ОТЗЫВ

официального оппонента, кандидата технических наук, доцента, Морозюка Олега Александровича на диссертационную работу Гарифуллиной Чулпан Айдаровны на тему **«Экспериментально-исследование физико-химических процессов при закачке в пласт и утилизации CO_2»**, представленную к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.4 – Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений.

1. Актуальность исследования.

В связи с ростом концентрации углекислого газа в атмосфере снижение его выбросов относится к числу важных задач в области развития низкоуглеродной энергетики. В мировой практике технология использования и хранения CO_2 получил значительное развитие; накоплен многолетний опыт применения углекислого газа для повышения нефтеотдачи (CO_2-МУН), а также реализуется широкий спектр проектов по его подземному хранению и утилизации. В России данные технологии пока не получили сопоставимого промышленного распространения, в том числе вследствие ограниченной доступности крупных источников CO_2, однако значительный потенциал геологического хранения, необходимость повышения нефтеотдачи и сокращения выбросов CO_2 определяют перспективность дальнейшего развития проектов декарбонизации.

Развитие технологий закачки CO_2, в свою очередь, требует детального понимания процессов, протекающих при его взаимодействии с пластовыми флюидами и горными породами. Кислая среда, образующаяся при растворении CO_2 в пластовой воде, может приводить к растворению и осаждению минеральных компонентов породы и, как следствие, изменению свойств коллектора. Установление закономерностей протекания данных физико-химических процессов необходимо для оценки влияния закачки CO_2 на фильтрационно-емкостные свойства пласта, прогнозирования поведения углекислого газа и обоснования эффективности и безопасности его хранения. Кроме того, понимание механизмов взаимодействия CO_2 с водной и твердой фазами имеет значение для разработки технологий его химической утилизации.

В связи с этим, проведенные автором исследования несомненно являются актуальными и имеют практическую значимость.

2. Оценка содержания диссертации, ее завершенности.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы, включающего 157 наименований, и содержит 191 страницу машинописного текста, 42 рисунка, 75 таблиц.

Во **введении** описана актуальность исследования, сформулированы цель и задачи, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, описаны методы исследования, обоснование достоверности полученных результатов, также представлены основные положения, выносимые на защиту, отражен личный вклад автора в диссертационную работу, приведены сведения об апробации исследования и соответствие паспорту специальности.

В **первой главе** проведен анализ структуры выбросов диоксида углерода и технологических подходов к их уменьшению в мире и в России. Представлены механизмы,

ИПНГ РАН
Вх. № 368
от «2» 09 2026

лежание в основе технологий повышения нефтеотдачи при закачке CO_2 при геологическом захоронении и химической утилизации CO_2. Детально проанализированы физико-химические процессы, протекающие при взаимодействии диоксида углерода с породой и пластовой водой, и при взаимодействии CO_2 в водной среде с металлосодержащими материалами. Обобщены результаты анализа ранее выполненных исследований взаимодействия CO_2 с пластовой водой и карбонатными/терригенными породами.

Во **второй главе** представлена методика экспериментального исследования взаимодействия карбонизированной воды с металлосодержащими наполнителями, описаны и проанализированы результаты экспериментальных исследований. Установлено, что наибольшая степень утилизации CO_2 и выход водорода достигнуты в экспериментах со стальными наполнителями. Опираясь на полученные результаты и анализ себестоимости отдельных этапов потенциальной технологии утилизации CO_2 оценена её себестоимость.

В **третьей главе** представлены разработанные автором оригинальные методики экспериментальных исследований взаимодействия карбонизированной воды с горной породой. Экспериментальные исследования с дробленными образцами проведены на образцах пород четырёх горизонтов. На основе проведенных экспериментов и анализа данных изменения состава пластовой воды и минерального состава керна сформулированы выводы о процессах, происходящих при взаимодействии характерных для Урало-Поволжья отложений нижнего карбона и девона. Для экспериментов с консолидированными образцами пород получены оценки проницаемости керновых моделей, также проанализированы изменения составов пластовой воды и минерального состава образцов керна. Сформулирован вывод о том, что ключевые риски снижения проницаемости для девонских отложений связаны с растворением, переносом и переосаждением глинистых минералов в интервалах коллектора с абсолютной проницаемостью менее 1000 мД, с усилением эффекта при проницаемости менее 800 мД.

В **четвёртой главе** приведен анализ взаимодействия CO_2 с горными породами и пластовой водой с учетом полученных экспериментальных данных, включая результаты гидрогеохимического моделирования. Представлены рекомендации по учету выявленных геохимических процессов и связанных с ними эффектов растворения, переосаждения и переноса минералов при моделировании, подготовке проектов и последующем сопровождении закачки CO_2 для пластов нижнего карбона и девона Урало-Поволжья.

В **заключении** представлены основные выводы по работе.

Текст диссертационной работы и автореферата написан грамотным научным языком. Изложенные в диссертации материалы свидетельствуют о том, что представленная работа обладает всеми признаками завершенности и научной значимости. Автореферат корректно отражает основное содержание диссертационной работы.

3. Научная новизна работы

Научная новизна работы заключается в разработке авторской методики исследований, позволяющей по результатам лабораторных экспериментов, геохимического моделирования оценивать не только характер протекающих реакций в системе «CO_2 – пластовая вода – горная порода», но и связанные с ними изменения фильтрационных свойств коллектора. На основе методики изучены геохимические процессы, протекающие при взаимодействии породы с углекислотой для коллекторов девона и нижнего карбона Республики Татарстан в условиях, максимально приближенным к пластовым. Также, сформированы гипотезы о потенциальных осложнениях при закачке CO_2, связанных с

растворением и переотложением минеральных компонентов и изменением фильтрационных параметров горной породы. Отдельный пункт новизны связан с количественной оценкой полного компонентного баланса и укрупненных технико-экономических показателей для метода утилизации диоксида углерода в водной среде на металлических накопителях с получением водорода.

4. Степень достоверности полученных результатов

Достоверность и обоснованность результатов работы подтверждаются комплексным сопоставлением данных, полученных различными методами исследования. В частности, автором проведена оценка согласованности изменений химического состава пластовой воды и минерального состава керна в процессе взаимодействия с CO_2, а интерпретация экспериментальных результатов дополнительно обоснована с использованием геохимического моделирования. Анализ результатов собственных исследований дополнен сравнением с систематизированными литературными данными.

5. Практическая значимость работы

Практическая значимость заключается в возможности использования авторской методики для оценки эффектов геохимического взаимодействия CO_2 с горными породами и пластовой водой и дальнейшего их учета при обосновании условий реализации проектов декарбонизации. Сформированный автором подход позволяет изучить и учитывать протекающие при закачке CO_2 процессы растворения и преобразования минерального состава пород, осаждения твердой фазы, а также связанные с ними потенциальные изменения свойств коллектора при проектировании и мониторинге таких проектов. Результаты исследований по взаимодействию CO_2 с металлическими накопителями имеют самостоятельное практическое значение для разработки подходов к утилизации углекислого газа с одновременной генерацией водорода и использованием отходов металлообработки. Практическая направленность геохимической части исследования также подтверждается разработанным при участии автора способом, на который получен патент РФ на изобретение.

6. Публикации и апробация работы

Результаты диссертационного исследования получили широкую апробацию: основные положения работы представлены на 12 международных и всероссийских научных конференциях, форумах и опубликованы в 7 научных публикациях, включая 6 статей в рецензируемых изданиях, индексируемых в Web of Science и Scopus.

7. Замечания и вопросы по работе

В работе отсутствует обоснование выбора матрицы экспериментов *(количество опытов, выбор наполнителей, параметры и диапазоны их изменения, и др.)* для исследований взаимодействия карбонизированной воды с металлосодержащими 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?

– 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.

– В методике исследований на керне отсутствует этап оценки полноты вытеснения/растворения газовой фазы CO_2 при замещении пластовой водой (отсутствие защемленного газа). Из опыта известно, что при вытеснении водой часть газа остается защемленным 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.

– 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 (с 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.

– 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?

– 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, квант.). Утверждение автора, что *«ключевые эффекты насыщения проницаемости в эксперименте связаны с растворением, переносом и осаждением/пересаждением 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).

Однако, обозначенные замечания не снижают научную и практическую ценность работы, и носят уточняющий и рекомендательный характер

7. Заключение по работе

Диссертация Гарифуллиной Ч.А. представляет собой оригинальное научно-квалификационное исследование, содержит новые научные и имеющие практическую ценность результаты. Диссертационная работа Гарифуллиной Ч.А. отвечает всем требованиям Постановления Правительства РФ от 24.09.2013 №842 «О порядке присуждениям ученых степеней» (с изменениями и дополнениями от 25 января 2024 г.), предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 2.8.4 - Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений. **Считаю, что ее автор, Гарифуллина Чулпан Айдаровна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.**

Я, Морозюк Олег Александрович, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент
Старший эксперт управления НИОКР в области исследования керна и пластовых флюидов Центра исследований керна ООО «РН-Геология Исследования Разработка», кандидат технических наук по специальности 25.00.17 – Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений, доцент

Морозюк Олег Александрович

01 сентября 2026 г.

Подпись Морозюка Олега Александровича заверяю: главный специалист Отдела обеспечения персоналом ООО «РН-ГИР»

Пружинина Наталья Александровна

Сведения об официальном оппоненте:
Общество с ограниченной ответственностью «РН – Геология Исследования Разработка»
Почтовый адрес: 625048, Тюменская область, г. Тюмень, ул. Максима Горького, д. 42
Официальный сайт в сети Интернет: https://nnc.ru/
Эл. почта: oamorozuk@gmail.com
Телефон: +7(919)455-42-99