Заключение диссертационного совета 24.2.312.09, созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 7 октября 2026 г. № 27

О присуждении Головачевой Анне Андреевне, гражданке Российской Федерации, ученой степени кандидата химических наук.

Диссертация «Синтез и свойства ионных полимеров на основе винилимидазолия» по специальности 1.4.7. Высокомолекулярные соединения принята к защите 8.07.2026 (протокол заседания № 20) диссертационным советом 24.2.312.09, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (ФГБОУ ВО «КНИТУ»), Министерство науки и высшего образования Российской Федерации (420015, Казань, ул. Карла Маркса, 68, приказ Минобрнауки России о создании совета №1351/нк от 24.10.2022).

Соискатель Головачева Анна Андреевна, 19 мая 1997 года рождения, в 2020 году окончила специалитет Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского» (ННГУ) (кафедра «Высокомолекулярные соединения и коллоидная химия»). В 2024 году окончила аспирантуру очной формы обучения ННГУ им. Н.И. Лобачевского по направлению подготовки 04.06.01 Химические науки. С 2021 года по настоящее время работает в должности младшего научного сотрудника в научно-исследовательской «Лаборатории инженерной химии»

научно-исследовательского института химии (НИИ Химии) ННГУ, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена в научно-исследовательской «Лаборатории инженерной химии» научно-исследовательского института химии (НИИ Химии) ФГАОУ ВО ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Научный руководитель – кандидат химических наук, доцент, Казарина Ольга Викторовна, ведущий научный сотрудник научно-исследовательской Лаборатории инженерной химии научно-исследовательского института Химии Федерального государственного автономного образовательного учреждения Высшего образования «Национальный исследовательский нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Официальные оппоненты:

Ширшин Константин Викторович – доктор химических наук, доцент, Научно-исследовательское отделение «Функциональные материалы и технологии синтеза» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» – Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов, заместитель начальника;

Файзулина Зульфия Зуфаровна – кандидат химических наук, ПАО «Казаньоргсинтез», направление «Пластики. Спецпластики» , эксперт

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Учреждение Российской академии наук Федерального бюджетного учреждения науки Ордена Трудового Красного Знамени Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева (ИНХС РАН), г. Москва, в своем положительном отзыве, подписанном Денисовой Юлией Игоревной, кандидатом химических наук, доцентом, старшим научным сотрудником лаборатории модификации полимеров им. Н.А. Платэ и утвержденным доктором химических наук, академиком РАН Максимовым Антоном Львовичем, директором Федерального бюджетного учреждения науки

Ордена Трудового Красного Знамени Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН, указала, что диссертация Головачевой А.А. «Синтез и свойства ионных полимеров на основе винилимидазолия», представляет собой завершенное научное исследование, отвечающее критериям оригинальности, новизны и практической значимости. Автор демонстрирует высокую квалификацию, глубокие знания в области химии полимеров и умение решать сложные научные задачи. Проведенное исследование, его результаты и оформление диссертации полностью соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, изложенным в п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением правительства РФ № 842 от 24.09.2013 (с изменениями, внесенными Постановлением Правительства РФ от 01 января 2025 г.), а ее автор, Головачева Анна Андреевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.7 Высокомолекулярные соединения (химические науки).

Соискатель имеет 14 опубликованных работ, все по теме диссертации, общим объемом 5,4 печ. л. (личный вклад соискателя 80%), из них 4 статьи в изданиях, входящих в базу данных Web of Science и Scopus, 10 тезисов докладов в сборниках материалов международных и всероссийских научных конференций.

В работах соискателя представлены результаты синтеза ионных сшитых и гиперсшитых полимеров на основе функционализированных ионных мономеров имидазолиевого типа и систематического исследования влияния их химического состава и пористой структуры на функциональные свойства. Установлены взаимосвязи между содержанием и доступностью ионных центров, параметрами пористости, сорбционной способностью по отношению к CO_2 и каталитической активностью в реакции циклоприсоединения CO_2 к эпоксидам.

Диссертация не содержит недостоверных сведений об опубликованных соискателем ученой степени работах. В диссертационной работе отсутствует заимствованный материал без ссылки на автора или источник заимствования, а также результаты научных работ, выполненных соискателем в соавторстве, без ссылок на соавторов.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. **Golovacheva A.A.** Optimization of CO_2 Cycloaddition to Epoxides Using Vinylimidazole-Based Ionic Compounds: Influence of Reaction Parameters on Catalytic Performance / **Golovacheva A.A.**, Golovkina A.I., Otvagina K.V. [et al.] // Industrial & Engineering Chemistry Research. – 2025. – Vol. 64. – № 24. – PP. 11695–11707. DOI: 10.1021/acs.iecr.5c00373 [Q1].

2. **Golovacheva A.A.** Multisite-Active Site Ionic Monomers for Catalytic CO_2 Conversion: Synthesis and Comprehensive Characterization of Basic Units for Further Rational Design of Functional Materials / **Golovacheva A.A.**, Markin Z.A., Golovkina A.I. [et al.] //Arabian Journal for Science and Engineering. – 2025. – Vol. 51. –№ 11. PP. 1–19. DOI: 10.1007/s13369-025-10750-5 [Q1].

3. **Golovacheva A.A.** Synthesis and Tunable Network Architecture of Poly(Ionic Liquid)s Enabling Enhanced CO_2 Uptake and Catalytic Conversion / **Golovacheva A.A.**, Golovkina A.I., Zharkova A.A. [et al.] // Reactive and Functional Polymers. – 2026. – С. 106773. DOI: 10.1016/j.reactfunctpolym.2026.106773 [Q1].

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от: д.х.н. **Цховребова А.Г.,** директора центра кристаллохимии и структурного анализа Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (г. Москва); к.х.н. **Пулялиной А.Ю.,** доцента кафедры термодинамики и кинетики Института Химии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» (г. Санкт-Петербург); к.х.н. **Жиганшиной Э.Р.,** научного сотрудника лаборатории фотополимеризации и полимерных материалов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института металлоорганической химии им. Г.А. Разуваева Российской академии наук (г. Нижний Новгород); к.х.н. **Атласкиной М.Е.,** старшего научного сотрудника лаборатории SMART полимерных материалов и технологий, Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет им. Д.И.

Менделеева» (г. Москва); к.х.н. **Саломатиной Е.В.,** доцента кафедры высокомолекулярных соединений и коллоидной химии Химического факультета Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского» (г. Нижний Новгород).

Все отзывы положительные. В отзывах отмечено, что результаты работы Головачевой А.А. вносят вклад в развитие подходов к направленному получению функциональных ионных полимеров с регулируемым содержанием ионных центров и характеристиками пористой поверхности. Особое внимание уделено установлению взаимосвязи между химическим составом, пористой структурой и функциональными свойствами полученных материалов. Отмечена значимость результатов по сорбции и каталитической конверсии CO_2, а также перспективность разработанных ионных полимеров в качестве сорбентов и гетерогенных катализаторов.

В качестве основных вопросов и замечаний по содержанию автореферата отмечено:

1. Автором исследовано влияние параметров синтеза на структурные характеристики полимеров. Вместе с тем более подробное обсуждение взаимосвязи реакционной способности ионных мономеров и сшивающего агента на стадии формирования полимерной сетки позволило бы глубже раскрыть особенности образования материалов различной морфологии. (д.х.н. Цховребов А.Г.).

2. В работе показана высокая каталитическая активность полученных ионных полимеров в реакции циклоприсоединения CO_2 к эпоксидам. Рассматривалась ли возможность их многократного использования и насколько сохраняется каталитическая активность полимеров при повторных циклах реакции? (к.х.н., Пулялина А.Ю.).

3. При характеристике пористой структуры полимеров в автореферате приведены значения среднего диаметра пор. Представляло бы интерес уточнить, каково распределение пор по размерам в полученных материалах. (к.х.н.

Жиганшина Э.Р.).

4. В работе показано, что увеличение удельной площади поверхности полимеров не всегда сопровождается пропорциональным повышением их каталитической активности. Чем можно объяснить отсутствие прямой зависимости между этими характеристиками и какой параметр, по мнению автора, является определяющим для эффективности гетерогенного катализатора? (к.т.н. Атласкина М.Е.).

5. Каким образом контролировалась полнота вовлечения ионного мономера в полимерную матрицу (состав сополимеров)? Какова конверсия сополимеров? Оценивались ли относительные активности ионных мономеров в сополимеризации? Для дикатионных систем (например, pDCdVBr с S_{BET} = 100 м^2 · г$^{-1}$ и содержанием ионных центров 3,93 ммоль · г$^{-1}$) наблюдается заметно более высокое содержание ионных центров при умеренной площади поверхности. Связано ли это с особенностями сополимеризации дикатионных мономеров? (к.х.н. Саломатина Е.В.).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их высокой профессиональной квалификацией, компетенцией в вопросах, имеющих отношение к теме работы, а также способностью профессиональной оценки научно-практической значимости диссертационного исследования.

Ведущая организация известна своими достижениями в области химии и физикохимии полимерных материалов, мембранного газоразделения, а также каталитических процессов с участием диоксида углерода. Исследования по направлениям, соответствующим тематике диссертационной работы, отражены в публикациях сотрудников Федерального бюджетного учреждения науки Ордена Трудового Красного Знамени Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева Российской академии наук (ИНХС РАН) (А.Ю. Алентьев, Д.А. Сырцова, В.В. Тепляков, М.В. Деменцева, А.Л. Максимов и др.) в российских и международных научных изданиях, включая Advanced Membranes, ACS Applied Polymer Materials, Gels, Journal of Applied Polymer Science, Green Chemistry, Petroleum Chemistry и Успехи химии. Ведущая организация и оппоненты не

имеют совместных проектов и публикаций с соискателем.

Диссертационный совет отмечает, что наиболее существенные результаты, полученные лично соискателем, и их научная новизна заключаются в следующем:

доказано, что состав ионных сшитых полимеров, полученных сополимеризацией ионных мономеров на основе 1-винилимидазолия с дивинилбензолом, определяет соотношение между содержанием ионных центров и характеристиками пористой структуры: увеличение доли ионного мономера приводит к росту содержания ионных центров до 2–4 ммоль·г$^{-1}$(60 мол%) при одновременном снижении удельной площади поверхности преимущественно до ~20 м^2·г$^{-1}$; *показано*, что введение винилбензилхлорида и применение двухстадийного синтеза с дополнительным сшиванием по реакции Фриделя–Крафтса позволяют получать ионные гиперсшитые полимеры с удельной площадью поверхности до 1090 м^2·г$^{-1}$ при содержании ионных центров 1-2 ммоль·г$^{-1}$ (~30 мол%);

предложены подход к направленному синтезу сшитых и гиперсшитых ионных полимеров на основе 1-винилимидазолия, основанный на варьировании соотношения и природы мономеров, концентрации инициатора, состава растворителя и применении дополнительного сшивания по реакции Фриделя–Крафтса;

установлено, что сорбционные и каталитические свойства ионных полимеров в процессах с участием CO_2 определяются совместным влиянием характеристик пористой структуры и содержанием ионных центров: повышение удельной площади поверхности и объёма пор способствует увеличению сорбционной ёмкости CO_2, тогда как каталитическая активность определяется сочетанием развитой поверхности, обеспечивающей доступ реагентов, с содержанием и химической природой ионных центров.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

изучено влияние химической природы ионных центров и пористой структуры ионных полимеров на их сорбционные и каталитические свойства; установлена

взаимосвязь между содержанием и доступностью ионных центров, характеристиками пористой структуры, сорбцией CO_2 и каталитической активностью в реакции циклоприсоединения CO_2 к эпоксидам, а также раскрыт механизм каталитического действия ионных полимеров, включающий кооперативную активацию эпоксидного кольца с участием С2–Н-протона имидазолиевого катиона, Н-донорных функциональных групп и нуклеофильного галогенид-аниона*;*

выявлены основные закономерности формирования пористой структуры ионных полимеров в зависимости от их состава и условий синтеза: для ионных сшитых полимеров увеличение содержания ионного компонента приводит к росту содержания ионных центров до 2-4 ммоль/г при одновременном снижении удельной площади поверхности преимущественно до 20-100 $м^2/г$; применение двухстадийного синтеза с дополнительным сшиванием по реакции Фриделя-Крафтса позволяет сформировать ионные гиперсшитые полимеры с развитой пористой структурой и удельной площадью поверхности до 1000 $м^2/г$ с значительным вкладом микропор (в среднем 10-30%) при сохранении значительного содержания ионных центров 1-2 ммоль/г;

изучено влияние химической природы ионных центров и пористой структуры ионных полимеров на их сорбционные и каталитические свойства; показано, что развитая пористая структура способствует повышению сорбционной емкости CO_2, вследствие чего гиперсшитые полимеры характеризуются более высокой сорбционной емкостью CO_2, в то же время каталитическая активность возрастает в ряду противоионов $Cl^-<Br^-<I^-$, а введение Н-донорных -ОН и $-NH_2$ групп дополнительно повышает активность вследствие их кооперативного действия с галогенид-анионом при активации эпоксидного кольца;

установлено, что функциональные свойства ионных полимеров определяются соотношением характеристик пористой структуры и содержания ионных центров: развитие пористой структуры повышает доступность ионных центров и сорбцию CO_2, тогда как сохранение достаточного содержания ионных центров необходимо для обеспечения каталитической активности в реакции

циклоприсоединения CO_2 к эпоксидам.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработаны способы регулирования химического состава и пористой структуры ионных сшитых и гиперсшитых полимеров, позволяющие целенаправленно получать материалы с заданным соотношением удельной площади поверхности и содержания ионных центров;

показана возможность применения полученных ионных полимеров в качестве сорбентов CO_2 и гетерогенных катализаторов реакции циклоприсоединения CO_2 к эпоксидам;

предложен подход к получению ионных полимерных материалов с регулируемым соотношением пористости и содержания активных центров, заключающийся в получении сшитых полимеров радикальной сополимеризацией ионных мономеров с дивинилбензолом и гиперсшитых полимеров путем введения винилбензилхлорида с последующим дополнительным сшиванием по реакции Фриделя–Крафтса, позволяющий направленно изменять их сорбционные и каталитические свойства в процессах с участием CO_2;

установлено, что сшитые и гиперсшитые ионные полимеры обеспечивают высокую конверсию эпихлоргидрина и селективность образования циклического карбоната; наиболее высокие показатели достигнуты для гиперсшитых полимеров с содержанием ионных центров 1–2 ммоль·$г^{-1}$ и удельной площадью поверхности до 1000 $м^2 \cdot г^{-1}$: конверсия 89–95 %, селективность не менее 95 %, TOF 55–101 $ч^{-1}$.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что работа выполнена на высоком теоретическом и экспериментальном уровне, результаты основаны на экспериментальных данных, полученных с использованием современного оборудования и аналитических методов исследования.

Теория построена на известных фактах и базируется на установленных закономерностях по тематике исследования, согласуется с опубликованными экспериментальными данными по направлению диссертационной работы.

Идея базируется на анализе литературных данных в области синтеза ионных

полимеров и направленного регулирования их пористой структуры и содержания активных центров, применяемых в процессах сорбции и каталитической конверсии CO_2.

Использованы современные методы анализа, включая ЯМР- и ИК-спектроскопию, элементный анализ, термогравиметрический анализ, низкотемпературную адсорбцию азота, просвечивающую электронную микроскопию, исследование адсорбции CO_2 и газовую хроматографию.

Выводы обоснованы и достоверны; полученные результаты являются воспроизводимыми, согласуются между собой и не противоречат литературным данным.

Личный вклад соискателя заключается в постановке цели и задач исследования, анализе литературных данных по теме диссертации, проведении экспериментов, обработке и интерпретации полученных результатов, формулировке научных выводов, подготовке результатов исследований к публикациям и обсуждении результатов исследований на международных и всероссийских конференциях.

В ходе защиты диссертации существенных критических замечаний высказано не было. Соискатель аргументированно ответил на прозвучавшие в ходе заседания замечания и вопросы, привел собственную аргументацию. С рядом высказанных замечаний соискатель согласился.

Рекомендации об использовании результатов диссертационного исследования.

Результаты диссертационной работы могут быть использованы в профильных научно-исследовательских институтах, занимающихся исследованиями в области высокомолекулярных соединений, функциональных полимерных материалов, сорбции и каталитической конверсии диоксида углерода, в частности в Российском химико-технологическом университете имени Д.И. Менделеева, Институте синтетических полимерных материалов имени Н.С. Ениколопова РАН, Институте физической химии и электрохимии имени А.Н. Фрумкина РАН, Санкт-Петербургском государственном университете,

Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, а также в других научных и образовательных организациях химического и химико-технологического профиля.

По своему содержанию диссертация отвечает паспорту специальности 1.4.7. Высокомолекулярные соединения: п. 9 «Целенаправленная разработка полимерных материалов с новыми функциями и интеллектуальных структур с их применением, обладающих характеристиками, определяющими области их использования в заинтересованных отраслях науки и техники».

Диссертационным советом сделан вывод, что диссертация Головачевой А.А. соответствует п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК Минобрнауки России (постановление Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г. в действующей редакции), является научно-квалификационной работой, в которой решена важная научно-практическая задача – разработка подходов к направленному получению ионных сшитых и гиперсшитых полимеров на основе 1-винилимидазолия и установление взаимосвязей между их химическим составом, пористой структурой и функциональными свойствами в процессах сорбции и каталитической конверсии CO_2, имеющей значение для разработки функциональных ионных полимерных материалов с регулируемыми структурными и функциональными свойствами.

На заседании 07.10.2026 г. диссертационный совет принял решение присудить Головачевой Анне Андреевне ученую степень кандидата химических наук по специальности 1.4.7. Высокомолекулярные соединения за решение задачи по разработке подходов к направленному получению ионных сшитых и гиперсшитых полимеров на основе функционализированных 1-винилимидазолиевых мономеров и установлению взаимосвязей между химической природой ионных центров, пористой структурой и функциональными свойствами полимеров в процессах сорбции и каталитической конверсии CO_2, имеющей значение для разработки функциональных ионных полимерных материалов с регулируемыми структурными и функциональными свойствами.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве

19 человек, из них 5 докторов наук по специальности, рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 27 человек, входящих в состав совета, проголосовал: «за» – 19, «против» – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель диссертационного
совета 24.2.312.09 Вольфсон Святослав Исаакович

Ученый секретарь диссертационного
совета 24.2.312.09 Каримова Лиана Катифьяновна

07 октября 2026 г.