

ОТЗЫВ ОППОНЕНТА

на диссертацию Марченко Валерии Станиславовны
«Многофункциональные ингибиторсодержащие покрытия на магнии и
магниевых сплавах: механизм деградации и активная защита от коррозии»,
представленную на соискание учёной степени кандидата химических наук
по специальности 1.4.4. Физическая химия

Магний и его сплавы являются перспективным классом материалов для применения в промышленности и медицине, что обусловлено оптимальным сочетанием механических характеристик, биосовместимости и способности к биodeградации в физиологической среде. Ключевым преимуществом имплантатов для остеосинтеза на основе магния является их биорезорбируемость, исключающая необходимость повторного хирургического вмешательства для удаления выполнившего свою роль имплантата. Однако расширению области коммерческого использования препятствует высокая скорость коррозии материала. Стратегия управления биodeградацией включает разработку защитных покрытий и легирование биосовместимыми элементами, что позволяет регулировать кинетику коррозионных процессов и обеспечивать сохранность изделий из магния и его сплавов в агрессивной коррозионной среде продолжительное время.

В связи с этим целью диссертационной работы Марченко В.С. является установление корреляции между составом, структурой и свойствами защитных слоёв на магниевых сплавах и кинетикой их коррозии в агрессивных средах, с последующей разработкой биосовместимых ингибиторсодержащих покрытий для повышения функциональности и безопасности применения данных материалов в промышленных и медицинской сферах.

Достоверность и обоснованность положений, выносимых на защиту, подтверждается их согласованностью с фундаментальными основами медицинского материаловедения, успешной апробацией, а также использованием современных исследовательских методов и передовых научно-исследовательских подходов при изучении свойств материала, статистической обработкой и повторяемостью экспериментальных данных.

Научная новизна диссертационного исследования определяется совокупностью фундаментальных результатов, вносящих существенный вклад в развитие способов модификации поверхности функциональных материалов для биомедицинского использования. Впервые с применением комплекса современных физико-химических методов локального электрохимического анализа (SVET, SIET) установлены корреляционные зависимости между фазовым составом, микроструктурными особенностями сплава Mg-0,8Ca и кинетикой коррозионных процессов на мезо- и микроуровнях. Методологически значимым достижением является выявление механизмов электрохимических процессов, протекающих на гетерогенной поверхности сплава в различных электролитах, включая модельные физиологические среды различного состава.

Разработанный в диссертации инновационный подход к модификации защитных свойств магниевых сплавов основан на принципе функционализации покрытий, полученных методом плазменного электролитического оксидирования, безопасными для человека ингибиторами коррозии и биodeградируемым полимерным материалом, что обеспечивает выраженный эффект активной и управляемой коррозионной защиты. Особого внимания заслуживает созданная оригинальная методика локального электрохимического тестирования, позволяющая отслеживать динамику коррозионной активности на микроуровне и с высокой точностью оценивать эффективность ингибиторов в процессе самозалечивания дефектов защитных покрытий. Совокупность полученных результатов открывает новые перспективы для создания материалов с заданной коррозионной стойкостью.

Диссертационная работа представляет собой актуальное фундаментальное научное исследование, направленное на решение ключевой проблемы современного материаловедения – управление деградацией перспективных для имплантационной хирургии магниевых сплавов. Работа сфокусирована на углублённом изучении взаимосвязи в системе «состав – структура – свойства» для защитных слоёв, формируемых на поверхности

магниевого сплава, что является актуальной задачей в направлении изучения физикохимии поверхности коррозионно-активных материалов. Установление корреляций между особенностями морфологии поверхности и кинетикой коррозионных процессов в агрессивных средах, включая физиологические растворы, вносит существенный вклад в фундаментальные знания о механизмах и кинетике разрушения материалов на основе магния. На базе полученных фундаментальных данных разрабатываются принципиально новые биосовместимые smart-покрытия с функцией самозалечивания, способные активно реагировать на изменения среды. Такой подход лежит в русле передовых тенденций создания функциональных и адаптивных материалов, открывая путь к значительному повышению надёжности и функциональности изделий из магниевых сплавов для применения в качестве биорезорбируемых имплантатов следующего поколения и в других высокотехнологичных отраслях промышленности.

Публикации, подготовленные в рамках диссертационного исследования, в полной мере раскрывают его основы и ключевые результаты. Высокие наукометрические показатели журналов, в которых опубликованы основные результаты исследования свидетельствуют о том, что полученные данные обладают научной ценностью и получили признание международного научного сообщества. Обширный список материалов конференций, на которых были представлены результаты проведенных экспериментов по теме диссертации, позволяют сделать вывод о широкой освещённости выбранной темы.

В качестве **замечаний и рекомендаций** к диссертационной работе можно отметить следующее:

1. Автором получены важные экспериментальные данные по скорости коррозии магниевых сплавов. Тем не менее в работе отсутствует критический анализ этих данных в контексте конкретных медицинских требований. В работе не указаны целевые диапазоны скорости коррозии, которые обеспечили бы оптимальный баланс между механической целостностью имплантата на

период консолидации костной ткани (обычно 12-24 недели), биосовместимостью процесса резорбции (скорость высвобождения продуктов коррозии и водорода не должна превышать физиологические возможности организма по их выведению) и постепенным растворением имплантата после завершения фазы костеобразования. Для усиления научной и практической ценности работы необходимо дополнить анализ коррозионных данных обоснованием целевых диапазонов скорости коррозии, ссылаясь на данные физиологии, известные клинические случаи или общепринятые в научном сообществе модельные значения;

2. Необходимо проанализировать возможное влияние изменения морфологии и гидрофобности поверхности после обработки покрытия полимером на последующие процессы клеточной адгезии и пролиферации. Изменение топографии поверхности (шероховатости, пористости) влияет на величину контактного угла, что предопределяет эффективность адсорбции белков из культуральной среды, которая является критически важным первым этапом клеточной адгезии;

3. Предложенная автором модель механизма самозалечивания справедлива для статических условий *in vitro*, но не в полной мере отражает реальные процессы, происходящие в организме. Рекомендуется дополнить существующую модель с учетом влияния циркуляции жидкости в электрохимической ячейке (сопоставимой со скоростью потока крови в организме человека) на кинетику высвобождения, доставку и эффективность действия ингибитора коррозии. Это необходимо для оценки адекватности работы эффекта самозалечивания в динамических условиях, приближенных к *in vivo*.

Замечания направлены на дальнейшее совершенствование разработки, углубление научного поиска и не умаляют достоинств диссертационного исследования, а также обоснованности и достоверности полученных результатов и выводов.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Содержание диссертации изложено на 160 страницах машинописного текста, содержит 17 таблиц, 72 рисунка. Список литературы включает 190 наименований. Работа отличается высоким уровнем технического исполнения: грамотным и ясным изложением, практически полным отсутствием редакционных недочетов, а также качественным оформлением иллюстративного материала, таблиц и списка литературы. Содержание диссертации полностью соответствует заявленной специальности 1.4.4. Физическая химия. Текст автореферата в полной мере отражает основное содержание диссертации.

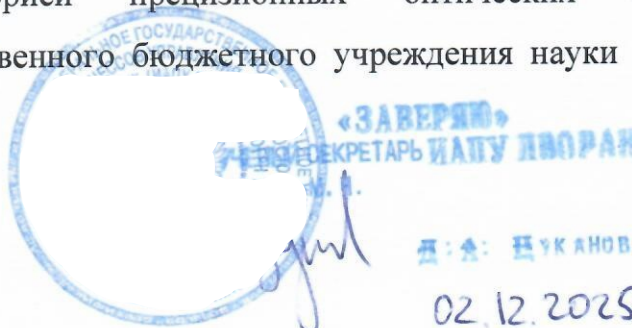
По своему научному уровню, актуальности решаемых задач, объёму и глубине проведённых исследований, а также научной значимости полученных результатов диссертационная работа соответствует требованиям, установленным пунктами 9-12 и 14 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842 (в действующей редакции). В рамках завершённого научного исследования установлена взаимосвязь между составом защитных слоёв на магниевых сплавах и их коррозионным поведением, что позволило создать биосовместимые покрытия с контролируемой деградацией для применения материала в медицине и промышленности. Соискатель, Марченко Валерия Станиславовна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.4. Физическая химия (химические науки).

Оппонент

Витрик Олег Борисович

Член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук (05.08.06 Физические поля корабля, океана и атмосферы и их взаимодействие).

Заведующий лабораторией прецизионных оптических измерений
Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института



автоматики и процессов управления ДВО РАН, 690041, г. Владивосток, ул.
Радио, 5

Контактные данные: тел.: +7(902)5239163, e-mail: oleg_vitrik@mail.ru