

DOI: <https://doi.org/10.25689/NP.2025.4.235-250>

EDN EQWNKO

УДК 622.276.6:576.8

**Перспектива использования в качестве метода увеличения
нефтеизвлечения биогазов, образующихся
в результате жизнедеятельности пластовой микрофлоры**

Шайгаллямова Л.Р., Курбанова Г.Г., Гарипова А.А., Фаттахов И.Г.

*Институт «ТатНИПИнефть» ПАО «Татнефть» имени В.Д. Шашина,
Альметьевск, Россия*

**Biogases produced by in situ microbial activity show promise
for enhanced oil recovery**

L.R. Shaigallyamova, G.G. Kurbanova, A.A. Garipova, I.G. Fattakhov

TatNIPIneft Institute – PJSC Tatneft, Almetьевsk, Russia

E-mail: shaigallyamova@mail.ru

Аннотация. В данной работе рассматривается возможность применения биогазов в качестве микробиологического метода увеличения нефтеотдачи (МУН). Особое внимание уделено потенциалу использования таких технологий в труднодоступных участках, где традиционные источники энергии недоступны или неэффективны. Описаны механизмы синтеза биогаза в природных условиях и анаэробных реакторах, в которых осуществляется обезвоживание осадков, на базе метантенков. Приводятся примеры успешного внедрения подобных технологий на различных месторождениях Урала и Поволжья и за его пределами. Также обсуждаются ключевые факторы, влияющие на эффективность их эксплуатации. Биогазы, состоящие преимущественно из метана и углекислого газа, обладают высоким потенциалом для воздействия на физико-химические свойства высоковязкой нефти. Исследования показывают, что микробиологические процессы, происходящие в нефтяных пластах, могут способствовать снижению вязкости нефти и увеличению ее подвижности, что, в свою очередь, приводит к повышению коэффициента извлечения углеводородов. Ожидается, что интеграция биогазов в процессы разработки месторождений позволит повысить эффективность добычи нефти и снизить негативное воздействие на окружающую среду. Также рассматриваются преимущества и ограничения данного метода, перспективы дальнейшего развития этой технологии и обсуждается

необходимость исследований и разработок в области оптимизации процессов генерации биогаза и повышения эффективности его использования в качестве МУН.

Ключевые слова: *методы увеличения нефтеотдачи, биогаз, пласт, высоковязкая нефть*

Для цитирования: Шайгаллямова Л.Р., Курбанова Г.Г., Гарипова А.А., Фаттахов И.Г. Перспектива использования в качестве метода увеличения нефтеизвлечения биогазов, образующихся в результате жизнедеятельности пластовой микрофлоры // Нефтяная провинция.-2025.-№4(44).-С. 235-250. - DOI <https://doi.org/10.25689/NP.2025.4.235-250>. - EDN EQWNKO

Abstract. The paper considers applicability of biogases as microbial enhanced oil recovery (MEOR) method. Particular attention is given to the potential of such technologies in poorly accessible areas where conventional energy sources are unavailable or inefficient. Mechanisms of biogas production are described, particularly under natural conditions and through anaerobic sludge digestion in anaerobic reactors. Examples of successful implementation of such technologies in various fields within and outside the Urals-Volga region are provided. Key factors affecting the efficiency of their operation are also discussed. Biogases, consisting predominantly of methane and carbon dioxide, have high potential for alteration of physical and chemical properties of highly viscous oil. Studies suggest that microbial processes taking place in oil reservoirs can facilitate reduction of oil viscosity and increase in oil mobility, which in turn improves hydrocarbons recovery efficiency. Integration of biogases into field development processes is expected to increase the efficiency of oil production and reduce the environmental impact. The paper also considers the advantages and limitations of this method, prospects for technology evolution and discusses the need for further research and developments aimed at optimization of biogas generation processes and improving its efficiency in enhanced oil recovery (EOR) applications.

Key words: *enhanced oil recovery methods, biogas, reservoir, highly viscous oil*

For citation: L.R. Shaigallyamova, G.G. Kurbanova, A.A. Garipova, I.G. Fattakhov Perspektiva ispol'zovaniya v kachestve metoda uvelicheniya nefteizvlecheniya biogazov, obrazuyushchikhsya v rezul'tate zhiznedeятel'nosti plastovoy mikroflory [Biogases produced by in situ microbial activity show promise for enhanced oil recovery]. Neftyanaya Provintsiya, No. 4(44), 2025. pp. 235-250. DOI <https://doi.org/10.25689/NP.2025.4.235-250>. EDN EQWNKO (in Russian)

В России существуют значительные запасы высоковязкой нефти, которые из-за низкого уровня их добычи фактически остаются неиспользованными энергетическими ресурсами. Для их разработки необходимо применять нетрадиционные методы воздействия на пласт. В настоящее время российская нефтяная промышленность обладает почти всеми

распространенными в мире технологиями увеличения нефтеотдачи пластов благодаря достижениям науки и техники.

Для повышения экономической эффективности разработки месторождений, сокращения капитальных вложений и максимально возможного использования реинвестиций весь период разработки месторождения обычно делится на три основных этапа. На первом этапе для добычи нефти используется максимально возможное количество естественной энергии пласта, включая упругую энергию, энергию растворенного газа, энергию законтурных вод, газовой шапки и потенциальную энергию гравитационных сил. На втором этапе применяются методы поддержания пластового давления через закачку воды или газа, которые обычно называют вторичными методами. На третьем этапе для повышения эффективности разработки месторождений применяются методы увеличения нефтеотдачи (МУН) [1].

На рис. 1 представлена блок-схема разновидностей МУН:

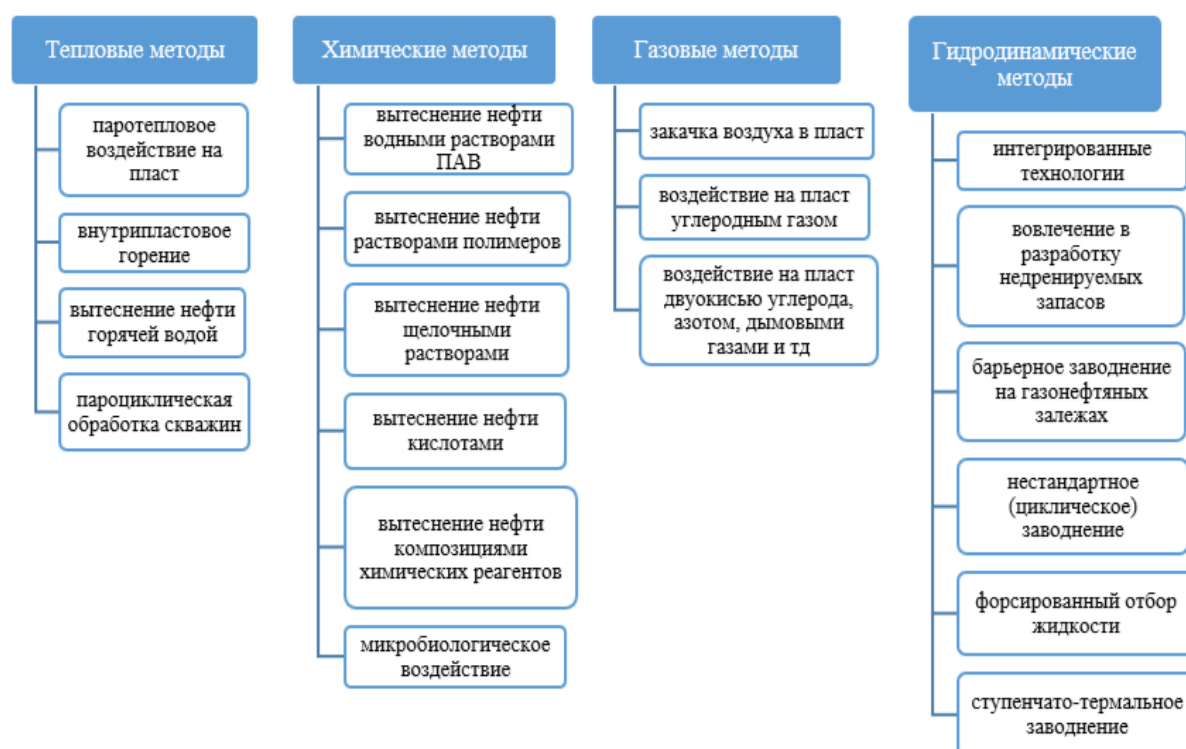


Рис. 1. Разновидности методов увеличения нефтеотдачи

Микробиологический метод увеличения нефтеотдачи (ММУН) имеет несколько преимуществ перед другими методами. Во-первых, он

экологичен, поскольку использование микроорганизмов и их метаболитов минимизирует вредное воздействие на окружающую среду. Во-вторых, он отличается низкой стоимостью, так как микроорганизмы и их продукты обычно дешевле (на 30–70 %) химических реагентов или газа, используемых в других технологиях. Кроме того, ММУН способствует улучшению извлечения нефти с минимальными затратами, стимулируя естественные процессы в пласте. Он также обеспечивает долговременный эффект, так как микроорганизмы могут поддерживать свою активность в пласте на протяжении длительного времени. Данный метод обладает гибкостью применения и подходит для различных типов месторождений с различными геологическими и технологическими условиями.

Опытно-промышленные работы с применением ММУН, которые в разное время проводились в США, ГДР, Венгрии, Польше, России и других странах, показали перспективность данного направления. В Чехословакии ещё в 1969 г. после микробиологической обработки нефтяной залежи наблюдалось увеличение добычи нефти на 6,68 %. В течение 1964–1976 гг. на 20 скважинах нефтяных месторождений Польши прошли промышленные испытания. Установлено, что в результате микробиологической обработки скважины прирост добычи нефти за 2–8 лет составлял 20–200 %. При этом было отмечено частичное изменение физико-химических свойств добываемой нефти [2].

В последние годы начали появляться исследования, демонстрирующие положительные результаты лабораторных экспериментов по воздействию на высоковязкую нефть с использованием микроорганизмов. Микробиологические технологии основываются на механизме, аналогичном процессу образования сероводорода из сульфатов под воздействием микроорганизмов, с той лишь разницей, что на выходе нужно получить не сероводород, а соединения, способствующие вытеснению нефти из пласта. ММУН способствует увеличению объемов добычи нефти и улучшению

качества сырья благодаря использованию питательных веществ и специальных штаммов микроорганизмов, которые взаимодействуют с естественной микрофлорой месторождения и углеводородами нефти, в результате чего образуются полезные продукты их жизнедеятельности [3].

Одной из ключевых групп микробов в трофической цепи нефтяных пластов являются бактерии, обладающие бродильным метаболизмом. Эти уникальные микроорганизмы не требуют внешних акцепторов электронов для своего роста и осуществляют процесс брожения, диспропорционируя органические соединения и выделяя окисленные и восстановленные продукты расщепления в окружающую среду. Бродильные бактерии обитают в анаэробной зоне нефтеносного горизонта, куда поступают продукты жизнедеятельности аэробной микробиоты, и могут использовать широкий спектр органических соединений в качестве субстрата [4].

Продукты жизнедеятельности бактерий с бродильным метаболизмом обладают большим разнообразием. К ним относятся органические кислоты, такие как формиат, ацетат, пропионат, бутират, валерат и пируват, а также низкомолекулярные спирты, такие как метанол, этанол и их производные. В этой группе также можно встретить альдегиды и кетоны, например, ацетон. Эти соединения служат субстратом для следующих звеньев пластовой трофической цепи: короткоцепочечные карбоновые кислоты и спирты окисляются сульфидогенными прокариотами, а углекислота и водород используются автотрофными метаногенными археями. Таким образом, бродильные бактерии играют ключевую роль в микробной трофической цепи нефтяных коллекторов, так как они преобразуют органическое вещество нефти, создавая субстраты, которые становятся доступными для микроорганизмов, осуществляющих завершающую стадию его окисления [5].

Финальным этапом преобразования углеводородов нефти является их превращение в газообразные углеродсодержащие продукты – либо в

углекислый газ, представляющий собой наиболее окисленную форму углерода, либо в метан, который является предельно восстановленной формой [6].

ММУН способны повысить вовлекаемые в разработку запасы на 5–7 %, увеличить дебит скважин в 1,5–2 раза и повысить текущую добычу нефти на 15–25 %. Техничко-экономические расчеты, проведенные для оценки эффективности этих методов, показывают, что даже при колебаниях цен на нефть и энергоносители срок окупаемости составляет 1,5–2 года. Данный метод способен повысить эффективность извлечения нефти благодаря тому, что бактерии окисляют углеводороды нефти до спиртов, альдегидов и кетонов, а также до карбоновых кислот, которые частично растворяются в минеральных ископаемых, включая карбонаты металлов и образуют CO_2 . В таких условиях увеличивается проницаемость в пласте. Продукты взаимодействия оксидов с минералами почвы служат источником питания для микроорганизмов, что способствует производству поверхностно-активных веществ (ПАВ) [7].

Использование ММУН стало популярным во всем мире благодаря разнообразным возможностям роста микроорганизмов и различным эффектам, которые оказывают их метаболиты на процесс вытеснения нефти из коллектора [8]. Метаболиты, образуемые микроорганизмами, такие как органические кислоты, спирты, ПАВ (биоПАВ, биосурфактанты), биополимеры и биогазы (CO_2 , H_2 , CH_4), повышают давление пласта, увеличивают подвижность, снижают вязкость нефти, и, соответственно, улучшают вытесняющие свойства, что способствует ее извлечению.

ММУН пласта можно классифицировать на две основные группы.

Первая группа включает в себя технологию активации микрофлоры в пласте (технология AERO). Процесс активации микрофлоры пласта включает циклическую закачку неорганической питательной среды и культур

микроорганизмов в продуктивный пласт, что приводит к увеличению числа нефтеокисляющих бактерий в этом слое [9].

В качестве зарубежного примера применения данной технологии можно привести проект Glori Energy в Канаде. В марте 2013 г. на месторождении на юге Альберты была осуществлена закачка по технологии AERO. Исследования показали, что средняя пористость этого месторождения составляет 23 %, а проницаемость – 1,382 мД. Залежь вскрыта с помощью трех нагнетательных и шести добывающих скважин. В начале проекта дебит нефти постепенно снижался на 34 % в год. Однако через 7 мес начался рост дебита нефти несмотря на то, что одна из добывающих скважин была закрыта по технологическим причинам. Этот эффект сохранялся в течение года. К сентябрю 2014 г. дебит нефти увеличился до 63 баррелей в сут, что на 48 баррелей в сут превышает проектные показатели. Благодаря применению технологии AERO дополнительная добыча составила 13,5 тыс. баррелей нефти [10]. Результаты опытно-промышленных испытаний технологии представлены на рис. 2.

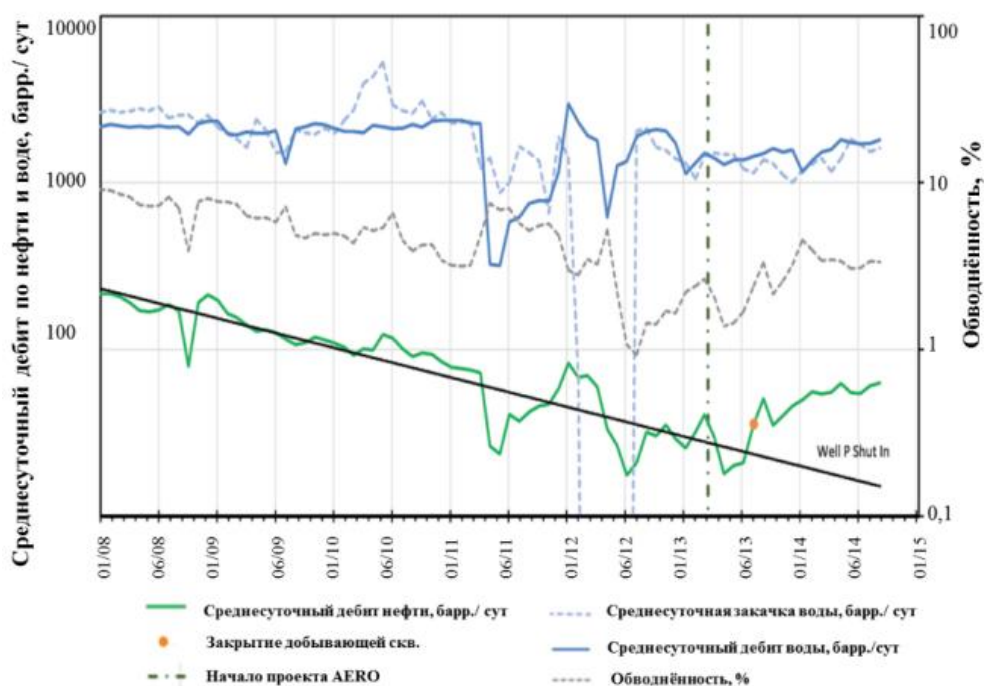


Рис. 2. Результаты опытно-промышленных испытаний технологии AERO на месторождении в Альберте, Канада [10]

ММУН по технологии AERO также успешно реализован на месторождении Стеррап в Канзасе, США, где глубина залегания составляет примерно 1600 м. В середине 2010 г. компания Glori Energy в сотрудничестве с Statoil провела испытания технологии активации для повышения нефтеотдачи. На одной из скважин был отмечен значительный эффект. Анализ данных этой скважины показывает, что при правильном использовании технологии AERO возможно значительное увеличение коэффициента нефтеотдачи [11].

Еще одним примером ММУН непосредственно в пласте является мелассная технология, которая заключается во введении в пласт бактерий, способных перерабатывать мелассу с образованием метана и углекислоты. Ярким примером успешного применения данной технологии является закачка мелассы в нефтяные пласты на нефтяном месторождении в Республике Татарстан [12].

В период с 1992 по 1994 гг. проводились опытно-промышленные испытания закачки мелассы на башкирских отложениях среднего карбона на залежах Поволжья. Биотехнология основывалась на циклической закачке в пласт мелассы вместе с бактериями *Clostridium tyrobutyricum*. В процессе заводнения наблюдался рост численности анаэробных бродильных бактерий и метаногенных архей, которые производят метаболиты, способствующие вытеснению нефти, что в свою очередь привело к увеличению объема добываемой нефти из этих пластов [8]. В течение этого периода на опытном участке было закачано 1052,3 т мелассы, а дополнительная добыча нефти на 1 января 1996 г. составила в среднем 4806 т. Эффективность технологии составила 4,58 т (30,6 % от общей добычи нефти на участке с момента начала воздействия) дополнительно добытой нефти на каждую тонну закачанной мелассы [13].

Вторая группа ММУН подразумевает применение нефтевытесняющих метаболитов (биоПАВ, биосурфактанты, биополимеры и биогазы), которые

производятся микроорганизмами *ex-situ* в ферментерах, биогазовых установках (БГУ), на промышленных предприятиях и т.д.

Кроме того, биогаз может образовываться в метантенках, где микроорганизмы разлагают органические вещества в анаэробных условиях, приводя к образованию метана и углекислого газа.

Метантенки представляют собой установки, где осуществляется анаэробное сбраживание сырья с целью получения биогаза. Процесс разложения органических веществ при метаногенезе (процесс образования метана анаэробными археями) проходит в несколько этапов, в ходе которых углеродные связи постепенно разрушаются под действием микроорганизмов [14].

В биогазовом реакторе начинается микробиологический процесс, в ходе которого биомасса постепенно подвергается ферментации. Это означает, что микроорганизмы используют органические вещества, такие как белки, углеводы и липиды, и в результате их переработки образуются метан и углекислый газ. Основная часть органического материала разлагается на биогаз – смесь метана и углекислого газа – примерно за три недели. Собранный биогаз аккумулируется в сферическом газовом хранилище, расположенном над реакторами [15].

На первом этапе анаэробного сбраживания органических веществ происходит биохимическое расщепление (гидролиз), в ходе которого высокомолекулярные соединения (углеводы, жиры, белки) распадаются на низкомолекулярные органические вещества.

На втором этапе с участием кислотообразующих бактерий продолжается разложение органических веществ с образованием органических кислот и их солей, а также спиртов, CO_2 и H_2 , а затем H_2S и NH_3 . Окончательное бактериальное преобразование органических веществ в CO_2 и H_2 происходит на третьем этапе (метановое брожение). Кроме того, из CO_2 и H_2 в дальнейшем образуется дополнительное количество CH_4 и H_2O [16].

Биогаз, образующийся в результате жизнедеятельности пластовой микрофлоры, представляет собой газовую смесь, которая формируется в нефтяных пластах благодаря активности микроорганизмов, существующих в условиях, где кислород отсутствует (анаэробных условиях). Эти микроорганизмы, такие как метаногенные бактерии, могут расщеплять органические вещества, содержащиеся в нефти и других материалах в пласте, и в процессе своей жизнедеятельности вырабатывают такие газы, как метан (CH_4) и углекислый газ (CO_2).

Синтез биогаза в процессе ферментации углеводов предоставляет два ключевых механизма, которые могут повысить нефтеотдачу. Во-первых, образование газа способствует повышению давления в скважине, что происходит из-за заполнения поровых пространств газом, что в свою очередь способствует мобилизации нефти. Во-вторых, биогаз может уменьшать вязкость нефти, растворяясь в ней. Очевидно, что штаммы *Clostridium*, *Enterobacter*, *Desulfovibrio spp.* и некоторые метаногены играют роль в образовании биогаза [17]. Важно отметить, что биогаз будет полезен преимущественно для извлечения нефти из недостаточно насыщенных пластов (или резервуаров с растворенным газом), где поддержание давления критически важно для эффективной добычи нефти.

Бактерии с бродильным метаболизмом производят короткоцепочечные алифатические спирты, которые способствуют более эффективной экстракции нефти из породы и увеличивают её подвижность, что в свою очередь улучшает процессы её извлечения из коллектора на поверхность. Денитрифицирующие прокариоты, бродильные бактерии и метаногенные археи выделяют в процессе своей жизнедеятельности газообразные соединения (молекулярный азот, водород, углекислоту и метан), которые могут повышать давление в нефтеносном горизонте и обладают свойствами, способствующими вытеснению нефти.

Кроме того, микробная биомасса помогает вытеснять углеводороды нефти, действуя подобно экзополисахаридам: она закупоривает наиболее проницаемые участки коллектора, улучшает охват залежи при заводнении и влияет на реологические характеристики нефти (поверхностное и межфазное натяжение) [18].

Использование биогазов является одним из существующих механизмов увеличения нефтеотдачи. Биогаз – это газ, содержащий 55–75 % метана и 25–45 % углекислого газа, образуется в результате анаэробного сбраживания органических материалов, включая сельскохозяйственные и пищевые отходы, навоз и другие виды биомассы. Теплотворная способность биогаза колеблется от 5 до 7 Мкал/м³ и зависит от концентрации метана. Выход биогаза на 1 т абсолютно сухого вещества составляет 250–350 м³ для отходов крупного рогатого скота, 400 м³ – для отходов птицеводства, 300–600 м³ – для различных растений и до 600 м³ – для отходов спиртовых и ацетонобутиловых производств [19].

Один из примеров такого подхода приведен в работе Брайанта и Дугласа, где рассматривается использование биогазов, таких как метан и углекислый газ, для повышения нефтеотдачи в нефтяных пластах. В данном исследовании метан, который вырабатывался метаногенными микроорганизмами, инжектировался в пласт, что привело к повышению давления и улучшению подвижности нефти, снижению ее вязкости за счет растворения газа в нефти. Например, в некоторых полевых испытаниях увеличение нефтеотдачи может составлять от 5 до 30 %, в зависимости от геологических условий [20].

Другое исследование авторов Бехлугила и Мехметоглу описывает влияние биогаза на улучшение нефтеотдачи с применением штаммов бактерий, таких как *Clostridium* и *Enterobacter*, которые вырабатывают метан и углекислый газ в нефтяном пласте. Эти газы, высвобождаясь в пласте,

способствуют увеличению давления и снижению вязкости нефти, что повышает объем её извлечения от 9–15 % [18].

ММУН используется как в России, так и за рубежом. В частности, на месторождении, находящемся на поздней стадии разработки, в Татарстане за 5 лет с одного участка добыто 47 тыс. т нефти, что составляет 30 % от общего объема добычи. В рамках опытно-промышленных работ дополнительно извлечено 10,5 тыс. т и 5,8 тыс. т нефти соответственно. ММУН также активно и успешно применяются в Китае и Иране [21].

Рассмотренные данные и результаты экспериментов позволяют прийти к такому заключению, что перспектива использования ММУН, а именно синтез биогазов, образующихся в результате жизнедеятельности пластовой микрофлоры, открывает новые горизонты для устойчивого развития нефтегазовой отрасли.

Микробные сообщества, обитающие в нефтяных пластах, способны эффективно преобразовывать углеводороды в биогазы, что может не только повысить коэффициент извлечения нефти, но и обеспечить дополнительный источник энергии. Использование микробиологических методов для увеличения нефтеотдачи позволяет достичь увеличения нефтеотдачи на 10–30 % по сравнению с обычными методами. Например, в ряде экспериментов коэффициент извлечения нефти при применении ММУН составлял от 0,05 до 0,3, что означает увеличение извлеченной нефти на 5–30 %.

Применение технологий, основанных на использовании биогазов, способствует снижению экологической нагрузки на 20–30 % по сравнению с традиционными методами, так как позволяет минимизировать выбросы парниковых газов и улучшить управление отходами. Обычно первые результаты могут быть видны через 3–6 мес после начала закачки.

Кроме того, использование биогазов в качестве multifunctional энергетического ресурса может стать важным шагом к переходу на более чистые и возобновляемые источники энергии. Для реализации этих

перспектив необходимо провести дополнительные исследования, направленные на оптимизацию условий для жизнедеятельности пластовой микрофлоры и разработку эффективных технологий сбора и использования биогазов.

Список литературы

1. Термические методы увеличения нефтеотдачи / В.Ш. Мухаметшин [и др.]. – Уфа: УГНТУ, 2019. – 237 с.
2. Бахтизин Р.Н., Фаттахов И.Г. Ранги регулирования снижения добычи попутной воды. – Текст: электронный // Нефтегазовое дело: сетевое издание. – 2011. – № 5. – С. 206-213. – URL: https://ogbus.ru/files/ogbus/authors/Bakhtizin/Bakhtizin_3.pdf (дата обращения: 30.10.2025).
3. Коршунов Н.В. Современные методы увеличения нефтеотдачи // Современные инновации. – 2019. – № 4. – С. 25-30.
4. Беккер, Р.Х., Гуторов, Ю.А., Гареев, А.М. Перспективы применения микробиологических методов повышения нефтеотдачи в условиях продуктивных коллекторов Урало-Поволжья // Нефтегазовое дело. – 2012. – Т. 10, № 3. – С. 34-39.
5. Портвуд Дж.Т. Коммерческое применение микробиологических методов увеличения нефтеотдачи. – Текст: электронный // Neftegaz.RU: портал. – 2007. – URL: <https://neftegaz.ru/science/booty/332585-kommercheskoe-primenenie-mikrobiologicheskikh-metodov-uvelicheniya-nefteotdachi/> (дата обращения: 30.10.2025).
6. Technology Update: New Microbial Method Shows Promise in EOR / G.D. Havemann [el at.] // Journal of Petroleum Technology – 2015. – Vol. 67 (03). – P. 32-35.
7. Микроорганизмы на месторождении: союзники или враги? / З. Августинович [и др.] // Нефтегазовое обозрение. – 2012. – Т. 24, № 2. – С. 4-21.
8. Functional and phylogenetic microbial diversity in formation waters of a low-temperature carbonate petroleum reservoir / T.N. Nazina [el at.] // International Biodeterioration & Biodegradation. – 2013. – Vol. 81. – P. 71-81.
9. Левин Е.В., Буракаева А.Д., Ахметова В.Р. Перспективы использования микроорганизмов в процессах нефтедобычи и депарафинизации // Башкирский химический журнал. – 2021. – Т. 28, № 2. – С. 37-52.
10. The potential application of microorganisms for sustainable petroleum recovery from heavy oil reservoirs / T.N. Nazina [el at.] // Sustainability. – 2020. – Vol. 12 (01). – 23 p.
11. Фаткуллина А.С., Садчиков А.В. Использование продуктов БГУ для повышения нефтеотдачи // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 3. – 7 с.
12. Увеличение нефтеотдачи на поздней стадии разработки месторождений. Теория. Методы. Практика / Р.Р. Ибатуллин [и др.]. – М.: Недра-Бизнесцентр, 2004. – 292 с.
13. Баймаханов Г.А., Кайдаров А. Применение микроорганизмов для увеличения нефтеотдачи // Геологоразведочное и нефтегазовое дело в XXI веке: Технологии, науки, образование: сб. науч. тр. Междунар. науч.-практ. конф., 9-13 нояб. 2016 г., г. Алматы. – 2016. – С. 378-379.
14. Chang Hong Gao, Abdulrazag Zekri, Khaled El-Tarabily Microbes enhance oil recovery through various mechanisms // Oil and Gas Journal. – 2009. – Vol. 107, № 31. – P. 39-43.
15. Городилов Д.А. Перспективы применения методов микробиологического увеличения нефтеотдачи. // Проблемы геологии и освоения недр: тр. XXIV Междунар. симпозиума им. ак. М.А. Усова студентов и молодых учёных, посвященного 75-летию

- Победы в Великой Отечественной войне, г. Томск, 6-10 апр. 2020 г. – Томск: ТПУ. – Т. 2 – С. 69-70.
16. Чудакова О.Г., Бескровный Д.В. Метантенк как аппарат для получения топлива из промышленных отходов // Вестник технологического университета. – 2016. – Т. 19, № 18. – С. 62-64.
 17. Алексеев В.И., Каминский В.А. Прикладная молекулярная биология. – М.: URSS, 2005. – 196 с.
 18. Баадер Б., Доне Е., Бренндерфер М. Биогаз. Теория и практика / пер. с нем. М.И. Серебряного. – М.: Колос, 1982. – 148 с.
 19. Behlulgil K., Mehmetoglu T., Donmez S. Application of microbial enhanced oil recovery technique to a Turkish heavy oil // Applied Microbiology and Biotechnology. – 1992. – Vol. 36. – P. 833-835.
 20. Cost effective technologies and renewable substrates for biosurfactants' production / I.M. Banat [et al.] // Frontiers in Microbiology. – 2014. – Vol. 5. – P. 697-721.
 21. Кузьменков С.М., Котов А.А. Перспективы производства и применения биогаза в республике Беларусь // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2008. – № 14. – С. 153-156.
 22. Microbial Enhanced Oil Recovery / R.S. Bryant [et al.] // Developments in Petroleum Science. – [S. I.] : Elsevier, 1989. – Ch. 14. – P. 423-450.
 23. Фаткуллина А.С., Садчиков А.В. Использование продуктов БГУ для повышения нефтеотдачи. – Текст: электронный // Современные проблемы науки и образования: сетевое издание. – 2014. – № 3. – URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=13805> (дата обращения: 30.10.2025).

References

1. Mukhametshin V.Sh., et al. Thermal methods of enhanced oil recovery. Ufa : USPTU, 2019. – 237 p. (in Russian)
2. Bakhtizin R.N., Fattakhov I.G. Regulation ranks of associated water production decrease. Petroleum Engineering: online version. – 2011. – No. 5. – pp. 206-213. – URL: https://ogbus.ru/files/ogbus/authors/Bakhtizin/Bakhtizin_3.pdf (accessed date: 30.10.2025).
3. Korshunov N.V. Sovremennye metody uvelicheniya nefteotdachi [Modern methods of enhanced oil recovery]. *Sovremennye Innovatsii* [Contemporary Innovations], 2019, No. 4, pp. 25-30. (in Russian)
4. Bekker R.Kh., Gutorov Yu.A., Gareev A.M. Perspektivy primeneniya mikrobiologicheskikh metodov povysheniya nefteotdachi v usloviyakh produktivnykh kollektorov Uralo-Povolzh'ya [Prospects for application of microbial enhanced oil recovery methods in productive reservoirs of the Urals-Volga region]. *Neftegazovoye Delo* [Petroleum Engineering], 2012, Vol. 10, No. 3, pp. 34-39. (in Russian)
5. Portvud Dzh.T. Kommercheskoe primeneniye mikrobiologicheskikh metodov uvelicheniya nefteotdachi [Commercial application of microbial oil recovery methods]. *Neftegaz.RU*. (in Russian) Available at: <https://neftegaz.ru/science/booty/332585-kommercheskoe-primeneniye-mikrobiologicheskikh-metodov-uvelicheniya-nefteotdachi/>. (accessed: 30.10.2025).
6. G.D. Havemann et al. Technology update: New microbial method shows promise in EOR. *Journal of Petroleum Technology*, 67 (03), 2015, pp. 32-35.
7. Avgustinovich Z. et al. Mikroorganizmy na mestorozhdenii: soyuzniki ili vragi? [Microorganisms in the field: allies or enemies?]. *Neftegazovoe Obozrenie* [Oilfield Review], 2012, Vol. 24, No. 2, pp. 4-21. (in Russian)
8. Nazina T.N. et al. Functional and phylogenetic microbial diversity in formation waters of a low-temperature carbonate petroleum reservoir. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2013, Vol. 81, pp. 71-81.

9. Levin E.V., Burakaeva A.D., Akhmetova V.R. Prospects to the use of microorganisms in the oil production and dewaxing processes. *Bashkirskii Khimicheskii Zhurnal* [Bashkir Chemical Journal], 2021, Vol. 28, No. 2, pp. 37-52. (in Russian)
10. The potential application of microorganisms for sustainable petroleum recovery from heavy oil reservoirs / T.N. Nazina [et al.] // Sustainability. – 2020. – Vol. 12 (01). – 23 p.
11. Fatkullina A.S., Sadchikov A.V. Use of biogas installation productions for oil recovery. *Sovremennye Problemy Nauki i Obrazovaniya* [Modern Problems of Science and Education], 2014, No. 3, p. 7. (in Russian)
12. Ibatullin R.R. et al. *Uvelichenie nefteotdachi na pozdnei stadii razrabotki mestorozhdenii. Teoriya. Metody. Praktika* [Enhanced oil recovery at the late stage of field development. Theory. Methods. Practice]. Moscow: Nedra Business Center Publ., 2004. 292 p. (in Russian)
13. Baimakhanov G.A., Kaidarov A. *Primenenie mikroorganizmov dlya uvelicheniya nefteotdachi* [Application of microorganisms to enhance oil recovery]. *Sbornik nauchnykh trudov «Geologorazvedochnoe i neftegazovoe delo v XXI veke: Tekhnologii, nauki, obrazovanie»* [Collected papers of International Conference “Geological Exploration and Petroleum Engineering in the XXI Century: Technologies, Sciences, Education”], 2016, pp. 378-379. (in Russian)
14. Chang Hong Gao, Abdulrazag Zekri, Khaled El-Tarabily Microbes enhance oil recovery through various mechanisms. *Oil and Gas Journal*, 107(31), 2009, pp. 39-43.
15. Gorodilov D.A. *Perspektivy primeneniya metodov mikrobiologicheskogo uvelicheniya nefteotdachi* [Prospects for application of microbial enhanced oil recovery methods]. *Trudy XXIV Mezhdunarodnogo simpoziuma «Problemy geologii i osvoeniya neдр»* [Proc. of the XXIV International symposium “Problems of geology and subsoil exploitation”]. Tomsk: TPU Publ., Vol. 2, 2020, pp. 69-70. (in Russian)
16. Chudakova O.G., Beskrovnyi D.V. *Metantenk kak apparat dlya polucheniya topliva iz promyshlennykh otkhodov* [Methane tank as an apparatus for obtaining fuel from industrial waste]. *Vestnik Tekhnologicheskogo Universiteta* [Herald of Technological University], 2016., Vol. 19, No. 18, pp. 62-64. (in Russian)
17. Alekseev V.I., Kaminskii V.A. *Prikladnaya Molekulyarnaya Biologiya* [Applied Molecular Biology]. Moscow: URSS Publ., 2005. 196 p. (in Russian)
18. Baader B., Done E., Brennderfer M. *Biogaz. Teoriya i praktika* [Biogas. Theory and practice]. Moscow: Kolos Publ., 1982. 148 p. (translated from German)
19. Behlulgil K., Mehmetoglu T., Donmez S. Application of microbial enhanced oil recovery technique to a Turkish heavy oil. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 1992, Vol. 36, pp. 833-835.
20. Banat I.M. et al. Cost effective technologies and renewable substrates for biosurfactants' production. *Frontiers in Microbiology*, 2014, Vol. 5, pp. 697-721.
21. Kuz'menkov S.M., Kotov A.A. *Perspektivy proizvodstva i primeneniya biogaza v respublike Belarus'* [Prospects for biogas production and application in the Republic of Belarus]. *Vestnik Vitebskogo Gosudarstvennogo Tekhnologicheskogo Universiteta* [Bulletin of Vitebsk State Technological University], 2008, No. 14, pp. 153-156. (in Russian)
22. Bryant R.S. et al. Microbial Enhanced Oil Recovery. *Developments in Petroleum Science*. Elsevier, 1989, Ch. 14, pp. 423-450.
23. Fatkullina A.S., Sadchikov A.V. Use of biogas installation productions for oil recovery. *Sovremennye Problemy Nauki i Obrazovaniya* [Modern Problems of Science and Education], 2014, No. 3. Available at: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=13805> (accessed: 30.10.2025).

Сведения об авторах

Шайгаллямова Лиана Радисовна, техник, Институт «ТатНИПИнефть» ПАО «Татнефть» имени В.Д. Шашина
Россия, 423462, Альметьевск, ул. Советская, 216
E-mail: shaigallyamova@mail.ru

Курбанова Гульнара Гайнелъхаковна, заведующий лабораторией, Институт «ТатНИПИнефть» ПАО «Татнефть» имени В.Д. Шашина
Россия, 423462, Альметьевск, ул. Советская, 216
E-mail: Kurbanova-GG@tatnipi.ru

Гарипова Айгуль Айратовна, научный сотрудник, Институт «ТатНИПИнефть» ПАО «Татнефть» имени В.Д. Шашина
Россия, 423462, Альметьевск, ул. Советская, 216
E-mail: GaripovaAygulA@tatnipi.ru

Фаттахов Ирик Галиханович, доктор технических наук, директор по повышению нефтеотдачи пластов, волновым и биотехнологиям, Институт «ТатНИПИнефть» ПАО «Татнефть» имени В.Д. Шашина
Россия, 423462, Альметьевск, ул. Советская, 216
E-mail: Fattakhovig@tatneft.ru

Authors

L.R. Shaigallyamova, Engineering Technician, TatNIPIneft Institute – PJSC Tatneft
216, Sovetskaya St., Almetyevsk, 423462, Russian Federation
E-mail: shaigallyamova@mail.ru

G.G. Kurbanova, Head of Laboratory, TatNIPIneft Institute – PJSC Tatneft
216, Sovetskaya St., Almetyevsk, 423462, Russian Federation
E-mail: Kurbanova-GG@tatnipi.ru

A.A. Garipova, Research Associate, TatNIPIneft Institute – PJSC Tatneft
216, Sovetskaya St., Almetyevsk, 423462, Russian Federation
E-mail: GaripovaAygulA@tatnipi.ru

I.G. Fattakhov, Dr.Sc., Director for EOR, Wave Stimulation and Biotechnologies, TatNIPIneft Institute – PJSC Tatneft
216, Sovetskaya St., Almetyevsk, 423462, Russian Federation
E-mail: Fattakhovig@tatneft.ru

Статья поступила в редакцию 28.09.2025

Принята к публикации 15.12.2025

Опубликована 30.12.2025