

«УТВЕРЖДАЮ»



Ректор РХТУ им. Д. И. Менделеева  
А.Х.Н., профессор, С.Н. Филатов

«02» \_\_\_\_\_ 06 \_\_\_\_\_ 2026 г.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация на тему: «Коллоидно-химические основы золь-гель синтеза мембранных катализаторов с различной архитектурой на основе  $\text{Mo}_2\text{C}$ » по научной специальности 1.4.10 – Коллоидная химия (химические науки) выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева» на кафедре коллоидной химии.

В процессе подготовки диссертации Баженова Мария Дмитриевна, «04» июля 1989 года рождения, была аспирантом кафедры коллоидной химии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева» с 03.10.2011 по 03.10.2014, соискателем ученой степени кандидата наук на кафедре коллоидной химии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева» с 11.11.2025 по 11.05.2026, инженером-исследователем технологического отдела федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева» с 20.02.2024 по 30.12.2025, инженером кафедры коллоидной химии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева» с 22.11.2024 по настоящее время.

Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов выдано в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева» в 2026 году.

Научный руководитель – доктор химических наук по специальности 02.00.11 – Коллоидная химия, доцент, заведующий кафедрой коллоидной химии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева» Гаврилова Наталья Николаевна.

По результатам рассмотрения диссертации на тему: «Коллоидно-химические основы золь-гель синтеза мембранных катализаторов с различной архитектурой на основе  $\text{Mo}_2\text{C}$ » принято следующее заключение.

Актуальность темы диссертационной работы обусловлена тем, что разработка, обновление ассортимента и модернизация производства отечественных промышленных катализаторов показывает масштабный спад. В результате доля импорта катализаторов нефтегазовой переработки составляет 60% (Grace, UOP, Axens, BASF и др.). Это не соответствует национальным интересам и экономической безопасности России. Поэтому разработка новых эффективных катализаторов, в том числе в области переработки легких углеводородов является актуальной задачей.

Высокотемпературные реакции превращений легких углеводородов сопровождаются значительным диффузионным торможением, в результате чего поверхность катализатора, как правило дорогостоящего, используется не более чем на 7%. Поэтому большой интерес представляет проведение химических превращений в мембранных каталитических реакторах (МКР) с использованием мембранных катализаторов (МК). Где МК представляет собой композиционную мембрану с бимодальной пористой структурой, состоящую из инертного носителя, обладающего крупными транспортными порами и распределенного по нему каталитически активного вещества с развитой мезо/микропористой структурой. За счет различий в пористой структуре носителя и катализатора возможно возникновение различных механизмов массопереноса. В таком случае может осуществляться интенсификация протекания процесса как за счет эффективного состава катализатора, так и за счет влияния на массоперенос в его пористой структуре. Например, интенсивность протекания углекислотной конверсии метана (УКМ), которая рассматривается как перспективный способ получения синтез-газа с определенным соотношением  $\text{H}_2/\text{CO}$ , в МКР по сравнению с традиционным реактором с неподвижным слоем катализатора возрастает более чем в 30 раз при использовании МК определенной пористой структуры. Причина данного феномена связана с интенсификацией массопереноса в пористой структуре МК благодаря возникновению явления теплового скольжения. Известно, что тепловое скольжение может наблюдаться в определенных условиях (давление, температура, состав реакционной смеси) лишь в порах определенного диапазона размеров. Таким образом, синтез МК с различной структурой и архитектурой является важной задачей для дальнейшего развития и внедрения МК для проведения различных высокотемпературных реакций.

Золь-гель метод – гибкий, масштабируемый способ получения покрытий, пленок, селективных слоев и катализаторов, один из вариантов которого базируется на использовании устойчивых дисперсий наночастиц. Карбид молибдена рассматривается как перспективная альтернатива дорогостоящим металлам платиновой группы. Среди его преимуществ каталитическая активность на уровне благородных металлов, устойчивость к спеканию, закоксовыванию и действию многих каталитических ядов. Его перспективным золе-прекурсором являются молибденовые сини ( $\text{MC}$ ), где частицы представлены высокодисперсными практически монодисперсными

полиоксомолибдатными кластерами размером не более 5 нм. В качестве мезопористых материалов-носителей успешно используются оксиды  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и твердые растворы  $\text{Ce}_{0,5}\text{Zr}_{0,5}\text{O}_2$ . Таким образом, разработка синтеза МК различных архитектур на основе  $\text{Mo}_2\text{C}$  с использованием золь-гель метода является перспективной.

Научная новизна заключается в следующем:

- впервые проведено сопоставление условий термического разложения ксерогелей молибденовых синей в различных средах с пористыми характеристиками и фазовым составом образующихся карбидов молибдена;
- впервые разработан способ получения массивного слоя катализатора  $\text{Mo}_2\text{C}$  на пористой подложке из  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  с использованием химической модификации исходной подложки раствором ПЭГ;
- впервые установлено влияние соотношения  $[\text{H}^+]:[\text{Al}]$  при синтезе золя бемита на характеристики слоя  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ , полученного нанесением данного золя (толщину и морфологию);
- впервые проведены кинетические исследования протекания реакции УКМ с использованием МК состава  $\text{Mo}_2\text{C}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3/\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{Mo}_2\text{C}/\text{Ce}_{0,5}\text{Zr}_{0,5}\text{O}_2/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3/\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ , определены константы скорости на мембранных катализаторах с различной структурой.

Теоретическая и практическая значимость работы состоит в разработанном методе расчета толщины слоев, полученных нанесением золь бемита с различными концентрационно-вязкостными характеристиками с учетом капиллярной фильтрации и пленочного покрытия, протекающих совместно при однократном нанесении погружением/извлечением пористых цилиндрических подложек. Данный метод позволяет вычислять требуемые параметры нанесения (скорость погружения/извлечения, время выдержки) золя бемита для получения слоя заданной толщины. Также разработаны 3 способа получения карбидов молибдена, поддающиеся масштабированию и основанные на термическом разложении ксерогелей МС, которые позволяют получать карбиды с различным фазовым составом:  $\beta\text{-Mo}_2\text{C}$ ,  $\alpha\text{-Mo}_2\text{C}$ ,  $\alpha\text{-Mo}_2\text{C}/\eta\text{-Mo}_2\text{C}/\text{C}$ , разными характеристиками пористой структуры ( $S_{\text{уд}}$  - от 1,5 до 175,0  $\text{м}^2/\text{г}$  и объемом мезопор до 0,03  $\text{см}^3/\text{г}$ ). Получены образцы МК на основе  $\text{Mo}_2\text{C}$ , позволяющие увеличить удельную каталитическую активность катализатора в 115 раз по сравнению с порошкообразным  $\text{Mo}_2\text{C}$ .

Работа характеризуется логичностью построения, аргументированностью основных научных положений и выводов, а также четкостью изложения.

Основные положения диссертации получили полное отражение в 21 печатной работе, в 16 публикациях в сборниках тезисов докладов по результатам работ всероссийских и международных научных конференций и 5 статьях в журналах, рекомендованных перечнем ВАК, среди них 2 индексируемые Scopus.

Результаты диссертации представлены на международных и всероссийских конференциях, в том числе на: «Мембраны» Международная научная конференция (Минск, 2025; Владимир, 2013), Conference of the European Colloid and Interface Society «ECIS» (Афины, 2021), XX

Менделеевский съезд по общей и прикладной химии (Екатеринбург, 2016), Всероссийская конференция «Актуальные проблемы адсорбции и катализа» (Плес, 2016), Международная конференция стран СНГ «Золь-гель синтез и исследование неорганических соединений, гибридных функциональных материалов и дисперсных систем «Золь-гель-2014» (Суздаль, 2014), Международный симпозиум «Порошковая металлургия: инженерия поверхности, новые порошковые композиционные материалы» (Минск, 2013), IV International conference on colloid chemistry and physicochemical mechanics IC-CCPCM (Москва, 2013) Всероссийская молодежная конференции «Успехи химической физики» (Минск, 2012), Международная научно-техническая конференция «Наукоемкие химические технологии-2012» (Тула, 2012), Международный конгресс молодых ученых по химии и химической технологии «УСЧТ-МКХТ» (Москва, 2011, 2012).

**Публикации в изданиях, индексируемых в международных базах данных:**

1. Gavrilova, N.N., Bazhenova, M.D., Myachina, M.A. et al. Mo<sub>2</sub>C Synthesis via Temperature-Programmed Carburization with the Use of Molybdenum Blue Xerogels. *Inorg. Mater.* 2022. Vol. 58, P. 501–508.

<https://doi.org/10.1134/S002016852205003X> (Scopus)

2. Bazhenova, M.D., Gavrilova, N.N., Nazarov, V.V. Some colloidochemical properties of molybdenum blues synthesized using glucose as a reducing agent. *Colloid. J.* 2015. Vol. 77. P. 1–5.

<https://doi.org/10.1134/S1061933X15010032> (Scopus)

3. Гаврилова Н.Н., Мячина М.А., Гаврикова Ю.И., Баженова М.Д., Назаров В.В. Синтез каталитических мембран Mo<sub>2</sub>C/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> методом ТПК с использованием дисперсий молибденовых синей // Химическая промышленность сегодня. 2024. №6. С. 70-80. (Chemical Abstracts)

4. Баженова М.Д., Гаврилова Н.Н., Крыжановский А.С., Назаров В.В., Скудин В.В., Витязь П.А., Судник Л.В. Синтез и некоторые свойства карбида молибдена, полученного на основе молибденовых синей // Химическая промышленность сегодня. 2014. Т. 11. С. 4-10. (Chemical Abstracts)

5. Бухаркина Т.В., Баженова М.Д., Гаврилова Н.Н., Крыжановский А.С., Скудин В.В. Каталитическое моделирование углекислотной конверсии метана в мембранном каталитическом реакторе контакторе и в реакторе со стационарным слоем катализатора // Химическая промышленность сегодня. 2013. Т. 11. С. 4-11. (Chemical Abstracts)

**Публичные доклады на всероссийских и международных научных мероприятиях (конференциях, съездах, симпозиумах, конгрессах):**

1. Баженова М.Д., Гаврикова Ю.И., Мячина М.А., Гаврилова Н.Н., Назаров В.В. Применение мембранных катализаторов разных архитектур на основе карбида молибдена в реакции углекислотной конверсии метана // МЕМБРАНЫ-2025. XVI Международная научная конференция: тезисы докладов. – М.: Издательский центр БГУ, 2025 – 354 с. – С. 138-139.

2. Gavrilova N., Bazhenova M., Novaeva E., Nazarov V. Sol-Gel transition in dispersions of molybdenum blue. Effect of the reducing agent // Book of abstracts 35th Conference of the European Colloid and Interface Society «ECIS 2021», 5 – 10 September 2021, Athens, Greece. – 346 p. – P. 234.

3. Мячина М.А., Баженова М.Д., Гаврилова Н.Н., Назаров В.В. Некоторые коллоидно-химические свойства молибденовых синей как дисперсных систем // XX Менделеевский съезд по общей и прикладной химии. В 5 т. Т. 2а: тез. докл. – Екатеринбург: Уральское отделение Российской академии наук, 2016. – 512 с. – ISBN-ISBN 978-5-7691-2450-1. – С. 465.

4. Гаврилова Н.Н., Мячина М.А., Баженова М.Д., Назаров В.В. Разработка коллоидно-химических основ получения мембранных катализаторов на основе  $\text{Mo}_2\text{S}$  // Всероссийская конференция «Актуальные проблемы адсорбции и катализа». 27 июня – 3 июля 2016 г. Плещ: Сборник трудов конференции. – ФГБОУ ВО Иван. гос. хим.-технол. ун-т. Иваново. 2016. – С. 329-331.

5. Баженова М.Д., Гаврилова Н.Н., Назаров В.В. Молибденовые сини. Синтез, свойства, применение // III Международная конференция стран СНГ «Золь-гель 2014», 8 – 12 сентября 2014 г., г. Суздаль, Россия: Сб. научн. трудов. – 202 с. – ISBN 978-5-85229-486-9. – С. 144.

6. Гаврилова Н.Н., Каткевич М.Д., Назаров В.В., Скудин В. В. Синтез мембранных катализаторов на основе соединений молибдена золь-гель методом // Мембраны-2013: тезисы докладов XII Всероссийской научной конференции (с международным участием), Владимир, 01 – 04 октября 2013 года / Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Трудового Красного Знамени Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева Российской академии наук, 2013. – 454 с. – ISBN 978-5-9903891-3-7. – С. 388-389.

7. Katkevich M.D., Gavrilova N.N., Nazarov V.V. Rheological properties of molybdenum blues obtained by glucose reduction // IV International conference on colloid chemistry and physicochemical mechanics. Book of Abstracts. – Moscow, 2013. – P. 530-531.

8. Гаврилова Н.Н., Каткевич М.Д. (Баженова М.Д.), Назаров В.В., Скудин В.В. Получение композиционных мембранных катализаторов на основе  $\text{Mo}_2\text{S}$  золь-гель методом // Порошковая металлургия: инженерия поверхности, новые порошковые композиционные материалы. Сварка = Powder metallurgy : Surface Engineering, New Powder Composite materials. Welding: сб. докл. 8-го Междунар. симп. (Минск, 10–12 апр. 2013 г.). В 2 ч. Ч. 1 / Нац. акад. наук Беларуси [и др.]; редкол.: П. А. Витязь (гл. ред.) [и др.]. – Минск : Беларуская навука, 2013. – 523 с. : ил. – ISSN 978-985-08-1548-4. – С. 118-123.

9. Гаврилова Н.Н., Каткевич М.Д., Назаров В.В., Ситник А.С., Скудин В.В. Получение молибденовых синей и порошкообразных катализаторов на их основе // Порошковая металлургия: инженерия поверхности, новые порошковые композиционные материалы. Сварка = Powder metallurgy : Surface Engineering, New Powder Composite materials. Welding: сб. докл. 8-го Междунар. симп. (Минск, 10–12 апр. 2013 г.). В 2 ч. Ч. 1 / Нац. акад. наук Беларуси [и др.]; редкол.: П. А. Витязь (гл. ред.) [и др.]. – Минск : Беларуская навука, 2013. – 523 с. : ил. – ISSN 978-985-08-1548-4. – С. 113-117.

10. Гаврилова Н.Н., Каткевич М.Д., Назаров В.В. Синтез и коллоидно-химические свойства золь-гелей молибденовых синей, полученных восстановлением аскорбиновой кислотой // Успехи химической физики: Сб. тезисов докладов на II Всероссийской молодежной конференции, 19–24 мая

2013 г. – М.: Издательская группа «Граница», 2013. – 264 с. – ISBN 978-5-94691-544-1. – С. 114.

11. Каткевич М.Д., Гаврилова Н.Н., Назаров В.В. Влияние условий синтеза на коллоидно-химические свойства золь-гелей молибденовых синей // Тезисы докладов XIV Международной научно-технической конференции «Наукоемкие химические технологии-2012». – М.: Издательство МИТХТ, 2012. – С.316

12. Болотова М.В., Гаврилова Н.Н., Назаров В.В., Каткевич М.Д., Ситник А.С., Скудин В.В. Получение каталитической мембраны со слоем массивного катализатора  $\text{Mo}_2\text{C}$  на микрофльтрационной подложке золь-гель методом // Успехи в химии и химической технологии. – 2012. – Т. 26, № 2 (231). – С.78-82.

13. Каткевич М.Д., Гаврилова Н.Н., Назаров В.В. Синтез золь-гелей молибденовых синей с использованием различных восстановителей // IV Всероссийская конференция по химической технологии: сборник тезисов докладов. – М.: ИОНХ РАН, 2012. – Т. 2. – С. 95-97.

14. Болотова М.В., Гаврилова Н.Н., Каткевич М.Д., Назаров В.В. Получение каталитических мембран на основе соединений молибдена // IV Всероссийская конференция по химической технологии: сборник тезисов докладов. – М.: ИОНХ РАН, 2012. – Т. 2. – С. 81-83.

15. Гаврилова Н.Н., Каткевич М.Д., Назаров В.В., Ситник А.С., Скудин В.В. Получение катализаторов углекислотной конверсии метана на основе соединений молибдена золь-гель методом // IV Всероссийская конференция по химической технологии: сборник тезисов докладов. – М.: ИОНХ РАН, 2012. – Т. 3. – С. 564-565.

16. Каткевич М.Д., Махова Н.И., Гаврилова Н.Н., Назаров В.В. Синтез и коллоидно-химические свойства молибденовых синей, полученных восстановлением глюкозой // Успехи химии и химической технологии. – 2011. – Т. 25, №2 (118). – С. 64-69.

По тематике, методам исследования, предложенным новым научным положениям диссертация соответствует паспорту специальности научных работников 1.4.10. «Коллоидная химия» в части:

п. 2. Адгезия, смачивание и растекание. Теории, методы исследования, практическое использование;

п. 6. Диспергирование и конденсация как методы получения дисперсных систем (золи, суспензии, порошки, пористые тела, эмульсии, пены, пленки);

п. 8. Теории и модели строения двойных электрических слоев (ДЭС), определение параметров ДЭС;

п. 9. Электрокинетические явления в дисперсных системах и их применение. Проблемы расчета электрокинетического потенциала;

п. 16. Теория структурообразования в дисперсных системах, управление контактными взаимодействиями в синтезе композиционных материалов, методы исследования структурированных систем (определение реологических свойств);

п. 20. Роль коллоидно-химических свойств дисперсных систем в практике их применения;

п. 21. Поверхностные силы в явлениях переноса. Мембранные методы разделения.

Автореферат отражает основное содержание диссертации.

Диссертация Баженовой Марии Дмитриевны является завершенной научно-квалификационной работой, содержащей результаты, полученные на основании исследований, проведенных на высоком научном и техническом уровне с применением современных методов исследования. Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные автором, теоретически обоснованы и не вызывают сомнений. Представленные в работе результаты принадлежат Баженовой М. Д.; они оригинальны, достоверны и отличаются научной новизной, теоретической и практической значимостью.

С учетом научной зрелости автора, актуальности, научной новизны, теоретической и практической значимости работы, а также ее соответствия требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», предъявляемым к подобным работам, диссертация на тему: «Коллоидно-химические основы золь-гель синтеза мембранных катализаторов с различной архитектурой на основе  $\text{Mo}_2\text{C}$ » рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.10 – Коллоидная химия.

Диссертация рассмотрена на заседании кафедры коллоидной химии, состоявшемся «07» мая 2026 года, протокол № 17. В обсуждении приняли участие: заведующий кафедрой, д.х.н., доцент Гаврилова Наталья Николаевна, профессор кафедры, д.х.н., профессор Назаров Виктор Васильевич, доцент кафедры, к.х.н., доцент Гродский Александр Сергеевич, доцент кафедры, к.х.н., доцент Киенская Карина Игоревна, доцент кафедры, к.х.н., доцент Яровая Оксана Викторовна, доцент кафедры, к.х.н., доцент Белова Ирина Александровна, доцент кафедры, к.х.н. Жилина Ольга Викторовна, доцент кафедры, к.х.н. Мячина Мария Андреевна, ассистент Полубояринова Ксения Константиновна, ассистент Гаврикова Юлия Игоревна.

Принимало участие в голосовании 8 человек. Результаты голосования: «За» - 8 человек, «Против» - 0 человек, «Воздержались» - 0 человек, протокол № 17 от «07» мая 2026 г.

Профессор кафедры  
коллоидной химии  
д.х.н., профессор



В. В. Назаров

Секретарь заседания  
к.х.н., доцент



И. А. Белова