

## ОТЗЫВ

На автореферат диссертации Пермяковой Елизаветы Сергеевны «Функциональные наноструктурированные покрытия поликапролактоновых субмикронных волокон для медицинских применений», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности

### 2.6.6 Нанотехнологии и наноматериалы

Диссертационное исследование Пермяковой Е.С., посвящено разработке подходов получения антибактериальных покрытий на основе антибиотика гентамицина, наночастиц оксида цинка и серебра для поликапролактоновых субмикронных волокон. Автор последовательно рассматривает двухэтапные подходы к модификации: на первом этапе решается задача повышения биоактивных свойств материала, а на втором – исследуются различные варианты получения антибактериальных покрытий. Цели каждого этапа были достигнуты, что подтверждается результатами серии биологических тестов *in vitro*. Текст автореферата диссертационной работы Е. С. Пермяковой представляет собой логически целостный, научно обоснованный и содержательный документ, который полно и последовательно отражает цели, методы, основные результаты и практическую значимость выполненного исследования.

Актуальность темы обусловлена растущим спросом на биосовместимые, биоактивные и антибактериальные наноструктурированные материалы в таких областях, как тканевая инженерия, регенеративная медицина, медицинские имплантаты и фильтрационные изделия. Автором продемонстрирован комплексный подход, охватывающий как синтез базового полимерного каркаса из поликапролактона (ПКЛ), так и его многоуровневую функционализацию с использованием передовых методов нанотехнологий.

В первой главе автореферата обстоятельно проанализировано современное состояние вопроса: рассмотрены возможности применения субмикронных нановолокон в биомедицине, а также методы их поверхностной модификации для повышения биосовместимости и придания антибактериальных свойств.

Во второй главе подробно изложена методологическая база исследования: электроформование волокон, синтез наночастиц, а также методы модификации поверхности (плазмохимическое осаждение полимерных пленок, магнетронное распыление, ионная имплантация, карбодиимидная химия). Применён широкий спектр аналитических методов: сканирующая и просвечивающая электронная микроскопия, ИК-спектроскопия, энергодисперсионный и рентгенофотоэлектронный спектральный анализ, масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой и спектрофотометрия. Также использованы биологические тесты для оценки цитотоксичности, биоактивности и антибактериальной эффективности материалов.

В третьей главе представлены результаты оптимизации параметров электроформования ПКЛ-волокон, подбора состава плазменной смеси ( $\text{CO}_2/\text{C}_2\text{H}_4/\text{Ar}$ ) и режимов плазменной обработки для получения полимерных покрытий с высоким содержанием сложноэфирных и карбоксильных групп. Показана эффективность магнетронного распыления композитной мишени ( $\text{TiC} + \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ) для формирования биоактивного покрытия: при сохранении морфологии волокон достигается существенное изменение поверхностной химии, что способствует улучшению адгезии клеток и минерализации.

Четвертая глава посвящена разработке и сравнительному анализу стратегий введения антибактериальных агентов, включая:

- ковалентную и электростатическую иммобилизацию гентамицина на карбоксилсодержащих плазменно-осажденных полимерных покрытиях ПКЛ волокон;
- инкорпорацию предварительно синтезированных наночастиц  $\text{ZnO}$  на поверхность ПКЛ- $\text{COOH}$ ;
- формирование  $\text{Ag}_2\text{O}$ -наночастиц через УФ-восстановление ионов серебра, захваченных карбоксильными группами плазменно-осажденного полимерного покрытия;
- совмещённую ионную имплантацию  $\text{Ag}^+$  в процессе магнетронного распыления композиционной мишени состава  $\text{TiC}+10\%\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ .

Для каждой стратегии количественно исследована кинетика высвобождения терапевтического агента и продемонстрирован выраженный антибактериальный эффект в отношении клинически значимых штаммов.

Работа отличается высокой системностью: автор не ограничивается описанием эмпирических результатов, а устанавливает чёткие структурно-функциональные зависимости между составом покрытий, их физико-химическими характеристиками и биологическим откликом. Практическая значимость подтверждена конкретными предложениями по внедрению: создание биоактивных матриц для регенерации костной и мягкой тканей, разработка антибактериальных раневых повязок, а также фильтрующих мембран нового поколения.


Хотелось бы отметить, что в работе изучено введение одного антибиотика гентамицина, при этом карбоксилсодержащие покрытия могут быть использованы для присоединения широкого спектра соединений, включая факторы роста и антимикробные пептиды.

Результаты исследований опубликованы в 7 научных работах, включая статьи в журналах, индексируемых в международных базах (*Web of Science / Scopus*), что свидетельствует об их признании научным сообществом.

В целом, автореферат убедительно демонстрирует соответствие диссертационной работы всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Проведенное исследование представляет собой целостную завершённую работу, выполнено на высоком научном уровне, а его выводы и

положения обладают научной новизной и практической ценностью. Работа заслуживает высокой оценки, а, ее автор, Пермякова Елизавета Сергеевна, – присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.6 – «Нанотехнологии и наноматериалы».

Научный сотрудник Лаборатории  
полимерных материалов Курчатовского  
комплекса НБИКС-пт НИЦ  
«Курчатовский институт»  
к.ф.-м.н. Антипова Кристина  
Георгиевна


  
Антипова К. Г.  
«19» декабря 2025

РФ, 123182, Москва, пл. Академика  
Курчатова, д. 1  
Телефон: +79164443314  
e-mail: [antipova\\_kg@nrcki.ru](mailto:antipova_kg@nrcki.ru)

Подпись к.ф.-м.н. Антиповой К.Г.  
заверяю

Заместитель директора – главный  
ученый секретарь НИЦ «Курчатовский  
институт»



  
Алексеева О.А.  
«12» декабря 2025