

"УТВЕРЖДАЮ"

И.о. декана факультета Наук о материалах

МГУ имени М.В. Ломоносова  
академик, профессор

**Солнцев К.А.**



## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

факультета наук о материалах федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова»

Диссертационная работа «Интенсификация процессов массопереноса с использованием мембранных контакторов на основе нанопористых мембран» выполнена ассистентом кафедры наноматериалов факультета наук о материалах МГУ им. М.В. Ломоносова Поярковым Андреем Александровичем.

В период подготовки диссертации был аспирантом, а в настоящее время Поярков А.А. является ассистентом факультета наук о материалах МГУ им. М.В. Ломоносова.

Тема диссертационной работы и научные руководители - доктор химических наук, член-корреспондент РАН Лукашин Алексей Викторович и кандидат химических наук Елисеев Андрей Анатольевич - утверждены на заседании Ученого совета Факультета наук о материалах МГУ им. М.В. Ломоносова, протокол № 190 от 22.12.2016.

По итогам обсуждения работы на заседании кафедры наноматериалов факультета наук о материалах МГУ им. М.В. Ломоносова 12 мая 2023 было принято следующее **заключение:**

Диссертация Пояркова А.А. «Интенсификация процессов массопереноса с использованием мембранных контакторов на основе нанопористых мембран» по своему содержанию, объему проведенных исследований, новизне, научной и практической значимости представляет завершённое исследование и является научно-квалификационной работой, которая соответствует требованиям предъявляемым ВАК к кандидатским

диссертациям (п. 9-14 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842 (с учетом изменений и дополнений).

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 2.6.15 мембраны и мембранная технология в пункте: 1. Принципы создания материалов для мембран. Способы получения и свойства мембран из органических и неорганических материалов. Разработка методов синтеза мембран с заранее заданными свойствами; 2. Теория мембранных процессов, механизмы переноса компонентов через мембраны различной природы. Кинетика мембранного транспорта; 3. Разработка принципов функционирования мембран различного назначения (обратноосмотических, нано-, ультра-, микрофльтрационных, первапорационных, ионообменных, газоразделительных) при мембранном разделении компонентов жидких и газовых смесей и мембранном катализе. 4. Технологические схемы с применением мембранных процессов, их экономическое и экологическое обоснование. 5. Комбинированные процессы мембранной технологии (сочетание мембранных процессов с другими процессами химической технологии: адсорбцией, ректификацией и др.). 6. Применение мембранных процессов в промышленности, охране окружающей среды и медицине, в том числе решение проблем водного хозяйства, разделения жидких и газовых смесей, выделения ценных компонентов из сточных вод и газовых выбросов, использование процессов и устройств для поддержания жизнедеятельности человека. 7. Методы расчета и оптимизация режимов работы мембранных аппаратов и систем с целью улучшения конструкции аппаратов и повышения эффективности их работы. Изучение особенностей мембранных систем, таких как концентрационная поляризация, и методов борьбы с этим явлением.

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 2.6.17. Материаловедение в пунктах: 1. Разработка новых металлических, неметаллических и композиционных материалов, в том числе капиллярно-пористых, с заданным комплексом свойств путем установления фундаментальных закономерностей влияния дисперсности, состава, структуры, технологии, а также эксплуатационных и иных факторов на функциональные свойства материалов. Теоретические и экспериментальные исследования фундаментальных связей состава и структуры металлических, неметаллических материалов и композитов с комплексом физико-механических и эксплуатационных свойств с целью обеспечения надежности и долговечности деталей, изделий, машин и конструкций (химической, нефтехимической, энергетической, машиностроительной, легкой, текстильной, строительной). 4. Разработка физико-химических и физико-механических процессов формирования новых металлических, неметаллических и композиционных

материалов, обладающих уникальными функциональными, физикомеханическими, биомедицинскими, эксплуатационными и технологическими свойствами, оптимальной себестоимостью и экологической чистотой. 8. Разработка и компьютерная реализация математических моделей физикохимических, гидродинамических, тепловых, хемореологических, фазовых и деформационных превращений при производстве, обработке, переработке и эксплуатации различных металлических, неметаллических и композиционных материалов. Создание цифровых двойников технологических процессов, а также разработка специализированного оборудования. 12. Разработка физико-химических процессов получения функциональных покрытий на основе новых металлических, неметаллических и композиционных материалов. Установление закономерностей влияния состава, структуры, технологии, а также эксплуатационных и других факторов на свойства функциональных покрытий.

Работа посвящена разработке новых нанопористых мембранных материалов и процессов выделения компонентов из газовых смесей на их основе для очистки и осушения природных и технологических.

Работа выполнена на современном научном и методическом уровне. Полученные результаты являются новыми и впервые представлены в работе соискателя.

Работа выполнена на базе кафедры наноматериалов Факультета наук о материалах МГУ им. М.В. Ломоносова при поддержке ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014—2020 годы» (Номер соглашения 14.604.21.0177, уникальный идентификатор проекта RFMEFI60417X0177), Российского фонда фундаментальных исследований (грант №18-29-19105, 20-58-14003 АНФ\_а), Российского научного фонда (грант № 20-79-10205), а также Программы развития Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

**Личный вклад автора.** Работа основана на исследованиях, выполненных автором в период 2016-2022гг, в частности создание многочисленных испытательных стендов и установок, измерение параметров процесса при различных условиях, компьютерное моделирование процесса извлечения компонентов газовой смеси на мембранном контакторе, выступления на конференциях и подготовка материалов для публикаций, участие в проведении опытных и опытно-промышленных испытаний технологии очистки попутных нефтяных газов.

**Степень достоверности полученных результатов,** изложенных в диссертационной работе, обеспечена использованием комплекса взаимодополняющих современных методов физико-химического анализа, включающего микроскопические,

дифракционные, спектроскопические и хроматографические методы. Это позволило получить достоверные сведения о количественной взаимосвязи между параметрами микроструктуры мембран, газотранспортными характеристиками и механизме массопереноса паров воды в мембранах из оксида графена, а также получить данные о параметрах массопереноса в газожидкостных контакторах и построить полную модель процесса пертракции, применимую к сероочистке, извлечению CO<sub>2</sub> и осушению природных и технологических газов.

Представленные А.А. Поярковым данные о структуре и проницаемости мембран на основе оксида графена в условиях эксплуатации обладают несомненной **новизной и значимостью** для понимания механизмов транспорта в квазидвумерных материалах. Предложенный в работе способ мембранного абсорбционно-конденсационного осушения газов, основанный на удалении паров из газовой смеси за счет их транспорта через нанопористую мембрану и поглощения охлаждаемым абсорбентом, а также закономерности массопереноса газов и паров в мембранных контакторах, позволяют говорить о представленной работе, как о крайне интересной и актуальной не только с точки зрения фундаментальных исследований, но и в практических областях очистки и осушения природных и технологических газов.

В диссертации Поярков А.А. при цитировании ссылается на авторов и источники заимствований, что соответствует п. 14 Положения о присуждении учёных степеней. Материалы диссертации полно изложены в работах, опубликованных автором. По материалам диссертации опубликовано 8 статей, 5 патентов и 5 тезисов докладов. Апробация результатов научного исследования подтверждена публичными докладами на четырех научных конференциях всероссийского и четырех научных конференциях международного уровня.

#### **Основные публикации по теме диссертации**

1. **Poyarkov A. A.**, Petukhov D. I., Eliseev A. A. Hollow fiber nanoporous membrane contactors for evaporative heat exchange and desalination // Desalination. — 2023. — Vol. 550. — P. 116366. <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2022.116366>. **IF = 11.2**
2. Gurianov K.E., Eliseev A.A., Brotsman V.A., **Poyarkov A.A.**, Ryzhov I.A., Zotov T.A., Chumakov A.P., Petukhov D.I. Pervaporation desalination with graphene oxide membranes: The influence of cation type and loading // Desalination. — 2023. — Vol. 547. — P. 116238. <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2022.116238>. **IF = 11.2**
3. Petukhov D.I., Komkova M.A., Eliseev Ar A., **Poyarkov A.A.**, Eliseev An A. Nanoporous polypropylene membrane contactors for CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S capture using alkali absorbents // Chemical Engineering Research and Design. — 2022. — Vol. 177. — P. 448-460 <http://dx.doi.org/10.1016/j.cherd.2021.11.005>. **IF = 4.1**

4. Petukhov D.I., Komkova M.A., Brotsman V.A., **Poyarkov A.A.**, Eliseev Ar A., Eliseev An A. Membrane condenser heat exchanger for conditioning of humid gases // Separation and Purification Technology. — 2020. — Vol. 241. — P. 116697.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.seppur.2020.116697>. **IF=9.1**
5. Eliseev Andrei A., **Poyarkov A.A.**, Chernova E.A., Eliseev Artem A., Chumakov A.P., Konovalov O.V., Petukhov D.I. Operando study of water vapor transport through ultra-thin graphene oxide membranes // 2D materials. — 2019. — Vol. 6, no. 3. — P. 035039.  
<http://dx.doi.org/10.1088/2053-1583/ab15ec>. **IF=6.9**
6. Петухов Д.И., **Поляков А.А.**, Елисеев А.А., Синюков А.В., Шишканов К.А., Пятков Е.С., Елисеев А.А. Применение технологий пертракции и капиллярной конденсации на микропористых мембранах для комплексной подготовки нефтяного газа // Нефтяное хозяйство. — 2018. — № 11. — С. 51–57.  
<http://dx.doi.org/10.24887/0028-2448-2018-11-51-57> [Petukhov D.I., **Poyarkov A.A.**, Eliseev Ar.A., Siniukov A.V., Shishkanov K.A., Pyatkov E.S., Eliseev A.A. Utilization of pertraction and capillary condensation technologies for complex treatment of associated petroleum gas with microporous membranes / Oil Industry — 2018. — Vol. 11. — P. 51–57.]
7. Petukhov D.I., Eliseev Artem A., **Poyarkov A.A.**, Lukashin A.V., Eliseev Andrei A. Porous polypropylene membrane contactors for dehumidification of gases // Nanosystems: physics, chemistry, mathematics. — 2017. — Vol. 8, no. 6. — P. 798–803.  
<http://dx.doi.org/10.17586/2220-8054-2017-8-6-798-803>
8. Петухов Д.И., **Поляков А.А.**, Чернова Е.А., Лукашин А.В., Елисеев А.А., Пятков Е.С., Суртаев В.Н. Очистка нефтяных газов от кислых компонентов с использованием метода пертракции на микропористых мембранах // Нефтяное хозяйство. — 2016. — № 11. — С. 55–58. [Petukhov D.I., **Poyarkov A.A.**, Chernova E.A., Lukashin A.V., Eliseev A.A., Pyatkov E.S., Surtaev V.N. Removal of acidic components of associated petroleum gas by pertraction on microporous membranes // Oil Industry — 2016. — Vol. 11. — P. 55–58.]
9. Eliseev, A. A., Eliseev, A. A., Petukhov, D. I., **Poyarkov, A. A.**, Lukashin, A. V., Chernova, E. A., Pyatkov, E. S. Method of extracting components of gas mixtures by pertraction on nanoporous membranes // US Patent 010828599B2 2020-11-10.
10. Елисеев Ан.А., Елисеев Ар.А., Петухов Д.И., **Поляков А.А.**, Лукашин А.В., Чернова Е.А., Пятков Е.С. Способ извлечения компонентов из природных и технологических газовых смесей пертракцией на нанопористых мембранах // Патент РФ № 2626645 от 31 июля 2017
11. Елисеев Ан.А., Петухов Д.И., **Поляков А.А.**, Елисеев Ар.А., Комкова М.А., Подголин С.К., Лукашин А.В. Мембранный контактор для очистки природных и технологических газов от кислых компонентов // Патент РФ № 2672452 от 14 ноября 2018
12. Броцман В.А., Елисеев А.А., Петухов Д.И., **Поляков А.А.**, Елисеев А.А., Лукашин А.В. Модифицированная нанопористая полимерная мембрана с улучшенными водоотталкивающими свойствами для мембранных контакторов и способ ее получения. // Патент РФ № 2718928 от 15 апреля 2020
13. Петухов Д.И., Комкова М.А., Броцман В.А., **Поляков А.А.**, Елисеев А.А., Елисеев А.А. Абсорбционно-конденсационный способ осушения природных и технологических смесей на нанопористых мембранах // Патент РФ № 2729243 от 5 августа 2020

#### **Конференции**

- 2021** Nanoporous membranes for evaporative heat exchange and air gap desalination (Стендовый) Авторы: **Поярко** А.А., Елисеев Артем А., Елисеев Андрей А., Петухов Д.И. 5th International Conference on Desalination using Membrane Technology, Shanghai, China, Китай, 14-17 ноября 2021
- 2020** Квазидвумерные наноструктуры для процессов массопереноса в жидкой и газовой фазе (Приглашенный) Авторы: Елисеев А.А., Петухов Д.И., Садилов И.С., Кан А.С., Чернова Е.А., Елисеев Ар А., **Поярко** А.А., Лукашин А.В., Валеев Р.Г., Chumakov A.P., Konovalov O. Всероссийская школа молодых ученых "КоМУ-2020" (Ижевск, 14-16 октября 2020 г), Ижевск, Россия, 14-16 октября 2020
- 2018** Study of vapor capillary condensation in symmetric and asymmetric nanoporous membranes and treatment of associated petro (Устный) Авторы: Eliseev A.A., **Poyarkov A.A.**, Eliseev A.A., Petukhov D I., Bereckhian M.V. 15th International Conference on Inorganic Membranes (ICIM 2018), Дрезден, Германия, 18-22 июня 2018
- 2018** Осушение газов с помощью мембранного контактора газ-жидкость на микропористых полуволоконных мембранах (Стендовый) Авторы: **Поярко** А.А., Петухов Д.И., Елисеев Ан А., Елисеев Ар А., Лукашин А.В. Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов-2018», МГУ имени М.В. Ломоносова, Россия, 10-11 апреля 2018
- 2018** Очистка попутных нефтяных газов от кислых компонентов с использованием метода пертракции на микропористых мембранах (Стендовый) Авторы: Елисеев Ар А., **Поярко** А.А., Елисеев Ан А., Лукашин А.В., Петухов Д.И. 52-ая Школа ПИЯФ по физике конденсированного состояния ФКС-2018, Санкт-Петербург, Сестрорецк, Россия, 12-17 марта 2018, Санкт-Петербург, Сестрорецк, Россия, 12-17 марта 2018
- 2017** ОСУШЕНИЕ ГАЗОВ С ПОМОЩЬЮ ПОЛОВОЛОКОННЫХ ПОРИСТЫХ МЕМБРАН ИЗ ПОЛИПРОПИЛЕНА (Стендовый) Авторы: **Поярко** А.А., Петухов Д.И., Лукашин А.В., Елисеев Артем Анатольевич, Елисеев Андрей Анатольевич XVI Конференция молодых ученых «Актуальные проблемы неорганической химии: от фундаментальных исследований к современным технологиям», Звенигород, 17-19 ноября 2017 г., Звенигород, Россия, 17-19 ноября 2017
- 2017** Изучение процессов массопереноса в нанопористых материалах (Стендовый) Авторы: **Поярко** А.А., Пятков Е.С., Берекчиян М.В., Чернова Е.А., Лукашин А.В., Суртаев В.Н., Петухов Д.И., Елисеев А.А. XXIV Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых "Ломоносов – 2017", МГУ имени М.В.Ломоносова, Россия, 20 апреля 2017
- 2017** Исследование процессов массопереноса через поры нанометрового размера (Стендовый) Авторы: **Поярко** А.А., Пятков Е.С., Берекчиян М.В., Елисеев А.А., Лукашин А.В., Суртаев В.Н., Петухов Д.И., Чернова Е.А. LI школа ФГБУ «ПИЯФ» по физике конденсированного состояния (ФКС-2017), Санкт Петербург, Россия, 11-16 марта 2017

Диссертационная работа Пояркова А.А. «Интенсификация процессов массопереноса с использованием мембранных контакторов на основе нанопористых мембран» рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальностям 2.6.15 мембраны и мембранная технология (технические науки) и 2.6.17 Материаловедение (технические науки) на совете по защите диссертаций на

соискание ученой степени кандидата наук 2.6.08, созданного на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева".

Заключение принято на заседании кафедры наноматериалов факультета наук о материалах МГУ им. М.В. Ломоносова, протокол № 141 от 12.05.2023 г.

Зав. кафедрой наноматериалов  
д.х.н., проф., чл.-корр. РАН



Гудилин Е.А.