

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(21) **202290430** (13) **A1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ**

(43) Дата публикации заявки  
**2022.06.22**

(51) Int. Cl. **C09K 8/582** (2006.01)  
**C12N 1/20** (2006.01)  
**C12P 5/02** (2006.01)  
**E21B 43/16** (2006.01)

(22) Дата подачи заявки  
**2020.08.20**

---

(54) **СПОСОБЫ И СИСТЕМЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В ПОДЗЕМНОЙ СРЕДЕ**

---

(31) **62/889,977**

(32) **2019.08.21**

(33) **US**

(86) **PCT/US2020/047250**

(87) **WO 2021/035076 2021.02.25**

(71) Заявитель:

**СЕМВИТА ФЭКТОРИ, ИНК. (US)**

(72) Изобретатель:

**Карими Тахерех, Карими Моджтаба  
(US)**

(74) Представитель:

**Хмара М.В. (RU)**

---

(57) Настоящее изобретение относится к способам производства органических соединений в подземной среде и к системам для их осуществления на практике. Преимущества раскрытых в данной публикации способов могут включать экономически эффективное преобразование диоксид-углеродного сырья, хранящегося в подземной среде, в одно или более органических соединений.

---

**202290430**

**A1**

**A1**

**202290430**

# СПОСОБЫ И СИСТЕМЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В ПОДЗЕМНОЙ СРЕДЕ

## ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ

Настоящее изобретение относится к способам производства органических соединений в подземной среде и к системам для их осуществления на практике. Преимущество способов, раскрытых в данной публикации, включает использование диоксида углерода, накопленного в подземной среде, для производства одного или более органических соединений, которые можно использовать в качестве топлива и сырья для других прикладных задач. Другое преимущество способов и систем, раскрытых в данной публикации, может включать удаление избытка диоксида углерода из окружающей среды.

## ПРЕДШЕСТВУЮЩИЙ УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

Население Земли по оценкам составляет 7,7 миллиардов человек и быстро растет. У всех этих людей есть по меньшей мере одно общее свойство. Все они вдыхают кислород и выдыхают диоксид углерода. Также существует тенденция к повышению мировой потребности в потреблении мощности и энергии. Эта ситуация привела к высокому спросу на ископаемое топливо, такое как нефть и газ, и к избытку диоксида углерода вследствие сжигания нефти и газа, который многие называют кризисом глобального потепления.

Что касается ископаемого топлива, то производители нефти и газа ищут пути повышения производительности углеводородных скважин, включающие такие процедуры, как гидролитический разрыв пластов, добавление химикатов для увеличения потока углеводородов и микробиологические способы повышения добычи нефти. Микробиологическое повышение нефтеотдачи пластов (MEOR; от англ.: microbial enhanced oil recovery) является третичной технологией добычи нефти, в которой активность популяций микроорганизмов регулируют с целью улучшения свойств текучести пластовых потоков, которые могут повысить производительность скважин или регулировать закисление пластов. Однако все известные в настоящее время способы преимущественно повышают способность производителей нефти и газа извлекать углеводороды из скважин. Ни один из этих способов не увеличивает количество углеводородов в скважине, и поэтому ни один из них не является устойчивым.

Что касается глобального потепления, то промышленность вынуждена предотвращать попадание диоксида углерода в атмосферу. Улавливание, использование и хранение углерода (CCUS; от англ.: Carbon Capture, Utilization and Storage) является затратной областью деятельности, которая способствует  
5 снижению выбросов диоксида углерода. Улавливание, использование и хранение углерода включает способы и технологии удаления CO<sub>2</sub> из дымовых газов или непосредственно из атмосферы с последующей утилизацией и хранением в безопасных местах, откуда он не может попасть в атмосферу, которые обычно являются подземными, такими как геологические формации или другие подземные  
10 среды.

Тем не менее, известные в настоящее время способы только удаляют диоксид углерода из атмосферы посредством накопления его под землей или с использованием наземных средств утилизации, которые требуют создания капиталоемких инфраструктур в крупном масштабе.

15 Сохраняется потребность в производстве углеводородов для получения энергии и сырьевых материалов. Сохраняется потребность в удалении избытка диоксида углерода из атмосферы. Сохраняется потребность в преобразовании диоксида углерода в кислород и другие полезные сырьевые материалы экономичным и эффективным способом. Сохраняется потребность в способах,  
20 которые могли бы объединить способы улавливания, использования и хранения диоксида углерода.

### СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Варианты осуществления настоящего изобретения, описанные в данной публикации, относятся к способам производства органических соединений в  
25 подземной среде и к соответствующим системам для их практического осуществления. В варианте осуществления настоящего изобретения раскрыт способ производства по меньшей мере одного органического соединения в подземной среде. В различных вариантах осуществления настоящего изобретения способ включает обеспечение диоксид-углеродного сырья, микробной культуры и  
30 среды для роста микробов и преобразование части диоксид-углеродного сырья в по меньшей мере одно органическое соединение посредством добавления диоксид-углеродного сырья, микробной культуры и среды для роста микробов в подземную среду. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения диоксид-углеродное сырье содержит от примерно 1,0 объемного процента до 100

объемных процентов диоксида углерода от общего объема диоксид-углеродного сырья.

В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения подземная среда включает ствол скважины, геологическую формацию с выполненной скважиной, содержащую углеводород, природную каверну, подземную формацию, подземный резервуар-хранилище или их комбинацию.

В различных вариантах осуществления настоящего изобретения микробная культура включает по меньшей мере одну бактериальную популяцию, нативную для данной формации, по меньшей мере одну экзогенную бактериальную популяцию, по меньшей мере одну анаэробную бактериальную популяцию, по меньшей мере одну генетически модифицированную бактериальную популяцию или их комбинацию. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения микробная культура включает бактерию *Geobacter*, бактерию *Clostridium* или их комбинацию. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения микробная культура включает бактерию *Bacillus*, бактерию *Geobacillus*, бактерию *Petrobacter*, бактерию *Desulfotomaculum*, бактерию *Bacteroides*, бактерию *Thermoanaerobacter*, бактерию *Thermococcus*, бактерию *Thermotogales*, бактерию *Petrotoga*, бактерию *Thermotoga*, бактерию *Desulfotomaculum*, бактерию *Caminicella*, бактерию *Geosporobacter* или их комбинацию. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения микробная культура включает метанотрофную бактерию, метаногенную бактерию, археобактерию, хемотрофную бактерию, железooksисляющую бактерию, сероокисляющую бактерию, экстремофильную бактерию, термофильную бактерию, галофильную бактерию, водородпродуцирующую бактерию, сурфактантпродуцирующую бактерию, ацетогенную бактерию или их комбинацию.

В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения среда для роста микробов является водной жидкостью, содержащей от примерно 1 массового процента до 50 массовых процентов по меньшей мере одного биологического материала в пересчете на общую массу среды для роста микробов. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения по меньшей мере один биологический материал включает глюкозу, фруктозу, глицерин, сахарозу, мальтодекстрин, хлорид натрия, экстракт дрожжей, экстракт солода, казеиновый пептон, ацетат натрия, лактат натрия, жидкий кукурузный экстракт, арбузную корку, стержень кукурузных початков или их комбинации.

В различных вариантах осуществления настоящего изобретения по меньшей мере одно органическое соединение включает  $C_1$ - $C_{12}$ -алкан,  $C_1$ - $C_4$ -спирт,  $C_1$ - $C_3$ -органическую кислоту,  $C_1$ - $C_{120}$ -углеводород или их комбинацию. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения по меньшей мере одно органическое соединение включает алкан, метан, бутан, пентан, гексан, гептан, октан, нонан, декан, додекан, тетрадекан, октадекан, алкен, спирт, метанол, этанол, пропанол, бутандиол, органическую кислоту, уксусную кислоту, щавелевую кислоту, олефин, этилен, биосурфактант или их комбинацию.

В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения способ включает добычу по меньшей мере одного органического соединения из подземной среды по истечении периода времени, достаточного для того, чтобы микробная культура преобразовала часть диоксид-углеродного сырья в по меньшей мере одно органическое соединение. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения способ включает добавление второй порции диоксид-углеродного сырья в подземную среду.

В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения способ включает добавление диоксид-углеродного сырья, микробной культуры и среды для роста микробов в подземную среду одновременно или в любом порядке. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения способ включает инъекцию или закачивание по меньшей мере одного из диоксид-углеродного сырья, микробной культуры и среды для роста микробов в подземную среду одновременно или в любом порядке. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения способ включает инъекцию микробной культуры и среды для роста микробов в подземную среду совместно в объединенном объеме со скоростью инъекции и с давлением инъекции, достаточными для преобразования части диоксид-углеродного сырья в по меньшей мере одно органическое соединение. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения способ включает формирование культуральной смеси посредством смешивания микробной культуры и среды для роста микробов и добавление культуральной смеси и диоксид-углеродного сырья в подземную среду одновременно или в любом порядке.

В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения способ включает добавление диоксид-углеродного сырья в первую подземную среду, при этом микробную культуру и среду для роста микробов добавляют во вторую

подземную среду, причем первая подземная среда соединена со второй подземной средой.

Некоторые способы, раскрытые в данной публикации, включают отбор первого образца из подземной среды в первый момент времени, анализ первого  
5 образца с получением информации о микробиоме первого образца и выбор микробной культуры и среды для роста микробов на основании информации о микробиоме первого образца. Некоторые варианты осуществления настоящего изобретения включают выбор микробной культуры и среды для роста микробов на основании по меньшей мере одного свойства подземной среды, причем по  
10 меньшей мере одно свойство включает температуру, давление, проницаемость, пористость, соленость, кислотность или их комбинации. Некоторые варианты осуществления настоящего изобретения включают отбор второго образца из подземной среды во второй момент времени, анализ второго образца с получением информации о микробиоме второго образца; выбор корректирующей  
15 дозы на основании информации о микробиоме второго образца, причем корректирующая доза содержит вторую микробную культуру, вторую среду для роста микробов или их комбинацию; и инъекцию корректирующей дозы в подземную среду. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения способ включает измерение количества по меньшей мере одного органического  
20 соединения, произведенного по меньшей мере одной из первой микробной культуры и второй микробной культуры.

В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения способ включает введение по меньшей мере одного из электролизного устройства и водородного сырья в подземную среду, причем водородное сырье содержит от  
25 примерно 1,0 объемного процента до примерно 80 объемных процентов водорода в пересчете на общий объем газообразного сырья.

В данной публикации раскрыты системы для производства по меньшей мере одного органического соединения в подземной среде. Некоторые варианты осуществления систем включают резервуар для микробной культуры, соединенный  
30 с инъекционным портом для микробов и резервуар для среды для роста микробов, соединенный с инъекционным портом для среды для роста микробов. Некоторые варианты осуществления систем включают резервуар для культуральной смеси, соединенный с инъекционным портом для культуральной смеси. Различные варианты осуществления систем включают питающий трубопровод, соединенный с

по меньшей мере одним из инъекционного порта для микробов, инъекционного порта для среды для роста микробов, инъекционного порта для культуральной смеси и с насосной станцией, и инъекционный трубопровод, соединенный с насосной станцией, причем часть инъекционного трубопровода соединена с 5 подземной средой.

В данной публикации раскрыты способы повышения добычи углеводородов из ствола скважины. Варианты осуществления таких способов включают отбор образца из среды ствола скважины; анализ образца с получением информации о микробиоме образца; выбор микробной культуры и среды для роста микробов на 10 основании информации о микробиоме образца, причем информация о микробиоме образца включает информацию об адаптации микробной культуры к по меньшей мере одному свойству среды ствола скважины, об устойчивости микробной культуры к меньшей мере одному свойству среды ствола скважины, о по меньшей мере одном свойстве среды ствола скважины, или об их комбинации, причем по 15 меньшей мере одно свойство включает температуру, давление, проницаемость, пористость, соленость, кислотность или их комбинации; обеспечение биосурфактантного сырья; преобразование части биосурфактантного сырья в по меньшей мере один биосурфактант и разложение по меньшей мере одного нефтяного углеводорода, по меньшей мере одного парафина или их комбинации, 20 присутствующих в среде ствола скважины, за счет добавления биосурфактантного сырья, микробной культуры и среды для роста микробов к среде ствола скважины, причем микробная культура содержит сурфактантпродуцирующую бактерию, бактерию, разлагающую нефтяной углеводород, бактерию, разлагающую парафин, *Gordina sp.*, *Pseudomonas sp.*, *Bacillus sp.*, *Bacillus subtilis*, бактерию, разлагающую 25 горную породу, *Rhodothermus marinus*, или их комбинации; и повышение добычи углеводородов из ствола скважины.

#### СВЕДЕНИЯ, ПОДТВЕРЖДАЮЩИЕ ВОЗМОЖНОСТЬ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Если не указано иное, то результаты всех измерений выражены в 30 стандартных единицах измерения.

Если не указано иное, то все варианты артиклей «a», «an» или «the» могут относиться к одному или более чем одному слову, которое они определяют.

Если не указано иное, то выражение «по меньшей мере один» означает один или более объектов. Например, «по меньшей мере одна из первой микробной культуры и второй микробной культуры» означает первую микробную культуру, или более одной первой микробной культуры, или вторую микробную культуру, или более одной второй микробной культуры, или любую их комбинацию.

Если не указано иное, то термин «примерно» означает  $\pm 10\%$  от описываемого числа, выраженного не в процентах, с округлением до ближайшего целого числа. Например, «примерно 100 мм» будет включать от 90 мм до 110 мм. Если не указано иное, то термин «примерно» означает  $\pm 5\%$  от описываемого числа, выраженного в процентах. Например, «примерно 50 массовых процентов» будут включать от 45 массовых процентов до 55 массовых процентов. Если термин «примерно» обсуждается в связи с диапазоном значений, то этот термин относится к соответствующему количеству, которое меньше нижней границы и больше верхней границы. Например, диапазон «от примерно 50 массовых процентов до 100 массовых процентов» будет включать от 45 массовых процентов до 100 массовых процентов.

Если не указано иное, то свойства (высота, ширина, длина, отношение и т.п.), описанные в данной публикации, следует понимать как усредненные результаты измерений.

Если не указано иное, то термины «обеспечивать», «обеспеченный» или «обеспечение» относятся к поставке, получению, закупке, производству, сборке, формированию, выбору, конфигурированию, преобразованию, введению, добавлению или включению любого элемента, дозы, компонента, реагента, количества, измерения или анализа в любой способ или систему согласно любому описанному в данной публикации варианту осуществления настоящего изобретения.

Если не указано иное, то термин «диоксид-углеродное сырье» относится к газу, содержащему повышенную концентрацию диоксида углерода, превышающую концентрацию диоксида углерода в атмосфере.

Выбросы диоксида углерода, обусловленные использованием ископаемого топлива, продолжают расти в мировом масштабе. Снижение концентраций диоксида углерода в атмосфере является ключом к замедлению изменений климата или изменению их направления на обратное. Стандартным способом

снижения концентрации диоксида углерода в атмосфере является изоляция диоксида углерода под землей с использованием способов повышения нефтеотдачи пластов (EOR; от англ.: enhanced oil recovery). Например, миллионы тонн диоксида углерода ежегодно инжектируют в нефтяные и газовые пласты-коллекторы. В EOR операциях обычно используют природные источники диоксида углерода, но можно также использовать диоксид углерода из промышленных источников. Улавливание и хранение углерода (CCS; от англ.: carbon capture and storage) является выдающейся технологией для удаления промышленного диоксида углерода из атмосферы. Диоксид углерода, который уловлен из процессов рафинирования и других промышленных процессов, можно транспортировать и хранить в подземных средах, таких как старые нефтяные и газовые месторождения, подземные формации, непригодные для разработки угольные пласты, природные каверны, глубокие соляные пласты и подземные резервуары-хранилища. По оценкам, более 20 триллионов тонн диоксида углерода потенциально можно хранить в геологических формациях. CCS – это экономически эффективный и доступный по цене способ снижения выбросов диоксида углерода, по сравнению с другими доступными способами. Однако диоксид углерода попросту хранят под землей до тех пор, пока он не улетучится. Поэтому этот способ не является устойчивым решением для снижения избытка диоксида углерода в атмосфере. Также недостаточными являются финансовое поощрение промышленности за закачку диоксида углерода в подземные среды, помимо принуждения к этому экологическими предписаниями, или оплата части их бизнес-модели. Можно считать, что глобальное потепление является кризисом, поскольку более выгодно производить диоксид углерода, чем утилизировать диоксид углерода.

Сохраняется потребность в способах, которые смогут обеспечить использование огромного количества промышленного диоксида углерода в прикладных задачах и продуктах, которые являются предпочтительными для окружающей среды и промышленности.

Были разработаны стандартные способы применения микробов для повышения добычи нефти и газа из подземных сред. Обычно в таких технологиях используют микробную активность для повышения добычи нефти и газа из подземных сред за счет, например, снижения вязкости тяжелой нефти для облегчения ее извлечения. Однако исторически эти способы были редкостью и не были широко использованы.

Способы повышения добычи нефти и газа с использованием микробной активности должны решить несколько практических проблем. При получении подходящих микроорганизмов, высокоактивных в специфических условиях пласта, необходимо учитывать состав и свойства сырой нефти. Однако большинство микроорганизмов, которые могут адаптироваться к условиям месторождения, могут оказывать малый эффект на состав и свойства сырой нефти. Промышленные применения требуют новых штаммов микроорганизмов, которые выдерживают высокие температуры и высокие концентрации солей и также способны синтезировать желаемые сурфактанты, полисахариды, биотопливо, длинноцепочечные углеводы и другие желаемые соединения. Другая проблема состоит в том, чтобы разработать способы создания подходящих условий в пласте, которые будут способствовать росту и активности специфических микроорганизмов. Это требует дальнейшей разработки способов введения дополнительных питательных веществ, в том числе соединений азота и фосфора. Другой проблемой является разработка экономически эффективных способов восстановления сульфата. Условия в продуктивных пластах являются экологическими нишами для сульфатредуцирующих бактерий. Часто необходимо регулировать образование сероводорода, поскольку он создает проблемы, связанные с токсичной агрессивной средой, коррозией, высоким содержанием серы в сырой нефти, токсичными продуктами и другими нежелательными последствиями.

Несмотря на эти проблемы, одновременно с повышенной потребностью в ископаемом топливе растет интерес к максимизации добычи существующих ресурсов и разработке устойчивых источников топлива при минимизации неблагоприятных влияний на окружающую среду. Кроме того, недавние разработки в области экономически эффективных высокопроизводительных технологий генетического секвенирования привели к лучшему пониманию микробных сообществ, нативных для подземных сред. Существует увеличивающаяся база данных о микробных популяциях из подземных сред, которая способствует более широкому использованию микробов для извлечения углеводородов из подземных сред. Однако ни один из известных способов не преобразует диоксид углерода в кислород или другое полезное сырье. Вместо этого стандартные способы сфокусированы на использовании микробов для тщательного и экономически эффективного удаления углеводородов из подземных сред.

Варианты осуществления настоящего изобретения могут обеспечить способы удаления избытка диоксида углерода из атмосферы посредством хранения его в подземной среде и использования микробов для преобразования диоксида углерода обратно в кислород или полезное сырье в подземной среде.

5 Это значит, что варианты осуществления настоящего изобретения могут объединить потенциал удаления диоксида углерода стандартных способов секвестрирования диоксида углерода с микробной технологией для преобразования диоксида углерода в кислород или в по меньшей мере одно органическое соединение. Например, такие способы могут обеспечить

10 возобновляемые углеводородные скважины посредством закачивания существующего диоксида углерода в подземные среды вместе с микробами, предназначенными для преобразования этого диоксида углерода в ценные органические соединения, такие как углеводороды.

Одно из преимуществ вариантов осуществления настоящего изобретения

15 состоит в том, что эти способы могут сделать удаление диоксида углерода из окружающей среды экономически выгодным для компаний, добывающих нефть или природный газ. Вариант осуществления способа и его экономическую эффективность можно проиллюстрировать примером. Нефтедобывающая компания обнаруживает нефть в подземной среде. Нефтедобывающая компания

20 платит за покупку подземной среды и платит за обеспечение инфраструктуры, необходимой для извлечения нефти из подземной среды с использованием ее стандартных рабочих процедур. После того как нефтедобывающая компания извлечет максимально возможное количество нефти из подземной среды, останется гигантское подземное пространство, которое в характерном случае

25 будет заполнено водой или подобным материалом для предотвращения образования провалов грунта и утечек в окружающую среду после перемещения нефтедобывающей компании на другой производственный участок. Обычно подземное пространство считают бесполезным, его трудно продать, и, возможно, оно является зоной экологической ответственности.

30 Однако, если использовать способы, раскрытые в данной публикации, то нефтедобывающая компания или ее подрядные организации могут заполнить подземную среду диоксидом углерода, микробной культурой и недорогой средой для роста микробов, такой как отправленные в отходы обертки кукурузных початков и арбузные корки. Тогда за определенное время микробы смогут

35 преобразовать диоксид углерода в подземной среде в по меньшей мере одно

органическое соединение, например – этанол или октан. Затем нефтедобывающая компания сможет вернуться и использовать большую часть своей старой инфраструктуры для извлечения, очистки и продажи по меньшей мере одного органического соединения. Этот процесс можно повторять без ограничения по  
5 времени, что придает подземной среде устойчивую ценность в качестве биореактора. Способы, раскрытые в данной публикации, могут обеспечить удаление диоксида углерода из окружающей среды и получение ценного органического соединения, пригодного для коммерческой продажи. С точки зрения экологии, варианты осуществления способов, раскрытых в данной публикации,  
10 могут обеспечить нефтяные и газовые скважины многоразового использования, которые потребляют избыток диоксида углерода и биоотходы.

Наиболее эффективными способами защиты окружающей среды являются такие способы, которые реально используют люди. Чем более прибыльными являются эти способы, тем с большей вероятностью люди их используют. Одним  
15 из преимуществ способов, раскрытых в данной публикации, является экономическая эффективность использования пассивной биореакторной системы. В примере, приведенном выше, нефтедобывающая компания уже заплатила за землю, оплатила всю инфраструктуру, необходимую для закачивания материалов в скважину и откачивания их из скважины, и получила доход от извлечения,  
20 очистки и продажи нефти. До сих пор не существовало дополнительной стадии, которая могла бы снизить риск потери производства ценных углеводородов. До сих пор в процесс не вкладывали дополнительные инвестиции. В настоящее время нефтяную скважину или подземную среду можно повторно заполнить посредством закачивания в скважину диоксид-углеродного сырья, микробной культуры и среды  
25 для роста микробов с небольшими затратами в качестве конечной или близкой к конечной стадии. Затем, когда нефтедобывающая компания переместится на следующую буровую площадку, микробы смогут преобразовать диоксид-углеродное сырье и среду для роста микробов в по меньшей мере одно органическое соединение. Через некоторое время нефтедобывающая компания  
30 или ее подрядная организация смогут вернуться, извлечь органические соединения и продать их с получением прибыли. В этом примере большая часть расходов была связана с извлечением нефти для продажи. Повторное заполнение скважин потребует только избытка диоксида углерода, биоотходов и времени, причем все это легкодоступно. Варианты осуществления способов, раскрытых в  
35 данной публикации, могут сделать выгодным удаление диоксида углерода из

атмосферы и пассивное получение ценных органических соединений, причем эту работу выполняют микробы – в масштабе, который ранее был невообразимым.

5 Что может произойти с кризисом глобального потепления, если станет более выгодно или просто выгодно преобразовывать диоксид углерода в ценные органические соединения, а не просто генерировать диоксид углерода? Способы, раскрытые в настоящем изобретении, могут превратить производителей энергии из компаний, способствующих глобальному потеплению, в компании, способствующие глобальному охлаждению.

10 Варианты осуществления настоящего изобретения могут обеспечить способы производства по меньшей мере одного органического соединения в подземной среде за счет подачи диоксид-углеродного сырья, среды для роста микробов и микробной культуры в подземную среду, при этом микробная культура преобразует часть диоксид-углеродного сырья в по меньшей мере одно органическое соединение. Варианты осуществления, описанные в данной публикации, могут обеспечить преимущество, состоящее в использовании запасов газообразного диоксида углерода в качестве богатого ресурса для производства одного или более органических соединений, которые можно использовать в качестве топлива и в других прикладных задачах.

#### Варианты осуществления способов производства органических соединений

20 Варианты осуществления способов, раскрытые в данной публикации, могут включать производство по меньшей мере одного органического соединения в подземной среде. В различных вариантах осуществления настоящего изобретения способ включает обеспечение диоксид-углеродного сырья, микробной культуры и среды для роста микробов и преобразование части диоксид-углеродного сырья в по меньшей мере одно органическое соединение. В варианте осуществления настоящего изобретения диоксид-углеродное сырье, микробную культуру и среду для роста микробов добавляют в подземную среду.

30 В варианте осуществления настоящего изобретения способ включает одновременное добавление диоксид-углеродного сырья, микробной культуры и среды для роста микробов в подземную среду. В варианте осуществления настоящего изобретения способ включает добавление диоксид-углеродного сырья, микробной культуры и среды для роста микробов в подземную среду в любом порядке. В варианте осуществления настоящего изобретения способ включает

одновременную инъекцию или закачивание диоксид-углеродного сырья, микробной культуры и среды для роста микробов в подземную среду. В варианте осуществления настоящего изобретения способ включает инъекцию или закачивание диоксид-углеродного сырья, микробной культуры и среды для роста микробов в подземную среду в любом порядке. В варианте осуществления настоящего изобретения способ включает формирование культуральной смеси посредством смешивания микробной культуры и среды для роста микробов и одновременное добавление культуральной смеси и диоксид-углеродного сырья в подземную среду. В варианте осуществления настоящего изобретения способ включает формирование культуральной смеси посредством смешивания микробной культуры и среды для роста микробов и добавление культуральной смеси и диоксид-углеродного сырья в подземную среду в любом порядке. В варианте осуществления настоящего изобретения способ включает совместную инъекцию микробной культуры микробной культуры и среды для роста микробов в подземную среду в общем объеме со скоростью инъекции и с давлением инъекции, достаточными для преобразования части диоксид-углеродного сырья в по меньшей мере одно органическое соединение.

В варианте осуществления настоящего изобретения диоксид-углеродное сырье добавляют в первую подземную среду, а микробную культуру и среду для роста микробов добавляют во вторую подземную среду, при этом первая подземная среда соединена со второй подземной средой. Преимущество такого варианта осуществления может обеспечить возможность использования подземных сред, имеющих газовые соединения или соединения по текучей среде, в том числе, но без ограничения этим, соседние скважины.

В варианте осуществления настоящего изобретения способ включает добычу по меньшей мере одного органического соединения из подземной среды по истечении периода времени, достаточного для того, чтобы микробная культура преобразовала часть диоксид-углеродного сырья в по меньшей мере одно органическое соединение. В варианте осуществления настоящего изобретения достаточный период времени может лежать в диапазоне от примерно 1 года до примерно 20 лет, в том числе – от примерно 5 лет до примерно 15 лет.

В варианте осуществления настоящего изобретения способ может получить преимущество от определения того, какие микробы и/или среды для роста микробов являются натуральными или оптимальными для подземной среды. В

варианте осуществления настоящего изобретения способ включает отбор первого образца из подземной среды в первый момент времени; анализ первого образца с получением информации о микробиоме первого образца; и выбор микробной культуры и среды для роста микробов на основании информации о микробиоме первого образца. В варианте осуществления настоящего изобретения способ  
5 включает отбор второго образца из подземной среды во второй момент времени; анализ второго образца с получением информации о микробиоме второго образца; и выбор корректирующей дозы на основании информации о микробиоме второго образца. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения корректирующая доза содержит вторую микробную культуру, вторую среду для  
10 роста микробов или их комбинацию. В варианте осуществления настоящего изобретения способ включает инъекцию корректирующей дозы в подземную среду.

В различных вариантах осуществления настоящего изобретения информация о микробиоме может включать, но не ограничена этим, информацию о  
15 популяции микробов; определение численности присутствующих в данный момент микроорганизмов, живых и неживых; определение характеристик микроорганизмов; информацию о генетическом и биологическом материале; информацию, происходящую или полученную из генетического материала; фрагменты генетического материала или другого биологического материала, в том числе –  
20 ДНК, РНК, белка или углеводов; и профили метаболитов. Такие варианты осуществления настоящего изобретения могут обеспечить преимущество выбора микробной культуры и среды для роста микробов, способствующих выживанию и росту микробной культуры в подземной среде и производству одного или более органических соединений.

В варианте осуществления настоящего изобретения способ включает измерение количества по меньшей мере одного органического соединения, произведенного по меньшей мере одной из первой микробной культуры и второй микробной культуры. В варианте осуществления настоящего изобретения способ  
25 включает измерение количества диоксид-углеродного сырья в подземной среде, потребленного по меньшей мере одной из первой микробной культуры и второй микробной культуры.  
30

В варианте осуществления настоящего изобретения диоксид-углеродное сырье можно инжектировать или закачивать в подземную формацию с использованием инъекционного или насосного оборудования, которое можно также

использовать для инъекции или закачивания диоксида углерода в подземную  
формацию с целью повышения добычи нефти. Преимуществом такого варианта  
осуществления настоящего изобретения может быть экономически выгодное  
использование инъекционного или насосного оборудования для производства  
5 одного или более органических соединений в подземной среде и с целью  
повышения добычи нефти. Такой вариант осуществления настоящего изобретения  
может обеспечить преимущество, состоящее в экономически эффективном  
использовании подземной формации для добычи нефти и для производства  
одного или более органических соединений.

10 Диоксид-углеродное сырье в различных вариантах осуществления  
настоящего изобретения может включать газообразный диоксид углерода из  
промышленных выбросов, диоксид углерода из природного источника, диоксид  
углерода, захваченный из атмосферы, газообразный диоксид углерода,  
хранящийся в подземной среде или инжектированный в подземную среду, или их  
15 комбинации. Такие варианты осуществления настоящего изобретения могут  
обеспечить преимущество, состоящее в производстве одного или более полезных  
органических соединений с использованием сырья, содержащего диоксид углерода  
из промышленных выбросов. Такие варианты осуществления настоящего  
изобретения могут обеспечить преимущество, состоящее в экономически  
20 эффективном использовании диоксида углерода из промышленных источников для  
производства органических соединений, причем доход от продажи произведенных  
одного или более органических соединений можно использовать для компенсации  
расходов на улавливание и транспортировку промышленно произведенного  
диоксида углерода к подземной формации.

25 В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения диоксид-  
углеродное сырье содержит от примерно 1,0 объемного процента до 100 объемных  
процентов диоксида углерода от общего объема диоксид-углеродного сырья. В  
варианте осуществления настоящего изобретения диоксид-углеродное сырье  
содержит от примерно 2,0 объемных процентов до примерно 95 объемных  
30 процентов диоксида углерода от общего объема диоксид-углеродного сырья. В  
варианте осуществления настоящего изобретения диоксид-углеродное сырье  
содержит от примерно 5,0 объемных процентов до примерно 90 объемных  
процентов диоксида углерода или более от общего объема диоксид-углеродного  
сырья. В варианте осуществления настоящего изобретения способ включает  
35 добавление второй порции диоксид-углеродного сырья в подземную среду.

Вариант осуществления способа производства по меньшей мере одного органического соединения в подземной среде может получить преимущество за счет стадии активного преобразования или ускорения реакции преобразования диоксид-углеродного сырья в по меньшей мере одно органическое вещество. В варианте осуществления настоящего изобретения способ включает введение по меньшей мере одного из электролизного устройства и/или водородного сырья в подземную среду. В варианте осуществления настоящего изобретения водородное сырье содержит от примерно 1,0 объемного процента до примерно 80 объемных процентов водорода в пересчете на общий объем водородного сырья или газообразного сырья. В варианте осуществления настоящего изобретения водородное сырье содержит от примерно 2 объемных процентов до примерно 8 объемных процентов водорода в пересчете на общий объем водородного сырья. В варианте осуществления настоящего изобретения водородное сырье содержит от примерно 4 объемных процентов до примерно 6 объемных процентов водорода в пересчете на общий объем водородного сырья. Преимущества такого варианта осуществления могут включать активацию роста микробной культуры и/или повышение скорости преобразования диоксид-углеродного сырья в по меньшей мере одно органическое соединение в подземной формации.

В различных вариантах осуществления настоящего изобретения подземная среда может включать ствол скважины, геологическую формацию с выполненной скважиной, содержащую углеводород, природную каверну, подземную формацию, подземный резервуар-хранилище или их комбинацию. В варианте осуществления настоящего изобретения способ включает выбор микробной культуры и среды для роста микробов на основании по меньшей мере одного свойства подземной среды. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения по меньшей мере одно свойство подземной среды включает температуру, давление, проницаемость, пористость, соленость, кислотность или их комбинации. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения способ включает выбор микробной культуры и среды для роста микробов на основании адаптации микробной культуры к по меньшей мере одному свойству подземной среды, выбор микробной культуры и среды для роста микробов на основании устойчивости микробной культуры к меньшей мере одному свойству подземной среды, или их комбинации.

Варианты осуществления микробных культур по настоящему изобретению могут включать по меньшей мере одну бактериальную популяцию, нативную для

подземной формации. Преимущество таких вариантов осуществления настоящего изобретения может включать выбор по меньшей мере одной бактериальной популяции, которая естественным образом адаптирована к росту в подземной формации. В других вариантах осуществления настоящего изобретения микробная культура может включать по меньшей мере одну экзогенную бактериальную популяцию или комбинацию по меньшей мере одной нативной бактериальной популяции и по меньшей мере одной экзогенной бактериальной популяции. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения микробная культура может включать по меньшей мере одну анаэробную бактериальную популяцию, по меньшей мере одну генетически модифицированную бактериальную популяцию или их комбинацию. В варианте осуществления настоящего изобретения по меньшей мере одна анаэробная бактериальная популяция может включать бактерию *Geobacter*, бактерию *Clostridium* или их комбинацию. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения микробная культура включает бактерию *Bacillus*, бактерию *Geobacillus*, бактерию *Petrobacter*, бактерию *Desulfotomaculum*, бактерию *Bacteroides*, бактерию *Thermoanaerobacter*, бактерию *Thermococcus*, бактерию *Thermotogales*, бактерию *Petrotoga*, бактерию *Thermotoga*, бактерию *Desulfotomaculum*, бактерию *Caminicella*, бактерию *Geosporobacter* или их комбинацию. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения микробная культура включает метанотрофную бактерию, метаногенную бактерию, археобактерию, хемотрофную бактерию, железooksисляющую бактерию, сероокисляющую бактерию, экстремофильную бактерию, термофильную бактерию, галофильную бактерию, водородпродуцирующую бактерию, сурфактантпродуцирующую бактерию, ацетогенную бактерию или их комбинацию.

В различных вариантах осуществления настоящего изобретения по меньшей мере одна микробная культура может быть выбрана на основании одного или более свойств подземной среды. В таких вариантах осуществления настоящего изобретения одно или более свойств подземной среды может включать температуру, давление, проницаемость, пористость, соленость, кислотность или их комбинации. Такие варианты осуществления могут обеспечить преимущество, состоящее в выборе по меньшей мере одной бактериальной популяции, которая адаптирована к росту и преобразованию части диоксида углеродного сырья в по меньшей мере одно органическое соединение в подземной среде.

Варианты осуществления сред для роста микробов могут включать водную жидкость. В различных вариантах осуществления настоящего изобретения вещества, которые могут быть включены в эту водную жидкость, можно выбрать так, чтобы они поддерживали рост желаемых микроорганизмов. Такая водная жидкость может содержать органические вещества, включающие, но не ограничивающиеся этим, такие материалы, как экстракт дрожжей, экстракты животной природы, такие как говяжий экстракт и триптон, агар и витамины. Такая водная жидкость может также содержать неорганические вещества, включающие, но не ограничивающиеся этим, аммониевые соли, карбонатные соли, нитраты, фосфаты, хлорид натрия и минеральные вещества. Примеры сред для роста микробов, содержащих органические и неорганические вещества, включают, но не ограничиваются этим, агар, приготовленный на питательной среде, и лизогенный бульон Бертани (LB; от англ.: Lysogeny Bertany).

Варианты осуществления сред для роста микробов, включающие водную жидкость, могут содержать от примерно 1 массового процента до 50 массовых процентов по меньшей мере одного биологического материала, в пересчете на общую массу среды для роста микробов. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения водная жидкость содержит от примерно 10 массовых процентов до примерно 40 массовых процентов по меньшей мере одного биологического материала. В варианте осуществления настоящего изобретения водная жидкость содержит от примерно 20 массовых процентов до примерно 30 массовых процентов по меньшей мере одного биологического материала. В варианте осуществления настоящего изобретения водная жидкость содержит от примерно 1 массового процента до примерно 5 массовых процентов по меньшей мере одного биологического материала.

Варианты осуществления такой водной жидкости могут включать водный раствор или суспензию, содержащую по меньшей мере одно биологический материал. В варианте осуществления настоящего изобретения по меньшей мере одно биологический материал включает глюкозу, фруктозу, глицерин, сахарозу, мальтодекстрин, хлорид натрия, экстракт дрожжей, экстракт солода, казеиновый пептон, ацетат натрия, лактат натрия, жидкий кукурузный экстракт, арбузную корку, стержень кукурузного початка, мелассу, сухое биологический материал, или их комбинации. Преимущество такого варианта осуществления настоящего изобретения может включать использование широко распространенного и дешевого биологического материала в среде для роста микробов. Варианты

осуществления сред для роста микробов, содержащих водную жидкость, могут обеспечить преимущество, состоящее в активации микробного роста в подземной среде. Другим преимуществом такого варианта осуществления может быть среда для роста микробов, предпочтительная для инъекции или закачивания среды для  
5 роста микробов в подземную формацию.

В различных вариантах осуществления настоящего изобретения по меньшей мере одно органическое соединение может включать  $C_1$ - $C_{12}$ -алкан,  $C_1$ - $C_4$ -спирт,  $C_1$ - $C_3$ -органическую кислоту,  $C_1$ - $C_{120}$ -углеводород или их комбинацию. Примеры подходящих углеводородов включают алкан, метан, бутан, пентан,  
10 гексан, гептан, октан, нонан, декан, додекан, тетрадекан, октадекан, и их комбинации. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения по меньшей мере одно органическое соединение может включать алкен, спирт, метанол, этанол, пропанол, бутандиол, органическую кислоту, уксусную кислоту, щавелевую кислоту, олефин, этилен, биосурфактант, или их комбинацию.

Преимущество по меньшей мере одного органического соединения в различных вариантах осуществления настоящего изобретения может включать обеспечение по меньшей мере одного органического соединения, которое можно использовать в качестве топлива или для других полезных применений.  
15

Варианты осуществления способов, раскрытые в данной публикации, могут включать способы повышения добычи углеводорода из ствола скважины. В таком варианте осуществления способ может включать отбор образца из окружающей среды ствола скважины; анализ образца с получением информации о микробиоме образца; выбор микробной культуры и среды для роста микробов на основании информации о микробиоме образца, причем информация о микробиоме образца  
25 включает информацию об адаптации микробной культуры к по меньшей мере одному свойству среды ствола скважины, об устойчивости микробной культуры к меньшей мере одному свойству среды ствола скважины, о по меньшей мере одном свойстве среды ствола скважины, или об их комбинации, причем по меньшей мере одно свойство включает температуру, давление, проницаемость, пористость, соленость, кислотность или их комбинации; обеспечение сырья для получения биосурфактанта; преобразование части сырья для получения биосурфактанта в по  
30 меньшей мере один биосурфактант и разложение по меньшей мере одного нефтяного углеводорода, по меньшей мере одного парафина или их комбинации, присутствующих в среде ствола скважины, за счет добавления сырья для

получения биосурфактанта, микробной культуры и среды для роста микробов к среде ствола скважины, причем микробная культура содержит сурфактантпродуцирующую бактерию, бактерию, разлагающую нефтяной углеводород, бактерию, разлагающую парафин, *Gordina sp.*, *Pseudomonas sp.*,  
5 *Bacillus sp.*, *Bacillus subtilis*, бактерию, разлагающую горную породу, *Rhodothermus marinus*, или их комбинации; и повышение добычи углеводородов из ствола скважины.

Варианты осуществления способов повышения добычи углеводорода из ствола скважины, раскрытые в данной публикации, включая варианты  
10 осуществления, генерирующие по меньшей мере один биосурфактант в среде ствола скважины, могут обеспечить преимущество, состоящее в усилении процессов микробиологического повышения нефтеотдачи пластов (MEOR). Варианты осуществления, предусматривающие использование бактерии, разлагающей нефтяной углеводород, бактерии, разлагающей парафин, или их  
15 комбинаций, могут обеспечить преимущество, состоящее в разложении длинноцепочечных углеводородов, включая восковые углеводороды, что может привести к снижению вязкости и повышению подвижности нефти, присутствующей в среде ствола скважины, и это будет способствовать повышению добычи углеводородов из ствола скважины. Варианты осуществления,  
20 предусматривающие использование бактерии, разлагающей горные породы, могут обеспечить преимущество, состоящее в разрушении горных пород на основе кремния, присутствующих в среде ствола скважины, за счет чего повысится пористость горных пород, и это будет способствовать увеличению добычи углеводородов.

25 Системы согласно различным вариантам осуществления настоящего изобретения

Варианты осуществления систем, раскрытые в данной публикации, могут включать систему для производства по меньшей мере одного органического соединения в подземной среде. В варианте осуществления настоящего  
30 изобретения система включает резервуар для микробной культуры, соединенный с инжекционным портом для микробов, и резервуар для среды для роста микробов, соединенный с инжекционным портом для среды для роста микробов. В варианте осуществления настоящего изобретения система включает резервуар для микробной культуральной смеси, соединенный с инжекционным портом для

культуральной смеси. В варианте осуществления настоящего изобретения система включает питающий трубопровод, соединенный с по меньшей мере одним из инъекционного порта для микробов, инъекционного порта для среды для роста микробов или инъекционного порта для культуральной смеси. В различных вариантах осуществления настоящего изобретения питающий трубопровод и  
5 инъекционный трубопровод соединены с насосной станцией, причем часть инъекционного трубопровода соединена с подземной средой. В варианте осуществления настоящего изобретения диоксид-углеродное сырье можно инжектировать или закачивать в подземную формацию с использованием  
10 питающего трубопровода, инъекционного трубопровода, насосной станции или их комбинации, причем питающий трубопровод, инъекционный трубопровод, насосную станцию или их комбинацию можно также использовать для инъекции или закачивания диоксида углерода в подземную формацию с целью повышения добычи нефти в EOR-процессе. Такой вариант осуществления настоящего  
15 изобретения может обеспечить преимущество, состоящее в экономически эффективном использовании оборудования для производства одного или более органических соединений в подземной среде, а также для повышения добычи нефти. Такой вариант осуществления настоящего изобретения может обеспечить преимущество, состоящее в экономически эффективном использовании подземной  
20 формации для добычи нефти и для производства одного или более органических соединений.

## ОПИСАНИЕ ПРИМЕРОВ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ИЗОБРЕТЕНИЯ

### Пример 1

В способе производства по меньшей мере одного органического соединения  
25 в подземной среде первый образец отбирают из подземной среды в первый момент времени. Первый образец анализируют с получением информации о микробиоме первого образца. На основании информации о микробиоме первого образца выбирают микробную культуру, нативную для подземной среды, включая культуру *Geobacter*, и подходящую среду для роста микробов. Микробную культуру  
30 и среду для роста микробов выбирают также на основании по меньшей мере одного свойства подземной среды (температуры, давления, проницаемости, пористости, солености, кислотности, или их комбинаций). Диоксид-углеродное сырье, содержащий 80 объемных процентов диоксида углерода, содержится в подземной среде. Выбранная микробная культура находится в резервуаре для

микробной культуры, а выбранная среда для роста микробов находится в резервуаре для среды для роста микробов. Микробную культуру и среду для роста микробов инжектируют одновременно, соответственно - через инъекционный порт для микробов и инъекционный порт для среды для роста микробов, в питающий

5 трубопровод. Питающий трубопровод и инъекционный трубопровод подсоединены к насосной станции, инъекционный трубопровод соединен с подземной средой. Микробную культуру и среду для роста микробов закачивают через питающий трубопровод и инъекционный трубопровод в подземную среду. Во второй момент времени из подземной среды отбирают второй образец и анализируют его с

10 получением информации о микробиоме второго образца. На основании информации о микробиоме второго образца выбирают корректирующую дозу, содержащую вторую микробную культуру и вторую среду для роста микробов. Корректирующую дозу инжектируют в подземную среду. Количество по меньшей мере одного органического соединения, произведенного микробной культурой,

15 периодически измеряют. После периода времени, достаточного для того, чтобы микробная культура преобразовала часть диоксид-углеродного материала в по меньшей мере одно органическое соединение, по меньшей мере одно органическое соединение добывают из подземной среды.

### Пример 2

20 В способе производства по меньшей мере одного органического соединения в подземной среде перед применением MEOR-технологий проекты оценивают с целью определения совместимости свойств сырой нефти и пласта с MEOR с учетом физико-химических свойств сырой нефти, эксплуатационных характеристик пласта и свойств пласта, включая температуру. На предварительной стадии

25 отбирают образцы пластовой текучей среды и испытывают их на совместимость с системами MEOR. Первой стадией является идентификация аборигенных бактерий, потребляющих углеводороды, которые уже адаптированы к условиям пласта *in situ*, после чего проектируют и разрабатывают наилучшую стратегию действий для каждого проекта. Способы MEOR для повышения добычи нефти из

30 подземных формаций раскрыты в публикации Yarbrough H.F., Coty V.E. Microbially enhanced oil recovery from the Upper Cretaceous Nacatoch formation, Union County Arkansas. *Proceedings of International Conference on Microbial Enhancement of Oil Recovery, USA*; 1983, p. 149-153; и в публикации Portwood J.T. (Company Alpha Environmental Midcontinent, Inc.). A commercial microbial enhanced oil recovery

35 technology: Evaluation of 322 projects. *Proceedings of the SPE Production Operations*

*Symposium*; 2-4 April, Oklahoma City, Oklahoma: SPE; 2007, p. 693-709, содержание которых полностью включено в данную публикацию посредством ссылки.

МЕОР-способы применяют в отдельных скважинах следующим образом: (1) в обрабатываемой скважине или (2) в целевой скважине и соседних скважинах того же пласта. Раствор для МЕОР инжектируют в соседние скважины тем же способом, которым в пласт инжектируют воду. Объем МЕОР-биоматериала, который нужно инжектировать, рассчитывают на основании объема пор целевого пласта. Раствор перемешивают и закачивают через инжекционную скважину, после чего инжектируют воду для перемещения биологического раствора в зоны, насыщенные нефтью. Затем обработанную скважину останавливают на необходимый период времени (обычно от 24 часов до 7 дней), после чего возобновляют добычу нефти. Эту процедуру повторяют через каждые 3-6 месяцев, чтобы обеспечить более глубокое проникновение микроорганизмов в месторождение к зонам, насыщенным нефтью.

#### 15 ИЛЛЮСТРАТИВНЫЕ ВАРИАНТЫ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ НАСТОЯЩЕГО ИЗОБРЕТЕНИЯ

Вариант осуществления 1. Способ производства по меньшей мере одного органического соединения в подземной среде, включающий:

- 20 - обеспечение диоксид-углеродного сырья, микробной культуры и среды для роста микробов; и
- преобразование части диоксид-углеродного сырья в по меньшей мере одно органическое соединение посредством добавления диоксид-углеродного сырья, микробной культуры и среды для роста микробов в подземную среду, причем диоксид-углеродное сырье содержит от примерно 1,0 объемного
- 25 процента до 100 объемных процентов диоксида углерода в пересчете на общий объем диоксид-углеродного сырья.

Вариант осуществления 2. Способ согласно Варианту осуществления 1, в котором подземная среда включает ствол скважины, геологическую формацию с выполненной скважиной, содержащую углеводород, природную каверну, подземную формацию, подземный резервуар-хранилище или их комбинацию.

Вариант осуществления 3. Способ согласно любому из приведенных выше Вариантов осуществления 1 и 2, в котором микробная культура включает по меньшей мере одну бактериальную популяцию, нативную для подземной формации, по меньшей мере одну экзогенную бактериальную популяцию, по меньшей мере одну анаэробную бактериальную популяцию, по меньшей мере одну генетически модифицированную бактериальную популяцию или их комбинацию.

Вариант осуществления 4. Способ согласно любому из приведенных выше Вариантов осуществления с 1 по 3, в котором микробная культура включает бактерию *Geobacter*, бактерию *Clostridium*, бактерию *Bacillus*, бактерию *Geobacillus*, бактерию *Petrobacter*, бактерию *Desulfotomaculum*, бактерию *Bacteroides*, бактерию *Thermoanaerobacter*, бактерию *Thermococcus*, бактерию *Thermotogales*, бактерию *Petrotoga*, бактерию *Thermotoga*, бактерию *Desulfotomaculum*, бактерию *Caminiella*, бактерию *Geosporobacter* или их комбинацию; или микробная культура включает метанотрофную бактерию, метаногенную бактерию, археобактерию, хемотрофную бактерию, железокисляющую бактерию, сероокисляющую бактерию, экстремофильную бактерию, термофильную бактерию, галофильную бактерию, водородпродуцирующую бактерию, сурфактантпродуцирующую бактерию, ацетогенную бактерию или их комбинацию.

Вариант осуществления 5. Способ согласно любому из приведенных выше Вариантов осуществления с 1 по 4, в котором среда для роста микробов является водной жидкостью, содержащей от примерно 1 массового процента до 50 массовых процентов по меньшей мере одного биологического материала в пересчете на общую массу среды для роста микробов.

Вариант осуществления 6. Способ согласно приведенному выше Варианту осуществления 5, в котором по меньшей мере одно биологический материал включает глюкозу, фруктозу, глицерин, сахарозу, мальтодекстрин, хлорид натрия, экстракт дрожжей, экстракт солода, казеиновый пептон, ацетат натрия, лактат натрия, жидкий кукурузный экстракт, арбузную корку, стержень кукурузного початка, мелассу, сухое биологический материал или их комбинации.

Вариант осуществления 7. Способ согласно любому из приведенных выше Вариантов осуществления с 1 по 6, в котором по меньшей мере одно органическое соединение включает C<sub>1</sub>-C<sub>12</sub>-алкан, C<sub>1</sub>-C<sub>4</sub>-спирт, C<sub>1</sub>-C<sub>3</sub>-органическую кислоту, C<sub>1</sub>-C<sub>120</sub>-углеводород или их комбинацию.

Вариант осуществления 8. Способ согласно любому из приведенных выше Вариантов осуществления с 1 по 7, в котором по меньшей мере одно органическое соединение включает алкан, метан, бутан, пентан, гексан, гептан, октан, нонан, декан, додекан, тетрадекан, октадекан, алкен, спирт, метанол, этанол, пропанол, 5 бутандиол, органическую кислоту, уксусную кислоту, щавелевую кислоту, олефин, этилен, биосурфактант или их комбинацию.

Вариант осуществления 9. Способ согласно любому из приведенных выше Вариантов осуществления с 1 по 8, дополнительно включающий 10 добычу по меньшей мере одного органического соединения из подземной среды по истечении периода времени, достаточного для того, чтобы микробная культура преобразовала часть диоксид-углеродного сырья в по меньшей мере одно органическое соединение; или добавление второй порции диоксид-углеродного сырья в подземную среду.

Вариант осуществления 10. Способ согласно любому из приведенных выше 15 Вариантов осуществления с 1 по 9, дополнительно включающий отбор первого образца из подземной среды в первый момент времени, анализ первого образца с получением информации о микробиоме первого образца и выбор микробной культуры и среды для роста микробов на основании информации о микробиоме первого образца.

Вариант осуществления 11. Способ согласно любому из приведенных выше 20 Вариантов осуществления с 1 по 10, дополнительно включающий выбор микробной культуры и среды для роста микробов на основании по меньшей мере одного свойства подземной среды, причем по меньшей мере одно свойство включает температуру, давление, проницаемость, пористость, соленость, 25 кислотность или их комбинации.

Вариант осуществления 12. Способ согласно Варианту осуществления 11, 30 дополнительно включающий отбор второго образца из подземной среды во второй момент времени, анализ второго образца с получением информации о микробиоме второго образца; выбор корректирующей дозы на основании информации о микробиоме второго образца, причем корректирующая доза содержит вторую микробную культуру, вторую среду для роста микробов или их комбинацию; и инъекцию корректирующей дозы в подземную среду.

Вариант осуществления 13. Способ согласно Варианту осуществления 12, дополнительно включающий

5 измерение количества по меньшей мере одного органического соединения, произведенного по меньшей мере одной из первой микробной культуры и второй микробной культуры.

Вариант осуществления 14. Способ согласно любому из приведенных выше Вариантов осуществления с 1 по 13, дополнительно включающий

10 добавление диоксид-углеродного сырья, микробной культуры и среды для роста микробов в подземную среду, одновременно или в любом порядке; или инъекцию или закачивание по меньшей мере одного из диоксид-углеродного сырья, микробной культуры и среды для роста микробов в подземную среду, одновременно или в любом порядке.

Вариант осуществления 15. Способ согласно любому из приведенных выше Вариантов осуществления с 1 по 14, дополнительно включающий

15 формирование культуральной смеси посредством смешивания микробной культуры и среды для роста микробов; и добавление культуральной смеси и диоксид-углеродного сырья в подземную среду, одновременно или в любом порядке.

20 Вариант осуществления 16. Способ согласно любому из приведенных выше Вариантов осуществления с 1 по 15, в котором диоксид-углеродное сырье добавляют в первую подземную среду, тогда как микробную культуру и среду для микробного роста добавляют во вторую подземную среду, причем первая подземная среда соединена со второй подземной средой.

25 Вариант осуществления 17. Способ согласно любому из приведенных выше Вариантов осуществления с 1 по 16, дополнительно включающий

инъекцию микробной культуры и среды для роста микробов в подземную среду совместно в объединенном объеме со скоростью инъекции и с давлением инъекции, которые достаточны для преобразования части диоксид-углеродного сырья в по меньшей мере в одно органическое соединение.

30 Вариант осуществления 18. Способ согласно любому из приведенных выше Вариантов осуществления с 1 по 17, дополнительно включающий

введение по меньшей мере одного из электролизного устройства и водородного сырья в подземную среду, причем водородное сырье содержит от

примерно 1,0 объемного процента до примерно 80 объемных процентов водорода в пересчете на общий объем газообразного сырья.

Вариант осуществления 18А. Способ согласно любому из приведенных выше Вариантов осуществления с 1 по 17, дополнительно включающий

- 5 а. введение по меньшей мере одного из электролизного устройства и водородного сырья в подземную среду, причем водородное сырье содержит от примерно 1,0 объемного процента до примерно 80 объемных процентов водорода в пересчете на общий объем водородного сырья.

Вариант осуществления 18В. Способ согласно любому из приведенных выше Вариантов осуществления с 1 по 17, дополнительно включающий

- 10 введение по меньшей мере одного из электролизного устройства и газообразного сырья в подземную среду, причем газообразное сырье содержит от примерно 1,0 объемного процента до примерно 80 объемных процентов водорода в пересчете на общий объем газообразного сырья.

Вариант осуществления 19. Система для производства по меньшей мере одного органического соединения в подземной среде, включающая:

- 15 резервуар для микробной культуры, соединенный с инъекционным портом для микробов, и резервуар для среды для роста микробов, соединенный с инъекционным портом для среды для роста микробов, или резервуар для культуральной смеси, соединенный с портом для культуральной смеси;

- 20 питающий трубопровод, соединенный с по меньшей мере одним из инъекционного порта для микробов, инъекционного порта для среды для роста микробов, порта для культуральной смеси и с насосной станцией; и инъекционный трубопровод, соединенный с насосной станцией, причем часть инъекционного  
25 трубопровода соединена с подземной средой.

Вариант осуществления 20. Способ повышения добычи углеводорода из ствола скважины, включающий

- отбор образца из среды ствола скважины в определенный момент времени;  
анализ образца с получением информации о микробиоме образца;
- 30 выбор микробной культуры и среды для роста микробов на основании информации о микробиоме образца, причем информация о микробиоме образца включает информацию об адаптации микробной культуры к по меньшей мере одному свойству среды ствола скважины, об устойчивости микробной культуры к

меньшей мере одному свойству среды ствола скважины, о по меньшей мере одном свойстве среды ствола скважины, или об их комбинации,

причем по меньшей мере одно свойство включает температуру, давление, проницаемость, пористость, соленость, кислотность или их комбинации;

5 обеспечение биосурфактантного сырья;

преобразование части биосурфактантного сырья в по меньшей мере один биосурфактант и разложение по меньшей мере одного нефтяного углеводорода, по меньшей мере одного парафина или их комбинации, присутствующих в среде ствола скважины, за счет добавления биосурфактантного сырья, микробной культуры и среды для роста микробов к среде ствола скважины,

10

причем микробная культура содержит сурфактантпродуцирующую бактерию, бактерию, разлагающую нефтяной углеводород, бактерию, разлагающую парафин, *Gordina sp.*, *Pseudomonas sp.*, *Bacillus sp.*, *Bacillus subtilis*, бактерию, разлагающую горную породу, *Rhodothermus marinus*, или их комбинации;

15 и

повышение добычи углеводорода из ствола скважины.

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ производства по меньшей мере одного органического соединения в подземной среде, включающий:

- обеспечение диоксид-углеродного сырья, микробной культуры и среды для роста микробов; и

- преобразование части диоксид-углеродного сырья в по меньшей мере одно органическое соединение посредством добавления диоксид-углеродного сырья, микробной культуры и среды для роста микробов в подземную среду,

причем указанное диоксид-углеродное сырье содержит от примерно 1,0 объемного процента до 100 объемных процентов диоксида углерода в пересчете на общий объем диоксид-углеродного сырья.

2. Способ по п. 1, где подземная среда включает ствол скважины, геологическую формацию с выполненной скважиной, содержащую углеводород, природную каверну, подземную формацию, подземный резервуар-хранилище или их комбинацию.

3. Способ по п.1, где микробная культура включает по меньшей мере одну бактериальную популяцию, нативную для подземной формации, по меньшей мере одну экзогенную бактериальную популяцию, по меньшей мере одну анаэробную бактериальную популяцию, по меньшей мере одну генетически модифицированную бактериальную популяцию или их комбинацию.

4. Способ по п.1, где микробная культура включает бактерию *Geobacter*, бактерию *Clostridium*, бактерию *Bacillus*, бактерию *Geobacillus*, бактерию *Petrobacter*, бактерию *Desulfotomaculum*, бактерию *Bacteroides*, бактерию *Thermoanaerobacter*, бактерию *Thermococcus*, бактерию *Thermotogales*, бактерию *Petrotoga*, бактерию *Thermotoga*, бактерию *Desulfotomaculum*, бактерию *Caminiella*, бактерию *Geosporobacter* или их комбинацию; или микробная культура включает метанотрофную бактерию, метаногенную бактерию, археобактерию, хемотрофную бактерию, железоокисляющую бактерию, сероокисляющую бактерию, экстремофильную бактерию, термофильную бактерию, галофильную бактерию, водородпродуцирующую бактерию, сурфактантпродуцирующую бактерию, ацетогенную бактерию или их комбинацию.

5. Способ по п.1, где среда для роста микробов представляет собой водную жидкость, содержащую от примерно 1 массового процента до 50 массовых процентов по меньшей мере одного биологического материала в пересчете на общую массу среды для роста микробов.

6. Способ по п.5, где по меньшей мере одно биологический материал включает глюкозу, фруктозу, глицерин, сахарозу, мальтодекстрин, хлорид натрия, экстракт дрожжей, экстракт солода, казеиновый пептон, ацетат натрия, лактат натрия, жидкий

кукурузный экстракт, арбузную корку, стержень кукурузного початка, мелассу, сухое биологический материал или их комбинации.

7. Способ по п.1, где по меньшей мере одно органическое соединение включает  $C_1$ - $C_{12}$ -алкан,  $C_1$ - $C_4$ -спирт,  $C_1$ - $C_3$ -органическую кислоту,  $C_1$ - $C_{120}$ -углеводород или их комбинацию.

8. Способ по п.1, где по меньшей мере одно органическое соединение включает алкан, метан, бутан, пентан, гексан, гептан, октан, нонан, декан, додекан, тетрадекан, октадекан, алкен, спирт, метанол, этанол, пропанол, бутандиол, органическую кислоту, уксусную кислоту, щавелевую кислоту, олефин, этилен, биосурфактант или их комбинацию.

9. Способ по п.1, где он дополнительно включает добычу по меньшей мере одного органического соединения из подземной среды по истечении периода времени, достаточного для того, чтобы микробная культура преобразовала часть диоксид-углеродного сырья в по меньшей мере одно органическое соединение; или

добавление второй порции диоксид-углеродного сырья в подземную среду.

10. Способ по п. 1, где он дополнительно включает отбор первого образца из подземной среды в первый момент времени; анализ первого образца с получением информации о микробиоме первого образца; и

выбор микробной культуры и среды для роста микробов на основании информации о микробиоме первого образца.

11. Способ по п. 10, где он дополнительно включает

выбор микробной культуры и среды для роста микробов на основании по меньшей мере одного свойства подземной среды, причем по меньшей мере одно свойство включает температуру, давление, проницаемость, пористость, соленость, кислотность или их комбинации.

12. Способ по п. 10, где он дополнительно включает

отбор второго образца из подземной среды во второй момент времени; анализ второго образца с получением информации о микробиоме второго образца; выбор корректирующей дозы на основании информации о микробиоме второго образца, причем корректирующая доза содержит вторую микробную культуру, вторую среду для роста микробов или их комбинацию; и

инъекцию корректирующей дозы в подземную среду.

13. Способ по п. 12, где он дополнительно включает измерение количества по меньшей мере одного органического соединения, произведенного по меньшей мере одной из первой микробной культуры и второй микробной культуры.

14. Способ по п. 1, где он дополнительно включает добавление диоксид-углеродного сырья, микробной культуры и среды для роста микробов в подземную среду, одновременно или в любом порядке; или инъекцию или закачивание по меньшей мере одного из диоксид-углеродного сырья, микробной культуры и среды для роста микробов в подземную среду, одновременно или в любом порядке.

15. Способ по п. 1, где он дополнительно включает формирование культуральной смеси посредством смешивания микробной культуры и среды для роста микробов; и добавление культуральной смеси и диоксид-углеродного сырья в подземную среду, одновременно или в любом порядке.

16. Способ по п. 1, где диоксид-углеродное сырье добавляют в первую подземную среду, при этом микробную культуру и среду для роста микробов добавляют во вторую подземную среду, причем первая подземная среда соединена со второй подземной средой.

17. Способ по п. 1, где он дополнительно включает совместную инъекцию микробной культуры и среды для роста микробов в подземную среду в объединенном объеме при скорости инъекции и давлении инъекции, которые достаточны для преобразования части диоксид-углеродного сырья в по меньшей мере одно органическое соединение.

18. Способ по п. 1, где он дополнительно включает введение по меньшей мере одного из электролизного устройства и водородного сырья в подземную среду, причем водородное сырье содержит от примерно 1,0 объемного процента до примерно 80 объемных процентов в пересчете на общий объем газообразного сырья.

19. Система для производства по меньшей мере одного органического соединения в подземной среде, включающая:

резервуар для микробной культуры, соединенный с инъекционным портом для микробов, и резервуар для среды для роста микробов, соединенный с инъекционным портом для среды для роста микробов, или резервуар для культуральной смеси, соединенный с портом для культуральной смеси;

питающий трубопровод, соединенный с по меньшей мере одним из инъекционного порта для микробов, инъекционного порта для среды для роста микробов, порта для культуральной смеси и с насосной станцией; и

инъекционный трубопровод, соединенный с насосной станцией, причем часть инъекционного трубопровода соединена с подземной средой.

20. Способ повышения добычи углеводорода из ствола скважины, включающий отбор образца из среды ствола скважины в определенный момент времени; анализ образца с получением информации о микробиоме образца;

выбор микробной культуры и среды для роста микробов на основании информации о микробиоме образца, причем информация о микробиоме образца включает информацию об адаптации микробной культуры к по меньшей мере одному свойству среды ствола скважины, об устойчивости микробной культуры к меньшей мере одному свойству среды ствола скважины, о по меньшей мере одном свойстве среды ствола скважины, или об их комбинации,

причем по меньшей мере одно свойство включает температуру, давление, проницаемость, пористость, соленость, кислотность или их комбинации;

обеспечение биосурфактантного сырья;

преобразование части биосурфактантного сырья в по меньшей мере один биосурфактант и разложение по меньшей мере одного нефтяного углеводорода, по меньшей мере одного парафина или их комбинации, присутствующих в среде ствола скважины, за счет добавления биосурфактантного сырья, микробной культуры и среды для роста микробов в среду ствола скважины,

причем микробная культура содержит сурфактантпродуцирующую бактерию, бактерию, разлагающую нефтяной углеводород, бактерию, разлагающую парафин, *Gordina sp.*, *Pseudomonas sp.*, *Bacillus sp.*, бактерию, разлагающую горную породу, *Rhodothermus marinus*, или их комбинации; и

повышение добычи углеводорода из ствола скважины.