**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.100.01, СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ НЕФТИ И ГАЗА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК**

аттестационное дело № _____

Решение диссертационного совета от 23 сентября 2026 г. № 19/2026
о присуждении Гарифуллиной Чулпан Айдаровне, гражданке Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация **«Экспериментальное исследование физико-химических процессов при закачке в пласт и утилизации $CO_2$»** по специальности 2.8.4 – Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений (технические науки) принята к защите 24 июня 2026 года (протокол заседания 14/2026) диссертационным советом 24.1.100.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем нефти и газа Российской академии наук (ИПНГ РАН) Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Минобрнауки России), 119333, г. Москва, ул. Губкина, дом 3, в соответствии с приказом Минобрнауки России №1328/нк от 24.10.2022.

Соискатель Гарифуллина Чулпан Айдаровна, 5 сентября 1997 года рождения.

В 2019 году соискатель окончила бакалавриат Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет» по направлению подготовки 18.03.01 Химическая технология, выдавшего диплом о высшем образовании с отличием (101624 4417924 регистрационный номер 20097, дата выдачи 09.07.2019 г).

В 2021 году соискатель окончила магистратуру Государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Альметьевский государственный нефтяной институт» по направлению подготовки 21.04.01 «Нефтегазовое дело», выдавшего диплом о высшем образовании с отличием (111618 1164779 регистрационный номер 20030, дата выдачи 30.06.2021 г).

В 2025 году соискатель освоила программу подготовки научно-педагогических кадров в очной аспирантуре Государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Альметьевский государственный технологический университет «Высшая школа нефти» (ГАОУ ВО АГТУ ВШН) по направлению подготовки 21.06.01 Геология, разведка и разработка полезных ископаемых, направленность (профиль) образовательной программы – 2.8.4 Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений, выдавшего диплом об окончании аспирантуры с результатами кандидатских экзаменов (111618 1378135 регистрационный номер 029, дата выдачи 01.07.2025).

В период подготовки диссертации Гарифуллина Чулпан Айдаровна работала в лаборатории Инновационного нефтегазового недропользования Центра научно-технических исследований Передовой инженерной нефтяной школы ГАОУ ВО АГТУ ВШН в должностях инженера-лаборанта, инженера-исследователя, в настоящее время работает в должности младшего научного сотрудника, а также по совместительству заведующим лабораторией. Диссертация выполнена в лаборатории Инновационного нефтегазового недропользования Центра научно-технических исследований Передовой инженерной нефтяной школы Государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Альметьевский государственный технологический университет «Высшая школа нефти» Министерства образования и науки Республики Татарстан.

**Научный руководитель** – доктор технических наук, профессор РАН **Индрупский Илья Михайлович**, ИПНГ РАН, лаборатория газонефтеконденсатоотдачи пластов имени С.Н. Закирова, главный научный сотрудник, заместитель директора по научной работе.

Официальные оппоненты:

**Афанасьев Андрей Александрович**, доктор физико-математических наук, член-корреспондент РАН, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова» (МГУ им. М.В. Ломоносова), лаборатория общей гидромеханики, заведующий лабораторией,

**Морозюк Олег Александрович**, кандидат технических наук, ООО «РН-Геология Исследования Разработка», управление НИОКР в области исследования керна и пластовых флюидов Центра исследования керна, старший эксперт

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация **Федеральное государственное автономное учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет» (ФГАОУ ВО КФУ)**, г. Казань, в своем положительном отзыве на диссертацию, подписанном Варфоломеевым Михаилом Алексеевичем, кандидатом химических наук, заведующим кафедрой разработки и эксплуатации месторождений трудноизвлекаемых углеводородов, и утвержденном Таюрским Дмитрием Альбертовичем, доктором физико-математических наук, профессором, первым проректором - проректором по научной деятельности, указала, что диссертация Гарифуллиной Чулпан Айдаровны «Экспериментальное исследование физико-химических процессов при закачке в пласт и утилизации $CO_2$», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.4 - Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений, является завершенной научно-квалификационной работой, в которой получены новые научные и ценные для практики результаты. Диссертация Гарифуллиной Ч.А. соответствует паспорту специальности и отвечает требованиям Постановления Правительства РФ от 24.09.2013 №842 «О порядке присуждения ученых степеней» (в редакции от 25 января 2024 г.), предъявляемым к кандидатским диссертациям. Гарифуллина Чулпан Айдаровна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

В качестве замечаний ведущая организация указала следующие:

1) Один из разделов работы посвящен изучению взаимодействия углекислого газа с металлическими наполнителями, который подтверждает возможность утилизации углекислого газа с одновременной генерацией водорода в водной среде с использованием отходов металлообработки, без необходимости нагрева системы и применения катализаторов. Однако не совсем понятно как этот подход можно реализовать в пластовых условиях и, соответственно, как полученные результаты связаны и как можно их использовать в рамках специальности 2.8.4 - Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений.

2) Автором проведены исследования по закачке углекислого газа в пласт. Рассмотрены четыре горизонта. Изучено взаимодействие с пластовой водой. Однако, в работе не затронут вопрос каким образом неоднородность пласта, состав породы и нефти может влиять на эффективность закачки. Данные аспекты представляют интерес с точки зрения оценки возможности переноса установленных экспериментальных закономерностей на реальные неоднородные пластовые системы.

3) При изучении геохимических процессов взаимодействия $CO_2$ с исследуемыми системами не рассмотрена кинетика протекающих реакций. В частности, не приведена оценка достижения термодинамического равновесия и направления смещения равновесия в зависимости от температуры, давления и продолжительности эксперимента. Представляется целесообразным более подробно обосновать влияние кинетических факторов на полученные результаты.

4) При проведении исследований с дробленым керновым материалом не рассмотрено влияние степени измельчения образцов на интенсивность протекающих процессов. Целесообразно было бы оценить, в какой степени изменение размера частиц и, соответственно, удельной поверхности может влиять на количественные характеристики исследуемых процессов и возможность переноса полученных результатов на условия взаимодействия $CO_2$ с реальным керном.

5) Требуют дополнительного раскрытия механизмы отдельных выявленных геохимических изменений. В частности, при рассмотрении изменения pH в породе-покрышке приводится связь данного процесса с взаимодействием $CO_2$ с силикатными минералами, однако конкретные реакции, обусловливающие наблюдаемое изменение кислотно-щелочных характеристик системы, подробно не представлены. Более детальное рассмотрение механизмов таких преобразований позволило бы полнее обосновать полученные экспериментальные результаты.

6) При исследовании процессов утилизации $CO_2$ с использованием металлических отходов недостаточно подробно раскрыт механизм образования водорода и роль металлического наполнителя в протекающих реакциях. Представляется целесообразным более детально обосновать механизм появления

водорода, последовательность и кинетику соответствующих реакций, а также уточнить роль металлического наполнителя.

Соискатель имеет 25 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 7 работ, из них из них 6 статей в научных рецензируемых изданиях, входящих в международные базы Web of Science и Scopus, 1 статья опубликована в сборнике трудов SPE, входящем в международную базу Scopus. Также результаты проведенных исследований подтверждаются патентом на изобретение в соавторстве (RU 2 863 283 C1 «Способ оценки геохимических процессов при закачке $CO_2$ в геологические структуры, содержащие пластовую воду»).

В статьях описаны основные результаты диссертационного исследования. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах.

Наиболее значимые публикации соискателя по теме диссертации:

1. **Гарифуллина Ч.А.,** Индрупский И.М., Ибрагимов И.И., Лутфуллин А.А., Закиев Б.Ф., Ахметзянов Ф.М., Климов Д.С. Экспериментальное исследование геохимического взаимодействия углекислого газа с пластовой водой и породой водонасыщенных и нефтенасыщенных горизонтов // Георесурсы. – 2024. – Т. 26. – № 4. – С. 237–247.

Статья посвящена экспериментальному исследованию геохимических процессов, протекающих при взаимодействии углекислого газа, пластовой воды и кернового материала различных терригенных и карбонатных пород в пластовых термобарических условиях. Исследовано влияние литологии и характера насыщения пород на изменения состава пластовой воды и минерального состава керна. Установлены основные процессы, сопровождающие взаимодействие карбонизированной пластовой воды с породой, включая растворение кальцита, растворение и переосаждение галита, а также возможное взаимодействие с пиритом и гипсом. Показано отсутствие существенных качественных и количественных различий в результатах экспериментов для водонасыщенных и нефтенасыщенных интервалов одинаковой литологии. Полученные результаты обобщают особенности геохимического взаимодействия в системе «пластовая вода-$CO_2$-порода» и могут быть использованы при геохимическом моделировании процессов подземного захоронения $CO_2$ и его применения для повышения нефтеотдачи.

2. Климов Д.С., Индрупский И.М., **Гарифуллина Ч.А.,** Ибрагимов И.И., Лутфуллин А.А., Закиев Б.Ф., Ахметзянов Ф.М. Моделирование гидрогеохимических процессов взаимодействия диоксида углерода с пластовой водой и минералами породы при повышении нефтеотдачи и подземном захоронении // Георесурсы. – 2024. – Т. 26. – № 2. – С. 114–123.

Статья посвящена разработке и применению методики гидрогеохимического моделирования взаимодействия пластовой воды, $CO_2$ и минералов пород с использованием пакета PHREEQC. Предложена поэтапная методика

моделирования, позволяющая воспроизводить результаты лабораторных экспериментов и корректно интерпретировать процессы, протекающие при пластовых термобарических условиях. Установлены особенности растворения и осаждения минеральных компонентов при высоком давлении и последующей дегазации раствора, а также показано влияние минерального состава породы на результаты моделирования. Полученные результаты обосновывают применение гидрогеохимического моделирования для оценки геохимических процессов при закачке $CO_2$.

3. **Garifullina Ch. A.,** Indrupskiy I. M., Klimov D. S., Ibragimov I. I., Lutfullin A. A., Zakiev B. F., Akhmetzyanov F. M. Experimental and simulation study of geochemical processes during interaction of carbonated formation water with terrigenous and carbonate rocks // Petroleum Science. – 2025. – Vol. 22, No. 12. – P. 4954–4974.

Статья посвящена экспериментальному и численному исследованию геохимических процессов при взаимодействии $CO_2$, пластовой воды и терригенных и карбонатных пород в условиях, приближенных к пластовым, применительно к задачам захоронения $CO_2$ и повышения нефтеотдачи. Представлена методика комплексного изучения данных процессов на основе лабораторных экспериментов и гидрогеохимического моделирования. По результатам экспериментов, моделирования и обобщающего анализа литературы охарактеризованы ключевые процессы растворения и переосаждения минералов для исследованных пород-коллекторов и покрышек.

4. **Гарифуллина Ч.А.,** Индрупский И.М., Ибрагимов И.И., Климов Д.С., Халиуллин Т.Ф., Дроздов А.Н. Экспериментальная оценка возможности повышения эффективности утилизации $CO_2$ на железосодержащих наполнителях с генерацией экологически чистых энергоносителей // Научные труды НИПИ Нефтегаз ГНКАР. – 2022. – № S2. – С. 10–19.

Статья посвящена исследованию метода утилизации $CO_2$ с одновременной генерацией водорода и углеводородов при взаимодействии карбонизированной воды с железосодержащим наполнителем. Экспериментально исследовано влияние температуры, состава наполнителя и давления насыщения воды $CO_2$ на показатели процесса. Показана возможность достижения степени утилизации $CO_2$ до 76-83% при содержании водорода в выходной газовой смеси до 82%. Установлена возможность использования отходов металлообработки в качестве доступного наполнителя и определены параметры, позволяющие повысить эффективность утилизации $CO_2$.

На диссертацию и автореферат поступило 8 отзывов (в том числе два отзыва официальных оппонентов). Все отзывы положительные.

1. Отзыв официального оппонента **Афанасьева Андрея Александровича**, доктора физико-математических наук, член-корреспондента РАН, заведующего лабораторией общей гидромеханики МГУ им. М.В. Ломоносова. Отзыв положительный.

В отзыве приведены следующие замечания:

1) В главе 2 формулируется вывод, что стальная стружка обеспечивает более интенсивную генерацию водорода ($H_2$), а дробь дает более высокий выход углеводородов. Этот вывод не в полной мере обоснован, так как при описании результатов главы 2 не приводятся экспериментальные данные о полном компонентном составе газа после эксперимента, в частности не приводятся измеренные эксперименте концентрации углеводородных компонент. В главе 2 даются только измеренные концентрации $CO_2$ и $H_2$. Учитывая зависимость растворимости газов в воде от давления, которое изменялось в реакторе, температуры и состава водной фазы, вывод о выходе углеводородного газа представляется не вполне обоснованным.

2) В диссертации не приводится информация о характерном размере частиц металлической дроби и измельченного керна. Представляется, что эти параметры имеют значительное влияние как на время установления равновесия между карбонизированной водой и отмеченными средами, так и на сами параметры равновесного состояния из-за изменения площади контакта между фазами (площади реакционной поверхности). Опираясь на рисунок 11, автор предполагает, что выдержка в течение нескольких дней была достаточна для достижения равновесия. Однако данные, приводящиеся на рисунке 11, содержат слишком малое число точек, особенно на заключительном этапе выдержки, чтобы сделать однозначный вывод о прекращении реакций и достижении равновесия. Для воспроизводимости экспериментов желательно указать характерный размер частиц и привести более убедительное обоснование достижения условий равновесия.

3) В таблице 3.53 приводятся данные о растворимости $CO_2$ в дистиллированной воде. При этом дается ссылка на работу [12] - Указ Президента Российской Федерации № 666 от 4 ноября 2020 года. Представляется, что здесь имеется ошибка в цитируемом источнике. Кроме того, анализ всей совокупности цитируемой литературы показывает отсутствие в ней значимых и широко цитируемых работ, содержащих обзор и всесторонний анализ экспериментальных данных о растворимости $CO_2$ в воде. Это работы «N. Spycher, K. Pruess, and J. Ennis-King, "$CO_2$-$H_2O$ mixtures in the geological sequestration of $CO_2$. I. Assessment and calculation of mutual solubilities from 12 to 100°C and up to 600 bar," Geochim. Cosmochim. Acta, vol. 67, no. 16, pp. 3015-3031, 2003, doi: 10.1016/S0016-7037(03)00273-4.» и «N. Spycher and K. Pruess, "$CO_2$-$H_2O$ mixtures in the geological sequestration of $CO_2$. II. Partitioning in chloride brines at 12-100$^o$C and up to 600 bar," Geochim. Cosmochim. Acta, vol. 69, no 13, pp.3309-3320, 2005, doi: 10.1016/j.gca.2005.01.015.».

4) Изложение результатов геохимического моделирования в главе 4 представляется слишком поверхностным. В таблице 4.1 приводятся неполные результаты моделирования только для одного эксперимента. Для других экспериментов дается только текстовое описание их результатов. Таким образом, проведенное численное моделирование не подкрепляется каким-либо графическим материалом и количественным сравнением с экспериментальными данными. Более полное количественное сопоставление результатов геохимического моделирования

с экспериментом значительно усилило бы диссертационную работу. Кроме того, в тексте не приводится информация о базе данных констант минеральных реакций PHREEQC, использовавшейся в моделировании.

5) В диссертации используется термин «степень утилизации $CO_2$. Однако определение этого термина в виде формулы в диссертации не приводится. Можно предполагать, что эта величина определяется в виде доли помещенного в реактор $CO_2$, удерживаемого в минеральных фазах после достижения равновесия. Однако при таком определении степень утилизации $CO_2$ существенно зависит от объема реактора и массы помещенного в него наполнителя. Например, при фиксированной массе наполнителя и увеличении объема реактора в два раза можно ожидать примерно двухкратного снижения степени утилизации. Например, это отражается в экспериментах №№ 1 и 2, результаты которых приводятся в таблице 2.2. Таким образом, рассчитываемая величина не является универсальной характеристикой, масштабируемой на системы различного размера. Более высокое значение степени утилизации $CO_2$ не означает, что захват $CO_2$ минеральной фазой происходит более эффективным образом.

6) В проведенных экспериментах наблюдается растворение или отложение галита. Этот процесс очевидно связан с изменяющимся равновесием между водой и наполнителем реактора. Однако в разделе 4.1.3, при обзоре литературных данных о соответствующих реакциях и их кинетике, почему-то описывается процесс высаливания, который в первую очередь связан с выпадением галита при испарении воды в газовую фазу, а не физико-химическим взаимодействием между водной фазой и наполнителем. Таким образом, обзор, приводящийся в разделе 4.1.3, не имеет прямого отношения к диссертации, так как в ней не исследуется отложение галита при испарении воды в газовую фазу.

7) При измерении проницаемости керна не даются оценки точности полученных значений и соответствующие доверительные интервалы с учетом погрешностей измерений. Представляется, что проницаемость может быть измерена с точностью не менее нескольких процентов (а то и ~ 10%). В этой связи приводящиеся в разделе 3.5.2 оценки увеличения проницаемости керна на 1.7 % и 1.3 % представляются не вполне обоснованными, учитывая, что это увеличение сопоставимо с точностью измерения проницаемости.

2. Отзыв официального оппонента **Морозюка Олега Александровича**, кандидата технических наук, старшего эксперта экспертно-аналитического отдела ООО «РН-Геология Исследования Разработка». Отзыв положительный.

В отзыве приведены следующие замечания:

1) В работе отсутствует обоснование выбора матрицы экспериментов (количество опытов, выбор наполнителей, параметры и диапазоны их изменения, и др.) для исследований взаимодействия карбонизированной воды с металлсодержащими наполнителями. Нет пояснения по какому принципу изменялись условия экспериментов для разных металлов и в каких экспериментах автор хотел установить влияние каждого параметра (давление насыщения, температура, время, наполнитель) на степень утилизации $CO_2$. Также, отсутствует

обоснование выбора диапазона изменения параметров в экспериментах, чем обусловлен выбор именно этого диапазона?

2) В диссертации отсутствует описание методики расчета компонентного баланса по $CO_2$ и $H_2$, приведены только ссылки на другие работы. В тексте диссертации следовало бы привести хотя бы краткий алгоритм расчета компонентного баланса, учитывая, что это важный элемент научной новизны и защищаемого положения автора.

3) В методике исследований на керне отсутствует этап оценки полноты вытеснения/растворения газовой фазы $CO_2$ при замещении пластовой воды (отсутствие защемленного газа). Из опыта известно, что при вытеснении водой часть газа остается защемленной в керновой модели. Поднятие давления в модели не гарантирует полного растворения $CO_2$ в воде, так как защемленный $CO_2$ может не контактировать с ней. Следовательно, присутствие свободного $CO_2$ в модели может повлиять на оценку фазовой проницаемости по карбонизированной воде после выдержки.

4) Отсутствует системное планирование и анализ экспериментов по изучению геохимического взаимодействия $CO_2$ с горными породами. В начале главы следовало бы привести матрицу планируемых экспериментов для понимания логики выбора условий, параметров (в т.ч. разное время выдержки) и объектов исследований (водонасыщенная/нефтенасыщенная порода, покрышка), с указанием закономерностей/процессов, которые планировалось установить, и количественных критериев их оценки (с учетом влияния погрешности измерений/исследований). Также, необходимо пояснить как учитывались различные факторы (высокая погрешность оценки состава воды, использование разных образцов при оценке состава породы до/после эксперимента, и др.) при верификации изучаемых закономерностей и процессов. В главе приводится большое количество таблиц с оценкой различных параметров (состав воды, газа, породы), при этом отсутствует наглядный и системный анализ этих результатов. Из таблиц сложно оценить установленные автором закономерности, в т.ч. с учетом влияния дополнительных факторов на отдельные эксперименты (подмешивание воздуха на участке «сепаратор- хроматограф», снижение температуры системы, неравномерный нагрев системы - сильное снижение гидрокарбонат-ионов в воде после выдержки). Например, для лучшего восприятия и систематизации установленных закономерностей/процессов можно было бы привести диаграмму изменения параметров, полученных в разных экспериментах.

5) Из работы не понятно, как автор разграничивает эффект растворения/не растворения карбонатов по увеличению концентрации гидрокарбонат-ионов. Какие количественные диапазоны изменения параметра разделяют эти эффекты?

6) По результатам исследований на керне автор делает вывод что разные результаты в экспериментах связаны в том числе с разными параметрами керновых колонок (что повлияло на изучение основных процессов/закономерностей), то есть в исследованиях не было обеспечено подобие колонок, в т.ч. с учетом требований ОСТов на проведение фильтрационных экспериментов на керне (оценка ОФП,

Квыт.). Утверждение автора, что «ключевые эффекты насыщения проницаемости в эксперименте связаны с растворением, переносом и осаждением/переосаждением глинистых минералов в интервалах коллектора с аналогичной проницаемостью менее 1000 мД...» слабо обосновано, в т.ч. с учетом малого количества экспериментов на керне (2 шт.), неоднозначных результатов, в т.ч. из-за разности параметров керновых колонок, и возможного влияния других параметров на снижение проницаемости образцов (в т.ч. снижение давления в эксперименте ниже 130 бар).

3. Отзыв *Белозерова Ивана Павловича*, кандидата технических наук, заведующего учебно-производственной лабораторией петрофизических исследований керна Инновационно-технологического центра арктических нефтегазовых лабораторных исследований Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Отзыв положительный.

В отзыве приведены следующие замечания:

1) В тексте автореферата упоминается, что гидрогеохимическое моделирование выполнялось с использованием пакета PHREEQC. Однако, из автореферата не совсем понятно, каким образом проводилась калибровка модели на экспериментальные данные и учитывалась ли кинетика реакций.

2) В выводах и рекомендациях для учета при планировании и мониторинге закачки в пласт углекислого газа указывается на необходимость исследования влияния геохимических процессов на механико-прочностные характеристики пород-флюидоупоров кыновского и пашийского горизонтов, однако не дано пояснения того, какие именно изменения в минералогическом составе и структуре пород могут оказывать наиболее существенное влияние на данные характеристики.

4. Отзыв *Лутфуллина Азата Абузаровича*, доктора технических наук, заместителя начальника Департамента разработки месторождений ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина. Отзыв положительный.

В отзыве приведено следующее замечание:

- Результаты исследования могли бы быть дополнены оценкой влияния выявленных геохимических процессов на геомеханические свойства пород-коллекторов и покрышек при длительной закачке $CO_2$, что позволило бы комплексно оценить безопасность реализации технологий геологического хранения диоксида углерода.

5. Отзыв *Пичугина Олега Николаевича*, кандидата физико-математических наук, заместителя директора-руководителя департамента нефтегазового инжиниринга Передовой инженерной нефтяной школы ГАОУ ВО АГТУ ВШН. Отзыв положительный.

В отзыве приведены следующие замечания:

1) Эксперименты на составных керновых моделях выполнены только для девонских песчаников (кыновский и пашийский горизонты), тогда как для карбонатных и терригенных пород нижнего карбона оценка динамики

проницаемости отсутствует – целесообразно пояснить, планируется ли распространение методики на эти объекты.

2) Продолжительность экспериментов с керновыми колонками (14-15 суток на этап) невелика относительно требуемого горизонта прогноза долгосрочной стабильности хранения $CO_2$ в пласте (десятки лет и более) – необходимо пояснить, как результаты лабораторных экспериментов сопоставляются с геохимическим моделированием (глава 4, PHREEQC) для обоснованной экстраполяции на такие сроки.

3) В защищаемом положении 3 утверждается качественное и количественное сходство процессов для водо- и нефтенасыщенных интервалов «близкого минерального состава» - целесообразно уточнить границы применимости этого вывода при значительной вариации минерального состава коллектора.

6. Отзыв *Афанаскина Ивана Владимировича*, кандидата технических наук, ведущего научного сотрудника лаборатории научного инжиниринга отдела комплексного моделирования разработки месторождений нефти и газа департамента нефтегазового инжиниринга Передовой инженерной школы ГАОУ ВО АГТУ ВШН. Отзыв положительный.

1) Значительная часть количественных выводов о влиянии геохимических процессов на проницаемость получена в экспериментах продолжительностью порядка нескольких недель одного месяца. В то же время процессы геологического хранения $CO_2$ рассчитаны на значительно более продолжительные временные интервалы. В автореферате было бы полезно более подробно обосновать возможность переноса выявленной динамики изменения проницаемости на более длительные сроки либо четче обозначить границы применимости полученных количественных зависимостей. Следует отметить, что сам автор относит количественную оценку кинетики и исследование кратко- и долговременных эффектов к перспективным направлениям дальнейшей работы.

2) Полученные пороговые значения проницаемости, определяющие характер перераспределения глинистого материала, в частности диапазоны 500-800 мД и около 1000 мД, имеют значительный практический интерес. Однако из автореферата не в полной мере понятно, насколько эти величины являются специфичными для исследованных образцов и их минерального состава и в какой степени могут быть распространены на соответствующие горизонты в целом. Представляется целесообразным более явно указать область применимости данных критериев и влияние литолого-петрографической неоднородности на их значения.

3) В автореферате приведена укрупненная технико-экономическая оценка способа утилизации $CO_2$ с металлосодержащими наполнителями, причем расчеты выполнены применительно к экономическим условиям 2022 г. С учетом высокой чувствительности подобных технологий к стоимости сырья, энергии, водорода. транспортировки $CO_2$, реализации побочных продуктов и стоимости выбросов представляется полезным дополнить оценку анализом чувствительности основных экономических показателей к указанным параметрам. Это позволило бы более

полно определить диапазон условий потенциальной конкурентоспособности предложенного метода.

4) При значительном объеме экспериментальных исследований в автореферате сравнительно мало внимания уделено количественной оценке экспериментальной неопределенности и воспроизводимости отдельных результатов. Приведение разброса результатов повторных опытов, погрешностей определения состава флюидов и минеральной фазы, а также неопределенности измерения изменения проницаемости позволило бы более строго оценить значимость некоторых сравнительно небольших эффектов и повысило бы убедительность количественных выводов.

7. Отзыв *Ермолаева Александра Иосифовича*, доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой разработки и эксплуатации газовых и газоконденсатных месторождений РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина. Отзыв положительный.

В отзыве имеется следующее замечание:

- В работе не в полной мере исследовано влияние физико-химических условий на характер и интенсивность выявленных геохимических процессов. В частности, представляет интерес оценка влияния минерализации и состава пластовой воды, pH, температуры и давления на протекание рассматриваемых процессов.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается широкой известностью своими достижениями в отрасли знаний и наличием публикаций в соответствующей сфере исследований.

8. Отзыв *Шахвердиева Азизаги Ханбаба оглы*, доктора технических наук, заведующего кафедрой разработки и эксплуатации нефтяных м газовых месторождений федерального государственного автономного учреждения высшего образования «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе». Отзыв положительный.

В отзыве имеется следующее замечание:

1. В автореферате приводится ограниченная информация о воспроизводимости лабораторных опытов, количестве повторных экспериментов и погрешностях измерений. Желательно было бы представить доверительные интервалы опытов и оценить статистическую значимость выявленных изменений.

2. Автором сделан вывод о преимущественном развитии кольматации в породах с проницаемостью менее 500-800 мД. Целесообразно было бы проведение дополнительных экспериментов на образцах с различной проницаемостью и содержанием глинистых минералов для обоснования универсальности предложенного критерия.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается широкой известностью своими достижениями в отрасли знаний и наличием публикаций в соответствующей сфере исследований.

Официальный оппонент – **Афанасьев Андрей Александрович**, доктор физико-математических наук, член-корреспондент РАН, заведующей лабораторией общей гидромеханики МГУ им. М.В. Ломоносова. А.А. Афанасьев является автором и соавтором более 135 научных работ, членом редколлегии ряда журналов. За последние 5 лет А.А. Афанасьевым опубликовано 11 научных статей по теме диссертации соискателя в научных изданиях, включенных в перечень ВАК и в изданиях, входящих в международные системы цитирования Scopus и Web of Science. А.А. Афанасьев является специалистом в области механики многофазных сред и моделирования фильтрационных процессов, сопровождающих закачку диоксида углерода в геологические пласты. Проводимые А.А. Афанасьевым научные исследования связаны с применением газовых методов увеличения нефтеотдачи и технологий улавливания, использования и хранения $CO_2$. Значительный объем научных исследований Афанасьева Андрея Александровича в области моделирования процессов многофазной фильтрации при закачке $CO_2$ и применения $CO_2$ в задачах увеличения нефтеотдачи, его высокая квалификация в данной области обусловили выбор его в качестве официального оппонента. Совместных публикаций с соискателем не имеет.

Официальный оппонент – **Морозюк Олег Александрович**, кандидат технических наук, старший эксперт экспертно-аналитического отдела ООО «РН-Геология Исследования Разработка». О.А. Морозюк является автором более 85 научных публикаций. За последние 5 лет О.А. Морозюком опубликовано 9 публикаций по теме диссертации Гарифуллиной Ч.А. в изданиях, включенных в перечень ВАК и входящих в международные системы цитирования Scopus и Web of Science. Работы О.А. Морозюка посвящены экспериментальному исследованию процессов, протекающих при закачке $CO_2$ в пласты, включая оценку эффективности воздействия $CO_2$ для повышения нефтеотдачи. Большой объем научных работ Морозюка Олега Александровича, его высокая квалификация в области исследования эффективности процессов, связанных с закачкой диоксида углерода в пласт, обусловили выбор его в качестве официального оппонента. Совместных публикаций с соискателем не имеет.

Ведущая организация – **Федеральное государственное автономное учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет» (ФГАОУ ВО КФУ)**, г. Казань. За последние пять лет сотрудниками данной организации опубликовано 15 работ, близких по теме диссертации Гарифуллиной Ч.А. Одним из направлений исследований сотрудников КФУ является изучение процессов, протекающих при закачке диоксида углерода в нефтяные пласты, включая оценку эффективности $CO_2$ при вытеснении нефти и применение газовых методов увеличения нефтеотдачи. Значительное внимание уделяется экспериментальному исследованию фильтрационных процессов в коллекторах. Указанные направления являются близкими к тематике диссертационной работы Гарифуллиной Ч.А. Совместных публикаций с соискателем нет.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**разработана** новая экспериментальная методика, позволившая выявить качественно новые закономерности физико-химических процессов при взаимодействии с диоксидом углерода и пластовой водой для характерных коллекторов Урало-Поволжья;

**предложены** оригинальные научные идеи относительно геохимических процессов, протекающих при взаимодействии диоксида углерода с пластовой водой и минеральной составляющей пород-коллекторов Урало-Поволжья на базе их комплексного экспериментально-аналитического изучения в термобарических условиях пласта, а также возможности утилизации $CO_2$ с генерацией водорода при взаимодействии с металлическими наполнителями;

**доказано, что** при закачке $CO_2$ в водо- и нефтенасыщенные интервалы коллекторов близкого минерального состава протекают качественно и количественно сопоставимые геохимические процессы;

**введены** новые представления о характере и условиях возникновения геохимических рисков при закачке $CO_2$ в пласт, связанных с растворением и переотложением быстрорастворимых минералов, снижением проницаемости пород-коллекторов и солеотложениями при снижении давления в призабойных зонах и стволах добывающих скважин.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

**доказано** проявление процессов растворения минералов и осаждения твердых соединений при взаимодействии $CO_2$ с пластовой водой и горной породой исследованных продуктивных горизонтов Урало-Поволжья;

**применительно к проблематике диссертации результативно использованы:** обобщающий анализ опубликованных данных экспериментальных исследований; экспериментальные исследования с использованием пластовой воды, дробленого керна и составных керновых моделей в условиях, приближенных к пластовым, а также с использованием карбонизированной воды и отходов металлообработки; геохимическое моделирование процессов взаимодействия $CO_2$ с компонентами пластовой системы;

**изложены** новые научные представления о закономерностях геохимических процессов, протекающих при взаимодействии диоксида углерода с пластовой водой и горными породами, характерными для продуктивных горизонтов Урало-Поволжья;

**раскрыты** особенности влияния минерального состава пород-коллекторов на характер протекающих геохимических процессов и связанные с ними изменения состава пластовой воды и фильтрационно-емкостных свойств коллектора;

**изучены** причинно-следственные связи наблюдаемых изменений проницаемости керновых моделей при взаимодействии диоксида углерода с пластовой водой и породами девонских отложений (кыновский и пашийский горизонты) с процессами растворения, переноса и переосаждения глинистых минералов;

**проведена модернизация** методик экспериментальной оценке процессов взаимодействия $CO_2$ с пластовой водой и горной породой путем сочетания

исследований на дробленом керне и составных керновых моделях, что позволило выявить условия возникновения геохимических рисков, связанных с растворением и переотложением минералов, солеотложением и снижением проницаемости пород-коллекторов.

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

**разработана** оригинальная комплексная экспериментально-аналитическая методика исследования процессов взаимодействия диоксида углерода с пластовой водой и горной породой на уровне патентной новизны, позволяющая оценивать геохимические риски при проектировании закачки $CO_2$ в пласт для повышения нефтеотдачи и подземного захоронения;

**определены** условия протекания процессов растворения и переотложения быстрорастворимых минералов и возникновения связанных с ними рисков при закачке $CO_2$ в продуктивные пласты нижнего карбона и девона Урало-Поволжья, включая зоны возможного снижения проницаемости пород-коллекторов;

**создан** научно-методический подход к оценке геохимических рисков, возникающих при закачке $CO_2$ в пласт, с учетом индивидуальных особенностей минерального состава коллектора и состава пластовой воды;

**представлены** рекомендации в отношении планирования и мониторинга закачки $CO_2$ в терригенные и карбонатные коллекторы с учетом возможных геохимических процессов.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

**для экспериментальных работ –** достоверность результатов исследования обеспечена использованием образцов горной породы и пластовой воды, отобранных на скважинах исследуемых объектов; проведением экспериментов в условиях, воспроизводящих пластовые условия исследуемых объектов; выполнением анализов состава пластовой воды и минерального состава керна с применением регламентированных методик;

**теория построена** на известных опубликованных данных и представлениях о закономерностях взаимодействия диоксида углерода с пластовой водой и минералами горных пород, механизмах растворения и переотложения минералов при закачке $CO_2$ в пластовые системы, а также о химических превращениях $CO_2$ при взаимодействии с водой и металлами, сопровождающихся генерацией водорода. Теоретические положения работы основаны на результатах исследований, обобщенных с учетом специфики рассматриваемых геологических объектов и условий проведения экспериментов, следующих отечественных и зарубежных авторов: А.А. Баренбаума, А.М. Бондаря, И.А. Гарагаша, С.Н. Закирова, Э.С. Закирова, Т.А. Зиборовой, Е.А. Канина, А.М. Калинкина, Е.В. Калинкиной, Д.С. Климова, Е.С. Коробейниковой, А.Ф. Мухамедгалиева, А.Д. Назарова, А.Н. Никитенкова, Д.А. Новикова, Я.А. Покусаевой, Н.М. Рассказова, Б.Ю. Сушенцовой, М.С. Турбакова, А.А. Щербакова, Emad A. Al-Khdheeawi, M. Bown, J.P. Caszuba, David R. Cole, I. Czernichowski-Lauriol, Donald J. DePaolo, S. Fischer, M. Gan, M. García-Rios, I. Gaus, D. Giammar, R. Gholami, N. Koukouzas, X. Li, L. Luquot, Doaa Saleh Mahdi, X. Miao, A. Milodowski, A. Mohammad, E. Moskal, Andreani Muriel, M.A. Nolen, V. Núñez-López, L. Pastor-Perez, M.D. Porosoff, Arshad

Raza, Ch. Rochelle, Ch. Vasilatos, R. Van Eldik, Y. Wang, S. Xu, J. Young-Shin, L. Zhang, J.W. Zhong;

**идея базируется** на обобщении научных представлений о геохимическом взаимодействии $CO_2$ с пластовой водой и минеральной составляющей пород-коллекторов, а также на возможности комбинации экспериментов на дробленом керне и консолидированных образцах для комплексной оценки таких процессов в условиях, приближенных к пластовым, и выявления их влияния на свойства коллектора и возникновение связанных с закачкой $CO_2$ технологических рисков;

**использованы** сравнение и обобщающий анализ авторских данных и данных, полученных ранее отечественными и зарубежными авторами в области исследования взаимодействия $CO_2$ с активными поверхностями в водной среде для утилизации диоксида углерода на металлических наполнителях с генерацией водорода, а также исследования геохимических эффектов при закачке диоксида углерода в пласт;

**установлено** качественное совпадение авторских результатов с выводами опубликованных исследований по возможности утилизации $CO_2$ на металлических наполнителях с генерацией водорода, а также по физико-химическим процессам, возникающим при закачке диоксида углерода в терригенные и карбонатные пласты, при этом исследование дополняет существующие научные представления новыми количественными оценками и конкретизированными данными для отложений нижнего карбона и девона Урало-Поволжья.

**использованы** сертифицированное лабораторное оборудование для проведения экспериментальных исследований, стандартизированные методики анализа состава пластовой воды и минерального состава горной породы, а также анализ результатов лабораторных экспериментов с применением широко апробированного пакета геохимического моделирования PHREEQC.

Личный вклад соискателя состоит в: проведении обобщающего анализа современного состояния исследований в области сокращения выбросов $CO_2$ и изучения геохимических процессов, протекающих при его закачке в пластовые системы, включая взаимодействие с горными породами, минералами и пластовой водой; ключевом участии в планировании и проведении экспериментальных исследований, а также в проведении технико-экономической оценки полученных результатов; участии в подготовке данных и анализе результатов геохимического моделирования; самостоятельном анализе, систематизации и обобщении результатов исследований с оценкой выявленных геохимических процессов; подготовке основных публикаций по выполненной работе. Соискатель совместно с научным руководителем приняла ключевое участие в создании «Способа оценки геохимических процессов при закачке $CO_2$ в геологические структуры, содержащие пластовую воду» (патент РФ на изобретение RU 2863283 C1).

Основные результаты исследований доложены автором и прошли обсуждение на 12 всероссийских и международных конференциях.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

- требует дополнительного обоснования вывод о сходном характере взаимодействия карбонизированной воды с породами водонасыщенного и нефтенасыщенного интервалов, поскольку присутствие углеводородов на внутрипоровой поверхности может ограничивать её контакт с водной фазой;

- требуется пояснить, чем выявленные процессы при взаимодействии карбонизированной воды с породой отличаются от процессов, протекающих при взаимодействии пластовой воды с породой без участия $CO_2$, и имеются ли различия в их влиянии на проницаемость;

- требует пояснения вопрос о дальнейшем использовании образующегося карбоната железа;

- необходимо пояснить, каким образом полученные результаты позволяют выбрать наиболее благоприятный для закачки $CO_2$ интервал, а также имеются ли данные о пористости и проницаемости исследованной покрышки и наличии в ней пространства для образования вторичных карбонатов.

Соискатель Гарифуллина Ч.А. ответила на задаваемые ей в ходе заседания вопросы и привела собственную аргументацию по высказанным замечаниям:

- вывод об отсутствии различий в геохимических процессах, характерных для пород водонасыщенного и нефтенасыщенного интервалов при взаимодействии с карбонизированной водой, обоснован результатами проведенных экспериментов; предварительная экстракция керна из нефтенасыщенного интервала не выполнялась;

- для подтверждения ключевой роли $CO_2$ в инициировании выявленных геохимических эффектов представлены результаты контрольного эксперимента с сцементированным песчаником из водонасыщенного интервала тульско-бобриковского горизонта и пластовой водой. В отсутствие $CO_2$ не выявлено интенсивных изменений концентрации гидрокарбонатов, ионов кальция и магния, общей минерализации, выявленных в эксперименте с карбонизированной водой и керном того же интервала. Сравнительный эксперимент по оценке изменения проницаемости без участия $CO_2$ не проводился;

- в качестве вариантов обращения с карбонатом железа названы захоронение в качестве твердого отхода и описанное в литературе применение в составе утяжелителей бурового раствора;

- на основании полученных результатов наиболее благоприятными для закачки $CO_2$ названы терригенные коллекторы без карбонатного цемента. Уточнено, что исследованная покрышка относится к кыновскому горизонту, а наличие силикатных минералов установлено по результатам анализа минерального состава. Исследования ее пустотного пространства, пористости и проницаемости не выполнялись.

На заседании 23 сентября 2026 года диссертационный совет принял решение: за решение научной задачи, имеющей значение для развития отрасли знаний в области разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений, присудить Гарифуллиной Чулпан Айдаровне ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 13 человек, из них 8 докторов наук по специальности 2.8.4 – Разработка и

эксплуатация нефтяных и газовых месторождений, участвовавших в заседании, из 13 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за – 13 человек, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель
диссертационного совета, д.г.-м.н Шустер Владимир Львович

Врио Ученого секретаря
диссертационного совета, д.т.н. Попов Сергей Николаевич

Дата оформления заключения: 23 сентября 2026 г.