

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2024, Том 16, № 4 / 2024, Vol. 16, Iss. 4 <https://esj.today/issue-4-2024.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/01NZVN424.pdf>

2.8.4 Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений (технические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Рощин, П. В. Выбор скважин-кандидатов для циклической обработки углекислым газом: исследование совместимости нефти и углекислого газа / П. В. Рощин, Р. Ш. Зиганшин, М. А. Давыдов, В. А. Тыщенко, И. С. Докучаев, Д. А. Маргачев, А. В. Никитин, П. В. Склюев, М. А. Шейкина, А. А. Рязанов // Вестник евразийской науки. — 2024. — Т. 16. — № 4. — URL: <https://esj.today/PDF/01NZVN424.pdf>

For citation:

Roschin P.V., Ziganshin R.Sh., Davydov M.A., Tyshchenko V.A., Dokuchaev I.S., Margachev D.A., Nikitin A.V., Sklyuev P.V., Sheikina M.A., Ryazanov A.A. Selecting candidate wells for carbon dioxide cycling injection: oil and carbon dioxide compatibility study. *The Eurasian Scientific Journal*. 2024;16(4): 01NZVN424. Available at: <https://esj.today/PDF/01NZVN424.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.)

Рощин Павел Валерьевич

ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», Самара, Россия
Доцент
Кандидат технических наук
E-mail: pv.roschin@yandex.ru
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=699878

Зиганшин Раис Шамильевич

ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», Самара, Россия
Аспирант
E-mail: pauc97@gmail.com
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1134747

Давыдов Михаил Анатольевич

ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», Самара, Россия

Тыщенко Владимир Александрович

ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», Самара, Россия
Заведующий кафедрой
Доктор технических наук
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=741403

Докучаев Игорь Станиславович

ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», Самара, Россия
Младший научный сотрудник, аспирант
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1117598

Маргачев Данила Андреевич

ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», Самара, Россия

Никитин Александр Валерьевич

ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», Самара, Россия
Аспирант
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=877025

Склюев Прокофий Витальевич

ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», Самара, Россия
Доцент
Кандидат химических наук
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=780506

Шейкина Марина Александровна

ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», Самара, Россия
Доцент
Кандидат технических наук
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=886713

Рязанов Арсентий Алексеевич

ООО «РИТЭК», Волгоград, Россия
Начальник отдела повышения нефтеотдачи пластов
E-mail: Arsentiy.Ryazanov@lukoil.com
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=878471

Выбор скважин-кандидатов для циклической обработки углекислым газом: исследование совместимости нефти и углекислого газа

Аннотация. Современный период развития мировой нефтегазодобывающей промышленности характеризуется комплексностью технологических вызовов. С одной стороны компаниям необходимо поддерживать уровни добычи нефти и газа, с другой стороны — осуществлять эффективное управление выбросами парниковых газов. Ряд отечественных и зарубежных нефтедобывающих компаний уже интегрировали целевые показатели по сокращению выбросов парниковых газов в свои стратегии по развитию, при этом ряд предприятий, таких как ПАО «НК «Роснефть», Shell, Kuwait Petroleum Corporation, PetroChina планируют достичь углеродной нейтральности к 2050 году.

Одним из способов сокращения концентрации углекислого газа в атмосфере Земли является его улавливание, захоронение или использование. Углекислый газ может закачиваться в пласты на нефтяных месторождениях для увеличения их нефтеотдачи (с использованием различных технологий), поскольку обладает рядом свойств: снижается вязкость нефти, увеличивается пластовое давление, нефть набухает при растворении в ней CO_2 . Однако, в процессе закачки и растворения CO_2 в нефти могут возникать и негативные эффекты: если нефть несовместима с диоксидом углерода, то при растворении может происходить выпадение асфальтенов. Это может являться причиной повреждения призабойной зоны пласта, снижения ее проницаемости.

В данной работе авторами представлены результаты исследования совместимости двух различных устьевых проб образцов нефтей месторождений Самарской области с диоксидом углерода при пластовых давлении и температуре. Экспериментальными исследованиями на разработанной и запатентованной «СКФ-камере» установлено, что при смешивании образца легкой нефти и углекислого газа происходит выпадение асфальтенов. При смешении образца тяжелой высоковязкой нефти и CO_2 выпадение асфальтенов не происходит. Выдвинута гипотеза о влиянии смол и соотношения их концентрации к концентрации асфальтенов как о факторе, влияющим на результат взаимодействия нефти с углекислым газом в жидком и сверхкритическом состояниях.

Ключевые слова: высоковязкая нефть; интенсификация нефтедобычи; повышение нефтеотдачи; асфальтеносмолопарафиновые отложения; повреждение пласта; декарбонизация; углекислый газ

Актуальность

Современный период развития нефтегазодобывающей отрасли характеризуется комплексностью и многофакторностью действия различных условий на разработку нефтяных и газовых месторождений. Авторами данной работы выделяются следующие основные факторы: локальное и мировое изменение качества запасов углеводородов, активная цифровая трансформация процессов проектирования и мониторинга разработки месторождений, влияние мирового тренда на сокращение выбросов парниковых газов на реализацию проектов разработки месторождений. С целью исследования трендов развития эти направлений, авторами данной работы был сформирован набор поисковых запросов для дальнейшего поиска в базе OnePetro по годам упоминания. База публикаций OnePetro¹ — это специализированная отраслевая онлайн-библиотека, позволяющая осуществлять поиск и загрузку публикаций по заданным запросам.

Запросы сформированы по следующим тематикам: декарбонизация, выбросы углекислого газа и метана, углеродный след (ESG; decarbonization; CO₂ emission; methane emission; carbon footprint; carbon neutrality); разработка нефтяных месторождений и ключевые способы воздействия на пласты с трудноизвлекаемыми запасами высоковязкой и сланцевой нефти (heavy oil; shale oil; natural bitumen; hydraulic fracturing; steam injection); ключевые запросы, связанные с закачкой, использованием или захоронением углекислого газа (CO₂ injection; CCS; CCUS). Отдельно представлена среднегодовая² стоимость 1 барреля нефти марки Brent (Brent). На рисунке 1 представлены данные поисковых запросов и количество найденных публикаций в базе OnePetro.

Согласно выполненному обобщению статистики публикаций, возможно выявить ряд корреляций. Наибольший рост — в 132 раза отмечается у количества публикаций по запросу «decarbonization» (декарбонизация): с 3 публикаций в 2016 году до 396 публикаций в 2023 году. Многократный рост числа упоминаний, в 28,5 раз, у запроса-термина ESG (Environmental, Social and Corporate Governance — экологическое, социальное и корпоративное управление): с 4 публикаций в 2016 году до 114 в 2023 году. Кратный рост числа публикаций отмечается у запроса-термина CCUS Carbon Capture, Utilisation and Storage — улавливание, использование и хранение углерода) — в 12,7 раз. Также на аналогичном периоде отмечается увеличение количества публикаций по тематикам, связанным с выбросами парниковых газов: «carbon footprint» (углеродный след) — в 3,7 раза, «CO₂ emission» (выбросы CO₂) — в 3,5 раза, «methane emission» (выбросы метана) — в 2,6 раза. Отмечается увеличение публикаций по запросам: «CO₂ injection» (закачка CO₂) в 1,7 раза, «carbon neutrality» (углеродная нейтральность) — в 1,5 раза, CCS (carbon capture and storage — улавливание и хранение углекислого газа) — в 1,3 раза. У терминов, связанных с классификацией запасов, отмечается условно стабильный тренд к снижению числа упоминаний: «shale oil» (сланцевая нефть) в 0,9 раза, «heavy oil» (высоковязкая нефть) — в 0,8 раза, «natural bitumen» (природный битум) — в 0,6 раза. При этом количество публикаций по запросу-термину «hydraulic fracturing» (гидравлический разрыв пласта) остается практически неизменным, что может говорить об устойчивом научном и технологическом интересе к данному способу увеличения добычи нефти.

¹ The online library of technical literature for the oil and gas industry: [Электронный ресурс]. URL: <https://onepetro.org/>.

² Statista: [Электронный ресурс]. URL: <https://www.statista.com/>.

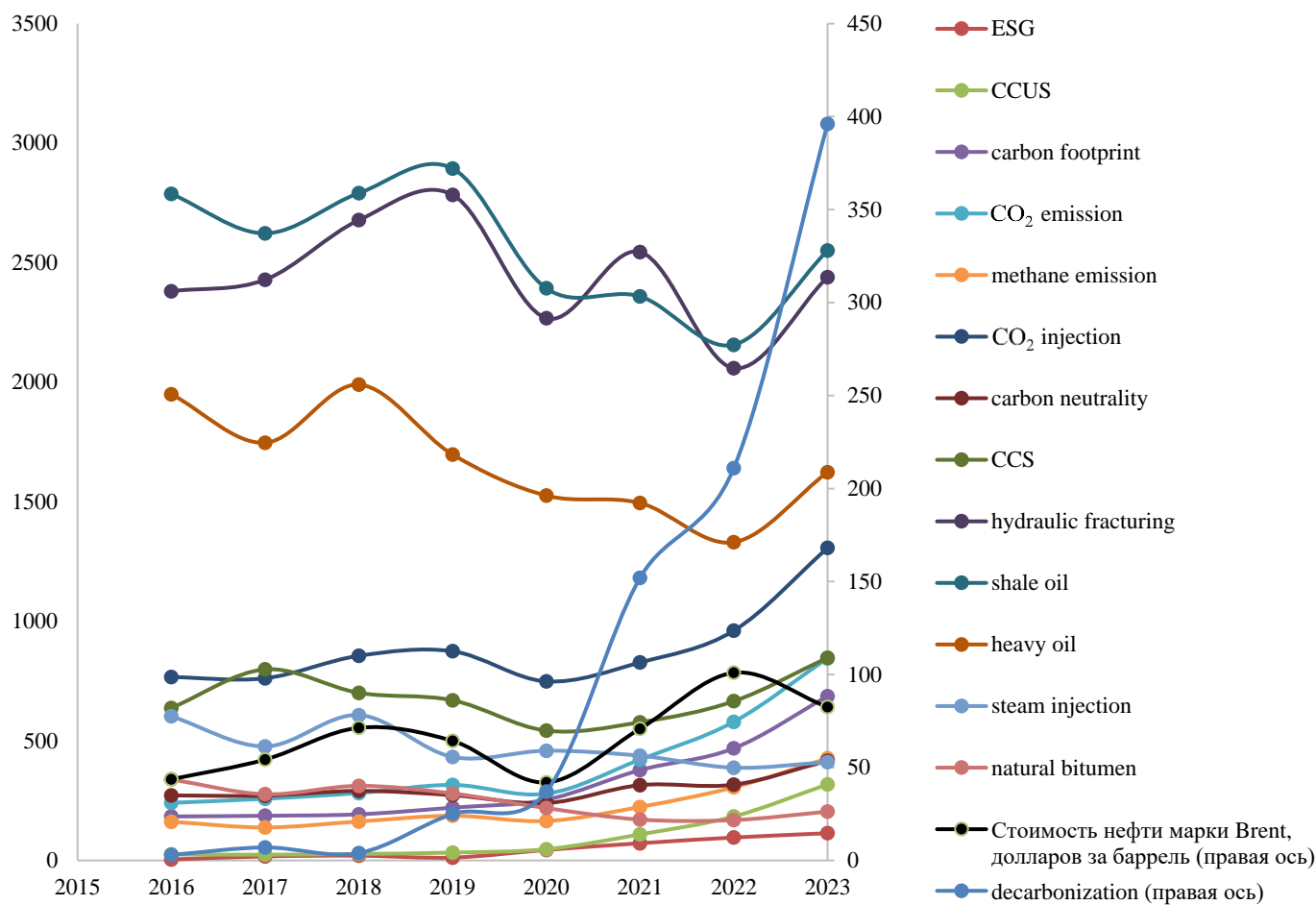


Рисунок 1. Динамика количества найденных публикаций в базе OnePetro и стоимость нефти марки Brent в долларах, по годам (составлено автором)

Таким образом, отмечается устойчивый и сильный рост тренда на экологичность, сокращение выбросов парниковых газов и проекты, связанные с закачкой углекислого газа для использования или захоронения. Это подтверждается также рядом публикаций отечественных и иностранных специалистов [1–4].

Однако, следует также отметить и локальные тренды, в том числе по ряду нефтедобывающих стран — происходит сокращение запасов легкой маловязкой нефти в традиционных коллекторах, что обуславливает интерес нефтедобывающих компаний к эффективной разработке трудноизвлекаемых запасов высоковязкой нефти и нефти в низкопроницаемых коллекторах. При этом одним из способов поддержания пластового давления в залежи и увеличения нефтеотдачи пластов может являться закачка углекислого газа. Таким образом, могут быть комплексно решены одновременно две задачи: эффективное освоение трудноизвлекаемых запасов углеводородов и захоронение, изоляция от атмосферы углекислого газа. В настоящее время считается, что увеличение концентрации углекислого газа и в атмосфере является причиной глобального изменения погодных условий и потепления. Более подробно это описано в ряде работ [1; 4].

Важным развивающимся направлением является применение углекислого газа для увеличения нефтеотдачи пластов на месторождениях с высоковязкой нефтью. Закачка углекислого газа в жидком или сверхкритическом состоянии в пласты с высоковязкими нефтями имеет ряд преимуществ: снижается вязкость нефти, увеличивается пластовое давление, нефть набухает при растворении в ней CO₂ [5–8]. При этом следует учитывать и

возможные негативные эффекты закачки CO_2 в продуктивный нефтенасыщенный пласт: выпадение асфальтенов из нефти при растворении в ней CO_2 и выпадение солей при реагировании CO_2 с минералами горных пород пласта-коллектора [9–11]. Также при хранении и использовании CO_2 в подземных пластах следует уделять особое внимание расстановке скважин и выбору структур [12–14].

Вариантом оценки потенциала месторождения под закачку углекислого газа является проведение газоциклических обработок добывающих скважин углекислым газом в жидком или сверхкритическом состоянии, что также описано в ранее опубликованных работах [5–6; 15]. Согласно выполненному анализу, среднемировое значение прироста добычи нефти на 1 тонну закачанного углекислого газа составляет 1,39 т нефти/т CO_2 . В Российской Федерации на момент подготовки данной публикации это значение составляет 5,26 т нефти/т CO_2 . Отмечается, что в основном газоциклические обработки проводились на терригенных коллекторах (80 %).

Рядом специалистов отмечается, что выпадение асфальтенов при закачке углекислого газа является одним из наиболее серьезных осложнений, особенно при применении на низкопроницаемых коллекторах [10; 11; 16–18].

Целью данной работы является исследование взаимодействия двух различных по составам и свойствам образцов нефтей с углекислым газом при заданных PVT-условиях.

Основная часть

В данной работе представлены результаты исследования совместимости диоксида углерода и двух образцов нефтей месторождений Самарской области с использованием разработанной PVT-камеры, называемой далее «СКФ-камера»³ — камера исследования флюидов в сверхкритических состояниях [2]. Образцы нефти отбирались на устьях скважин двух различных месторождений, затем производилась их подготовка для проведения эксперимента, согласно ОСТ 153-39.2-048-2003 «Нефть. Типовое исследование пластовых флюидов и сепарированных нефтей». Состав и физические свойства двух образцов нефтей представлены в таблице 1.

Таблица 1

Состав, физические свойства образцов нефтей
и геолого-физические условия пласта-коллектора

Параметр	Образец 1 (легкая нефть)	Образец 2 (тяжелая высоковязкая нефть)
Давление исследования в СКФ-камере (пластовое давление), атм	120	100
Агрегатное состояние углекислого газа в указанных условиях	сверхкритическое состояние	жидкость
Пластовая температура, °С	40	26
Содержание, % масс.:		
• Смолы	9,74	18,74
• Асфальтены	5	8,2
• Парафины	2,2	3,7
Отношение массы смол к массе асфальтенов, ед.	1,95	2,28
Плотность в пластовых условиях, кг/м ³	859	948
Вязкость в пластовых условиях, мПа·с	14,3	580,2

Составлено автором

³ Патент на полезную модель № 226302 U1 Российская Федерация, МПК G01N 33/28. Камера моделирования совместимости флюидов: № 2024111964: заявл. 02.05.2024: опубл. 30.05.2024 / М.А. Давыдов, П.В. Рошин, Р.Ш. Зиганшин [и др.].

На рисунке 2 представлена общая схема СКФ-камеры и подсоединенного насосного оборудования. За счет своей конструкции, СКФ-камера позволяет обеспечивать возможность визуального наблюдения за процессами, происходящими внутри установки.

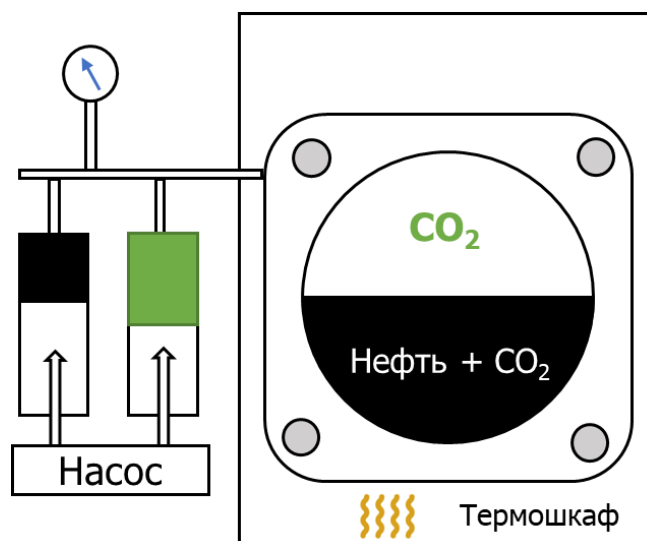


Рисунок 2. Схема соединения СКФ-камеры и насосного оборудования (составлено автором)

Эксперимент проводился следующим образом. СКФ-камера нагревалась и термостабилизировалась до пластовой температуры исследуемого объекта. Затем в камере размещался необходимый объем углекислого газа для проведения исследования. После этого осуществлялась закачка необходимого объема нефти, с условием, что соотношение углекислого газа и нефти будет составлять не менее три к одному соответственно. По достижении стабилизации PVT-условий проведения эксперимента, PVT-камеру возможно отключить от насоса и осуществить перемешивание нефти и углекислого газа вручную, в течение не менее 2 часов. Затем производилась визуальная оценка результатов смешивания.

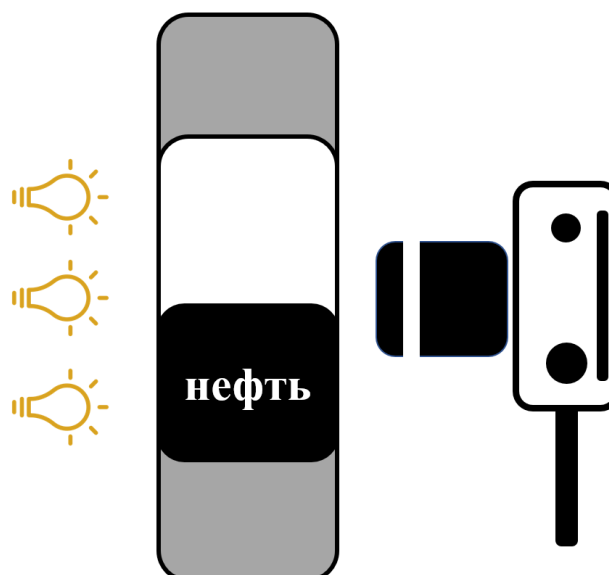


Рисунок 3. Положение светодиодной подсветки (слева), СКФ-камеры (в центре) и цифрового фотоаппарата (справа) при проведении исследований (составлено автором)

На первом этапе было выполнено исследование Образца 1 (легкая маловязкая нефть) и углекислого газа в сверхкритическом состоянии (рис. 4).

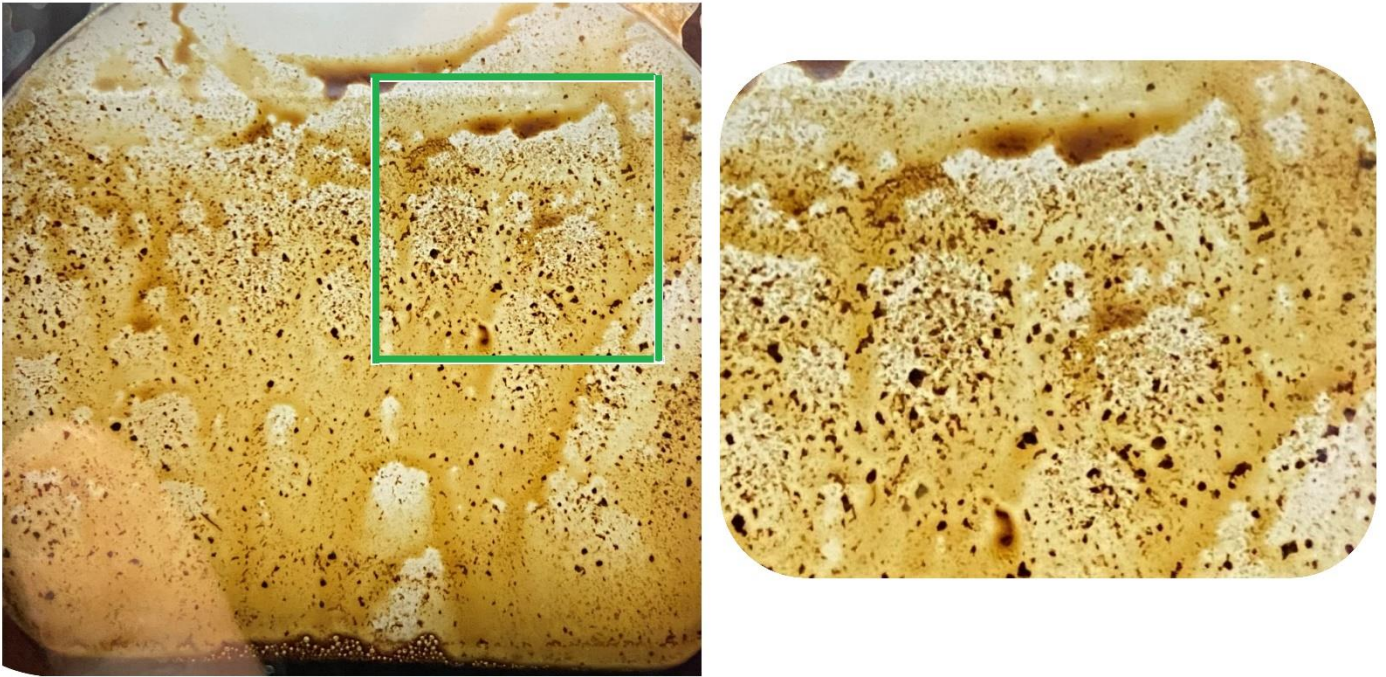


Рисунок 4. Фотография стекла СКФ-камеры с выпавшими органическим отложениями. Нефть в нижней части. Правая часть рисунка — увеличенное изображение выделенной зеленым квадратом области (подготовлено автором)

Экспериментом установлено, что Образец 1 (легкая нефть) показал несовместимость с углекислым газом. Практически сразу после закачки образца нефти в СКФ-камеру было визуально обнаружено выпадение твердого органического осадка, который после 2 часов активного перемешивания не изменил своего внешнего вида (рис. 4). Крупные, легко заметные невооруженным глазом черные частицы, вероятно, являются агрегатами асфальтенов или АСПВ (асфальтеносмолопарафиновых веществ). Частицы асфальтенов не исчезли после снижения давления в СКФ-камере и остались на стекле.

Специалистами Ziqi Shen и James J. Sheng (Техасский университет) при экспериментах с полупроницаемыми мембранами было установлено, что проницаемые поры в пласте-коллекторе могут блокироваться частицами асфальтенов только при превышении $1/7$ диаметра поры [17]. Наблюдаемые невооруженным глазом частицы выпавших асфальтенов на стекле СКФ-камеры однозначно могут блокировать поровое пространство пласта-коллектора, особенно в призабойной зоне пласта. При освоении скважины после газоциклической обработки имеется риск кольтматации порового пространства призабойной зоны пласта выпавшим твердым органическим осадком.

Таким образом, при планировании проведения газоциклических обработок или нагнетания CO_2 в данный нефтенасыщенный пласт с легкой нефтью на постоянной основе, в нагнетательные скважины, необходимо учитывать склонность данной нефти к выпадению АСПО (асфальтеносмолопарафиновых отложений) при контакте с углекислым газом и его растворении в нефти. Для подбора реагентов с целью предотвращения данного процесса возможно повторное проведение экспериментов, но уже с добавлением в нефть необходимого объема или массы реагента. Также возможно проведение дополнительных исследований на керне с целью установления возможного повреждения пласта.

На втором этапе был проведен эксперимент с Образцом 2 (тяжелая высоковязкая нефть). Результаты представлены на рисунке 5.

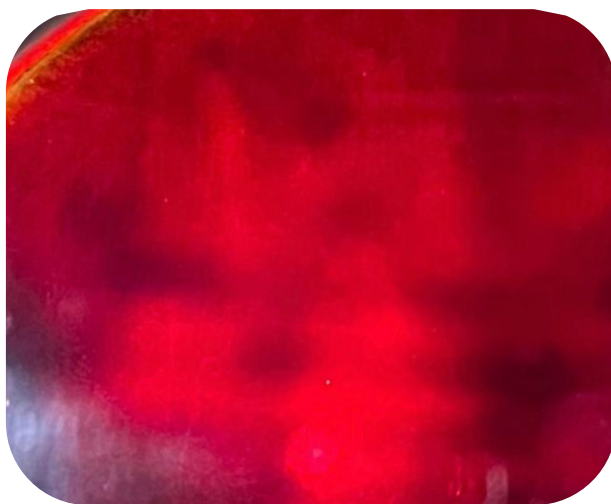


Рисунок 5. Фотография пленки нефти на стекле СКФ-камеры с Образцом 2 (подготовлено автором)

При исследовании были обнаружены следующие особенности поведения образца высоковязкой нефти и углекислого газа. При подаче нефти в СКФ-камеру, уже наполненную жидким диоксидом углерода, было установлено, что в отличие от образца легкой маловязкой нефти, эта нефть не перемешалась, а стекла в нижнюю часть камеры. Потребовалось гораздо больше усилий и времени (многократные встряхивания и вращения камеры, в течение 2 часов, затем повторная термостабилизация), чтобы высоковязкая нефть перемешалась с жидким углекислым газом.

Вопреки ожиданиям появления органического осадка АСПВ именно у образца высоковязкой нефти, этого не произошло, несмотря на кратно более высокую массовую концентрацию асфальтенов по сравнению с легкой нефтью: 8,2 % у высоковязкой нефти и 5 % у легкой нефти. Предполагается, что это может быть связано с относительно высокой массовой долей смол, действующих как естественный диспергирующий агент для асфальтенов: у высоковязкой нефти отношение массовой концентрации смол к массовой концентрации асфальтенов составляет 2,28 единиц, у легкой — 1,95 единиц. Аналогичные выводы о диспергирующей способности смол по отношению к асфальтенам также приводятся в ряде публикаций [7; 19].

Выводы

На основании выполненных экспериментов авторами работ сделаны следующие заключения:

1. Самостоятельно сконструированное, изготовленное и запатентованное авторами оборудование «СКФ-камера» показало высокую эффективность при проведении экспериментов на совместимость диоксида углерода и различных устьевых образцов нефтей. Выверенный «живой объем» камеры и крупные стекла позволяют наблюдать происходящие процессы и контролировать ход экспериментов.

2. Выполненные исследования с образцом легкой маловязкой нефти (Образец 1) и образцом тяжелой высоковязкой нефти (Образец 2) показали различное поведение асфальтеносмолопарафиновых веществ при добавлении углекислого газа в жидком и сверхкритическом состоянии при различных температурах. Смещение легкой нефти (Образец 2) и углекислого газа при давлении 120 атм и температуре 40°C привело к появлению органического осадка с достаточно крупными частицами, визуально наблюдаемыми

невооруженным глазом. Смешение высоковязкой нефти и углекислого газа при давлении 100 атм и температуре 26°C показало отсутствие возникновения органического осадка, несмотря на кратно более высокую концентрацию асфальтенов в образце высоковязкой нефти (Образец 2). Выдвигается гипотеза, что различие в поведении нефтей может быть связано с соотношением смол и асфальтенов, поскольку смолы выступают в качестве естественных диспергаторов для асфальтенов. У образца высоковязкой нефти отношение массовой концентрации смол к асфальтенам составляет 2,28 единиц, у легкой — 1,95. При этом углекислый газ также находится в различных состояниях — при условиях Образца 1 (легкая нефть) — это сверхкритическое состояние, при условиях Образца 2 (высоковязкая нефть) — это жидкость. Согласно анализу литературы, оба состояния CO₂ способны приводить к выпадению асфальтенов.

3. Необходимо дальнейшее выполнение работ с различными образцами нефтей, в том числе с пластовыми пробами, для исследования их совместимости с углекислым газом и в дальнейшем — поиска корреляций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Грушевенко Е. и др. Декарбонизация нефтегазовой отрасли: международный опыт и приоритеты России // Центр энергетики МШУ «Сколково». — 2021 (Март). — 158 с. — 2021.
2. Bhattacharjee P. et al. ESG, clean energy, and petroleum futures markets: Asymmetric return connectedness and hedging effectiveness // *International Review of Economics & Finance*. — 2024. — С. 103375.
3. Emeka-Okoli S. et al. The evolution of CSR reporting in the oil and gas industry and its future direction: A conceptual review // *World Journal of Advanced Research and Reviews*. — 2024. — Т. 21. — № 3. — С. 100–108.
4. Walker T. et al. Sustainability in the Oil and Gas Industry: An Introduction // *Sustainability in the Oil and Gas Sector: Adaptation and Mitigation Strategies for Tackling Climate Change*. — Cham: Springer Nature Switzerland, 2024. — С. 3–10.
5. Дарищев В.И., Харланов С.А., Бабинцев Ю.И., Зиновьев А.В., Антонова Д.О. Реализация технологии закачки CO₂ HUFF & PUFF как метода интенсификации добычи высоковязкой нефти. *Бурение и нефть*. 2023. № 3. С. 18–23.
6. Зиганшин, Р.Ш. Обзор мирового опыта применения технологии газоциклической обработки нефтедобывающих скважин углекислым газом для увеличения добычи нефти / Р.Ш. Зиганшин, П.В. Рощин, А.А. Рязанов [и др.] // *Вестник Евразийской науки*. — 2024. — Т 16. — № 1. — URL: <https://esj.today/PDF/43NZVN124.pdf> (дата обращения: 10.05.2024).
7. Лобанов А.А., Щеколдин К.А., Звонков М.А., Хлань М.В., Пустова Е.Ю., Ладесов А.В., Коваленко В.А., Стручков И.А., Золотухин А.Б. Особенности взаимодействия сжиженного углекислого газа с высоковязкой нефтью. Часть 3. Седиментация сложных структурных единиц системы. *Нефтепромысловое дело*. 2018. № 6. С. 21–30.
8. Хромых Л.Н., Литвин А.Т., Никитин А.В. Применение углекислого газа в процессах повышения нефтеотдачи пластов. *Вестник евразийской науки*. 2018. Т. 10. № 5. С. 82.

9. Зиганшин Р.Ш., Маргачев Д.А., Зиновьев А.М., Никитин А.В., Давыдов М.А., Соболева Е.И. Методология формирования перечня скважин — кандидатов для циклической обработки углекислым газом. Нефть. Газ. Новации. 2023. № 8(273). С. 97–100.
10. Лобанов А.А., Пустова Е.Ю., Белозеров И.П., Шулев В.Е., Юрьев А.В., Золотухин А.Б. Влияние фазовых переходов асфальтенов на проницаемость породы-коллектора. Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2017. № 8. С. 33–36.
11. Adyani W.N. et al. A systematic approach to evaluate asphaltene precipitation during CO₂ injection // SPE Asia Pacific Enhanced Oil Recovery Conference. — SPE, 2011. — С. SPE-143903-MS.
12. Ермолаев А.И., Мирсяпов Б.Н. Определение количества скважин, предназначенных для закачки диоксида углерода в геологические структуры. Научный журнал Российского газового общества. 2023. № 5(41). С. 50–57.
13. Ермолаев А.И., Латипов А.Р., Амшинов Л.М. Модели оптимизации количества и расстановки скважин в подземных хранилищах газа. Научный журнал Российского газового общества. 2023. № 2(38). С. 30–35.
14. Циу П., Якушев В.С., Ермолаев А.И. Обоснование эффективности повышения добычи сланцевого газа методом замещения метана диоксидом углерода. Технологии нефти и газа. 2017. № 3(110). С. 52–56.
15. Дарищев В.И., Харланов С.А., Бабинцев Ю.И., Зиновьев А.В., Антонова Д.О. Опытные-промышленные работы по использованию углекислого газа для интенсификации добычи высоковязкой нефти. Нефть. Газ. Новации. 2022. № 2(255). С. 29–34.
16. Fakher S., Imqam A. Investigating and mitigating asphaltene precipitation and deposition in low permeability oil reservoirs during carbon dioxide flooding to increase oil recovery // SPE Annual Caspian Technical Conference. — SPE, 2018. — С. D023S007R004.
17. Shen Z., Sheng J.J. Experimental study of asphaltene aggregation during CO₂ and CH₄ injection in shale oil reservoirs // SPE Improved Oil Recovery Conference. — SPE, 2016. — С. SPE-179675-MS.
18. Srivastava R.K., Huang S.S. Asphaltene deposition during CO₂ flooding: a laboratory assessment // SPE Oklahoma City Oil and Gas Symposium / Production and Operations Symposium. — SPE, 1997. — С. SPE-37468-MS.
19. Зиновьев А.М., Литвин А.Т., Никитин А.В. Оценка возможности применения реагентов-растворителей на стадии проектирования разработки месторождения для оптимизации добычи высоковязкой нефти. Вестник евразийской науки. 2018. Т. 10. № 5. С. 77.

Roschin Pavel Valerevich

Samara State Technical University, Samara, Russia
E-mail: pv.roschin@yandex.ru
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=699878

Ziganshin Rais Shamilevich

Samara State Technical University, Samara, Russia
E-mail: pauc97@gmail.com
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1134747

Davydov Mikhail Anatolievich

Samara State Technical University, Samara, Russia

Tyshchenko Vladimir Alexandrovich

Samara State Technical University, Samara, Russia
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=741403

Dokuchaev Igor Stanislavovich

Samara State Technical University, Samara, Russia
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1117598

Margachev Danila Andreevich

Samara State Technical University, Samara, Russia

Nikitin Alexander Valerievich

Samara State Technical University, Samara, Russia
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=877025

Sklyuev Prokofiy Vitalievich

Samara State Technical University, Samara, Russia
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=780506

Sheikina Marina Alexandrovna

Samara State Technical University, Samara, Russia
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=886713

Ryazanov Arsentiy Alekseevich

RITEK LLC, Volgograd, Russia
E-mail: Arsentiy.Ryazanov@lukoil.com
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=878471

Selecting candidate wells for carbon dioxide cycling injection: oil and carbon dioxide compatibility study

Abstract. The current period of development of the global oil and gas industry is characterized by the complexity of technological challenges. On the one hand, companies need to maintain oil and gas production levels, and on the other hand, they need to effectively manage greenhouse gas emissions. A number of domestic and foreign oil producing companies have already integrated targets for reducing greenhouse gas emissions into their development strategies, while a number of enterprises, such as Rosneft PJSC, Shell, Kuwait Petroleum Corporation, PetroChina plan to achieve carbon neutrality by 2050.

One of some ways to reduce the concentration of carbon dioxide in the Earth's atmosphere is to capture, bury or use it. Carbon dioxide can be injected into formations in oil fields to increase their oil recovery (using various technologies), since it has a number of properties: the viscosity of oil decreases, reservoir pressure increases, oil swells when CO₂ is dissolved in it. However, during the process of injection and dissolution of CO₂ in oil, negative effects may also occur: if oil is incompatible with carbon dioxide, then asphaltenes may precipitate during dissolution. This may cause damage to the bottomhole formation zone and reduce its permeability.

In this paper, the authors present the results of a study of the compatibility of two different wellhead samples of oil samples from fields in the Samara region with carbon dioxide at reservoir pressure and temperature. Experimental studies using the developed and patented «SCF-chamber» have established that when a sample of light oil and carbon dioxide is mixed, asphaltenes precipitate. When mixing a sample of heavy high-viscosity oil and CO₂, asphaltenes do not precipitate. A hypothesis has been put forward about the influence of resins and the ratio of their concentration to the concentration of asphaltenes as a factor influencing the result of the interaction of oil with carbon dioxide in the liquid and supercritical states.

Keywords: heavy oil; intensification of oil production; enhanced oil recovery; asphaltene; resin and paraffin deposits; formation damage; decarbonization; carbon dioxide