

**ОТЗЫВ официального оппонента**  
**на диссертацию на соискание ученой степени**  
**кандидата химических наук Берекчияна Михаила Варгановича**  
**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»**

Необходимость совершенствования существующих технологий разделения компонентов газов и жидкостей, удаления нежелательных примесей обусловлена, с одной стороны, потребностями современных производств, для которых особая чистота реагентов и реакционной среды является критическим параметром, и, с другой стороны, резким обострением экологических проблем. Среди возможных подходов к решению конкретных задач в этой сфере применение мембранных процессов разделения рассматривается в качестве наиболее перспективного благодаря сочетанию сниженных энергозатрат, возможности масштабирования и простоте включения в действующие технологические схемы. Создание новых высокоэффективных мембранных материалов, очевидно, требует глубокого понимания механизма транспорта разделяемых компонентов, влияния состава, структуры, условий получения и функционирования мембран на их проницаемость и селективность. В этой связи актуальность диссертационной работы М.В.Берекчияна, посвященной исследованию ионного переноса в пленочных мембранах на основе анодного оксида алюминия, не вызывает сомнений.

Автор представил свою работу в традиционной форме, объем диссертации 134 страницы, обсуждаемые литературные и собственные экспериментальные данные представлены в 18 таблицах и проиллюстрированы 97 рисунками. Список использованной литературы

включает 153 наименования. Основное содержание изложено в 4 главах, включающих:

- введение, где обоснована актуальность исследования, сформулированы его цели и решаемые задачи, значимость полученных результатов;

- литературный обзор, в котором описаны основные типы мембранных процессов и проанализированы теоретические модели, описывающие механизм транспорта, в первую очередь ионного, в мембранах. Особое внимание уделено автором нанопористым мембранам анодного оксида алюминия, которые и являются объектом проведенного исследования. Учитывая направленность диссертационного исследования, в литературном обзоре представляется несколько чрезмерным уклон в сторону теоретического моделирования в ущерб анализу доступных в литературе экспериментальных методик и результатов. Как следствие, остаются не определенными некоторые базовые понятия, используемые автором в работе;

- экспериментальную часть, представляющую информацию о процедурах синтеза и модифицирующей обработки мембранных материалов, аналитических методах, использованных для их характеристики. Стоило бы здесь уделить дополнительное внимание погрешности в определении основных параметров, что принципиально важно для адекватной интерпретации результатов.

- глава, аккумулирующая собственно экспериментальные и теоретические результаты работы и их обсуждение. Для лучшего восприятия большого массива полученных и обсуждаемых в работе данных было бы полезным сделать этот раздел более структурированным.

Основные итоги диссертационного исследования в концентрированном виде представлены в разделах 5 (Заключение) и 6 (Выводы).

В целом, текст написан хорошим языком, грамматически выверен, количество опечаток и синтаксических ошибок минимально.

При чтении диссертации очевидным становится исключительно большой объем выполненной автором экспериментальной и теоретической

работы. Если постараться сформулировать те итоговые положения, которые имеют наибольшую практическую и теоретическую значимость, то, в первую очередь, необходимо отметить доскональную проработку методики синтеза мембранных материалов на основе анодного оксида алюминия с заданными структурными характеристиками. Автор продемонстрировал, как даже незначительные изменения параметров электрохимического процесса на стадии формирования оксидной пленки и удаления барьерного слоя сказываются на формировании пор определенного размера и степени доступности для диффузионного потока, чем определяется химический состав внутренней поверхности пор, их адсорбционная способность по отношению к диффундирующим ионам. Весьма полезным здесь оказалось использование модификатора (полистиролсульфоновой кислоты) и референсных полиэтилентерефталатных трековых мембран.

Существенным достоинством диссертационной работы является использование теоретических подходов к объяснению выявленных закономерностей. Сопоставляя собственные экспериментальные данные с рассчитанными в рамках модели однородного потенциала и перколяционной модели, М.В.Берекчиян убедительно доказал применимость этих теоретических представлений для описания ионного транспорта в нанопористом анодном оксиде алюминия и, следовательно, возможность целенаправленного синтеза новых мембранных материалов с повышенной эффективностью при разделении компонентов раствора определенного состава.

Основные результаты работы и сформулированные автором на их основании выводы вполне обоснованы, их высокий научный уровень подтверждают публикации в высокорейтинговых международных изданиях *Microporous and Mesoporous Materials*, *Journal of Physical Chemistry C*, уверенно входящих в первый квартиль по данным WoS. Важным аргументом в пользу новизны результатов и интереса к ним у специалистов является

апробация на специализированных всероссийских и международных конференциях.

Как это часто бывает при взгляде со стороны на, казалось бы, тщательно выверенный текст диссертации, некоторые представленные результаты и их трактовка вызывают вопросы.

1. В разделе, посвященном влиянию изменения потенциала на пористую структуру мембран, указано, что наличие мелкопористого слоя, сформированного при низких напряжениях, не оказывает существенного влияния на газотранспортные свойства, потому что толщина этого слоя мала. Такое объяснение выглядит не вполне убедительным, поскольку именно такой принцип - тонкий селективный слой на пористой подложке - лежит в основе создания высокоэффективных асимметричных мембран. Видимо, в данном случае причина неизменности транспортных свойств иная.

2. В таблице 11 в графе "Диаметр пор на нижней поверхности" для нескольких образцов наряду с собственно размером стоит пометка "размер дефектов в структуре". О каких дефектах идет речь и как определялся их размер? В тексте диссертации отсутствуют комментарии по этому поводу.

3. В таблице 16 "Параметры, использованные при расчетах" указана в качестве постоянного параметра величина вязкости раствора ( $0,88 \cdot 10^{-3}$  Па с). Действительно ли этот параметр не зависит от состава раствора? И, если зависит, то к какому составу раствора относится приведенная величина?

4. Как уже отмечалось выше, ни в рамках литературного обзора, ни в экспериментальной части не приводится четкая дефиниция некоторых экспериментально определяемых параметров, часто используемых автором в работе, но не вполне понятных читателю, не являющемуся специалистом в данной узкой области. Например, "номинальное отсечение", "эффективные и объемные коэффициенты диффузии", "мембранный потенциал" или "потенциал мембраны". Вероятно, расшифровка этих понятий и методика измерения или расчета соответствующих значений должна присутствовать в диссертации.

Все сделанные замечания не являются критическими и общий высокий уровень диссертации не вызывает сомнений. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспортам специальностей 02.00.21 – «Химия твердого тела» и 05.17.18 – «Мембраны и мембранная технология» (по химическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова, а также оформлена, согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Таким образом, соискатель Берекчиян Михаил Варганович заслуживает присуждения ученой степени кандидата химических наук по специальностям 02.00.21 – «Химия твердого тела» и 05.17.18 – «Мембраны и мембранная технология».

Официальный оппонент:

доктор химических наук, доцент,  
профессор кафедры химической технологии  
и новых материалов Химического факультета  
Федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего образования  
«Московский государственный университет  
имени М.В.Ломоносова» \_\_\_\_\_ / Клямкин Семен Нисонович

27.11.2020

Контактные данные:

тел.: 7(495)939-45-76, e-mail: klyamkin@highp.chem.msu.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом

защищена диссертация: 02.00.21 – «Химия твердого тела»

Адрес места работы:

119991, Российская Федерация, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 11,  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Московский государственный университет имени  
М.В.Ломоносова», Химический факультет, Кафедра химической технологии и  
новых материалов

тел.: 7(495)939-45-76, e-mail: klyamkin@highp.chem.msu.ru

Подпись Клямкина С.Н. удостоверяю:

