

УДК 622.691.2; <https://doi.org/10.37878/2708-0080/2023-5.05>

<https://orcid.org/0000-0001-6687-6425>

<https://orcid.org/0000-0002-4603-1158>

<https://orcid.org/0000-0002-6865-7477>

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА КАК СПОСОБ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ДОБЫЧИ НЕФТИ В НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ТАТАРСТАНА



С.П. НОВИКОВА,
научный сотрудник
научно-исследовательской
лаборатории Утилизация
диоксида углерода
в подземных естественных
резервуарах,
Novikovaspn@gmail.com



В.И. ГАРИФУЛЛИНА,
младший научный сотрудник
научно-исследовательской
лаборатории Утилизация
диоксида углерода в подземных
естественных резервуарах,
garifullina-vasilya@mail.ru



В.А. СУДАКОВ,
заместитель директора
по инновационной
деятельности,
VIASudakov@kpfu.ru

КАЗАНСКИЙ (ПРИВОЛЖСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ,
Российская Федерация, 420111, Республика Татарстан,
Казань, ул. Большая Красная, д.4

Использование диоксида углерода в нефтегазовой промышленности на сегодняшний день является актуальной темой. Создание подземного хранилища газа (ПХГ) является важной темой для Республики Татарстан. В данной статье рассмотрено одно из нефтяных месторождений Республики Татарстан, как одного из перспективных объектов для использования CO_2 .

В работе дан анализ месторождения с геологической точки зрения, рассмотрены фильтрационно-емкостные свойства пород как по керну, так и по ГИС. Проанализированы критерии и особенности с точки зрения разработки действующего нефтяного месторождения. Приведены методы с использованием CO_2 , как альтернативного варианта интенсификации добычи нефти. Проведенный анализ позволяет оценить пригодность использования диоксида углерода в разработке месторождения, для извлечения нефти, так и для захоронения углекислого газа в пласте.

Таким образом рассмотрен потенциал месторождения для использования его в качестве ПХГ на территории РТ. Создание хранилищ ПХГ на сегодняшний день имеет важное значение, это дает возможность как размещать диоксида углерода в недрах земли, так

и быть одним из альтернативных методов интенсификации добычи нефти на месторождениях.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: подземное хранение газа, диоксид углерода, захоронение и применение углекислого газа.

ТАТАРСТАННЫҢ МҰНАЙ КЕН ОРЫНДАРЫНДА МҰНАЙ ӨНДІРУДІ ИНТЕНСИФИКАЦИЯЛАУ ТӘСІЛІ РЕТІНДЕ КӨМІРҚЫШҚЫЛ ГАЗЫН ПАЙДАЛАНУ

С.П. НОВИКОВА, Қазан федералды университетінің жерасты табиғи су қоймаларында көмірқышқыл газын пайдалану ғылыми-зерттеу зертханасының, Novikovaspn@gmail.com
В.И. ГАРИФУЛЛИНА, Қазан федералды университетінің жерасты табиғи су қоймаларында көмірқышқыл газын пайдалану ғылыми-зерттеу зертханасының кіші, garifullina-vasilya@mail.ru
В.А. СУДАКОВ, Қазан федералды университеті директорының инновациялар жөніндегі орынбасары, VIASudakov@kpfu.ru

ҚАЗАН ФЕДЕРАЛДЫ УНИВЕРСИТЕТІ,
 Ресей Федерациясы, 420111, Татарстан Республикасы, Қазан қ., көш. Үлкен Кызыл, 4

Көмірқышқыл газын мұнай-газ өнеркәсібінде пайдалану бүгінгі күннің өзекті тақырыбы. Татарстан Республикасы үшін жерасты газ қоймасын (ГҚК) құру маңызды тақырып болып табылады. Бұл мақалада CO₂ пайдаланудың перспективалық объектілерінің бірі ретінде Татарстан Республикасының мұнай кен орындарының бірі қарастырылады. Жұмыста кен орнын геологиялық тұрғыдан талдау, жыныстардың сүзгілік-сыйымдылық қасиеттерін керн бойынша да, ГАЗ бойынша да қарастыру берілген. Қолданыстағы мұнай кен орнын игеру тұрғысынан критерийлер мен ерекшеліктер қарастырылады. Мұнай өндіруді интенсификациялаудың альтернативті нұсқасы ретінде CO₂ пайдаланатын әдістер қарастырылған. Талдау көмірқышқыл газын кен орнын игеруде, мұнай өндіруде және көмірқышқыл газын қабатта көму үшін пайдаланудың жарамдылығын бағалауға мүмкіндік береді. Осылайша, кен орнын Татарстан Республикасының аумағында жерасты газ қоймасы ретінде пайдалану мүмкіндігі қарастырылды. Жер асты газ қоймаларын құру бүгінгі таңда маңызды болып табылады, ол көмірқышқыл газын жер қойнауында сақтауға мүмкіндік береді, сонымен қатар кен орындарында мұнай өндіруді күшейтудің балама әдістерінің бірі болады.

НЕГІЗГІ СӨЗДЕР: жер асты газ қоймасы, көмірқышқыл газы, көмірқышқыл газын көму және пайдалану.

THE USE OF CARBON DIOXIDE AS AN OPTION TO INTENSIFY OIL PRODUCTION IN OIL FIELDS OF TATARSTAN

S.P. NOVIKOVA, Researcher, Research Laboratory of Carbon Dioxide Utilization in Underground Natural Reservoirs, Novikovaspn@gmail.com
V.I. GARIFULLINA, Junior research fellow, Research Laboratory of Carbon Dioxide Utilization in Underground Natural Reservoirs, garifullina-vasilya@mail.ru
V.A. SUDAKOV, Deputy Director of the Institute for Innovations, Director of Hard-to-Recover Reserves Simulation Research and Educational Center, Institute of Geology and Petroleum Technology, VIASudakov@kpfu.ru

KAZAN (VOLGA REGION) FEDERAL UNIVERSITY,
 Russian Federation, 420111, Kazan, Bolshaya Krasnaya st., 4,

The use of carbon dioxide in the oil and gas industry is an actual topic. The creation of underground gas storage (UGS) is an important issue for the Republic of Tatarstan. This article examines one of the oil fields in the Republic of Tatarstan as a prospective candidate for carbon dioxide utilization. The analysis in the paper focuses on the geological perspective of the field, considering the rocks reservoir properties, both in terms of core samples and well logging data. Criteria and peculiarities from the standpoint of developing an active oil field are also discussed. The article discusses various methods of using carbon dioxide as an alternative for enhancing oil production. The analysis conducted allows for an assessment of the suitability of using carbon dioxide in the development of the field for both oil production and carbon dioxide sequestration in the reservoir. Consequently, the potential of the field for use as a UGS in the Republic of Tatarstan is examined. The creation of UGS facilities is of great importance today, providing the opportunity to store carbon dioxide underground and serving as an alternative method for intensifying oil production.

KEY WORDS: *underground gas storage, carbon dioxide, storage and use of carbon dioxide.*

Введение. Месторождения с легко извлекаемыми запасами нефти остаются в прошлом. Сейчас, чтобы добыть нефть, нужно прикладывать все больше усилий, и традиционные методы повышения нефтеотдачи становятся малоэффективными. Сложность извлечения нефти заключается еще в том, что значительная часть запасов остаются в слабо дренируемых участках, либо в коллекторах, ограниченных промытыми зонами. Такие запасы требуют эффективных подходов в их локализации и подбора геолого-технических мероприятий для дальнейшей разработки.

Дальнейшим резервом увеличения коэффициента нефтеизвлечения (КИН) являются выработка остаточных запасов нефти в слабо, либо не дренируемых в процессе эксплуатации пластах и участках залежей.

Методы с использованием диоксида углерода. К числу перспективных разработок можно отнести газовые методы для увеличения нефтеотдачи пластов, на основе закачки диоксида углерода. Широкое применение этих методов началось с середины 1980-х гг. прошлого века. Добыча нефти при закачке диоксида углерода показала положительные результаты.

Механизм повышения нефтеотдачи заключается в следующем: при закачке газа в пласт происходит снижение вязкости нефти в пластовых условиях, набухание нефти, смешивание диоксида углерода с широкой фракцией углеводородов, появляется низкое межфазное натяжение на границе нефть-СО₂, снижение влияния капиллярных сил [1].

На сегодняшний день есть несколько способов использования углекислого газа для увеличения нефтеотдачи пласта [2].

Один из вариантов закачки СО₂ – газоциклическая закачка. В призабойную зону пласта осуществляется подача газа, скважина останавливается. Некоторый период времени происходит взаимодействие газа с пластовой нефтью, вследствие чего происходит снижение вязкости. Далее скважина включается и происходит добыча. Такой цикл может повторяться несколько раз. Технология применима на месторождениях, где вязкость нефти достигает 1000мПа*с. Эффект от метода может быть получен в течение от 1 до 6 месяцев. [3].

Другой способ – это закачка в пласт карбонизированной воды. В результате воздействия СО₂ происходит увеличение объема нефтяной плёнки, в результате чего

уменьшается площадь контакта со стенами пор и трещин, увеличивается фазовая проницаемость нефти [4].

Еще один способ использования CO_2 – это закачка газа в пласт в сверхкритическом состоянии. Помимо увлечения объема и снижения вязкости нефти, при закачке CO_2 в сверхкритическом состоянии, его растворяющая способность возрастает с увеличением плотности, при условии постоянной температуры и росте давления [5].

Материалы и методы исследований. Рассматриваемое в статье месторождение в административном отношении расположено в Черемшанском районе Республики Татарстан.

Месторождение находится на площади с развитой системой сбора и транспорта нефти и газа. Системы нефтепроводов и энергоснабжения действуют здесь с 1960-х гг. Месторождение находится в промышленной разработке.

Тектоника. В тектоническом отношении месторождение приурочено к структурному валу западного склона Южно-Татарского свода и контролируется крупной валообразной зоной II порядка северо-восточного простирания. Формирование валообразной зоны в осадочной толще имеет генетическую связь с грядой кристаллического фундамента, который состоит из системы блоков, ориентированных в северо-восточном направлении [6].

Нефтеносность. Месторождение входит в состав Волго-Уральской нефтегазосной провинции. Промышленные скопления нефти на территории приурочены к отложениям каменноугольного возраста и коллектора представлены различными по литолого-петрографической характеристике породами.

Промышленная нефтеносность месторождения установлена в отложениях верейского горизонта и башкирского яруса среднего карбона, тульского, бобриковского горизонтов и турнейского яруса нижнего карбона.

Территория месторождения осложнена визейским врезом. Наиболее обширный врез выявлен в западной части месторождения, здесь отложения представлены моноклинным пластом, мощность которых достигает 13 – 15 м [7].

Для залежей верейского горизонта и башкирского яруса флюидоупором являются пласты аргиллитов и глинистых известняков, залегающих в кровле верейского горизонта, а также мощная карбонатная толща каширских отложений.

Для залежей нефти, яснополянского надгоризонта флюидоупором являются карбонатная толща алексинского горизонта и пачки алевролитово-глинистых пород, залегающих в кровле тульского горизонта.

Флюидоупором для залежей турнейского яруса является толща глин и аргиллитов яснополянского надгоризонта.

Фильтрационно-емкостные свойства. На площади месторождения из продуктивных отложений тульского и бобриковского горизонтов для изучения литолого-петрофизических свойств пород, произведён отбор керн. Средние значения пористости, проницаемости и нефтенасыщенности соответственно составили 0,264 д.ед., $2433,0 \times 10^{-3}$ мкм² и 0,919 д.ед.

Анализ текущего состояния разработки. Месторождение открыто в 1954 году, в промышленную разработку введено в 1971 году. В разработке находятся шесть эксплуатационных объектов: кыновский, турнейский, бобриковский, тульский, башкирский, верейский.

Месторождение находится на четвертой стадии разработки, за последние 10 лет темп отбора от НИЗ равен 0,8 %. К отрицательному моменту при разработке месторождения следует считать высокую обводненность добываемой жидкости, 30 скважин (26,8 %) действующего фонда имеют обводненность более 90 %. Наиболее обводненными являются скважины бобриковского объекта – 80%, при отборе 95 % и тульского объекта – 72,8%, при отборе – 52,2%. В работе приведён детальный анализ разработки тульских и бобриковских отложений. На *рисунке 1* отображена динамика технологических показателей месторождения в целом.

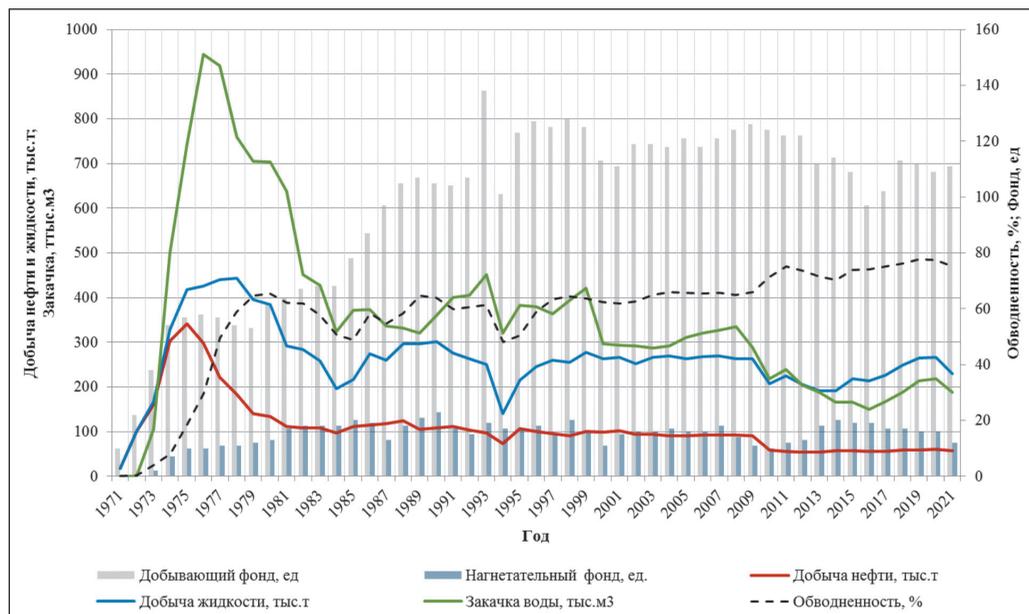


Рисунок 1 – Динамика основных показателей разработки месторождения

Методы интенсификации добычи нефти. Для повышения нефтеизвлечения проводятся следующие МУН: стимуляция отбора продукции (термобароимплозионное воздействие (ТБИВ), поверхностно-активный кислотный состав (ПАКС), кислотно-имплозионное воздействие (КИВ); ограничение притока воды (высокопрочные полимерные системы (ВПСД), гидрофобизация призабойной зоны пласта (ГПЗП); создание оторочек, с целью увеличения Кохв и К выт; выравнивание профиля проницаемости (Ксантан), ограничение подвижности закачиваемой воды (ПАФ АФ9-6).

За все время добыто более 138 тыс. т за счет методов интенсификации добычи нефти. Однако не по всем скважинам наблюдается положительная динамика после ГТМ. К примеру, по 200 из 501 рассмотренных операций не наблюдалось эффекта после проведения мероприятий. К таким неуспешным ГТМ относятся водоизоляционные работы и оптимизации режима работы скважин (форсированный отбор жидкости). Высокие накопленные показатели относятся к забурированию боковых стволов – более 3 тыс. тонн на скважину. На текущий момент забурирование боковых и боковых горизонтальных стволов является одним из наиболее эффективных мето-

дов довыработки запасов на месторождении. Проводимые стимуляционные работы, как правило, с невысоким приростом дебита нефти (1-1,5 т/сут), однако продолжительность эффекта доходит до одного года. На *рисунке 2, 3* дано распределение по видам проводимых ГТМ, их средние приросты и накопленная добыча.

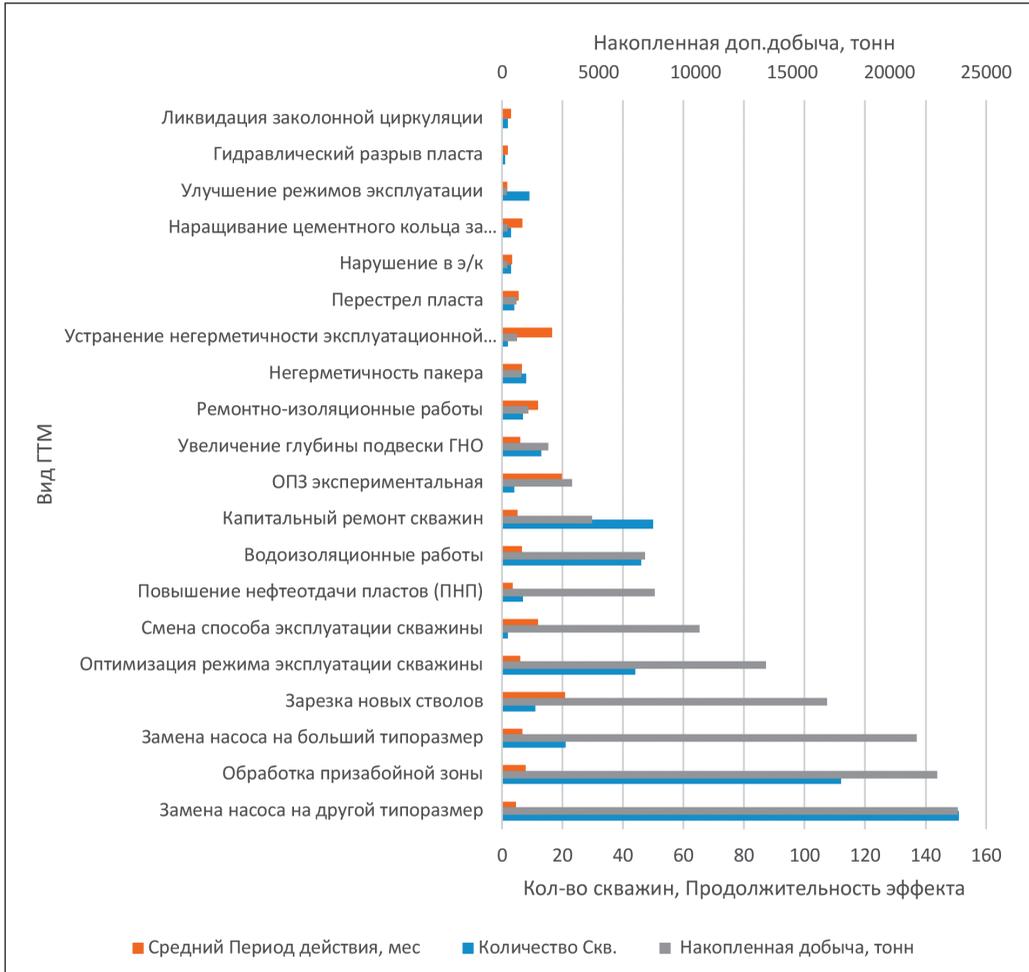


Рисунок 2 – Распределение дополнительной добычи и количества скважин по видам проведенных ГТМ

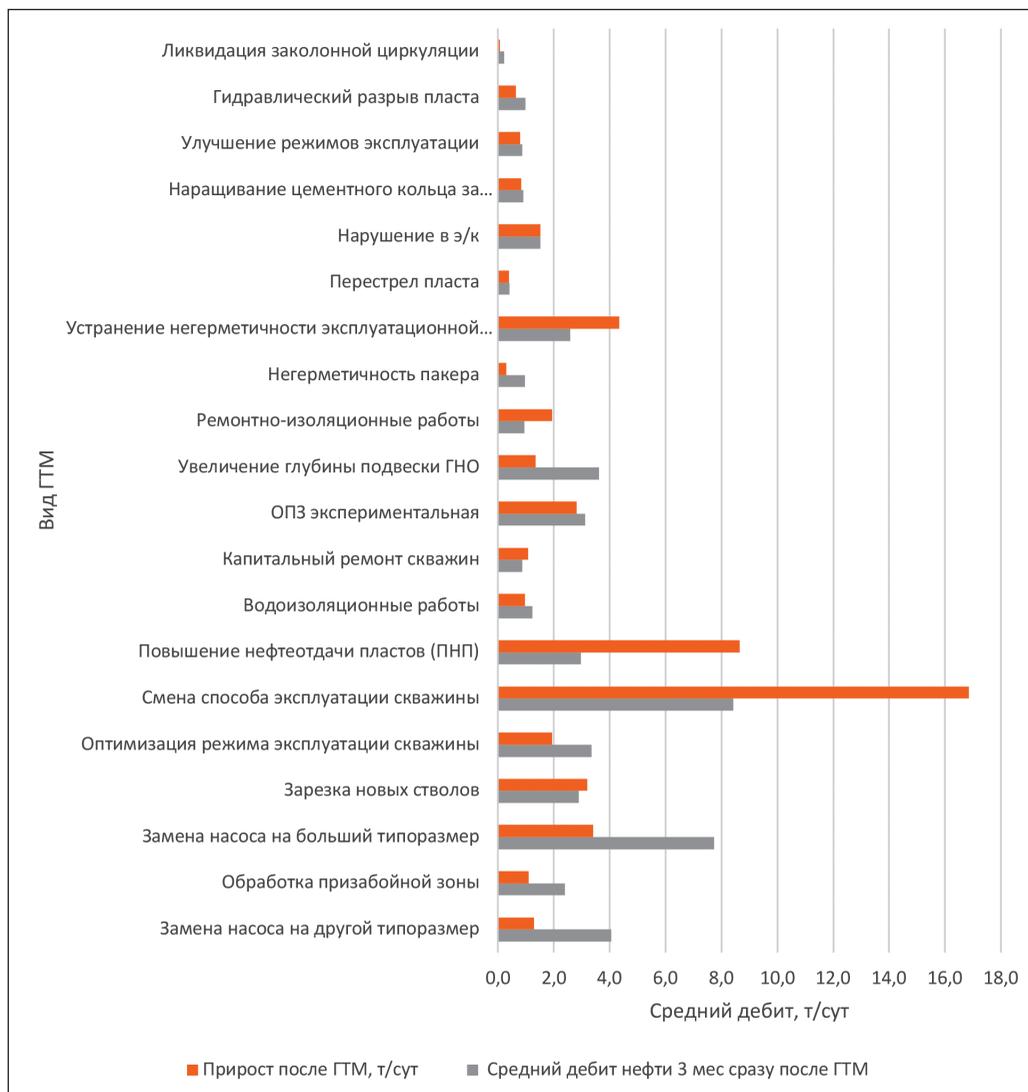


Рисунок 3 – Распределение средних дебитов и прироста после проведения ГТМ

Результаты и обсуждение. Анализ геологического строения изучаемой территории показал, что поднятия в пределах месторождения представляют собой антиклинальные структуры с амплитудой 20 – 40 м, с выдержанной по площади и разрезу покрывкой для отложений тульского и бобриковского горизонтов нижнего карбона. На территории месторождения прослеживается развитие визейского вреза. Точное прослеживание развития увеличенных мощностей песчаного тела в пределах локального поднятия позволяют разработать комплекс геолого-технических мероприятий, направленных на интенсификацию нефтедобычи на подобных объектах (Ларочкина И.А., др., 2011).

С точки зрения тектоники – территория месторождения представляет собой валлообразную зону. Сейсмичность изучаемого объекта является спокойной.

Коллекторы тульского и бобриковского горизонтов сложены песчаниками и алевролитами с глинистыми прослоями. Результаты исследований материала керна и данных ГИС показывают, что средние значения пористости и проницаемости эффективной нефтенасыщенной части по свойствам пород можно отнести к высокоёмким и высокопроницаемым. Фильтрация флюида в породах происходит по межпоровым тонким каналам.

Фильтрационно-емкостные свойства терригенных отложений по литолого-петрографическим данным, тип коллектора является поровым, среднепроницаемым, среднеёмким, что говорит о пригодности данных коллекторов для использования в качестве подземного хранилища газа.

Месторождение было введено в промышленную разработку в 1972 г., месторождение по типу строения сложное, многопластовое. В промышленной разработке находятся пять объектов – верейский, башкирский, тульский, бобриковский, турнейский и кыновский.

На текущий момент обводненность действующего фонда в тульском и бобриковском горизонте высока, составляет 73 и 80 % соответственно. Общая обводненность месторождения достигает более 90 %. Для тульского и бобриковского горизонтов отмечается преждевременное обводнение, как от нагнетаемой воды, так и с ВНК, поэтому применение нетрадиционных методов увеличения нефтеотдачи крайне актуально.

Заключение и выводы. На основе анализа можно сказать, что месторождение представляет собой структурное поднятие, которое включает в себя флюидоупор, пласты-коллекторы, необходимые фильтрационно-емкостные свойства пород, что говорит о наличии положительных критериев для использования CO_2 .

Анализ проведенных ГТМ показал, одним из наиболее эффективных методов довыработки запасов является метод забуривания боковых и боковых горизонтальных стволов и смена насоса, методы, связанные с непосредственно влиянием на пласт эффекта не приносили. Стимуляционные работы приводили к незначительному росту дебита – 1 – 1,5 т/сут.

Учитывая обводненность продукции месторождения, видна необходимость использования альтернативных способов выработки запасов. Таким методом может стать закачка CO_2 как агента вытеснения флюида. Также в перспективе можно рассмотреть использование резервуара месторождения для создания подземного хранилища диоксида углерода. Для этого требуется обсуждение и решение проектных задач, таких как растворимость CO_2 в водах коллектора, оценка скорости движения CO_2 при определённых темпах закачки, взаимодействие диоксида углерода с породой, реакцию CO_2 при заданных давлениях и температурах.

Учитывая, что на этих месторождениях уже имеется вся необходимая инфраструктура как подземная, так и наземная, экономическая эффективность разработки остаточных запасов углеводородов велика. 📍

Работа выполнена за счет средств Программы стратегического академического лидерства Казанского (Приволжского) федерального университета (ПРИОРИТЕТ-2030).

ЛИТЕРАТУРА

1. Victor Fagorite, Samuel Okechukwu Onyekuru, Alexander Iheanyichukwu Opara, Emeka Emmanuel Oguzie. The major techniques, advantages, and pitfalls of various methods used in geological carbon sequestration // International journal of Environmental Science and Technology. – 2022. – N 20(12). – DOI:10.1007/s13762-022-04351-0
2. Соромотин А.В., Лекомцев А.В., Илюшин П.Ю. Анализ особенностей применения технологии CO₂ HUFF-N-PUFF//Bulletin of the Tomsk Polytechnic University Geo Assets Engineering – 2022. – Том 333, № 12. DOI:10.18799/24131830/2022/12/3635 [Soromotin A.V., Lekomtsev A.V., Ilyushin P.Yu., 2022, Analysis of the features of using CO₂ HUFF-N-PUFF technology, Bulletin of the Tomsk Polytechnic University Geo Assets Engineering. 2023. vol.333, No. 12, DOI:10.18799/24131830/2022/12/3635 (in Russ)]
3. Дарищев В.И., Харланов С.А., Бабинец Ю.И., Зиновьев А.В., Антонова Д.О. Реализация технологии закачки CO₂ Huff & Puff как метода интенсификации добычи высоковязкой нефти. [Электрон. ресурс] – 2023. – URL: <https://burneft.ru/archive/issues/2023-03/18>[Darischev V.I., Kharlanov, Babinets Yu.I., Zinoviev A.V., Antonova D.O.. Implementation of CO₂ injection S.A. technology HUFF & PUFF as a method of intensifying the production of high-viscosity oil. [Electronic resource]. 2023. URL: <https://burneft.ru/archive/issues/2023-03/18>]
4. Калинин С.А., Морозюк О.А. Разработка месторождений высоковязкой нефти в карбонатных коллекторах с использованием диоксида углерода. Анализ мирового опыта // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2019. – Т.19, №4. – С. 373–387. DOI: 10.15593/2224-9923/2019.4.6 [Kalinin S.A., Morozyuk O.A., Development of high-viscosity oil fields in carbonate reservoirs using carbon dioxide // Analysis of world experience. Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Geology. Oil and gas and mining. – 2019. – Vol.19, No. 4. – P. 373–387. DOI: 10.15593/2224-9923/2019.4.6 (in Russ)]
5. Хромых Л.Н., Литвин А.Т., Никитин А.В. Применение углекислого газа в процессах повышения нефтеотдачи пластов // Вестник Евразийской науки. – 2018. – №5. – <https://esj.today/PDF/06NZVN518.pdf> (доступ свободный). [Khromykh L.N., Litvin A.T., Nikitin A.V. Application of carbon dioxide in enhanced oil recovery. The Eurasian Scientific Journal, [online]. – 2018. – N 5(10). Available at: <https://esj.today/PDF/06NZVN518.pdf> (in Russ)]
6. Ларочкина И.А., Михайлова Е.Н., Новиков И.П. Бобриковские врезы как объекты высокоэффективной разработки месторождений (на примере Ульяновского месторождения) // Георесурсы. – 2011. – №4 (40). – С. 27-30 [Larochkina I.A., Mikhailova E.N., Novikov I.P., 2011, Bobrikovsky paleochannels as objects of highly efficient field development (using the example of the Ulyanovsk field) // Georesursy. – 2011. – No. 4 (40). – P. 27-30 (in Russ)].
7. Ларочкина И.А., Ганиев Р.Р., Михайлова Е.Н. Влияние эрозионно-карстовых врез на размещение залежей нефти в радаевскобобриковских отложениях //Георесурсы. – 2010. – №3 (35). – С. 38-41. [Larochkina I.A., Ganiev R.R., Mikhailova E.N. The influence of erosion-karst incisions on the distribution of oil deposits in the Radaev-Bobrikovsky deposits // Georesources. – 2010. – No. 3 (35). – P. 38-41(in Russ)].