

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 75.1.082.01, СОЗДАННОГО НА  
БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ  
«ПЕТЕРБУРГСКИЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ ИМ. Б.П. КОНСТАНТИНОВА  
НАЦИОНАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА «КУРЧАТОВСКИЙ  
ИНСТИТУТ», ПОДВЕДОМСТВЕННОГО НАЦИОНАЛЬНОМУ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМУ ЦЕНТРУ «КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ», ПО  
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 04 июня 2026 г. № 8

О присуждении Соломахе Ольге Александровне, гражданке Российской Федерации, ученой степени кандидата химических наук.

Диссертация «Модификация частиц целлюлозы и производных графена полианионами для получения остеопластических материалов на основе биodeградируемых полиэфиров» по специальности 1.4.7. Высокомолекулярные соединения принята к защите 26 марта 2026 г. (протокол заседания № 4) диссертационным советом 75.1.082.01, созданным на базе федерального государственного бюджетного учреждения «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», подведомственного Национальному исследовательскому центру «Курчатовский институт» (188300, Ленинградская обл., г. Гатчина, мкр. Орлова роща, д. 1; приказ о создании диссертационного совета № 899/нк от 25.09.2025 г.).

Соискатель Соломаха Ольга Александровна, 18 апреля 1995 года рождения. В 2019 году окончила федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)» с присвоением квалификации «Магистр» по направлению подготовки 19.04.01 «Биотехнология». В октябре 2024 года окончила аспирантуру в НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ по образовательной программе подготовки научных и научно-педагогических кадров по специальности 1.4.7. Высокомолекулярные соединения;

работает в должности научного сотрудника в федеральном государственном бюджетном учреждении «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», подведомственном Национальному исследовательскому центру «Курчатовский институт».

Диссертация выполнена в лаборатории полимерных материалов для биотехнологии и медицины филиала федерального государственного бюджетного учреждения «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» - Институт высокомолекулярных

соединений, подведомственного Национальному исследовательскому центру «Курчатовский институт».

Научный руководитель – кандидат химических наук (специальность 02.00.06 – Высокомолекулярные соединения), доцент, Коржикова-Влах Евгения Георгиевна, федеральное государственное бюджетное учреждение «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», ведущий научный сотрудник лаборатории полимерных материалов для биотехнологии и медицины филиала НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ – ИВС.

Официальные оппоненты:

1. Исламова Регина Маратовна, доктор химических наук (02.00.06 – Высокомолекулярные соединения), профессор, профессор кафедры химии высокомолекулярных соединений федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», Институт химии;
2. Бурдуковский Виталий Федорович, доктор химических наук (02.00.06 – Высокомолекулярные соединения), доцент, заместитель директора по научной работе, заведующий лабораторией химии полимеров федерального государственного бюджетного учреждения науки Байкальского института природопользования Сибирского отделения Российской академии наук дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)», г. Санкт-Петербург в своем положительном отзыве, подписанном де Векки Димитрием Андреевичем, кандидатом химических наук (02.00.08 – Химия элементарноорганических соединений), доцентом, заведующим кафедрой химической технологии полимеров и Гостевым Алексеем Игоревичем, кандидатом химических наук (1.4.7. Высокомолекулярные соединения), старшим научным сотрудником той же кафедры, указала, что «диссертационная работа Соломахи О.А. представляет собой оригинальное, целостное и законченное научное исследование, обладающее значительной практической ценностью. Ее достоинством является большой объем экспериментальных данных по получению новых наполнителей и созданию композитов на основе биodeградируемых полимеров, а также углубление представлений о влиянии модификации частиц, количества привитого полианиона и содержания наполнителя на физико-химические, механические и биологические свойства конечных материалов. Это позволило реализовать комплексный подход к разработке новых биофункциональных полимерных материалов и выявлению их практической значимости. Работа выполнена на высоком научном уровне с использованием современных информативных методов исследования и обработки результатов. Результаты диссертационной работы целесообразно использовать для проведения дальнейших углубленных исследований в

научно-исследовательских и медицинских организациях, занимающихся хирургическим восстановлением дефектов костной ткани».

При общей положительной оценке диссертации возникают некоторые вопросы и замечания:

1. В ходе многостадийных синтезов ПГлу-Лиз и Геп мод на последней стадии удаляется защитная трет-бутоксикарбонильная группа обработкой концентрированной HCl. Не затрагиваются ли при этом другие легко подверженные гидролизу сложноэфирные и амидные связи?
2. Синтезы полианионов и модификация частиц НКЦ представляют собой сложные процессы. Получены ли подтверждения того, что стоило вводить в них дополнительную стадию гидрофобизации для улучшения свойств конечных композитов?
3. Если важную роль для функционирования полученных материалов играет полианионная природа поверхности частиц, то почему использованы карбоксильные группы в кислотной, а не солевой форме?
4. В разделе 3.3.1.1 (стр. 118) показано, что добавление НКЦ-ПГлу в ПЛЛА не ускоряет гидролиз полимера, в то время как в разделе 3.3.1.2 (стр. 121-122) для ПКЛ такое ускорение наблюдается. Чем объяснить это различие?
5. В работе показана успешная 3D-печать композитов ПКЛ с НКЦ-ПГлу (10 масс%) и с АГ-ПГлу (0.5 масс%). Проводилось ли получение композитов с более высоким содержанием наполнителя (например, 15% для НКЦ или 1% для АГ) и возникали ли сложности при печати таких составов? Если да, то с чем они связаны?
6. В работе подробно изучена гидролитическая деградация полиэфиров (таблицы 11, 13, 17). Однако, как отмечается в литературном обзоре (стр. 30), *in vivo* деградация может ускоряться ферментами (эстеразы, липазы). В связи с этим, проведение таких экспериментов представляется крайне целесообразным.

Соискатель имеет 45 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации – 32, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано – 6 статей (Journal of Renewable Materials – 1, Polymers – 3, Journal of Biomedical Materials Research – 1, Emergent Materials – 1), входящие в международные реферативные базы данных и системы цитирования Web of Science и Scopus; 26 тезисов докладов на ведущих российских и международных конференциях и симпозиумах. Средний объем статей 18,5 страниц, средний объем публикаций 4 страницы. Публикации посвящены разработке методов химической модификации поверхности частиц нанокристаллической целлюлозы, оксида графена и аминированного графена амфифильными полианионами с целью использования их в качестве наполнителей для получения остеопластических биосовместимых и биodeградируемых композиционных материалов. Впервые изучено влияние химической модификации и метода модификации частиц на количество прививаемого полианиона, а также влияние состава и содержания частиц наполнителя

на физико-химические и биологические свойства полученных полимерных композитов в виде плёнок и 3D-матриц на основе поли( $\epsilon$ -капролактона) или поли(L-лактида). Изготовленные композиционные материалы демонстрируют механические параметры, сопоставимые с таковыми для трабекулярной костной ткани, и способны стимулировать клеточную адгезию, пролиферацию и биоминерализацию, что позволяет рассматривать возможность их практического применения в качестве материалов для регенерации костной ткани. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах. Личный вклад соискателя состоял в анализе литературных данных, непосредственном участии в проведении экспериментальной работы по синтезу и модификации полимеров, модификации частиц на основе целлюлозы и производных графена полианионами, получении композиционных материалов в виде пленок и 3D-матриц, исследовании физико-химических, механических и некоторых биологических свойств полученных композиционных материалов, а также в обработке, анализе и интерпретации данных, подготовке докладов и публикаций по теме исследования.

Наиболее значительными работами являются:

1. Stepanova, M. Aminated Graphene-Graft-Oligo(Glutamic Acid)/Poly( $\epsilon$ -Caprolactone) Composites: Preparation, Characterization and Biological Evaluation / M. Stepanova, O. Solomakha, M. Rabchinskii, I. Averianov, I. Gofman, Y. Nashchekina, G. Antonov, A. Smirnov, B. Ber, A. Nashchekin, E. Korzhikova-Vlakh // *Polymers*. – 2021. – V. 13. – № 16. – P. 2628. DOI: 10.3390/polym13162628
2. Solomakha, O. Composites Based on Poly( $\epsilon$ -caprolactone) and Graphene Oxide Modified with Oligo/Poly(Glutamic Acid) as Biomaterials with Osteoconductive Properties / O. Solomakha, M. Stepanova, I. Gofman, Y. Nashchekina, M. Rabchinskii, A. Nashchekin, A. Lavrentieva, E. Korzhikova-Vlakh // *Polymers*. – 2023. – V. 15. – № 12. – P. 2714. DOI: 10.3390/polym15122714
3. Solomakha O. Chemical Modification of Nanocrystalline Cellulose for Manufacturing of Osteoconductive Composite Materials / O. Solomakha, M. Stepanova, A. Dobrodumov, I. Gofman, Y. Nashchekina, A. Nashchekin, E. Korzhikova-Vlakh // *Polymers*. – 2024. – V. 16. – № 13. – P. 1936. DOI: 10.3390/polym16131936

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от:

1. д.х.н., доц. Осиповой Викторией Павловны, ведущего научного сотрудника группы токсикологии федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук». По терминологии возник один вопрос:  
– В автореферате часто используются термины «амино-содержащие» и «амфифильные» производные. Не совсем понятно, для чего вводился амфифильный полианион, если основной матрицей является гидрофобный ПКЛ или ПЛЛА? Каким образом эта модификация наполнителя влияет на его распределение в полимере?

2. д.х.н. Мелик-Нубарова Николая Сергеевича, ведущего научного сотрудника кафедры высокомолекулярных соединений химического факультета федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова». При прочтении работы возникают некоторые существенные вопросы:

– На мой взгляд, материал автореферата значительно легче воспринимался бы, если автор с самого начала тезисно изложил основные результаты, стоящие за требованием отрицательного заряда поверхности и ее шероховатости на наноскопическом уровне, для конструирования имплантатов. Эта информация содержится в диссертационной работе, но отсутствует в автореферате.

– Автору удалось найти очень красивое решение несовместимости полимеров различной природы в композите. Однако это решение применимо преимущественно для создания пленок методом полива. Не исключено, что простое смешение микрокристаллической целлюлозы или ее сополимеров с глутаминовой кислотой или гепарином с расплавом полилактида, например, с помощью экструдера, при 100-130 °С в присутствии кислот Льюиса или нуклеофильных катализаторов могло бы способствовать переэтерификации и получению прочного материала с отличными механическими характеристиками при физиологических температурах.

– Для получения полилактида и поли-ε-капролактона автор использовал в качестве катализатора октаноат олова(II). Известно, что он влияет на содержание железа в эритроцитах, поэтому его необходимо удалять из фармацевтических полимеров. Сколько олова оставалось в препаратах, синтезированных в работе?

3. д.х.н. Тимофеевой Ларисы Матвеевны, и.о. главного научного сотрудника лаборатории «Модификации полимеров им. Н.А. Платэ», сектора «Химии полиэлектролитов и медико-биологических полимеров» федерального государственного бюджетного учреждения науки Ордена Трудового Красного Знамени Института нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева Российской академии наук. Отзыв без замечаний.

4. д.х.н. Поповой Елены Александровны, профессора кафедры общей и биоорганической химии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации. Отзыв без замечаний.

5. к.х.н. Позднякова Александра Сергеевича, заведующего лабораторией функциональных полимеров федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Иркутский институт химии им. А.Е. Фаворского Сибирского отделения Российской академии наук». При общей положительной оценке работы в качестве недостатков можно отметить:

– Полимеризация N-карбоксииангирида с раскрытием цикла, инициируемая аминогруппами, предполагает рост цепи путем последовательного присоединения молекул мономера к концевому амину. В идеальном случае степень полимеризации (DP)

привитых цепей должна соответствовать мольному соотношению загруженного мономера к инициатору. Однако экспериментальный DP (35) более чем на порядок ниже теоретически ожидаемого (~625), а доля мономера, встроившегося в привитые цепи, составляет около 5,6%. Причины столь низкой эффективности и факторы, ограничивающие рост цепей, в автореферате не обсуждаются.

– В работе показано, что модифицированная НКЦ действительно улучшает механические свойства композитов по сравнению с нативной НКЦ как для ПКЛ, так и для ПЛЛА. Однако тип улучшения принципиально различен. Для ПКЛ (табл. 10) наблюдается армирование пластичной матрицы: модуль возрастает при сохранении пластичности. Для ПЛЛА (табл. 8) даже при использовании модифицированной НКЦ композиты остаются хрупкими ( $\epsilon_p = 3-4\%$ , предел текучести отсутствует), а прочность снижена по сравнению с чистым полимером. В тексте автореферата эти два случая не разделены, и оценка «улучшение механических свойств» используется без учёта потери пластичности, что может вводить в заблуждение относительно практической пригодности композитов на основе ПЛЛА для нагрузочных остеопластических применений.

– В работе приведены значения  $M_w$  для полимеров в одной временной точке (табл. 9, 11, 15) и отсутствуют данные о потере массы образцов во времени, что не позволяет отличить поверхностную деградацию от объёмной. Для полиэфигов, деградирующих по объёмному механизму, кинетические кривые падения  $M_w$  и потери массы необходимы для определения критической точки (начала резкой потери механической прочности) и оценки пригодности материала для остеопластики. Без этих данных прогнозирование поведения имплантата *in vivo* затруднено.

Все отзывы положительные. По мнению лиц, приславших отзывы, автор соответствует ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.7. Высокомолекулярные соединения.

**Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их авторитетом в научном сообществе как в России, так и за рубежом, и широкой известностью высокими достижениями в области высокомолекулярных соединений. Оппоненты имеют многочисленные публикации в области синтеза, модификации полимеров и получению композиционных материалов.**

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**разработаны** методы химической модификации частиц нанокристаллической целлюлозы, оксида графена и аминированного графена амфифильными производными поли(глутаминовой кислоты) и/или гепарина, позволяющие варьировать их структурные параметры;

**предложены** подходы, позволяющие в результате синтеза направленно варьировать длину боковых цепей макромолекул и содержание привитого полианиона;

**доказана** возможность использования полученных модифицированных частиц нанокристаллической целлюлозы и производных графена в качестве наполнителей для получения биосовместимых и биodeградируемых композиционных osteoplastических материалов на основе поли( $\epsilon$ -капролактона) и поли(L-лактида);

**введены** положения о влиянии состава и содержания модифицированных полианионами частиц нанокристаллической целлюлозы и производных графена на физико-химические, механические и биологические свойства полученных композиционных материалов на основе поли( $\epsilon$ -капролактона) или поли(L-лактида).

**Теоретическая значимость исследования обоснована** тем, что:

**доказано** влияние способа ковалентной прививки полианионов на поверхности нанокристаллической целлюлозы и производных графена, а также длины и плотности привитых полимерных цепей, на морфологию, механические характеристики и osteoconductive свойства композиционных материалов на основе алифатических полиэфиров;

**применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использован** комплекс существующих методов синтеза, модификации и анализа полимеров, частиц и получаемых композиционных материалов, в частности, методы полимеризации с раскрытием цикла *N*-карбоксиангидрида  $\gamma$ -бензилглутаминовой кислоты, в том числе, инициируемых функциональными группами поверхности частиц аминированного графена или оксида графена, жидкостная  $^1\text{H}$  и твердотельная  $^{13}\text{C}$  ЯМР-спектроскопия, эксклюзионная жидкостная хроматография, капиллярная вискозиметрия, ИК-спектроскопия, рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия, элементный анализ, кондуктометрическое титрование, высокоэффективная жидкостная хроматография, динамическое рассеяние света, термогравиметрический анализ, оптическая, в том числе, поляризационная микроскопия, сканирующая электронная микроскопия, изучение механических свойств в тестах на растяжение и сжатие, а также ряд биологических методов исследования, таких как изучение активности щелочной фосфатазы, гистологическое исследование, микрокомпьютерная томография костной ткани;

**изложены** результаты исследования влияния химического состава полученных новых композиционных материалов на основе поли( $\epsilon$ -капролактона) или поли(L-лактида) и модифицированных полианионами частиц наполнителя на их физико-химические, механические и биологические свойства;

**раскрыты** закономерности влияния степени модификации поверхности частиц и состава материала матрицы на морфологию поверхности получаемых композиционных пленок, однородность распределения наполнителя в матрицах, механические параметры материалов, скорость гидролитической деградации матричных полимеров, а также способность формирования минеральных отложений на поверхности материалов;

**изучена** взаимосвязь между степенью модификации частиц нанокристаллической целлюлозы, а также производных графена и свойствами получаемых композиционных материалов на основе поли( $\epsilon$ -капролактона) или поли(L-лактида), содержащих модифицированные наночастицы в качестве наполнителя;

**проведена модернизация** методов ковалентной модификации поверхности наночастиц разной природы биоактивными полианионами и методов получения композитов с улучшенными механическими и остеокондуктивными свойствами.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:**

**разработаны и внедрены** (указать степень внедрения) в лабораторном масштабе методики модификации частиц нанокристаллической целлюлозы, оксида графена и аминированного графена полианионами, а также методы получения композиционных трехмерных матриц требуемой геометрической формы на основе поли( $\epsilon$ -капролактона) и модифицированных частиц с помощью 3D-печати;

**определены** перспективы практического использования остеопластических материалов на основе биосовместимых и биodeградируемых полимеров с модифицированными наночастицами в качестве наполнителей;

**создана** методическая база, позволяющая получать модифицированные частицы различной природы, обладающие остеокондуктивным эффектом и пригодные в качестве наполнителей для изготовления композиционных полимерных остеопластических материалов;

**представлены** рекомендации по практическому использованию разработанных композиционных материалов и изделий на основе алифатических сложных полиэфиров в процессах регенерации костной ткани.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

**для экспериментальных работ** достоверность результатов исследований, выполненных с использованием современного и сертифицированного оборудования, подтверждается хорошей воспроизводимостью и взаимосогласованностью результатов, полученных независимыми физико-химическими, механическими и биологическими методами исследования;

**теоретические представления**, использованные для объяснения полученных результатов, лежат в рамках известных научных представлений и согласуются с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации;

**идея базируется** на анализе научной литературы, свидетельствующем об актуальности разработки новых компонентов и усовершенствованных композиционных материалов для регенерации костной ткани с заданным комплексом свойств;

**использовано** сравнение авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках в области, посвященной модификации частиц нанокристаллической целлюлозы и производных графена, а также их использования для получения композиционных материалов на основе алифатических сложных полиэфиров;

**установлено** соответствие выводов и заключений автора фундаментальным представлениям, существующим в рассматриваемой области исследований и опубликованными в научной литературе;

**использованы** современные методики сбора и анализа литературных данных с обоснованием выбора объектов исследования, а также эффективные способы обработки полученных экспериментальных результатов.

**Личный вклад соискателя состоит в:** проведении экспериментальной работы по синтезу и модификации полимеров, модификации частиц на основе целлюлозы и производных графена амфифильными полианионами, получении композиционных материалов в виде пленок и 3D-матриц; исследовании полученных полимеров методами капиллярной вискозиметрии, спектрофотометрии, жидкостной хроматографии; исследовании модифицированных частиц методами ИК-спектроскопии, кондуктометрического титрования, динамического и электрофоретического рассеяния света, исследовании композиционных материалов методами оптической и флуоресцентной микроскопии, проведении некоторых экспериментов с культурами клеток, исследовании деградации матричного полимера, а также непосредственном участии на всех этапах работы: постановке задач, анализе массива данных, полученного с использованием набора физико-химических, микроскопических и биологических методов, интерпретации и обобщении полученных результатов, подготовке докладов и публикаций.

В ходе защиты диссертации *критические замечания* высказаны не были.

Соискатель Соломаха Ольга Александровна ответила на задаваемые ей в ходе заседания вопросы и привела собственную аргументацию: - В ходе многостадийных синтезов ПГлу-Лиз и Геп<sub>мод.</sub> на последней стадии удаляется защитная трет-бутоксикарбонильная группа обработкой концентрированной HCl. В данном случае условия не такие жесткие, как в случае гидролиза полипептида до аминокислот. Если бы происходил гидролиз пептидных связей основной цепи, это было бы видно на спектрах ЯМР полученных полимеров; - Важную роль для функционирования полученных материалов играет полианионная природа поверхности частиц. Использование данных материалов планируется при физиологических значения рН 7,3-7,5. При этих значениях рН карбоксильные группы ионизированы и находятся в анионной форме; - Гидрофильные наполнители могут ускорять гидролитическую деградацию полимеров за счет своей гидратации, обеспечивая тем самым диффузию воды в полимерную матрицу и ускоряя эрозию материала. Поскольку ПЛЛА сам по себе гидролизует быстрее, чем ПКЛ, добавление частиц НКЦ оказывает менее заметное влияние на скорость деградации

материалов на его основе; - Получение композитов с большим содержанием наполнителя действительно проводилось. В случае увеличения концентрации НКЦ до 15 масс% сложность 3D-печати такого состава была выражена в более заметной агрегации частиц наполнителя; - Модификация наполнителя амфифильными полимерами обеспечивает более равномерное распределение наполнителя в гидрофобной полимерной матрице за счет улучшения его совместимости с гидрофобной матрицей; - При полимеризации N-карбоксииангидрида с раскрытием цикла, инициируемой аминокеттогруппами, в идеальном случае степень полимеризации привитых цепей должна соответствовать мольному соотношению загруженного мономера к инициатору. Однако экспериментальное значение (35) более, чем на порядок, ниже теоретического и ожидаемого (~625), а доля мономера, встроившегося в привитые цепи, составляет около 5,6 %. Причинами такой низкой эффективности может являться совокупность двух факторов, а именно, стерического, связанного с проведением полимеризации на твердой поверхности, и кинетического, связанного с резким снижением скорости роста цепи после достижения длины цепи в 18-19 звеньев, при которой происходит формирование альфа-спиралей полибензилглутамата; - При получении поли(глутаминовой кислоты) в диоксане повышение температуры ускоряет кинетику полимеризации с раскрытием цикла. Вместе с тем, при температурах >50 °C резко возрастает скорость побочных процессов, таких как рацемизация  $\alpha$ -углеродного атома, а также внутримолекулярная циклизация и образование лактамов; - В работе для модификации гепарина и в качестве амиолинкера при модификации оксида графена использовался этилендиамин. Теоретически, 1,6-диаминогексан мог бы быть использован в качестве линкера и, вероятно, он показал бы лучшие свойства, чем этилендиамин. Тем не менее, использованный в работе лизин также оказался приемлемым линкером и позволил провести успешную прививку полипептида к поверхности оксида графена, являясь биосовместимым и нетоксичным линкером, в сравнении с 1,6-диаминогексаном, который имеет 2 класс опасности; - При изготовлении пленок изначально растворитель выбирали, исходя из хорошей растворимости матричного полимера и его собственной летучести. Однако, в ряде образцов по мере повышения эффективности модификации частиц наблюдалась их агрегация в массе полимера. Для решения этой проблемы была подобрана смесь растворителей; - Спектр твердотельной  $^{13}\text{C}$  ЯМР спектроскопии для НКЦ-АПТЭС не был представлен в тексте диссертации, однако, это исследование было проведено; - Разное соотношение  $[N\text{-КА}]/[-\text{NH}_2]$  было выбрано с целью получения образцов ОГ и АГ с близким содержанием поли(глутаминовой кислоты) на своей поверхности.; - В случае ОГ определить количество эпоксидных групп, прореагировавших в ходе модификации, достоверно не представлялось возможным, поскольку эти группы нестабильны и их количество может уменьшаться не только в результате целевой реакции с амином, но и за счет побочных реакций (гидролиз с раскрытием кольца, алкоголиз с образованием простого эфира или бета-спирта, и др.); - В рамках данной работы попытки измерения углов смачивания были предприняты. Однако из-за шероховатости поверхности полученных пленок наблюдался значительный разброс значений контактного угла смачивания для образцов одинакового состава; - Данные по пористости исследуемых

образцов приведены в диссертации. В то же время, измерения степени кристалличности образцов не проводилось; - В сравнении с образцами, полученными с применением модифицированного оксида графена, рассматривались широко используемые композиты, содержащие гидроксипатит. Разрабатываемые в данной работе материалы на основе производных графена показали значительные преимущества для использования в остеопластике; - Биологические эксперименты проводились у научных партнеров, в том числе, в Институте цитологии РАН, Санкт-Петербургском НИИ фтизиопульмонологии Минздрава РФ; - Вывод о потенциальной возможности использования разрабатываемых материалов для экструзионной 3D-печати сделан на основе термостабильности ПКЛ и ПЛА. Разрабатываемые модифицированные наночастицы должны быть термостабильными при температурах плавления выбранных полиэфиров.

В дискуссии приняли участие: д.ф.-м.н. В.Т. Лебедев; д.т.н., проф. Э.Л. Аким; д.х.н. А.В. Якиманский – члены диссертационного совета.

Диссертационным советом сделан вывод о том, что диссертация Соломахи Ольги Александровны представляет собой завершенное научное исследование в области высокомолекулярных соединений и по актуальности, научной новизне и практической значимости соответствует критериям, установленным пп. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 в действующей редакции.

На заседании 04.06.2026 г. диссертационный совет принял следующее решение: за решение научно-практической задачи, связанной с раскрытием влияния способа ковалентной прививки полианионов на поверхности нанокристаллической целлюлозы и производных графена, а также длины и плотности привитых полимерных цепей на морфологию, механические параметры и osteoconductive свойства композиционных материалов на основе алифатических полиэфиров, и развитием методической базы, позволяющей получать модифицированные частицы различной природы, обладающие osteoconductive эффектом и пригодные в качестве наполнителей для изготовления композиционных полимерных остеопластических материалов, присудить Соломахе О.А. ученую степень кандидата химических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, проголосовали: за - 18, против - 1, недействительных бюллетеней - нет.

Председатель диссертационного совета

д.х.н.

Ученый секретарь диссертационного совета

д.х.н.

05.06.2026



*Handwritten signature of A.V. Yakimanskiy*  
*Handwritten signature of S.V. Kononova*

А.В. Якиманский

С.В. Кононова