

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ ЭКСПЕРТНОЙ КОМИССИИ

по защите диссертации Пермяковой Елизаветы Сергеевны на тему «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 и состоявшейся в НИТУ МИСИС 29.01.2026 г.

Диссертация принята к защите Диссертационным советом НИТУ МИСИС 24.11.2025 г., протокол № 34.

Диссертация выполнена в научно-исследовательском центре «Неорганические наноматериалы» НИТУ МИСИС.

Научный руководитель - Штанский Дмитрий Владимирович, д.ф.-м.н., директор НИЦ «Неорганические наноматериалы», профессор кафедры Порошковой металлургии и функциональных покрытий НИТУ МИСИС.

Экспертная комиссия утверждена Диссертационным советом НИТУ МИСИС (протокол № 34 от 24.11.2025 г.) в составе:

1. Калошкин Сергей Дмитриевич, д.ф.-м.н., директор института наноматериалов и нанотехнологий НИТУ МИСИС - председатель комиссии;
2. Конюхов Юрий Владимирович, д.т.н., заведующий кафедрой обогащения и переработки полезных ископаемых и техногенного сырья НИТУ МИСИС;
3. Дубинский Сергей Михайлович, д.ф.-м.н., доцент кафедры обработки металлов давлением НИТУ МИСИС;
4. Гордиенко Мария Геннадьевна, д.т.н., профессор кафедры химического и фармацевтического инжиниринга федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева»;
5. Межуев Ярослав Олегович, д.х.н., заведующий лабораторией гетероцепных полимеров федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова Российской академии наук.

В качестве ведущей организации утверждено федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля Российской академии наук, г. Москва.

Экспертная комиссия отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований показано, что:

- плазменное осаждение карбоксил-содержащих полимерных покрытий на поликапролактоновые волокна, не изменяя структуру волокон, приводят к возрастанию биоактивности и биосовместимости материала в отношении эпителиальных клеток IAR-2. Введенные карбоксильные группы могут быть использованы как для присоединения amino-содержащих антибиотиков (на примере антибиотика гентамицина), так и для получения композитных материалов за счет иммобилизации наночастиц оксида цинка или серебра.
- Показано, что карбоксил-содержащий полимерный слой позволяет повысить загрузку терапевтических агентов и стабильность полученных материалов при выдержке в водных растворах. Гентамицин-модифицированные образцы демонстрировали разную кинетику высвобождения в зависимости от способа введения: ковалентная иммобилизация с использованием дициклогесилкарбодиимида приводит к пролонгированному выходу антибиотика в течение 72 ч, в то время как электростатическое введение приводит к большой загрузке и к более быстрому высвобождению антибиотика в течение 24 ч.
- Введение гентамицина незначительно влияет на биосовместимость материала, проведенные модификации существенно повышают функциональность ПКЛ волокон для применения в регенеративной медицине.
- Плазменно-осажденный полимерный слой позволяет равномерно распределить наночастицы по поверхности материала, обеспечивая высокую антибактериальную активность в отношении широкого спектра патогенов, ингибируя как планктонные бактерии, так и формирование биопленок. Ввиду высокой концентрации наночастиц на поверхности применение полученных композитных материалов предполагается их использование в качестве самоочищающихся фильтрующих слоев, способных деактивировать адсорбированные на поверхности патогены, тем самым повышая степень защиты.
- Апробировано магнетронное распыление композиционной мишени состава  $\text{TiC}+10\% \text{Са}_3(\text{PO}_4)_2$ , подобраны условия распыления мишени. Оптимизирован режим ионной имплантации серебра, обеспечивающие локальный антибактериальный эффект (ПКЛ- $\text{TiCaPCON-Ag}$ ). Полученные образцы демонстрируют повышение биоактивности относительно необработанных волокон и стимуляцию адгезии и пролиферации остеобластных клеток MC3T3, что может быть использовано при костной регенерации.

**Ценность научной работы** заключается в разработке методов модификации температурно-чувствительных наноструктурированных ПКЛ волокон с целью повышения их биоактивности и придания выраженных антибактериальных свойств в отношении

широкого спектра патогенов. Исследование физико-химических свойств материалов с нанесенными наноразмерными покрытиями и частицами, скорости выхода терапевтических агентов и установление взаимосвязи с антибактериальной активностью и биосовместимостью, показало перспективность разработанных подходов в различных медицинских приложениях, включая материалы для восстановления повреждений и фильтрации воздушных потоков. Отмечается универсальность разработанных подходов для обработки широкого спектра медицинских изделий (имплантатов, стентов, катетеров) для расширения их функциональности.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики** подтверждается тем, что был разработан способ плазмо-химического осаждения карбоксил-содержащих полимерных покрытий (ноу-хау НИТУ МИСИС №02–457–2020 «Плазменная обработка термочувствительных нановолокнистых скаффолдов» от 20.04.2020). Продемонстрирована рН-чувствительность полученных полимерных покрытий, связанная с увеличением скорости деградации при изменении рН в кислую или щелочную сторону, что может быть использовано при создании умных покрытий, реагирующих на изменения внешних условий. Предложен режим нанесения биоактивного покрытия TiCaPCON на поверхность температурно-чувствительных наноструктурированных материалов, обеспечивающий рост биоактивности и стимуляцию адгезии остеобластных клеток. Разработаны методы введения бактерицидных агентов, обеспечивающих как локальное умеренное антибактериальное действие с сохранением биосовместимости для приложений регенеративной медицины, так и крайне высокую антипатогенную активность относительно планктонных бактерий и формирования биопленок, что может быть применено при фильтрации воздушных потоков.

**Достоверность научных результатов** базируется на применении передового аналитического оборудования для исследования структурно-фазового состояния вещества при использовании взаимодополняющих друг друга экспериментальных методов, подтверждается большим объемом полученных экспериментальных данных и получение актов испытаний образцов, проведенных в Государственном научном центре прикладной микробиологии и биотехнологии, Московском Государственном Университете им. М.В. Ломоносова и Научно-исследовательском медицинском центре онкологии имени Н.Н. Блохина.

**Личный вклад соискателя** состоит в планировании и проведении лабораторных экспериментов, разработке методов по формированию покрытий, структурных исследований, изучения выхода терапевтических агентов обработке и интерпретации

полученных данных, оформлении и подготовке докладов на научных конференциях, а также научных статей в высокорейтинговые научные журналы.

Соискатель представил 7 печатных работ в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК РФ и базы Web of Science, Scopus.

Пункт 2.6 Положения присуждения ученой степени кандидата наук НИТУ МИСИС соискателем ученой степени **не нарушен**.

Диссертация Пермяковой Елизаветы Сергеевны полностью соответствует критериям п.2 Положения о порядке присуждения ученых степеней в НИТУ МИСИС, так как в ней на основании выполненных автором исследований разработаны научно-технологические подходы к созданию антибактериальных и биоактивных покрытий на температурно-чувствительных полимерных материалах. Эти подходы сводятся к предварительной обработке материалов с последующим введением терапевтических агентов. Широкий спектр предложенных решений обеспечивает возможность создания и модифицирования функциональных материалов для различных медицинских применений, включая повязки, наполнители костных повреждений и фильтрующие слои для защиты органов дыхания, что является значимым для развития биоматериаловедения и технологий обработки медицинских изделий.

Экспертная комиссия приняла решение о возможности присуждения Пермяковой Елизавете Сергеевне ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.6 – «Нанотехнологии и наноматериалы».

Результаты голосования: при проведении тайного голосования экспертная комиссия в количестве 5 человек, участвовавших в заседании, из 5 человек, входящих в состав комиссии, проголосовала: за 5, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель Экспертной комиссии

Калошкин Сергей Дмитриевич

29.01.2026