Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«КАЗАНСКИЙ (ПРИВОЛЖСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(КФУ)
Кремлевская ул., д. 18, корпус 1, Казань, 420008
тел. (843) 233-71-09, факс (843) 292-44-48
эл. почта: public.mail@kpfu.ru
ОКПО 02066730, ОГРН 1021602841391
ИНН/КПП 1655018018/165501001

01.09.2026 № 04-08/2296

На № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ
Первый проректор – проректор по научной деятельности,
профессор, д.ф.-м.н. Д.А. Таюрский
_____
«25» августа 2026 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет» на диссертационную работу

Гарифуллиной Чулпан Айдаровны

«Экспериментальное исследование физико-химических процессов при закачке в пласт и утилизации CO_2», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.4 – Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений

Актуальность темы диссертационной работы. Диссертационное исследование Гарифуллиной Ч.А. посвящено исследованию физико-химических процессов, сопровождающих взаимодействие CO_2 с различными типами пористых материалов в водной среде.

Современное развитие нефтегазовой отрасли связано не только с повышением эффективности разработки месторождений, но и с необходимостью поиска технологических решений, обеспечивающих снижение углеродной нагрузки при освоении углеводородных ресурсов. В этом контексте особое место занимают технологии, основанные на использовании диоксида углерода, в том числе его закачки в продуктивные пласты для увеличения нефтеотдачи и последующего удержания в геологической среде. Реализация указанных технологий сопровождается комплексом физико-химических процессов, протекающих при взаимодействии CO_2 с пластовой водой и минеральной составляющей пород. Характер и интенсивность этих процессов могут определять изменения состава водной фазы и свойств порового пространства,

ИПНГ РАН
Вх. № 364
от 28. 08 2026

что необходимо учитывать при оценке поведения CO_2 в пласте и прогнозировании последствий его закачки. В связи с этим установление закономерностей взаимодействия CO_2 с различными типами пористых материалов представляет актуальную научную задачу. Наряду с геологическим хранением и использованием CO_2 для увеличения нефтеотдачи перспективным направлением является его химическая утилизация, предусматривающая вовлечение диоксида углерода в процессы химического преобразования. Исследование взаимодействия CO_2 с искусственными металлосодержащими материалами вносит вклад в расширение представлений о возможных механизмах его связывания и преобразования.

Таким образом, сформулированная автором **цель исследования**, предусматривающая комплексную экспериментально-аналитическую оценку физико-химических процессов, протекающих при взаимодействии CO_2 с естественными и искусственными пористыми средами в водной фазе, соответствует актуальным научным и технологическим задачам нефтегазовой отрасли. Полученные в работе результаты имеют значение для научного обоснования и совершенствования подходов к применению CO_2 в технологиях повышения нефтеотдачи, подземного хранения и химической утилизации.

Научная новизна исследования заключается в разработке автором комплексной экспериментально-аналитической методики изучения физико-химических процессов взаимодействия диоксида углерода с пластовой водой и породами различных интервалов и получении на ее основе новых экспериментальных данных о характере и направленности этих процессов применительно к условиям продуктивных горизонтов Урало-Поволжья. Наиболее значимыми результатами являются разработанные автором рекомендации по планированию и мониторингу закачки CO_2 в терригенные и карбонатные коллекторы, установленные закономерности изменения фильтрационно-емкостных свойств для исследованных терригенных коллекторов, а также экспериментальное подтверждение отсутствия существенного влияния остаточных углеводородов на протекание геохимических процессов, полученное при сравнении экспериментов с водо- и нефтенасыщенными породами одного интервала.

Новым результатом работы также является количественная экспериментальная оценка процесса утилизации CO_2 при взаимодействии с металлическими наполнителями без дополнительного нагрева и внешнего источника водорода. Показано, что в предложенном методе степень утилизации CO_2 достигает 86,6 %, а доля водорода в газовой фазе – 83 %. На основе технико-экономической оценки и сопоставления полученных показателей с известными технологиями утилизации CO_2 показана потенциальная конкурентоспособность данного подхода.

Практическая ценность и рекомендации по применению результатов диссертационной работы заключаются в возможности их использования при обосновании и совершенствовании технологий закачки диоксида углерода в пласт. Представленная автором методика исследования геохимических процессов в системе «CO_2-пластовая вода-порода» и полученные экспериментальные результаты могут быть использованы для обоснования надежности, безопасности и эффективности

проектов по геологическому хранению CO_2. Практическая востребованность результатов исследования также подтверждается наличием патента на изобретение RU 2 863 283 C1 «Способ оценки геохимических процессов при закачке CO_2 в геологические структуры, содержащие пластовую воду».

Отдельное практическое значение представляет изучение взаимодействия CO_2 с искусственными пористыми, металлосодержащими материалами, поскольку такие процессы могут быть использованы при разработке подходов к химической утилизации диоксида углерода и получению продуктов его преобразования.

Публикация и апробация работы. По теме диссертационной работы Гарифуллиной Ч.А. опубликовано 6 статей в профильных научных рецензируемых изданиях, индексируемых в международных базах данных Web of Science и Scopus, включая издания 1 и 2 квартиля. Также опубликована 1 полнотекстовая статья в сборнике SPE, индексируемом в базе данных Scopus. Основные результаты диссертационной работы были представлены на 12 международных и всероссийских профильных научных конференциях.

Личный вклад автора состоит в проведении и систематизации литературного анализа по вопросам сокращения выбросов CO_2, технологий его закачки, хранения и утилизации, а также изучения геохимических процессов, сопровождающих его взаимодействие с пластовыми системами. Автор принимала ключевое участие в постановке и проведении экспериментальных исследований, обработке и интерпретации полученных результатов, анализе и обобщении экспериментальных данных, а также в выполнении технико-экономической оценки рассматриваемого способа утилизации CO_2. Автор также принимала участие в создании патента на изобретение «Способ оценки геохимических процессов при закачке CO_2 в геологические структуры, содержащие пластовую воду».

Соответствие паспорту специальности достигается по п.2: «Геолого-физические, геомеханические, физико-химические, тепломассообменные и биохимические процессы, протекающие в естественных и искусственных пластовых резервуарах и окружающей геологической среде при извлечении из недр и подземном хранении жидких и газообразных углеводородов и водорода известными и создаваемыми вновь технологиями и техническими средствами для развития научных основ создания эффективных систем разработки, обустройства и эксплуатации месторождений и подземных хранилищ жидких и газообразных углеводородов и водорода, захоронения кислых газов, включая диоксид углерода».

Достоверность полученных результатов обусловлена комплексным характером проведенных исследований, сочетающих экспериментальные, аналитические и расчетные методы, и подтверждается согласованностью полученных данных и сформулированных на их основе выводов.

Краткая характеристика диссертационного исследования. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы, включающего 157 наименований. Объем работы составляет 191 страницу, в том числе

42 рисунка, 75 таблиц. Содержание автореферата полностью соответствует основным положениям диссертации.

Во **введении** раскрыта актуальность выбранного направления исследования, определены цель и задачи работы, отражены ее научная новизна, теоретическая и практическая значимость. Приведена характеристика примененных методов исследования и обоснована достоверность полученных результатов; представлены основные положения, выносимые на защиту; сведения о личном вкладе автора, апробации результатов и соответствии диссертации паспорту научной специальности.

В **первой главе** представлен обзор основных подходов к сокращению выбросов диоксида углерода, получивших развитие в отечественной и зарубежной практике. Рассмотрены возможности применения CO_2 для повышения нефтеотдачи и его последующего геологического хранения, а также существующие направления химической утилизации углекислого газа. Значительное внимание уделено физико-химическим процессам, сопровождающим взаимодействие CO_2 с пластовой водой и горными породами, а также с металлосодержащими материалами в водной среде; систематизированы сведения о процессах, протекающих в системе «CO_2-горная порода-пластовая вода» для терригенных и карбонатных пород. Выделены вопросы, требующие дальнейшего изучения, в частности особенности взаимодействия CO_2 с породой и пластовой водой и возможность протекания низкотемпературных процессов, протекающих при взаимодействии CO_2 в водной среде с искусственными пористыми средами и металлосодержащими материалами

Результаты экспериментов по исследованию взаимодействия CO_2 с искусственными пористыми средами описаны во второй главе. Автором представлена методика проведения экспериментов для изучения процессов при взаимодействии углекислого газа с металлическими наполнителями без нагрева, внешнего источника водорода и при относительно низких давлениях. Установлено влияние основных параметров эксперимента на степень утилизации CO_2 и выход водорода. Для оценки перспективности практического применения полученных результатов выполнен расчет затрат, связанных с отдельными стадиями рассматриваемого процесса, и определена его потенциальная себестоимость.

В **третьей главе** представлены результаты исследования геохимических процессов в системе «CO_2-пластовая вода-горная порода». Описана оригинальная методика исследования этих процессов с использованием кернового материала, пластовой воды с реальных объектов и проведением экспериментов в условиях, приближенных к пластовым. Представлены результаты экспериментов на дробленых образцах керна отложений нижнего карбона и девона, получены выводы с идентификацией геохимических процессов характерных для изученных горизонтов. Для двух горизонтов девона проведены эксперименты по исследованию влияния изучаемых процессов на изменение фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС). Автором проведен анализ факторов, определяющих причины изменения ФЕС в экспериментах.

В **четвертой главе** выполнено обобщение экспериментальных и теоретических данных, полученные результаты сопоставлены с результатами гидрогеохимического моделирования. Автором сформулированы рекомендации по учету процессов при проектировании и мониторинге систем закачки CO_2 для пород нижнего карбона и девона Урало-Поволжья.

В **заключении** отражены основные научные и практические результаты работы и выводы. Описаны направления развития проведенных исследований.

Несмотря на общую положительную оценку работы, необходимо отметить следующие замечания:

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.

Приведенные замечания не снижают ценности исследования, носят рекомендательный характер для развития дальнейшей научной деятельности автора.

Заключение (итоговая оценка работы). Диссертационная работа 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.

Диссертация Гарифуллиной Ч.А. и отзыв на нее рассмотрены и обсуждены на расширенном заседании кафедры разработки и эксплуатации месторождений трудноизвлекаемых углеводородов Института геологии и нефтегазовых технологий КФУ 25 августа 2026 г. Отзыв на диссертацию одобрен и рекомендован в качестве официального отзыва ведущей организации, протокол №14 от 25 августа 2026г. Присутствовали на заседании 31 человек. Результаты голосования: «за» - 31 чел., «против» - 0 чел., «воздержалось» - 0 чел.

Отзыв подготовил:
заведующий кафедрой разработки и эксплуатации
месторождений трудноизвлекаемых углеводородов
Институт геологии и нефтегазовых технологий
Федеральное государственное автономное образовательного учреждения высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет», доцент, к.х.н.
Тел.: +78432337977
E-mail: mikhail.varfolomeev@kpfu.ru М.А Варфоломеев

Дата 25.08.2026

Подпись Михаила Алексеевича Варфоломеева заверяю:
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет»
420008, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Кремлевская, д.18, корп.1
Тел.: +7(843)233-74-00, электронная почта: public.mail@kpfu.ru