Заключение диссертационного совета 24.1.141.02, созданного на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физической химии и электрохимии им. А. Н. Фрумкина Российской академии наук, по диссертации на соискание учёной степени кандидата наук

Аттестационное дело №
решение диссертационного совета от 27 октября 2026 г.,
протокол № 45

О присуждении **Макринскому Кириллу Игоревичу**, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация **«Электрохимические способы нанесения и in vivo контроля биоактивных покрытий на медицинских изделиях»** по специальности 1.4.6. Электрохимия принята к защите 07 июля 2026 года (протокол заседания № 43) диссертационным советом 24.1.141.02, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физической химии и электрохимии им. А. Н. Фрумкина Российской академии наук (ИФХЭ РАН), подведомственного Министерству науки и высшего образования Российской Федерации: 119071, г. Москва, Ленинский проспект, д. 31, корп. 4; адрес сайта: https://phyche.ac.ru. Диссертационный совет действует на основании приказа Минобрнауки России от 15.02.2013 № 75/нк.

Соискатель **Макринский Кирилл Игоревич**, 08 марта 1999 года рождения, в 2022 году с отличием окончил магистратуру Института новых материалов и нанотехнологий Национального исследовательского технологического университета «МИСИС» по направлению подготовки 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов» с присвоением квалификации «Магистр». В 2026 году окончил аспирантуру ИФХЭ РАН по специальности 1.4.6. Электрохимия. С 2020 по 2026 год работал в должности инженера 1-й категории в лаборатории биоэлектрохимии ИФХЭ РАН. С 2026 года по настоящее время работает в лаборатории биоэлектрохимии ИФХЭ РАН в должности младшего научного сотрудника.

Диссертационная работа выполнена в лаборатории биоэлектрохимии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физической химии и электрохимии им. А. Н. Фрумкина Российской академии наук.

Научный руководитель — Батищев Олег Вячеславович, доктор физико-математических наук, доцент, заместитель директора по научной работе, заведующий лабораторией биоэлектрохимии ИФХЭ РАН.

Официальные оппоненты:

1. **Сенатов Фёдор Святославович**, доктор физико-математических наук, директор Института биомедицинской инженерии Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет „МИСИС“».

2. **Кузнецов Виталий Владимирович**, доктор химических наук, профессор кафедры технологии неорганических веществ и электрохимических процессов факультета технологии неорганических веществ и высокотемпературных материалов и кафедры общей и неорганической химии факультета естественных наук Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева»

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация — Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Государственный научный центр Российской Федерации Институт биоорганической химии им. академиков М. М. Шемякина и Ю. А. Овчинникова Российской академии наук в своём положительном отзыве, подписанном Дубинным Максимом Анатольевичем, кандидатом физико-математических наук, старшим научным сотрудником лаборатории биомолекулярной ЯМР-спектроскопии ГНЦ ИБХ РАН, указала, что диссертационная работа К. И. Макринского «Электрохимические способы нанесения и in vivo контроля биоактивных покрытий на медицинских изделиях» полностью отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям по пунктам 9–14 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842. Материалы диссертационной работы Макринского Кирилла Игоревича соответствуют специальности 1.4.6. Электрохимия по пунктам 9, 11, 13 и 14 паспорта специальности, а её автор, Макринский Кирилл Игоревич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по данной специальности.

По теме диссертации соискателем опубликованы 4 работы в рецензируемых научных изданиях, индексируемых базами Scopus, Web of

Science и RSCI, и получены 2 патента Российской Федерации на изобретения. Основные результаты исследования отражены в опубликованных работах.

Список публикаций по теме диссертации:

1. Makrinskiy K. I. et al. Composite Chitosan-Based Coating for the Enhancement of Osteoinductivity and Osteoconductivity of Titanium Alloys // *Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques*. — 2025. — Vol. 19, Suppl. 1. — P. S41–S50.

2. Makrinsky K. et al. LLM-Based Pipeline for Structured Knowledge Extraction from Scientific Literature on Heavy Metal Hyperaccumulation // *Machine Learning and Knowledge Extraction*. — 2025. — Vol. 7, № 4. — Art. 152.

3. Makrinsky K., Klyuev A., Batishchev O. Modeling of In Vivo Electrochemical Noise: A Computational Framework to Optimize the Corrosion Monitoring of Biodegradable Magnesium Implants // *Journal of Functional Biomaterials*. — 2026. — Vol. 17, № 5. — Art. 218.

4. Макринский К. И., Клюев А. Л., Анисимова Н. Ю. и др. Мониторинг коррозионных процессов in vivo с помощью электрохимической шумовой спектроскопии Чебышёва // *Электрохимия*. — 2026. — Т. 62, № 2. — С. 86–96.

5. Биоактивный титановый имплантат для остеопластики. Патент РФ № 2846155 от 01.09.2025. Авторы: Страумал Б. Б., Горнакова А. С., Когтенкова О. А., Макринский К. И., Клюев А. Л., Анисимова Н. Ю., Киселевский М. В., Кульбацкий Е. Б.

6. Способ исследования динамики биодеградации алюминиевых сплавов. Патент РФ № 2858007 от 11.03.2026. Авторы: Страумал Б. Б., Макринский К. И., Клюев А. Л., Анисимова Н. Ю., Киселевский М. В., Горнакова А. С., Когтенкова О. А.

В опубликованных работах представлены результаты исследований, направленных на разработку электрохимических способов формирования биоактивных покрытий и контроля их состояния в биологической среде. Разработан вычислительный подход к извлечению и проверке экспериментальных параметров из научных публикаций; показана его применимость к систематизации условий электроосаждения хитозана. Получены композитные покрытия на основе хитозана и гидроксиапатита на титановом сплаве с последующим включением фактора роста эндотелия сосудов VEGF. Изучены биологические свойства модифицированных

поверхностей in vitro. Разработаны метод ускоренных биокоррозионных испытаний алюминиевых сплавов, вычислительная модель электрохимических шумовых измерений in vivo и способ пассивного контроля изменения барьерных свойств покрытий на магниевых электродах. Совокупность результатов объединяет выбор условий электрохимического синтеза, получение биоактивной поверхности, расчёт параметров измерительной системы и экспериментальную регистрацию спонтанных токовых флуктуаций.

Автореферат полностью отражает материалы, представленные в диссертации.

На автореферат поступило 4 отзыва. Все отзывы положительные.

В отзыве **доктора химических наук**, ведущего научного сотрудника научно-исследовательского отдела (защита органов) Государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н. В. Склифосовского Департамента здравоохранения города Москвы» **Евсеева А. К.** приведено одно замечание к автореферату:

представлены результаты четырёхсуточного мониторинга in vivo, однако не вполне ясно, чем обусловлена выбранная продолжительность наблюдения и какие факторы могут ограничивать дальнейшую регистрацию сигнала. Краткое пояснение этого вопроса позволило бы полнее представить временные границы применимости метода.

В отзыве **научного сотрудника лаборатории биоэлектрохимии** Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физической химии и электрохимии им. А. Н. Фрумкина Российской академии наук **Кузьмина П. И.** приведено одно пожелание к автореферату:

привести пример задания нейросети, поясняющий сохранение связи между составом раствора, материалом подложки и режимом осаждения при извлечении данных. Это облегчило бы применение подхода специалистами-электрохимиками.

В отзыве **кандидата биологических наук**, старшего научного сотрудника лаборатории клеточного иммунитета и биотехнологий научно-исследовательского института экспериментальной онкологии и канцерогенеза Федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н. Н. Блохина» Министерства здравоохранения Российской Федерации **Ситдиковой С. М.** приведена одна рекомендация:

относительно продолжения работы можно порекомендовать сопровождать электрохимические измерения морфологическим анализом тканей в области имплантации. Это позволит выявить корреляцию полученного сигнала с результатами стандартизированных методов оценки биологического эффекта.

В отзыве **кандидата технических наук**, заведующей лабораторией № 18 Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института металлургии и материаловедения им. А. А. Байкова Российской академии наук **Рыбальченко О. В.** приведён один вопрос: как количество и распределение интерметаллидной фазы $Mg_{17}Al_{12}$, определяющей микрогальваническую коррозию сплава AZ91, могут сказаться на характеристиках регистрируемого шумового сигнала?

Диссертационный совет решил, что на все поступившие замечания К. И. Макринский дал исчерпывающие ответы.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обоснован их высокой квалификацией в области электрохимического получения и исследования материалов, создания биоактивных покрытий медицинского назначения и изучения взаимодействия материалов с биологической средой. **Оппонент д.ф.-м.н. Ф. С. Сенатов** является специалистом в области биоматериалов, полимерных и биомиметических материалов, тканевой инженерии. Его научная компетенция соответствует задачам разработки композиционных покрытий для медицинских изделий и оценки их функциональных свойств в биологических системах.

Оппонент д.х.н., профессор В. В. Кузнецов является специалистом в области электрохимического получения материалов и в области исследования электрохимических процессов. Его компетенция позволяет оценить обоснованность выбора условий электроосаждения, применённых электрохимических методов и интерпретации полученных результатов.

Выбор **Федерального государственного бюджетного учреждения науки Государственного научного центра Российской Федерации Института биоорганической химии им. академиков М. М. Шемякина и Ю. А. Овчинникова Российской академии наук** в качестве ведущей организации обоснован высокой квалификацией сотрудников, специализирующихся в области исследования биологически активных веществ, покрытий и механизмов их взаимодействия с биологическими системами.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных исследований:

Впервые экспериментально продемонстрирована возможность пассивной регистрации электрохимических шумов in vivo на электродах из магниевого сплава AZ91 при подкожной имплантации без наложения внешней поляризации.

Установлена разнонаправленная динамика парциальной дисперсии электрохимического шума в течение четырёх суток in vivo: её снижение у непокрытых магниевых электродов и увеличение у электродов с хитозановым покрытием, согласующиеся с пассивацией сплава и изменением барьерных свойств покрытия.

Обоснованы условия гальваностатического электроосаждения хитозан-гидроксиапатитового покрытия на лазерно-текстурированной поверхности сплава Ti6Al4V с последующим включением фактора роста эндотелия сосудов VEGF.

Подтверждена биоактивность полученных поверхностей in vitro по увеличению адгезии мезенхимальных стволовых клеток, активности щелочной фосфатазы и доли VEGFR-положительных клеток.

Разработан ускоренный метод биокоррозионных испытаний алюминиевых сплавов в среде с Escherichia coli, позволяющий оценивать защитное действие покрытий по спонтанным токовым флуктуациям на малоразмерных образцах в течение трёх суток.

Впервые создана вычислительная модель BioElectroSynth, учитывающая параметры электрода и покрытия, биологические и приборные помехи для прогнозирования статистической обнаружимости дефектов при электрохимических шумовых измерениях in vivo.

Впервые разработан и применён алгоритм нейросетевой систематизации параметров электроосаждения хитозана из научных публикаций с двухуровневой проверкой извлечённых данных и связей между составом раствора, подложкой, режимом осаждения и результатом синтеза.

Научная новизна обоснована тем, что:

Впервые осуществлена регистрация электрохимических шумов in vivo на подкожно имплантированных электродах из магниевого сплава AZ91 с применением спектроскопии Чебышёва для пассивного контроля изменения состояния хитозанового покрытия.

Впервые разработана модель электрохимических шумовых измерений in vivo, объединяющая анатомический фантом, двухзонное

импедансное представление покрытия и моделирование методом Монте-Карло для количественной оценки порогов обнаружения дефектов на фоне биоэлектрических и приборных помех.

Впервые реализована ступенчатая проверка электрохимического шумового мониторинга покрытий в последовательности «in vitro — вычислительное моделирование — in vivo», показавшая информативность интегральных характеристик шума для оценки изменения коррозионной активности и барьерных свойств поверхности.

Впервые для систематизации параметров электроосаждения хитозана разработан нейросетевой подход, сочетающий извлечение данных из публикаций с проверкой их фактологических связей, необходимость которой обусловлена недостаточностью оценки точности распознавания отдельных параметров.

Теоретическая и практическая значимость полученных соискателем результатов исследования подтверждается тем, что:

Развиты представления об использовании спонтанных токовых флуктуаций как источника информации о состоянии межфазной границы «металл-покрытие-биологическая среда». Показана связь наблюдаемой динамики шумовой активности с изменением защитных свойств поверхности, что имеет значение для биоэлектрохимии и исследования коррозии биорезорбируемых материалов.

Впервые предложен способ предварительного расчётного обоснования пассивных электрохимических измерений in vivo. Разработанная расчетная модель позволяет оценить соотношение полезного сигнала и помех, определить ограничения выбранной конфигурации и отобрать перспективные параметры электродов до проведения биологических испытаний. Это создаёт предпосылки для более целенаправленного планирования экспериментов и сокращения числа заведомо малоинформативных измерений.

Разработан прототип биоактивного покрытия Chit/HAp/VEGF на титановом сплаве, сочетающий электрохимически сформированную полимерно-минеральную матрицу и белковый компонент. Полученные результаты in vitro могут быть использованы при дальнейшем создании поверхностей медицинских изделий с направленно изменяемыми биологическими свойствами.

Предложены и экспериментально опробованы способы ускоренного сравнительного исследования защитных покрытий in vitro и пассивного контроля состояния поверхности in vivo. Использование

спонтанных флуктуаций позволяет получать информацию без наложения внешней поляризации, способной изменять исследуемый процесс. Методические решения представляют интерес для оценки защитных покрытий и исследования биокоррозии металлических материалов.

Показана практическая применимость нейросетевой систематизации научных данных к выбору условий электрохимического эксперимента. Проверенные сведения о реальных составах и режимах могут использоваться для задания исходных условий и диапазонов параметров вычислительных исследований. Полученные результаты создают основу для дальнейшего развития замкнутого цикла, в котором анализ публикаций обеспечивает моделирование исходными данными, а расчёты уточняют дальнейший поиск и постановку экспериментов.

Оценка достоверности результатов исследований выявила:

Анализ и обработка полученных результатов проведены с применением современных электрохимических, физико-химических, вычислительных и биологических методов. Теоретической основой исследований являются научные представления об электроосаждении полимеров, коррозии металлов и электрохимических шумах. Достоверность измерений обеспечивается контролем приборного шума, сопоставлением исследуемых образцов и статистической обработкой данных. Сформулированные выводы логически следуют из представленных результатов и основаны на полученном фактическом материале. Основные результаты прошли оценку при рецензировании опубликованных работ и обсуждены на научных конференциях.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии в постановке цели и задач исследования, планировании экспериментов, подготовке и проведении исследований, обработке, анализе и интерпретации полученных данных, формулировании основных положений и выводов, подготовке материалов для публикаций и представлении результатов на научных конференциях. Соискателем лично разработаны алгоритм применения нейросетевых моделей для извлечения и проверки литературных данных и вычислительная модель, выполнен математический анализ электрохимических шумов и проведены исследования in vivo. Автор принимал непосредственное участие в исследовании условий электроосаждения и свойств полученных покрытий, сопоставлении экспериментальных результатов с расчётными оценками. Результаты биологических испытаний и экспериментальных исследований,

выполненных совместно с соавторами, обсуждались и интерпретировались при непосредственном участии соискателя.

В ходе защиты диссертации были высказаны замечания о представлении и интерпретации полученных данных. На все замечания К. И. Макринский предоставил аргументированные ответы.

Диссертационный совет пришёл к выводу, что диссертационная работа Макринского Кирилла Игоревича «Электрохимические способы нанесения и in vivo контроля биоактивных покрытий на медицинских изделиях» удовлетворяет критериям, установленным пунктами 9, 11, 13 и 14 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а её автор, Макринский Кирилл Игоревич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.4.6. Электрохимия.

На заседании 27 октября 2026 года диссертационный совет принял решение присудить Макринскому Кириллу Игоревичу учёную степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 17 докторов наук по специальности 1.4.6. Электрохимия, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовал: за присуждение учёной степени - 19, против присуждения учёной степени — 0, недействительных бюллетеней - 0.

Заместитель председателя диссертационного совета 24.1.141.02, д.х.н., доцент _____ **/[Т.Л. Кулова]/**

Учёный секретарь диссертационного совета 24.1.141.02, к.х.н.

_____ **/Н. В. Некрасова/**

27.10.2026