

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

экспертной комиссии диссертационного совета

Комиссия диссертационного совета 24.1.092.01 по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата химических наук при ИОХ РАН в составе чл.-корр. РАН Н.Э. Нифантьев (председатель), д.х.н., проф. А.И. Усов, д.х.н. Г.А. Газиева, рассмотрев диссертацию и автореферат диссертации Ланцовой Елизаветы Александровны *«Кремнийсодержащие биогибридные материалы, формируемые с участием клеток микроорганизмов, для применения в экологии и биомедицине»*, (научный руководитель – к.х.н., доц. Каманина О.А.), представленную на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.9.- биорганическая химия, установила:

Диссертационная работа Ланцовой Е.А. *“Кремнийсодержащие биогибридные материалы, формируемые с участием клеток микроорганизмов, для применения в экологии и биомедицине”* посвящена решению задач, представляющих несомненный научный и практический интерес.

Актуальность работы. Золь-гель технология является одним из широко применяемых и технологически гибких методов для создания современных биокатализаторов и пористых материалов-носителей. Возможность переходить от растворов предшественников к золям и гелям позволяет формировать широкий диапазон материалов: наночастиц, тонких пленок, керамики, гидрогелей или аэрогелей, многокомпонентных гибридных органо-неорганических материалов. Полученные золь-гель методом материалы используются в катализе, колонках высокоэффективной жидкостной хроматографии, биосенсорах, фотонных устройствах, в качестве анода в батареях для накопления энергии, для адсорбции тяжелых металлов, обеззараживания окружающей среды, в матрицах для доставки лекарств и их контролируемой десорбции. Особый интерес вызывает инкапсулирование живых клеток в кремнийорганические материалы, получаемые золь-гель методом. Такие системы способны не только сохранять активность клеток,

но и обеспечивать их защиту от механических, температурных и биологических воздействий. Данный подход сочетает такие преимущества инкапсулирования в матрицу как высокую механическую и термическую стабильность, устойчивость к набуханию в воде и органических растворителях и в тоже время обеспечивает совместимость с биологическим материалом. Реакции синтеза протекают в мягких условиях при комнатной температуре и физиологических значениях pH, что позволяет сохранять дыхательную активность клеток в течение длительного времени. Способность микроорганизмов окислять широкий спектр органических соединений позволяет использовать биогибридные материалы для создания высокочувствительных биосенсоров, предназначенных для выявления и количественного анализа природных токсикантов в водных средах. Такие устройства находят применение для мониторинга состояния окружающей среды и биологической очистки водных ресурсов, обеспечивая более высокую стабильность и длительность функционирования по сравнению с системами, использующими свободные клетки. Это создает предпосылки для разработки устойчивых и воспроизводимых биотехнологических процессов с участием иммобилизованных клеток, обладающих продолжительной каталитической активностью.

Один из методов получения пористых кремнийсодержащих материалов основан на формировании полимерного материала вокруг шаблонов (темплатов), которые химически или термически удаляют на финальной стадии синтеза. Зачастую традиционные темплаты (сферические частицы, полимерные матрицы) обеспечивают высокую удельную поверхность, но недостаточный диаметр пор для сорбции и последующей десорбции крупных разветвленных и/или длинноцепочечных молекул активных веществ из-за возникающих стерических затруднений. Альтернативным видом шаблонов выступают клетки микроорганизмов, благодаря стабильности размеров и повторяемости морфологии. Инкапсулирование клеток в кремнийорганические оболочки позволяет использовать микроорганизмы в качестве шаблонов и после их отжига может приводить к формированию пористых материалов-носителей (загрузочных материалов) для получения

антимикробных систем с длительным действием и эффективным контролируемым расходом активного соединения. Таким образом, применение клеток микроорганизмов для создания функциональных кремнийсодержащих материалов является актуальной задачей, направленной на решение экологических проблем, связанных с загрязнением окружающей среды, а также на разработку высокоэффективных биотехнологических процессов получения и применения функциональных наноматериалов.

Новизна работы заключается в возможности использования смешанной культуры дрожжей (*O. polymorpha*, *B. adeninivorans*, *D. hansenii*) для получения золь-гель методом иерархически структурированного кремнийорганического материала с возможностью применения его в составе биосенсора для определения биохимического потребления кислорода (БПК) при экологическом мониторинге. Установлено, что соотношение силановых предшественников при иммобилизации микроорганизмов влияет на внутрипоровые диффузионные ограничения и доступность субстратов для клеток микроорганизмов. Показано, что использование материала с наименьшей степенью конденсации органосилоксановых мономеров позволяет получить лучшие характеристики биосенсора, включая повышенную чувствительность, расширенный диапазон определяемых концентраций и улучшенную стабильность.

Впервые синтезированы и охарактеризованы пористые кремнийсодержащие материалы, полученные в результате отжига биошаблонов, а именно дрожжевых (*Ogataea polymorpha* ВКМ У-2559) и бактериальных (*Paracoccus yeei* ВКМ В-3302) клеток. Такой подход позволяет синтезировать материал с двухстадийной десорбцией октенидина, где имеет место начальный быстрый массоперенос и последующая замедленная диффузия, подчиняющаяся законам Фика.

Практическая значимость проведенных исследований заключается в возможности изменять пористость кремнийсодержащих материалов, удельную площадь поверхности, а также сорбционные и десорбционные характеристики благодаря предложенным подходам синтеза. Установлено, что иммобилизация смеси дрожжевых клеток в кремнийорганические

материалы позволяет получить рецепторные элементы биосенсоров для экспресс-определения биохимического потребления кислорода в поверхностных и сточных водах.

Кроме того, синтезированные пористые силикатные материалы, сформированные с помощью микроорганизмов в качестве биотемплатов, демонстрируют сопоставимые или более высокие показатели сорбции и десорбции антисептика по сравнению с известным аналогом. Технология может быть адаптирована для получения эффективных антимикробных материалов пролонгированного действия. Продемонстрировано длительное подавление фитопатогенных бактерий и быстрое ингибирование клинически значимых патогенных микроорганизмов.

Степень достоверности обеспечивается использованием современных методов анализа (сканирующая и просвечивающая электронная микроскопия, спектроскопия ядерного магнитного резонанса (ЯМР), метод низкотемпературной адсорбции-десорбции азота, рентгенофазовый анализ и др.) для описания полученных гибридных материалов. Достоверность результатов и выводов обеспечена апробацией результатов исследований в форме докладов на профильных научных конференциях и публикацией результатов исследования в профильных рецензируемых научных изданиях.

Личный вклад соискателя состоит в разработке методики получения гибридного биокатализатора на основе смеси дрожжей и пористых кремнийсодержащих материалов на основе бактерий *P. yeii* и дрожжей *O. polymorpha*, а также большей части работы по его описанию, в том числе в приготовлении материалов и выполнении анализов. Соискатель выполнил большую часть синтетических и кинетических экспериментов, интерпретировал и обобщил значительную часть экспериментальных данных, провёл анализ научной литературы, подготовил публикации. Активно участвовал в написании научных статей. Лично участвовал в апробации результатов научной работы на всероссийских и международных конференциях.

Опубликованные материалы и автореферат полностью отражают основное содержание работы.

Диссертация отвечает требованиям, предъявляемым ВАК к работам на соискание степени кандидата химических наук, и может быть представлена к защите по специальности 1.4.9. – биоорганическая химия.

Таким образом, соискатель имеет 79 публикаций, в том числе 8 по теме диссертации. Из них **17 статей, опубликованных в международных базах цитирования и журналах, рекомендованных ВАК**, (в том числе 3 по теме диссертации), 62 тезиса на всероссийских и международных конференциях (в том числе 5 по теме диссертации).

Исходя из вышеизложенного, можно утверждать, что по актуальности, объему, уровню выполнения, новизне полученных результатов диссертационная работа “Кремнийсодержащие биогибридные материалы, формируемые с участием клеток микроорганизмов, для применения в экологии и биомедицине” Ланцовой Е.А. соответствует критериям пункта 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, является научно-квалификационной работой. Экспертная комиссия рекомендует диссертационную работу Ланцовой Е.А. к защите на диссертационном совете 24.1.092.01 ИОХ РАН по присуждению ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.9. – биоорганическая химия.

Рекомендуемые официальные оппоненты (д.х.н. Коршун В.А., Институт биоорганической химии им. академиков М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова Российской академии наук и д.х.н., проф., член-корр РАН Щипунов Ю.А., Институт химии Дальневосточного отделения Российской академии наук) и ведущая организация (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химии растворов им. Г.А. Крестова Российской академии наук) выбраны соответственно профилю диссертационной работы.

Решение диссертационного совета о приеме к защите кандидатской диссертации Ланцовой Е.А. по теме “Кремнийсодержащие биогибридные материалы, формируемые с участием клеток микроорганизмов, для

применения в экологии и биомедицине” принято 8 сентября 2026 года на заседании диссертационного совета 24.1.092.01.

чл.-корр. РАН Н.Э. Нифантьев (председатель)

д.х.н., проф. А.И. Усов

д.х.н. Г.А. Газиева

Подписи чл.-корр. РАН Н.Э. Нифантьева (председатель), д.х.н., проф. А.И. Усова, д.х.н. Г.А. Газиевой. заверяю

Ученый секретарь ИОХ РАН, к.х.н.

8 сентября 2026



И. К. Коршевец