E.V. Suleimanov // Journal of inorganic and organometallic polymers and materials. - 2021. - V. 31. - № 8. - P. 3572–3583.

7. **Chasova (Rumyantseva), V.O.** Preparation of a composite material by graft copolymerization of methylmethacrylate and fish gelatin using a photocatalyst-complex oxide $\text{RbTe}_{1.5}\text{W}_{0.5}\text{O}_6$ / V.O. Chasova (Rumyantseva), D.G. Fukina, A.V. Koryagin // Key Engineering Materials. - 2021. - V. 899. - P. 332-336.

8. **Chasova (Rumyantseva), V.** Cod Gelatin as an Alternative to Cod Collagen in Hybrid Materials for Regenerative Medicine / V. Chasova (Rumyantseva), L. Semenycheva, M. Egorikhina, I. Charykova, D. Linkova, Yu. Rubtsova, D. Fukina, A. Koryagin, N. Valetova, E. Suleimanov // Macromolecular research. - 2022. - V. 30. - P. 212–221.

9. Semenycheva, L.L. Photocatalytic synthesis of materials for regenerative medicine using complex oxides with β -pyrochlore structure / L.L. Semenycheva, **V.O. Chasova (Rumyantseva)**, D.G. Fukina, A.V. Koryagin, A.S. Belousov, N.B. Valetova, E.V. Suleimanov // Life. - 2023. - V. 13. - № 2. - P. 352.

10. Semenycheva, L.L. New composite materials with cross-linked structures based on grafted copolymers of acrylates on cod collagen / L.L. Semenycheva, **V.O. Chasova (Rumyantseva)**, A.A. Sukhareva, D.G. Fukina, A.V. Koryagin, N.B. Valetova, O.N. Smirnova, E.V. Suleimanov // Applied Sciences. - 2023. - V. 13. - P. 5455.

11. **Rumyantseva, V.** Biocompatibility of New Hydrogels Based on a Copolymer of Fish Collagen and Methyl Methacrylate Obtained Using Heterogeneous Photocatalysis Under the Influence of Visible Light / V. Rumyantseva, L. Semenycheva, N. Valetova, M. Egorikhina, E. Farafontova, D. Linkova, E. Levicheva, D. Fukina, E. Suleimanov // Polymers – 2025. – V. 17. – №15. – 2002.

12. Soloveva, A. Evaluation of the Effectiveness and Safety of New Wound Coatings Based on Cod Collagen for Fast Healing of Burn Surfaces / A. Soloveva, L. Semenycheva, **V. Rumyantseva**, Y. Kuznetsova, V. Prodaevich, N. Valetova, P. Peretyagin, N. Didenko, K. Belyaeva, D. Fukina, M. Vedunova, E. Suleimanov // Polymers. – 2025. – V. 17. – № 23. – 3215.

Монография

13. Semenycheva, L.L. Synthesis of Composites Based on Natural and Synthetic Polymers as Precursors for Medical Materials in the Presence of β -Pyrochlore Oxides / L.L. Semenycheva, **V.O. Chasova (Rumyantseva)**, N.B. Valetova // Pyrochlore Oxides: Structure, Properties, and Potential in Photocatalytic Applications. Eds. D.G. Fukina,

A.S. Belousov, E.V. Suleimanov. Switzerland: Springer Nature Switzerland AG, 2024. – P. 147-189.

Патенты

14. Пат. RU 2777896 C1 Российская Федерация, A61L 2/00 (2022.02). Способ получения привитого сополимера метилметакрилата на коллаген / Е.В. Сулейманов, **В.О. Часова (Румянцева)**, Н.Б. Валетова, Л.Л. Семенычева, Д.Г. Фукина, А.В. Корягин, В.Ф. Смирнов, О.Н. Смирнова. Заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского» - № 2021131602, заявл. 28.10.2021, опубл. 11.08.2022. Бюл. 23.

15. Пат. RU 2810511 C1 Российская Федерация, C08H 1/06 (2023.08). Способ получения рыбного коллагенового гомогенизата / Е.В. Сулейманов, Л.Л. Семенычева, **В.О. Часова (Румянцева)**, Н.Б. Валетова, А.В. Корягин. Заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского» - № 2022132797, заявл. 14.12.2022, опубл. 27.12.2023. Бюл. №36.

Тезисы докладов

16. **Chasova (Rumyantseva), V.** Features of hydrolysis of marine collagen and fibrinogen proteins by thrombin / V. Chasova (Rumyantseva), L. Semenycheva, M. Egorikhina, N. Valetova, A. Mitin // Сборник тезисов международной конференции «Chemistry of Organoelement Compounds and Polymers 2019». - 2019. - С. 282.

17. **Часова (Румянцева), В.О.** Изменение молекулярно-массовых характеристик коллагена при ферментативном гидролизе панкреатином // XXII Всероссийская конференция молодых ученых-химиков. – 2019. – С. 203.

18. **Часова (Румянцева), В.О.** Ферментативный гидролиз коллагена – трескового и бычьего – как структурной единицы в процессе формирования скаффолдов / В.О. Часова (Румянцева), Л.Л. Семенычева, М.Н. Егорихина, А.В. Митин // Сборник тезисов XXX Российской молодежной научной конференции с международным участием «Проблемы теоретической и экспериментальной химии». – 2020. – С. 471.

19. **Часова (Румянцева), В.О.** Сравнение трескового желатина и коллагена как компонентов гибридных материалов для медицины / В.О. Часова (Румянцева), Л.Л. Семенычева, Д.Г. Фукина, М.Н. Егорихина // Сборник тезисов международной научной конференции "Современная химическая физика - на стыке физики, химии и биологии". – 2021. – С. 393-394.

20. **Часова (Румянцева), В.О.** Получение композиционного материала графт-сополимеризацией метилметакрилата и рыбного желатина с использованием фотокатализатора – сложного оксида $RbTe_{1.5}W_{0.5}O_6$ / В.О. Часова (Румянцева), Д.Г. Фукина, А.В. Корягин, Ю.О. Маткивская, Л.Л. Семенычева // Материалы XVII Международной научно-практической конференции «Новые полимерные композиционные материалы. Микитаевские чтения». – 2021. – С. 234.

21. **Часова (Румянцева), В.О.** Образование олигомеров при гидролизе рыбного коллагена и его сополимеров / В.О. Часова (Румянцева), Д.Г. Фукина, А.В. Корягин,

Л.Л. Семенычева // Сборник трудов XIX Международной конференции по химии и физикохимии олигомеров «Олигомеры-2022». - 2022. - С. 183.

22. **Chasova (Rumyantseva), V.O.** Creation of a composite material based on marine collagen and methyl methacrylate by photopolymerization in the presence of complex oxides CSTeMoO_6 and $\text{RbTe}_{1.5}\text{W}_{0.5}\text{O}_6$ / V.O. Chasova (Rumyantseva), D.G. Fukina, A.V. Koryagin, L.L. Semenycheva // Сборник тезисов международной конференции «Materials science of the future: research, development, scientific training (MSF'2022)». - 2022. - С. 57.

23. **Румянцева, В.О.** Синтез фибриллярных гелей на основе природных и синтетических полимеров путем фотокатализа видимым светом / В.О. Румянцева, Л.Л. Семенычева, Д.Г. Фукина, Н.Б. Валетова, Е.В. Сулейманов // Материалы девятой всероссийской Каргинской конференции «Полимеры – 2024». – 2024. - С.221.

24. **Румянцева, В.О.** Оригинальные медицинские материалы на основе привитых сополимеров акрилатов на коллаген, полученные с использованием окислительно-восстановительных инициаторов / В.О. Румянцева, Л.Л. Семенычева, Н.Б. Валетова, Е.В. Сулейманов // Сборник трудов XX международной конференции по химии и физикохимии олигомеров «Олигомеры 2024». – 2024. - С. 150.

25. **Румянцева, В.О.** Гетерогенный фотокатализ взаимодействия метилметакрилата и коллагена в присутствии сложных оксидов разной природы / В.О. Румянцева, Ю.А. Курский // Сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции «Приоритетные направления научных исследований. анализ, управление, перспективы». – 2025. – С.121-124.

Подписано в печать _ ._.2026 г. Формат 60x84 1/16.

Бумага офсетная. Печать цифровая.

Усл. Печ. Л. 1. Заказ № _____. Тираж 100 экз.

Отпечатано с готового оригинал-макета

В типографии ННГУ им. Н.И. Лобачевского.

603000, г. Нижний Новгород, ул. Б. Покровская, 37