

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

о диссертации на соискание ученой степени

кандидата химических наук

Берекчияна Михаила Вартановича

на тему: «**Диффузия заряженных частиц через поры нанометрового размера в анодном оксиде алюминия**»

по специальностям 02.00.21 – «химия твердого тела»

и 05.17.18 – «мембраны и мембранная технология»

В настоящее время все более актуальными становятся вопросы нехватки запасов пресной чистой воды, поэтому задачи ее очистки и опреснения являются принципиально важными для современных мембранных технологий. Так, для селективной и производительной очистки воды от растворенных катионов и анионов применимы нанофильтрационные процессы, при этом единой и общепризнанной модели транспорта ионов через нанопористые трековые мембраны различных типов пока не существует. Разработке и проверке применимости моделей диффузии заряженных частиц через асимметричные и симметричные мембраны анодного оксида алюминия и посвящена работа М.В. Берекчияна, **фундаментальный и прикладной характер**, а также **актуальность** которой не вызывают сомнений.

В рамках работы соискателю предстояло синтезировать асимметричные и симметричные мембраны анодного оксида алюминия различной толщины с варьируемой архитектурой, иерархией и размером пор, выявить взаимосвязь между величиной открытой пористости, толщиной мембран, пределом прочности на разрыв и транспортом ионов. Потребовалось установить границы применимости известных моделей массопереноса заряженных частиц через поры нанометрового размера в мембранах анодного оксида алюминия, и при необходимости, предложить новые, оригинальные и альтернативные модели ионного транспорта через поры нанометрового размера, что и предопределило основные **цели и задачи** представленной на рецензирование работы.

Достоверность, обоснованность и научная новизна результатов работы обусловлена использованием современных и взаимодополняющих физико-химических методов исследования, включая растровую электронную микроскопию, масс-спектрометрию с индуктивно-связанной плазмой, спектроскопию комбинационного рассеяния и раман-спектроскопию, капиллярную конденсацию азота при 77К, измерениями газопроницаемости и мембранного потенциала и воспроизводимостью полученных результатов.

В качестве **основных и наиболее важных фундаментальных результатов работы** необходимо отметить предложенную перколяционную модель ионного транспорта через нанопористые мембраны, которая может быть использована для предсказания оптимальных условий и структурных параметров нанофильтрационных мембран. Полученные в настоящей работе мембраны анодного оксида алюминия имеют **значительный практический потенциал** для нанофильтрации в водной среде в широком диапазоне pH (от 3 до 9) со степенью отсека 85% для 1,1-электролитов и 90% для 2,1-электролитов что, безусловно, способно удешевить себестоимость процесса обессоливания воды и повысить продолжительность их эксплуатации.

Диссертационная работа выстроена по стандартной схеме и содержит 8 разделов: введение, литературный обзор, экспериментальная часть, обсуждение результатов, заключение, выводы, список литературы и благодарности. Текст работы изложен на 134 страницах, включает 97 рисунков и 18 таблиц, список цитируемой литературы содержит 153 наименования. В разделе «Литературный обзор» рассмотрены особенности переноса ионов в мембранах при реализации различных процессов разделения в жидкой среде (обратный осмос, нанофильтрация, ультрафильтрация, диализ) и описаны современные модели ионного транспорта через нанопористые среды, основанные как на теоретическом моделировании, так и на эмпирических данных. Отдельно рассмотрены приложения теории перколяции, применяемые, в том числе, для описания транспортных и структурных характеристик мембран. Особое внимание уделено ионному транспорту через мембраны анодного оксида

алюминия, а также методу их синтеза и морфологическим свойствам. В завершение обзора литературы сформулирована цель исследования и перечислены решаемые задачи. В разделе «Экспериментальная часть» описаны методики синтеза и модификации мембран анодного оксида алюминия, а также перечислены использованные методы исследования. В разделе «Обсуждение результатов» описаны структурные и транспортные характеристики полученных мембран и образцов сравнения, а также приведены теоретические обоснования полученных экспериментальных данных и предложена перколяционная модель ионного транспорта для случая, когда толщина двойного электрического слоя сопоставима с радиусом поры.

Результаты работы опубликованы в 4 статьях в престижных зарубежных и российских журналах из перечня ВАК Минобрнауки РФ, а также в 10 тезисах докладов на российских и международных конференциях. Они могут быть использованы при составлении задачи специализированного практикума «Методы получения материалов» для магистрантов 1-го года обучения факультета наук о материалах и студентов 5-го курса химического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова. Текст диссертации может быть полезен как для научных организаций (Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН и др.) и ВУЗов (РХТУ им. Д.И. Менделеева, НГТУ им. Р.Е. Алексеева, КубГУ и др.), так и для промышленных предприятий («Владипор», «Гейзер» и др.), специализирующихся на вопросах очистки и опреснения воды.

Принципиальных замечаний к тексту диссертационной работы не выявлено. Однако, при ее чтении возникли следующие **вопросы и замечания**:

1) В литературном обзоре автор подробно и детально описал известные и общепризнанные модели транспорта заряженных частиц через различные пористые среды. Вместе с тем, желательно было бы детализировать и уточнить критерии и границы применимости этих моделей для решения конкретных задач (тип мембраны, средний размер пор, движущая сила, концентрация компонентов и др.), особо подчеркнув их достоинства и недостатки.

2) В постановке задачи исследования на рис. 43 представлены существенно различающиеся зависимости эффективного коэффициента диффузии заряженных частиц от среднего размера пор мембран. По мнению рецензента, для большей информативности целесообразно было бы выделить не более 10-15 (из упомянутых 103) литературных источников, в которых условия эксперимента, размер пор, тип мембраны и другие критерии максимально приближены к настоящей работе.

3) Не вполне ясно, почему временные зависимости транспортных свойств мембран исследовались в статических условиях при изменяющейся движущей силе (градиент концентраций), а не в динамических условиях при постоянной или квазипостоянной движущей силе. Наблюдается ли корреляция зависимостей потока заряженных частиц и мембранного потенциала от размера пор?

4) При расчете эффективного коэффициента диффузии ионов в водных растворах, вероятно, следовало бы сделать поправку на степень их гидратации.

5) Для оценки потенциала практического использования и прогнозирования ресурса работы полученных мембран хотелось бы понять, меняются ли их открытая пористость и механические свойства в процессе проведения семичасового эксперимента по транспорту заряженных частиц в водной среде.

Указанные замечания носят частный характер и не снижают значимости диссертации Берекчияна М.В., отвечающей всем требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертационной работы соответствует паспортам специальностей 02.00.21 – «химия твердого тела» и 05.17.18 – «мембраны и мембранные технологии» (по химическим наукам), а также критериям, определенным п. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, а ее оформление - приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Таким образом, считаю, что соискатель, Берекчиян Михаил Вартанович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата химических наук по специальностям 02.00.21 – «химия твердого тела» и 05.17.18 – «мембраны и мембранные технологии».

Официальный оппонент:

Ведущий научный сотрудник

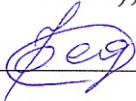
лаборатории функциональной керамики (№ 31)

Федерального государственного бюджетного

учреждения науки Института металлургии

и материаловедения им. А.А. Байкова

Российской академии наук (ИМЕТ РАН),

кандидат химических наук  /Федоров Сергей Васильевич
24.11.2020г.

Контактные данные:

тел.: 7(926)568-72-93, e-mail: sfedorov@imet.ac.ru

Специальности, по которой официальным

оппонентом защищена кандидатская диссертация:

02.00.01 – неорганическая химия и 02.00.04 – физическая химия

Адрес места работы:

119334, Российская Федерация, г. Москва, Ленинский пр-т, 49

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

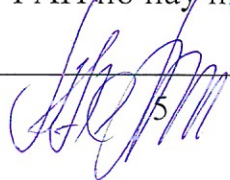
Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова

Российской академии наук, лаборатория функциональной керамики (№ 31),

тел.: 7(926)568-72-93, e-mail: sfedorov@imet.ac.ru

Подпись сотрудника С.В. Федорова удостоверяю:

Заместитель директора ИМЕТ РАН по научной работе

кандидат технических наук  /Анохин Александр Сергеевич

