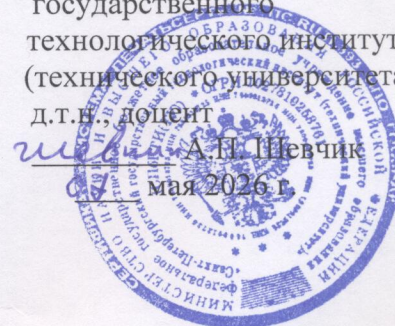


«УТВЕРЖДАЮ»
Ректор Санкт-Петербургского
государственного
технологического института
(технического университета)
д.т.н., доцент

 А. Н. Шевчик

мая 2026 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)» о диссертационной работе Соломахи Ольги Александровны на тему «Модификация частиц целлюлозы и производных графена полианионами для получения остеопластических материалов на основе биodeградируемых полиэфиров», представленной в диссертационный совет при Федеральном государственном бюджетном учреждении «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» на соискание ученой степени кандидата химических наук по научной специальности 1.4.7. Высокомолекулярные соединения.

Достижения химии высокомолекулярных соединений в области получения биофункциональных материалов для реконструирования костной ткани является одной из актуальных областей ортопедической хирургии, травматологии и биомедицинского материаловедения. Применение синтетических полимеров или их композитов позволяет получить специализированные материалы, обладающие тонко варьируемым комплексом физико-химических, биологических и механических свойств.

В связи с вышеизложенным, **актуальность** работы и выбор объектов исследования определяются **теоретической и практической значимостью** разработки методов получения модифицированных частиц наполнителя для биосовместимых и биodeградируемых полимерных материалов и получению новых композиционных материалов для эффективной регенерации костной ткани. Изучение различных свойств частиц и материалов позволит найти равновесие между скоростью биodeградации и пористостью материала с одной стороны, и механической прочностью с другой, а стимулирование клеточной адгезии, пролиферации и биоминерализации позволит лучше интегрировать данный композит и усилить процесс остеогенеза.

Целью диссертационной работы является разработка методов химической модификации частиц нанокристаллической целлюлозы и производных графена амфифильными полианионами и изучение возможности их применения в качестве наполнителей в матрицах на основе алифатических сложных полиэфиров для получения биосовместимых композиционных материалов для остеопластики. Для достижения поставленной цели в работе были синтезированы амфифильные производные поли(глутаминовой кислоты) и гепарина, модифицированы поверхности наполнителей, получены композиционные пленки и 3D-матрицы с оценкой их механических и биологических свойств для применения в качестве остеопластических материалов.

Научная новизна работы заключается в разработке оригинальных методов химической модификации нанокристаллической целлюлозы, оксида графена и аминированного графена амфифильными полианионами (включая прививку полипептида через раскрытие цикла *N*-карбоксиангидрида, инициируемую аминоклуппами поверхности производных графена), а также в создании на основе модифицированных наполнителей и биодegradируемых алифатических сложных полиэфигов новых композиционных материалов. Разработанные методы химической модификации наполнителей обеспечивают улучшенную совместимость с полимерной матрицей и контролируемые биологические свойства. Впервые изучено влияние состава и содержания таких наполнителей на физико-химические и биологические свойства композитов *in vitro*, а также продемонстрирована принципиальная возможность применения трехмерного композита на основе поли(ϵ -капролактона) с модифицированной нанокристаллической целлюлозой в качестве остеопластического материала.

Практическая значимость работы состоит в создании новых биоразлагаемых композиционных материалов на основе поли(ϵ -капролактона) и поли(L-лактида), наполненных модифицированными частицами нанокристаллической целлюлозы и производных графена. Полученные трехмерные матрицы обладают osteoconductive свойствами и механической прочностью, приближенной к костной ткани, что позволяет рекомендовать их для применения в качестве эффективных остеопластических материалов для замещения костных дефектов.

Диссертация имеет классическую структуру и состоит из введения, трех глав, в том числе обзора литературы, материалов и методов, результатов и обсуждений, а также выводов и списка литературы. Во введении автором обоснована актуальность выбранной темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследования, приведены научная новизна, практическая значимость работы, объекты исследования и используемые методы исследования, сведения об апробации результатов исследования, основные положения, выносимые на защиту, а также личный вклад автора. В первой главе представлен информативный литературный обзор по методам получения 3D-матриц, биодegradируемым полимерам, требованиям к остеопластическим материалам, а также по свойствам и способам модификации нанокристаллической целлюлозы и производных графена. Обзор литературы завершается разделом, обосновывающим выбор объектов и направление исследования диссертационной работы.

Вторая глава содержит описание исходных объектов исследования и материалов; методики синтеза и модификации полимеров, а также частиц нанокристаллической целлюлозы и производных графена; методики анализа полимеров и определения физико-химических характеристик частиц, получения и изучения материалов в виде пленок и 3D-матриц, а также протоколы их тестирования *in vitro* и *in vivo*. Экспериментальная часть работы выполнена на высоком уровне, с применением разнообразных физико-химических методов (УФ-, ИК- и ЯМР-спектроскопия, эксклюзионная жидкостная хроматография, ВЭЖХ-анализ, методы статического и динамического рассеяния света, кондуктометрического титрования, различные методы микроскопии, и др.).

В третьей главе изложены результаты экспериментальных исследований и проведено их обсуждение. В отдельные разделы вынесен синтез и модификация полимеров, функционализация частиц и исследование их физико-химических параметров; получение и исследование свойств материалов в виде пленок и 3D-матриц. Содержание третьей главы полностью соответствует положениям, выносимым на защиту. В целом, диссертация изложена четко, хорошим языком. Обсуждение результатов проведено логично и убедительно, на высоком научном уровне. Интерпретация результатов, анализ и сделанные **выводы обоснованы. Достоверность** полученных результатов не вызывает сомнений.

Диссертационная работа Соломахи О.А. представляет собой оригинальное, целостное и законченное научное исследование, обладающее значительной практической ценностью. Её достоинством является большой объём 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.

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-бутоксикарбональная 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 объясняется 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.

Высказанные вопросы и указанные замечания не носят принципиального характера и не снижают высокой оценки работы.

Результаты диссертационной работы целесообразно использовать для проведения дальнейших углубленных исследований в научно-исследовательских и медицинских организациях, занимающихся хирургическим восстановлением дефектов костной ткани.

По материалам диссертации опубликовано 6 статей в научных рецензируемых журналах, индексируемых в Scopus, Web of Science и входящих в «Белый список». Апробация результатов диссертации проведена с публикацией тезисов сообщений на 26 научных конференциях Всероссийского и международного уровня.

Диссертация соответствует паспорту научной специальности 1.4.7. Высокомолекулярные соединения (п. 2. Синтез олигомеров, в том числе специальных мономеров, связь их строения и реакционной способности; п. 4. Химические превращения полимеров – внутримолекулярные и полимераналоговые, их следствия; 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). По объему и содержанию диссертационная работа Соломахи О. А. на тему «Модификация частиц целлюлозы и производных графена полианионами для получения остеопластических материалов на основе биodeградируемых полиэфиров» удовлетворяет требованиям п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 в действующей редакции, а её автор, **Соломаха Ольга Александровна**, безусловно заслуживает присвоение ученой степени кандидата химических наук по научной специальности 1.4.7. Высокомолекулярные соединения.

Отзыв рассмотрен на заседании кафедры химической технологии полимеров Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета), протокол № 23 от 07.05.2026 г.

Заведующий кафедрой химической технологии полимеров СПбГТИ(ТУ), кандидат химических наук по специальности 02.00.08 – Химия элементоорганических соединений, доцент
Эл. почта: polymer_dept@spbti.ru тел. 494-92-03

де Векки Дмитрий Андреевич

Старший научный сотрудник кафедры химической технологии полимеров СПбГТИ(ТУ), кандидат химических наук по специальности 1.4.7 – Высокомолекулярные соединения
Эл. почта: ga81@rambler.ru тел. (911)2365716

Гостев Алексей Игоревич

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)».
190013, г. Санкт-Петербург, Московский пр. д. 24-26/49.
Эл. почта: office@technolog.edu.ru тел. 494-93-39

Подпись де Векки Д А и
Гостева А И
Начальник отдела



удостоверено
И. Ю. Прохорова