

Научная статья

УДК 552.578.622.276.63

DOI: 10.15372/KhUR2025646

EDN: COYTME

Исследование растворяющей способности кислотной композиции ГБК-Ф по отношению к горным породам

Р. Н. МУСТАФИН[✉], В. В. КОЗЛОВ, Л. К. АЛТУНИНА, М. Р. ШОЛИДОДОВ, А. Р. САЙДЕНЦАЛЬ

Институт химии нефти СО РАН, Томск, Россия

E-mail: rustam@ipc.tsc.ru[✉], kozlov_vv2004@mail.ru, alk@ipc.tsc.ru, sholidodov93@inbox.ru, saydentsal_ar@mail.ru

Аннотация

Представлены результаты исследования фторсодержащей кислотной композиции ГБК-Ф на основе поверхностно-активных веществ, полиола, аддукта неорганической кислоты и диамида угольной кислоты. Проведено исследование растворяющей способности кислотной композиции в концентрированной и разбавленной формах по отношению к терригенной и карбонатной породам, кварцу и пириту. Установлено, что применение композиции ГБК-Ф оказывало различное по силе растворяющее воздействие на горные породы разного типа. Показано, что концентрированная или разбавленная форма ГБК-Ф в разной степени оказывает влияние на породу: кварц и пирит лучше растворялись в разбавленном растворе кислотной композиции, тогда как применение концентрированного раствора (жидкая товарная форма) ГБК-Ф оказывало максимальный эффект при растворении карбонатной породы. При исследовании терригенного коллектора растворимость породы в концентрате ГБК-Ф на протяжении первых часов была лучше, чем в разбавленном растворе, однако через 24 ч выдерживания значения показателя сравнялись. Сделан вывод, что как концентрированная, так и разбавленная формы кислотной композиции в целом равноценны в качестве перспективного средства для обработки призабойной зоны пласта как карбонатного, так и терригенного коллектора.

Ключевые слова: кислотная обработка, кислотная композиция, горные породы, методы увеличения нефтеотдачи пластов, растворяющая способность

Финансирование: работа выполнена в рамках государственного задания Института химии нефти СО РАН, финансируемого Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (НИОКТР № 121031500048-1).

Для цитирования: Мустафин Р. Н., Козлов В. В., Алтунина Л. К., Шолитодов М. Р., Сайденцаль А. Р. Исследование растворяющей способности кислотной композиции ГБК-Ф по отношению к горным породам // Химия в интересах устойчивого развития. 2025. Т. 33, № 2. С. 232–236. DOI: 10.15372/KhUR2025646. EDN: COYTME.

Original article

Investigation of the dissolving ability of the acid composition GBC-F in relation to rocks

R. N. MUSTAFIN[✉], L. K. ALTUNINA, V. V. KOZLOV, M. R. SHOLIDODOV, A. R. SAIDENTSAL

Institute of Petroleum Chemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russia

E-mail: rustam@ipc.tsc.ru[✉], kozlov_vv2004@mail.ru, alk@ipc.tsc.ru, sholidodov93@inbox.ru, saydentsal_ar@mail.ru

Abstract

Results of the study of a multifunctional acid composition GBC-F based on surfactants, polyol, an adduct of inorganic acid and carbonic acid diamide are presented. The dissolving ability of the acid composition in concentrated and diluted forms in relation to terrigenous and carbonate rocks, quartz and pyrite was studied. The

use of the GBC-F composition was determined to cause different dissolving effects on the rocks of different types. It is shown that concentrated or diluted GBC-F affects the rocks to different extents: quartz and pyrite dissolved better in the diluted solution of the acid composition, while the use of concentrated GBC-F (the liquid commercial form) had the maximum effect when dissolving carbonate rock. In the study of terrigenous reservoir, rock solubility in the concentrate of GBC-F during the first hours was better than in the diluted solution, but after soaking for 24 h the values became equal.

Keywords: acid treatment, acid composition, rocks, methods of enhancing oil recovery, dissolving ability

ВВЕДЕНИЕ

Одной из актуальных проблем, стоящих перед нефтедобывающей отраслью, является увеличение доли трудноизвлекаемых запасов в общей структуре ресурсов нефти [1–3]. Эффективность разработки низкопродуктивных залежей и полнота добычи трудноизвлекаемых запасов напрямую зависят от состояния призабойной зоны пласта, воздействие на которую считается основным способом повышения эффективности разработки коллекторов [4, 5].

Среди вариантов обработки призабойной зоны наиболее эффективен кислотный метод обработки пласта; суть такой обработки – растворение горной породы и образование сети микроканалов. Несмотря на эффективность, кислотная обработка призабойной зоны имеет ряд недостатков, таких как интенсивное осадкообразование, недостаточно полное взаимодействие компонентов кислотных составов с минеральными соединениями горных пород по всему объему порового пространства, малая проникающая способность водных растворов кислот, неравномерная обработка прискважинной и удаленных зон пласта [6–8]. Часть этих недостатков может быть преодолена с помощью комплексного воздействия кислотного и иных методов на призабойную зону, например, применения поверхностно-активных веществ (ПАВ), снижающих поверхностное натяжение на границе раздела фаз. Вариативность комплексного подхода широка, а эффективность требует тщательного изучения для каждого конкретного случая. Поэтому создание новых и усовершенствование существующих кислотных составов путем получения комплексов разнонаправленного действия остаются в поле актуальной проблематики нефтедобычи.

Для технологий увеличения нефтеотдачи и интенсификации добычи нефти месторождений с терригенными коллекторами на принципах “зеленой химии” с применением метода глубоких эвтектических растворителей была разработана новая кислотная композиция ГБК-Ф пролонгированного действия на основе ПАВ,

полиола, аддукта неорганической кислоты, диамида угольной кислоты и фторсодержащих продуктов, полученных от АО “Сибирский химический комбинат” Госкорпорации “Росатом”.

Научные основы разработки композиции представлены в [9–11], где приводятся фазовые диаграммы бинарных и трехкомпонентных систем, их эвтектические точки и температуры плавления/застывания, физико-химические и реологические характеристики, ряд фильтрационных исследований для установления эффективности применения композиции.

Цель данной работы – исследование растворяющей способности новой фторсодержащей кислотной композиции ГБК-Ф по отношению к некоторым горным породам.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Кислотную композицию ГБК-Ф использовали в двух формах: концентрированный раствор (КР) – жидкая товарная форма композиции ГБК-Ф; рабочий раствор (РР) – концентрированный раствор композиции ГБК-Ф, разбавленный пресной водой (1 : 1 по объему).

Исследования растворяющей способности кислотной композиции ГБК-Ф по отношению к горным породам проводили в соответствии с Регламентом по тестированию кислотных составов, применяемых в технологиях обработки скважин [12] на примере растворения дезинтегрированных образцов карбонатной породы, кварца, терригенного коллектора, пирита.

Породу размалывали в мельнице, а затем просеивали через сита. Для исследований отбирали фракцию породы диаметром 0.16–0.5 мм, высушивали при 110 °С до постоянной массы, охлаждая в эксикаторе. Испытания проводили на двух параллельных навесках породы. Точную навеску породы (до 4-го знака после запятой) массой ~1 г помещали в пластиковую ячейку, заливали 10 см³ исследуемой композиции, закрывали крышкой и, не перемешивая, выдерживали при заданной температуре в течение определенного времени. Навески пород

термостатировали в кислотном составе в течение 30, 60, 120, 180 и 1440 мин.

По истечении заданного времени содержимое ячейки переносили на воронку с подготовленным смоченным дистиллированной водой фильтром “белая лента”, предварительно высушенным в сушильном шкафу и охлажденным в эксикаторе до постоянной массы. Затем ячейку тщательно ополаскивали, воду с остатками смеси переносили на фильтр. Фильтр с прореагировавшей породой помещали в бюкс без крышки и сушили в шкафу, а после охлаждали в эксикаторе до постоянной массы.

Скорость растворения зерна (V , г/ч) и растворимость породы (δ , мас. %) рассчитывали по формулам:

$$V = (m_a - m_b)/t,$$

$$\delta = 100(m_a - m_b)/m_c$$

где m_a – суммарная масса сухого фильтра и породы до реакции, г; m_b – суммарная масса фильтра и породы после реакции, г; m_c – масса навески породы, г; t – время реакции, ч.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 1–4 представлены результаты исследования скорости растворения и растворимости различных пород коллектора в КР и РР ГБК-Ф.

Как видно (см. рис. 1), исследуемая композиция проявляла выраженную растворяющую способность по отношению к карбонатному коллектору как в концентрированном виде (жидкой товарной форме), так и в разбавленном виде. В частности, при использовании КР ГБК-Ф растворимость карбонатной породы в зависимости от времени выдерживания в кислотной композиции составляла до 80.8 % (спустя 24 ч после начала реакции). Разбавление композиции водой вдвое (до получения рабочего раствора) приво-

дило к снижению растворимости породы – спустя 24 ч количество растворенной породы составило 35 % (см. рис. 1, б). Скорость растворения карбонатного коллектора в случае применения КР превышала скорость растворения при использовании РР в среднем в 1.5–1.6 раза в первые часы после начала реакции (см. рис. 1, а). Через 24 ч скорость растворения значительно снижалась в обоих случаях, однако и тогда скорости растворения породы в исследуемых растворах различались в 2.4 раза в пользу КР ГБК-Ф.

В опытах с терригенным коллектором при использовании КР ГБК-Ф растворимость составила 8.1 % в трехчасовой контрольной точке и 9.1 % спустя 24 ч; для РР ГБК-Ф – 4.7 и 9.6 % соответственно (см. рис. 2, б). Скорость растворения терригенной породы в КР и в РР ГБК-Ф в целом была практически идентична (см. рис. 2, а).

При исследовании растворимости кварца наиболее высокая растворяющая способность выявлена для РР ГБК-Ф: количество растворенного кварца последовательно возрастало от точки к точке (см. рис. 3, б) и в суточной контрольной точке составило 6.8 %. Максимальные значения количества растворенного кварца в случае использования КР ГБК-Ф не превышали 2 %. В жидкой товарной форме (КР ГБК-Ф) кварц растворяется хуже, чем в разбавленном растворе ГБК-Ф. Это можно объяснить тем, что реакция кварца с плавиковой кислотой, входящей в кислотный состав, с трудом протекает в мало-водной среде (суммарно 22.6 % воды в КР ГБК-Ф и 61.3 % в РР ГБК-Ф). Скорость растворения кварца при использовании РР ГБК-Ф также была наибольшей во всех временных контрольных точках (см. рис. 3, а).

Растворяющая способность рабочего раствора исследуемой кислотной композиции по отношению к пириту была несколько выше, чем у концентрированного раствора (см. рис. 4, а и б). При практически равных значениях скорости

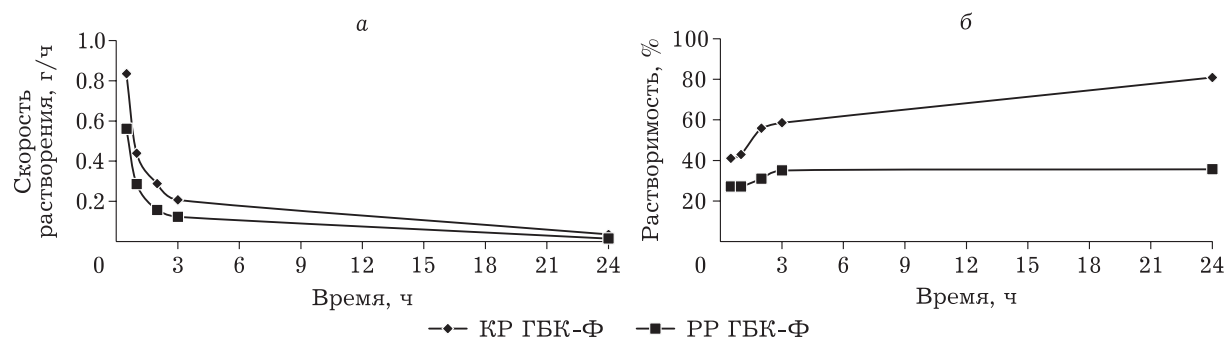


Рис. 1. Скорость растворения (а) и растворимость (б) дезинтегрированной карбонатной породы в концентрированном (жидкая товарная форма) и рабочем растворах ГБК-Ф в зависимости от продолжительности его обработки при 25 °С. Здесь и на рис. 2–4: КР – концентрированный раствор; РР – рабочий раствор.

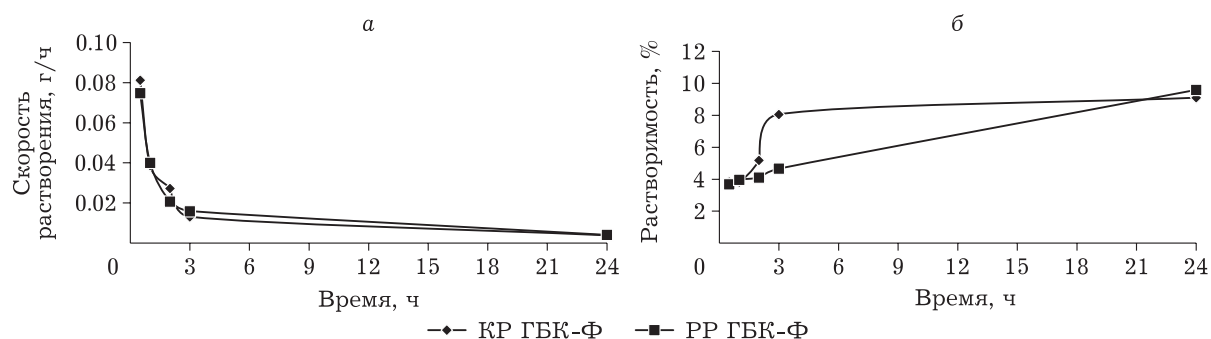


Рис. 2. Скорость растворения (а) и растворимость (б) дезинтегрированной терригенной породы в концентрированном (жидкая товарная форма) и рабочем растворах ГБК-Ф в зависимости от продолжительности его обработки при 25 °С.

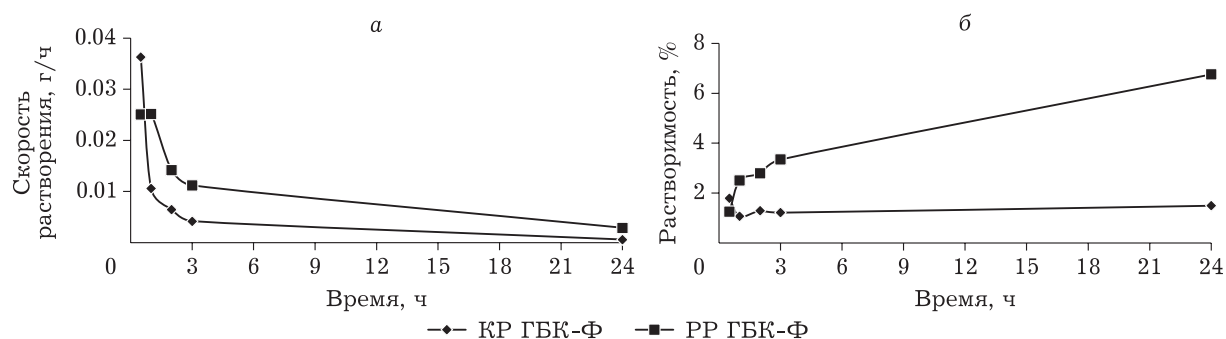


Рис. 3. Скорость растворения (а) и растворимость (б) дезинтегрированного кварца в концентрированном (жидкая товарная форма) и рабочем растворах ГБК-Ф в зависимости от продолжительности его обработки при 25 °С.

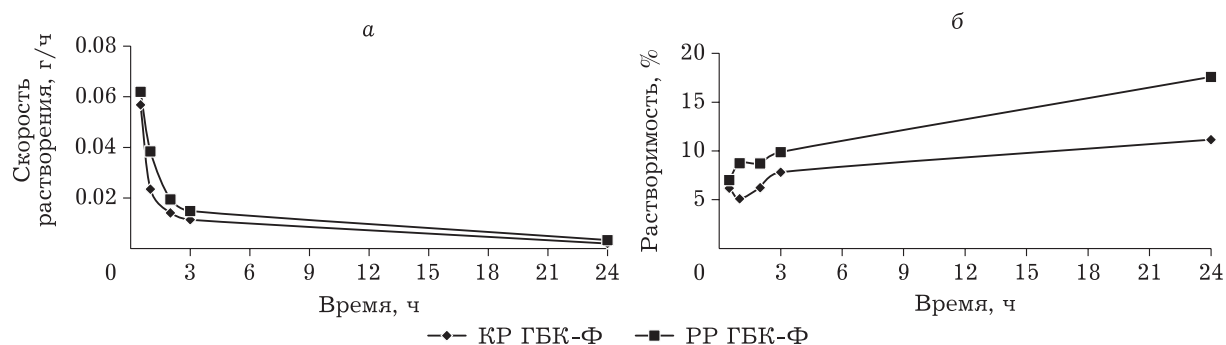


Рис. 4. Скорость растворения (а) и растворимость (б) дезинтегрированного пирита в концентрированном (жидкая товарная форма) и рабочем растворах ГБК-Ф в зависимости от продолжительности его обработки при 25 °С.

растворения породы на протяжении всего времени опыта, тем не менее, процент растворенного пирита в каждой контрольной точке был выше в пробах с РР ГБК-Ф и спустя 24 ч превышал количество породы, растворенной в КР ГБК-Ф в 1.6 раза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, на примерах карбонатного и терригенного коллекторов, кварцевой породы и пирита было установлено, что кислотный фтор-

содержащий состав ГБК-Ф на основе ПАВ, полиола, аддукта неорганической кислоты и диамида угольной кислоты обладает выраженной растворяющей способностью. При этом в зависимости от конкретного случая концентрированная или разбавленная форма РР ГБК-Ф в разной степени оказывает влияние на ту или иную породу: кварц и пирит лучше растворялись в рабочем растворе кислотной композиции, тогда как применение концентрированной жидкой товарной формы ГБК-Ф оказывало максимальный эффект при растворении карбонатной породы. При исследовании терригенного коллектора рас-

творимость породы в КР ГБК-Ф на протяжении первых часов была лучше, чем в РР ГБК-Ф, однако через 24 ч выдерживания разность в значениях практически нивелировалась. Сделан вывод, что как концентрированная жидкая товарная форма, так и разбавленная до рабочего раствора форма кислотной композиции в целом равноценны в качестве перспективного средства для обработки призабойной зоны пласта.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ленченкова Л. Е. Повышение эффективности выработки трудноизвлекаемых запасов нефти физико-химическими методами: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Уфа, 2002. 48 с.
2. Крянев Д. Ю., Жданов С. А. Методы увеличения нефтеотдачи: опыт и перспективы применения // Нефтегазовая вертикаль. 2011. № 5. С. 30–33.
3. Фоломеев А. Е. Совершенствование технологии кислотного воздействия на высокотемпературные карбонатные коллекторы: дис. ... канд. техн. наук. Уфа, 2020. 202 с.
4. Киселев К. В. Физические и химические процессы взаимодействия кислотных растворов с горной породой низкопродуктивных залежей нефти: автореф. дис. ... канд. хим. наук. Тюмень, 2004. 26 с.
5. Долгих С. А., Гайсина Д. И. Применение химических методов воздействия на призабойную зону пласта (ПЗП) // Нефтяная провинция. 2022. № 2 (30). С. 120–133.
6. Давлетшина Л. Ф., Магадова Л. А., Силян М. А., Ефанова О. Ю., Исмагилов Ф. З., Ахметшин Р. М. Кислотная обработка нагнетательных скважин. Старые проблемы – новые решения // Территория “НЕФТЕГАЗ”. 2009. № 3. С. 38–41.
7. Зиновьев А. М., Карпунин Н. А. Особенности кислотных обработок в условиях высокотемпературных коллекторов // Вестн. Евразийской науки. 2018. Т. 10, № 6. Ст. 77.
8. Джафарпур Х. Обоснование технологии интенсификации притока нефти для сложнопостроенных карбонатных коллекторов с применением кислотной обработки: автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2019. 21 с.
9. Altunina L. K., Kuvshinov V. A., Stasyeva L. A., Kuvshinov I. V., Kozlov V. V., Sholidodov M. R. Advanced compositions for increasing oil recovery on the principles of “green chemistry” // AIP Conf. Proc. 2022. Vol. 2509. Art. 020015.
10. Sholidodov M. R., Altunina L. K., Kozlov V. V., Kuvshinov V. A., Stas’eva L. A., Saidentsal A. R. Acidic oil-displacing system based on deep eutectic solvents and surfactants: development, physical and chemical studies, evaluation of its effect on the composition and properties of oil // Журн. Сибирского федер. ун-та. Сер.: Химия. 2023. Т. 16, № 3. С. 337–349.
11. Козлов В. В., Шолитодов М. Р., Алтунина Л. К., Кувшинов И. В., Сайденцаль А. Р., Мустафин Р. Н. Многофункциональная кислотная нефтевытесняющая композиция для применения на месторождениях с терригенным типом коллектора // Изв. высших учеб. заведений. Химия и хим. технология. 2024. Т. 67, № 8. С. 95–102.
12. Черепанова Н. А. Регламент по тестированию кислотных составов, применяемых в технологиях обработки скважин. Когалым, 2013. 36 с.

Поступила в редакцию 05.11.2024

Принята к публикации 20.11.2024