

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(11) 043037

(13) B1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2023.04.19

(21) Номер заявки
201890544

(22) Дата подачи заявки
2016.09.22

(51) Int. Cl. E21B 43/24 (2006.01)
E21B 43/22 (2006.01)

(54) ГРАВИТАЦИОННЫЙ ДРЕНАЖ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПАРА ПОД
МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ

(31) 62/221,936

(32) 2015.09.22

(33) US

(43) 2018.08.31

(86) PCT/CA2016/051114

(87) WO 2017/049404 2017.03.30

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
9668241 КАНАДА ИНК. (CA)

(56) US-B2-8746334
US-A1-2015053407
US-B2-8863855
US-A1-2014116682

(72) Изобретатель:
Хьюберт Кэйси, Фьюстик Милован
(CA)

(74) Представитель:
Поликарпов А.В., Соколова М.В.,
Путинцев А.И., Черкас Д.А., Игнатъев
А.В., Билык А.В. (RU)

(57) В изобретении представлены способ и система для добычи нефти из недоступных в настоящее время содержащих нефть стратиграфических подразделений путем активации глубинного биосферного микробиологического семенного фонда. Активация питательными веществами и теплом микроорганизмов в содержащих нефть стратиграфических подразделениях обеспечивает стимуляцию неактивных и/или латентных микроорганизмов, так что они размножаются и выделяют газ. Вязкость нефти, которая уменьшается путем нагрева, наряду с давлением газа, выделенного активированными микробами, которое повышает подвижность нефти, позволяют ранее недоступной нефти течь по направлению к эксплуатационным скважинам.

B1

043037

043037

B1

Область техники

Настоящее изобретение относится к области добычи нефти из подземных месторождений нефти.

Уровень техники

Нефтяные пласты представляют собой стратиграфические подразделения под поверхностью Земли, которые содержат скопление нефти. Нефть из пластов извлекают или добывают для использования с помощью способа, обычно называемого добыча нефти. Стандартная добыча нефти обычно включает две стадии: первичное извлечение и вторичное извлечение. Первичное извлечение включает применение природных сил высокого давления в пласте для направления потока нефти в нефтедобывающие скважины. Вторичное извлечение обычно включает поддержание этого высокого давления путем закачивания текучих сред в пласт так, чтобы можно было продолжать добычу нефти.

В нефтяных пластах, которые содержат тяжелую нефть или нефтеносные пески (также известные как битуминозные пески, битуминозная нефть или нефтеносный песчаник), нефть является слишком вязкой для свободного течения в эксплуатационных скважинах с помощью обычных способов. Поэтому необходимо применять другие средства добычи нефти, такие как стратегии теплового воздействия на пласт. Стратегии теплового воздействия на пласт включают нагрев пластов нефти для улучшения подвижности нефти и, таким образом, облегчения ее последующей добычи. Приложенное тепло уменьшает вязкость нефти, обеспечивая ее протекание в эксплуатационные скважины. Примером обычно используемой стратегии теплового воздействия на пласт при извлечении тяжелой нефти является способ гравитационного дренажа с применением пара (ГДПП).

Способ ГДПП включает применение пара из паронагнетательной скважины 5 и эксплуатационной скважины 7, как изображено на фиг. 1 и фиг. 2 предшествующего уровня техники. В паронагнетательной скважине пар закачивают в область 8 чистого песка нефтяного пласта. Закаченный пар мигрирует вверх до тех пор, пока не достигнет стратиграфических подразделений, которые препятствуют дальнейшей миграции пара. Закаченный пар нагревает пласт до температур приблизительно 200°C, что уменьшает вязкость нефти и обеспечивает ее поток в эксплуатационные нефтяные скважины. Это называют паровой камерой 10, показанной на фиг. 2. Пар постоянно закачивают для обеспечения давления для облегчения непрерывного потока нефти по направлению к эксплуатационным скважинам и для способствования вытеснению нефти из песка.

Существует несколько недостатков способа ГДПП. Одной из основных проблем является то, что способ выработки пара ГДПП оказывает отрицательное воздействие на окружающую среду. Например, способ ГДПП вносит большой вклад в выбросы парниковых газов. Причина состоит в том, что большое количество природного газа необходимо сжечь для получения энергии для нагрева свежей воды для создания пара. Сжигание природного газа не только вносит значительный вклад в выбросы создающих парниковый эффект газов, оно также представляет дополнительные издержки при добыче битуминозной нефти. Кроме того, в способе ГДПП также потребляется большое количество ресурсов свежей воды для создания пара.

Так как получение пара вносит основной вклад в экологическое и экономическое воздействие способа ГДПП, экологическую эффективность действий ГДПП можно выразить в показателях отношения пара к нефти (Gates & Larter, 2014, включено в данный документ путем ссылки). Отношение пара к нефти охватывает как экологические, так и экономические издержки выработки пара по отношению к добываемому количеству сырой нефти. Более низкое отношение пара к нефти означает меньшие выбросы создающих парниковый эффект газов и улучшенную экологическую характеристику на единицу продукции.

Затраты энергии и выбросы создающих парниковый эффект газов, связанные с извлечением и добычей нестандартных нефтеносных песков, такие как действия ГДПП, приблизительно на 100 - 200% больше, чем для обычной добычи нефти ("The Truth About Dirty Oil: Is CCS the Answer?", Bergerson & Keith, Environmental Science & Technology, 2010, 44, 6010-6015, включено в данный документ путем ссылки). В связи с этим, необходимо разработать новые стратегии и технологии для улучшения экологической и экономической характеристики при извлечении нефтеносных песков для понижения отношения пара к нефти, связанного с действиями ГДПП.

Добыча из обычных нефтяных пластов обычно является неэффективной для извлечения всей доступной нефти из намеченной области. В связи с этим, существует множество стратегий, которые нацелены на увеличение добычи нефти. Некоторые из этих стратегий включают применение микроорганизмов в подземном пласте.

Среды подземного пласта заселены микроорганизмами и включают широкое многообразие микробиологических таксонов. на фиг. 3 предшествующего уровня техники показана гистограмма рангового порядка распространенности различных микробиологических таксонов в образце среды подземного пласта, по материалам Pedrós-Alíó (2006) "Marine microbial diversity, can it be determined?", Trends in Microbiology, Vol 14, No 6, pp. 257-263. Столбцы гистограммы неразличимы, так как они очень близки друг к другу. Более светлая область 1 в левой части гистограммы представляет распространенные таксоны и более темная область 2 в правой части гистограммы представляет редкие таксоны. Поэтому в данном образце среды часто существует большая доля распространенных и активных микроорганизмов, наряду с

множеством мало распространенных неактивных и/или латентных микроорганизмов. Например, в некоторых микробиологических сообществах одни виды могут охватывать вплоть до 20% от всех присутствующих клеток, в то время как сотни редких видов могут вместе составлять менее 1% от всех клеток.

Микробиологический способ повышения нефтеотдачи пластов (МПНП) является термином для описания стратегий для обычной добычи нефти, которые нацелены на применение микробиологических сообществ для повышения и увеличения извлечения нефти из обычных нефтяных пластов. МПНП обычно применяют после первичного и вторичного извлечения. С помощью МПНП микробов используют в обычных целевых областях пласта для улучшения добычи нефти. Полагают, что МПНП происходит путем множества механизмов, относящихся к метаболизму микробов в нефтяных пластах, включая получение биологического поверхностно-активного вещества, метаболизм нефти и получение газа в качестве побочного продукта метаболизма. Каждый из упомянутых выше способов способствует увеличению текучести нефти, что приводит к добыче остаточной нефти, все еще присутствующей в пласте после стратегий первичного и вторичного извлечения.

МПНП обычно предпринимают в качестве стратегии третичного извлечения в обычных нефтяных пластах. Однако, в силу нестандартной природы битуминозных песков тяжелой нефти и нестандартных способов добычи этой нефти, стратегии МПНП не часто применяют к нефтеносным пескам.

МПНП можно применять к обычной целевой области тяжелой нефти или битуминозной толще пород перед или после применения таких стратегий, как способ ГДПП. МПНП включает либо (1) биостимуляцию, то есть закачивание питательных веществ для стимуляции местных преобладающих и распространенных таксонов, либо (2) биоприрост, то есть закачивание посторонних бактерий, которые считают подходящими для условий пласта.

Высокие температуры паровой камеры ГДПП стерилизуют обычную целевую область нефтеносного песчаного пласта. Поэтому, когда МПНП используют для повышения нефтеотдачи из паровой камеры ГДПП нефтеносного песчаного пласта, МПНП можно применять только либо до того, как пар закачивают в пласт, либо после того, как завершен способ ГДПП и пласт был охлажден до низких температур. В патентной заявке US 14/070095, включенной в данный документ путем ссылки, описан способ закачивания посторонних бактерий до закачивания пара в качестве части ГДПП для увеличения подвижности нефти в пласте тяжелой нефти. В этом способе микроорганизмы вводят в пласт посредством, как закачивания, так и через эксплуатационные скважины до закачивания пара для предварительной обработки пласта для усиленного (более короткого) начала способа ГДПП.

В патенте US 4475590, включенным в данный документ путем ссылки, предоставляют пример биостимуляции в обычном нефтяном пласте в сочетании с технологией заводнения. Заводнение направлено на вытеснение остаточной нефти в пласте водой вместо пара, который применяют в течение способа ГДПП. Аналогично, в патентах US 4971151 и US 5083611, включенных в данный документ путем ссылки, описаны способы, включающие закачивание питательных веществ в обычные нефтяные пласты для повышения нефтеотдачи.

Однако, все эти способы направлены на активные таксоны, присутствующие в относительно большом количестве в микробиологических сообществах, которые приспособлены для местного преобладания в *in situ* условиях (температура, геохимия, соленость, минералогия и т.п.) и которые легко исследовать микробиологическими способами. Впрочем, почти в каждой среде существуют банки засеянных микробиологических организмов, которые включают много видов или таксонов микроорганизмов, присутствующих в относительно очень низком количестве. Эти микробиологические таксоны могут быть неактивными или латентными и могут включать латентные бактериальные эндоспores. Банки засеянных микробиологических организмов могут составлять значительно меньше 0,01% от всех присутствующих клеток и часто существуют в латентном состоянии. В связи с этим, их обычно не обнаруживают или не выделяют с помощью большинства исследований по выделению ДНК и других более традиционных способов определения микробиологических характеристик сред нефтяного пласта.

Кроме того, области подземного пласта за границами паровой камеры ГДПП, такие как наклонные гетеролитические пласты (НГП), могут содержать вплоть до двух раз больше ресурсов нефтеносных песков по сравнению с целевой областью паровой камеры. Однако, добыча нефти в области НГП в течение ГДПП является незначительной. Эта НГП нефть смешана с песком и залегает между тонкими, однако протяженными в боковом направлении, аргиллитовыми слоями с низкой проницаемостью, через которые не может проникать пар. Поэтому не обеспечивается требуемый для вытеснения нефти механизм вытеснения давлением пара. Считают, что нефть в НГП более высокого качества и более ценная, чем нефть в области паровой камеры, так как она меньше подвержена биологическому разложению и менее вязкая ("Impact of oil-water contacts, reservoir (dis)continuity, and reservoir characteristics on spatial distribution of water, gas, and high-water" Fustic et al., 2013, Heavy Oil/Bitumen Petroleum Systems in Alberta & Beyond, Eds. F. J. Hein, J. Sutter, D. A. Leckie, and S. Larter, AAPG Memoir, p. 163-205., включенный в данный документ путем ссылки во всей своей полноте).

На фиг. 4 схематически показан пример обычного целевого стратиграфического подразделения в подземных нефтеносных песках Атабаски. Нижняя область представляет цель для расположения паровой камеры 10, которая является целевой областью для ГДПП. Верхняя область представляет НГП область

20, которая содержит нефть, которая трудно доступна с помощью современных способов. Из НГП подтверждена ограниченная добыча нефти. Диагональные линии в области НГП представляют протяженные в боковом направлении глинистые пласты 30, перемежающиеся пластами дециметрового масштаба тяжелой нефти или протяженными в боковом направлении насыщенными битуминозными пористыми песками. Выше и ниже этих областей вне месторождения существуют флюидоупор снизу 22 и флюидоупор 25 с низкой проницаемостью.

На фиг. 5 показана фотография обнажения нефтеносных песков Атабаски вблизи Форта Макмуррея в Альберте, Канада от Strobl et al. (1997) из Canadian Society of Petroleum Geologists, Memoir 18, pp. 375-391. Стратиграфическое подразделение, показанное на фиг. 4, является характерным для нефтеносных песков Атабаски. Ссылаясь опять на фиг. 5, белые в основном параллельные линии вдоль верхней половины стратиграфического подразделения представляют протяженные в боковом направлении глинистые пласты 30 НГП области 20, и они имеют наклон приблизительно от 6 до 10°. Самый нижний протяженный в боковом направлении аргиллитовый слой 35, обозначенный стрелкой, определяет ожидаемую верхнюю границу ГДПП паровой камеры 10 (как показано исследованиями подземного пласта Strobl et al., 1997, Strobl, 2013).

Нефть в НГП в общем считают захваченной и недоступной. Хотя средства для повышения нефтеотдачи из доступных областей, такие как паровая камера ГДПП, исследованы в значительной степени, доступ к нефти в слое НГП остается проблемным с применением существующих технологий. Существует много инициатив в попытке получить доступ к этой нефти, таких как попытка разрушить аргиллит в НГП с помощью геохимического, электрического способов, способа усиленной экстракции растворителем, включающей электромагнитный нагрев (УЭРВЭН) или термохимического способа для получения доступа к нефти. Однако, до сих пор эти подходы имели очень ограниченный успех.

Поэтому существует необходимость уменьшить, если не преодолеть, недостатки предшествующего уровня техники и, предпочтительно, разработать способ добычи нефти или увеличения добычи нефти из проблемных в настоящее время областей НГП нефтяных пластов.

Краткое описание изобретения

В настоящем изобретении предоставляют способ и систему для добычи нефти из недоступных в настоящее время содержащих нефть стратиграфических подразделений путем активации глубоких биосферных банков засеянных микробиологических организмов. Питательная и тепловая активация микроорганизмов в содержащих нефть стратиграфических подразделениях обеспечивает стимуляцию неактивных и/или латентных микроорганизмов, так что они размножаются и вырабатывают газ. Вязкость нефти, которая уменьшается под воздействием тепла, наряду с давлением газа, вырабатываемого активированными микробами, увеличивает подвижность нефти, что позволяет ранее недоступной нефти течь по направлению к эксплуатационным скважинам.

Целью настоящего изобретения является использование передаваемого теплопроводностью тепла, выработанного ГДПП, объединенного с закачиванием питательного вещества, для обеспечения добычи нефти, захваченной в геологических пластах, таких как НГП. При использовании в сочетании с технологией ГДПП, настоящее изобретение можно назвать способом или системой гравитационного дренажа с применением пара под микробиологическим воздействием (ГДППМВ).

Другой целью настоящего изобретения является доступ к тяжелой нефти, которая недоступна с помощью либо обычных способов добычи нефти, либо ГДПП, такой как в содержащих нефть пластах менее 8 метров толщиной.

Эти тонкие осадочные слои можно термически обработать теплой водой (вплоть до 70°C) для уменьшения вязкости, а также питательными веществами для микробиологической активации (например, латентных термофилов) для облегчения добычи нефти. При таких условиях настоящее изобретение можно назвать способом или системой микробиологически повышенной нефтеотдачи за счет тепловой энергии (МПНТ).

В первом аспекте в настоящем изобретении предоставляют способ извлечения нефти в подземном нефтяном пласте, причем способ содержит стадии: (а) предоставления по меньшей мере одной нагнетательной скважины в подземном пласте, (b) предоставления источника тепла для непрерывного нагрева подземного пласта, (с) закачивания по меньшей мере одного питательного вещества в подземный пласт через по меньшей мере одну нагнетательную скважину, (d) стимулирования активности по меньшей мере одного выделяющего газ микроорганизма, расположенного в подземном пласте, для выработки газового давления и (е) извлечения нефти через эксплуатационную скважину.

Краткое описание чертежей

Воплощения настоящего изобретения ниже описаны путем ссылки на следующие чертежи, на которых одинаковые номера позиций на различных чертежах обозначают одинаковые элементы, и на которых:

на фиг. 1 схематически показан пример стратиграфического подразделения нефтеносных песков под поверхностью Земли с парой нагнетательной и эксплуатационной скважин для обычного ГДПП предшествующего уровня техники,

на фиг. 2 схематически показан пример стратиграфического подразделения нефтеносных песков под поверхностью Земли с парой нагнетательной и эксплуатационной скважин для обычного ГДПП и получающаяся паровая камера предшествующего уровня техники,

на фиг. 3 показана гистограмма рангового порядка распространенности всех микробиологических таксонов в образце среды подземного пласта предшествующего уровня техники,

на фиг. 4 схематически показан пример известного стратиграфического подразделения нефтеносных песков под поверхностью Земли,

на фиг. 5 показана фотография обнажения нефтеносных песков Атабаски вблизи Форта Макмюррея в Альберте, Канада,

на фиг. 6 показана столбчатая диаграмма, представляющая метаболизм бактерий для образцов отложений со дна Северного Ледовитого океана при различных условиях питательных веществ и температуры предшествующего уровня техники,

на фиг. 7 показана линейная диаграмма с разрешением по времени данных, представленных на фиг. 6 предшествующего уровня техники,

на фиг. 8 показана линейная диаграмма отслеживания метаболизма бактерий в зависимости от времени в образцах нефтеносных песков, выдержанных при 50°C,

на фиг. 9А-9С показаны три фазы ГДППМВ, включая схематическое изображение длинной горизонтальной нагнетательной скважины для питательных веществ, пробуренной в области НГП выше паровой камеры ГДПП, воплощения настоящего изобретения,

на фиг. 10А, 10В схематически показаны две фазы одного воплощения настоящего изобретения, где тепловую энергию предоставляют путем закачивания теплой воды и питательных веществ, после чего извлекают нефть.

Чертежи выполнены не в масштабе и некоторые элементы могут быть увеличены или уменьшены для того, чтобы показать особенности конкретных элементов, при этом родственные элементы могли быть устранены для того, чтобы предотвратить затруднение понимания новых аспектов. Поэтому конкретные структурные и функциональные особенности, описанные в данном документе, не нужно интерпретировать как ограничивающие, а только лишь как основу для формулы изобретения и как характерную основу для обучения специалиста различному применению настоящего изобретения.

Подробное описание изобретения

Этот документ относится к нефти как родовому термину. Однако, термин "нефть" можно использовать взаимозаменяемо с терминами тяжелая нефть, сверхтяжелая нефть, природный битум, битуминозные пески, нефтеносные пески и углеводородное сырье. В настоящем изобретении предоставляют способ извлечения нефти из недоступных содержащих нефть стратиграфических подразделений путем активации существующего банка засеянных микробиологических организмов, присутствующего *in situ*. Путем предоставления питательных веществ и тепла неактивным, латентным или мало распространенным микроорганизмам, включая бактериальные эндоспоры, которые расположены в содержащих нефть стратиграфических подразделениях, микроорганизмы могут размножаться и вырабатывать газ для повешения нефтеотдачи посредством повышения давления и/или повышения подвижности нефти. Поставляемое тепло, которое дополнительно понижает вязкость нефти, наряду с давлением газа, выработанного активированными микробиологическими сообществами, которые ранее были неактивными или латентными, наряду с повышенной подвижностью нефти, обусловленной повышенным присутствием газа, объединяются для обеспечения потока ранее недоступной нефти по направлению к нефтяной эксплуатационной скважине.

Известно, что в отложениях существуют микроорганизмы с тепловыми ограничениями роста, которые выше преобладающей *in situ* температуры, как показано на фиг. 6 и 7 и описано далее в этом документе. Эти микроорганизмы обычно существуют как часть неактивного или латентного банка засеянных микроорганизмов пока не изменятся условия окружающей среды, например, путем нагрева или посредством поставки питательных веществ. До ГДПП обычный пласт нефтеносных песков и залегающий выше НГП находится приблизительно при 10°C *in situ*.

Так как нефть из НГП и других недоступных областей считают захваченной и недоступной из-за протяженной природы аргиллитовых слоев с низкой проницаемостью, в настоящее время не существует каких-либо технологий, которые эффективно извлекают нефть из слоев НГП.

В одном из воплощений в настоящем изобретении используют передаваемое теплопроводностью тепло, выработанное с помощью существующих способов теплового воздействия на пласт, таких как ГДПП. Хотя высокие температуры 200°C закаченного пара эффективно стерилизуют саму область паровой камеры, пар не может проникать в залегающие между пластами плотные песок и глинистый раствор НГП. Поэтому, хотя паровая камера при 200°C является стерилизованной, окружающие области подземного пласта не обязательно стерилизуются, потому что они подвергаются более низкой температуре. В настоящем изобретении используют тепло от закаченного пара, которое передается посредством теплопроводности через как аргиллит, так и через пласты насыщенных нефтью песков области НГП, контактирующей с камерой ГДПП. Это создает температурный градиент от края горячей паровой камеры (~200°C) до областей, который находятся при температуре окружающей среды (~10°C).

Например, для паровой камеры ГДПП, которая находится приблизительно на 400 м ниже подземного пласта, обусловленный теплопроводностью температурный градиент распространяется вверх на десятки метров до высоты, на которой температура окружающей среды подземного пласта не изменяется. В связи с этим, большая часть НГП имеет температуры, которые намного выше предшествующих температур *in situ* ($<10^{\circ}\text{C}$), однако ниже тех, которые считают верхним температурным пределом для жизни микробов ($\sim 121^{\circ}\text{C}$). Эти температуры являются предпочтительными условиями для активации латентных членов банка засеянных микроорганизмов, таких как эндоспоры термофильных бактерий, которые развиваются и растут в ответ на повышение температуры.

Кроме того, в этом воплощении, при условии, что отложения и нефть в НГП нагревают без дополнительного потребления мощности, связанные с этим выбросы парникового газа CO_2 и энергетические затраты, связанные с добычей нефти, не обязательно увеличиваются от данного действия. Следовательно, общие выбросы вызывающих парниковый эффект газов на баррель нефти уменьшаются и можно уменьшить отношение пара к нефти.

Передаваемое теплопроводностью тепло также уменьшает вязкость нефти и увеличивает подвижность нефти, которая в другом случае является недоступной для пара в областях за пределами и/или выше паровых камер. Однако, хотя нагретая нефть в НГП имеет вязкость, пониженную до настолько низкого уровня, что она может течь, примерно 10 сПз, отсутствует давление для движения ее через самые нижние протяженные в боковом направлении глинистые слои в паровой камере ГДПП, в которой расположена эксплуатационная скважина (см. фиг. 1 и 2).

В другом воплощении в настоящем изобретении способствуют получению газа с помощью микроорганизмов в НГП. Получение газа, в свою очередь, увеличивает подвижность нефти и обеспечивает вытеснение давлением для добычи нефти.

В одном из воплощений настоящего изобретения размножение этих микроорганизмов из банка засеянных микроорганизмов усиливают путем оптимизации условий окружающей среды для данной группы или групп микробов. Эту оптимизацию можно обеспечить с помощью питательного вещества и/или закачивания микробиологических клеток в НГП. В одном аспекте газ, выработанный размножающимися микробами, обеспечивает давление для вытеснения нефти в эксплуатационную скважину через насыщенные нефтью промежутки, находящиеся между протяженными в боковом направлении, слегка наклоненными (часто от 6 до 10°) глинистыми слоями.

На фиг. 6 показана столбчатая диаграмма, представляющая метаболизм бактерий для образцов отложений со дна Северного Ледовитого океана при различных условиях питательных веществ и температуры. Этот график основан на Hubert et al. (2010) *Environmental Microbiology* 12:1089-1104 в сочетании с неопубликованными данными. Проанализированные образцы являются характерными отложениями из постоянно холодных ($\sim 4^{\circ}\text{C}$) подземных областей. В связи с этим, эти образцы включают однородные микробиологические сообщества, содержащие множество штаммов. Образцы выдерживали в течение 5 суток при четырех наборах условий:

- (1) $\sim 4^{\circ}\text{C}$ без питательных веществ,
- (2) $\sim 50^{\circ}\text{C}$ с питательными веществами,
- (3) $\sim 50^{\circ}\text{C}$ с простыми питательными веществами (каждый, 1 мМ семи различных органических кислот, C_2 - C_4 соединения), и
- (4) $\sim 50^{\circ}\text{C}$ со сложными питательными веществами ($2,5 \text{ мг}\cdot\text{см}^{-3}$ сублимированных водорослей).

Микробиологический метаболизм, меру микробиологического размножения, определяли путем измерения восстановления сульфатов в экспериментах. При температуре *in situ* ($\sim 4^{\circ}\text{C}$) и без питательных веществ наблюдается минимальный микробиологический метаболизм или активность. Поэтому термофильные микроорганизмы в образце можно считать латентными при температуре *in situ*. Когда температуру повышали до 50°C , метаболизм термофильных организмов становился явным, что указывает на температурную зависимость активации латентных бактериальных эндоспор.

Со ссылкой на фиг. 6, добавление простых питательных веществ при 50°C усиливало микробиологический метаболизм до двух раз и до четырех раз с более сложными питательными веществами. Поэтому можно способствовать активации и увеличить активацию латентных микроорганизмов в отложении путем добавления тепла и питательных веществ, с более сложными питательными веществами, обеспечивающими более благоприятную окружающую среду для роста и метаболизма. на фиг. 7 показаны три группы при 50°C , представленные на фиг. 6, в виде линейной диаграммы, показывающей микробиологический метаболизм с течением времени. Помимо относительного размножения микроорганизмов при различных условиях, на этом графике дополнительного показано, что латентные микроорганизмы активируются до 50 часов быстрее при обогащении питательными веществами.

Тип выработанного микроорганизмами газа зависит от преобладающих условий, таких как доступные питательные вещества, а также конкретных рассматриваемых организмов. Поэтому выработанные газы включают (но не ограничены перечисленным): диоксид углерода, метан, азот, аммиак, водород и сероводород.

Со ссылкой на фиг. 8, где показана линейная диаграмма отслеживания метаболизма бактерий в зависимости от времени для образцов отложений из пласта нефтеносных песков, выдержанных при 50°C .

На этом графике прослеживают метаболизм анаэробных бактерий в зависимости от времени в образцах нефтеносных песков, выдержанных при 50°C в присутствии питательных веществ или без питательной добавки. Испытывали две глубины из одного и того же пласта нефтеносных песков, и показано среднее из параллельного анализа экспериментальных сосудов для каждого условия. Данный эксперимент аналогичен культивированиям, показанным на фиг. 6 и 7, и показывает, что латентные термофилы можно активировать в нефтеносных песках, которые испытывают воздействие высокой температуры. Питательная добавка требовалась для того, чтобы стимулировать анаэробный метаболизм термофилами в образцах нефтеносных песков. Эти нефтеносные пески получали из замороженных образцов породы из скважины, которую пробурили до ГДПП, так что нагрев происходил только в экспериментах. Испытывали две глубины (приблизительно 412 и 430 м ниже поверхности), каждую трижды. Неизменные контрольные образцы для каждой глубины испытывали дважды.

На фиг. 9А, 9В и 9С схематически показано одно воплощение настоящего изобретения. В этом воплощении длинную горизонтальную нагнетательную скважину 40 для питательных веществ пробуривают в НПП области 20 выше паровой камеры 10 ГДПП. В воплощении, показанном на фиг. 9В, газ 80 может вырабатываться микробами, которые активируются под влиянием нагретых посредством теплопроводности слоев НПП. В воплощении, показанном на фиг. 9С, питательные вещества 50 закачивают из резервуара 60 на поверхности. Закаченные питательные вещества 50 выдерживают в нагретой посредством теплопроводности НПП области 20 в течение ГДПП, происходящего в паровой камере 10 ниже. Латентные микроорганизмы 70, которые можно активировать переданным теплопроводностью теплом, как показано на фиг. 9В, дополнительно активируют и усиливают с помощью закаченных питательных веществ 50, для получения газа 80. В одном из воплощений газ 80, выработанный активированными термофильными микробами 70b, улучшает подвижность нефти и/или обеспечивает давление для нефти, залегающей между протяженными в боковом направлении глинистыми пластами 30, для течения вниз вдоль наклонных глинистых пластов в паровую камеру 10 ниже для добычи нефти.

В другом аспекте настоящего изобретения выделение газа микробами усиливают путем определения и использования оптимальных питательных составов и температурных условий для способствования максимальной активации и размножению микробов. Питательные составы можно определить на основе либо (1) специального знания о банке засеянных микробиологических организмов и анаэробном микробиологическом метаболизме, либо (2) на основе конкретного микробиологического сообщества, присутствующего в данном пласте. Последние составы можно приготовить путем лабораторного предварительного определения зависящих от местных условий характеристик банка засеянных микробиологических организмов данной области НПП с использованием образцов, отобранных из этой области НПП. Предварительное определение характеристик может включать изучения того, как наилучшим образом стимулировать конкретный банк микроорганизмов при различных ожидаемых температурах. Образцы из отложений НПП обычно должны быть доступны из образцов породы, полученных при бурении, отобранных в течение разведки подземного пласта или в течение бурения пар нагнетательных и эксплуатационных скважин ГДПП.

Питательные составы могут содержать питательные субстраты, которые являются органическими соединениями на основе углерода, соединениями азота и фосфора, металлическими соединениями, витаминами или различными акцепторами электронов типа кислорода, нитрата, оксидов и сульфатов металлов. Питательные составы могут быть специальными и зависящими от местных условий, как описано выше, или могут быть стандартно применяемыми на основе специального знания общей физиологии анаэробной микробиологической общности, способной к выделению газа.

В одном из воплощений целью настоящего изобретения является вытеснение нефти по направлению к паровой камере вдоль слабого наклона протяженных в боковом направлении глинистых пластов, а не попытка пробить аргиллитовую границу паровой камеры, как в существующих технологиях. В связи с этим, в некоторых воплощениях в настоящем изобретении используют существующие нефтяные эксплуатационные скважины 7, например, показанные на фиг. 1 и 2, для добычи нефти из области НПП. В некоторых воплощениях заявленного изобретения в области НПП бурят дополнительные эксплуатационные скважины.

Преимущество некоторых воплощений настоящего изобретения включает уменьшение затрат при добыче нефти на баррель добытой нефти относительно обычного способа ГДПП, потому что затраты, связанные с закачиванием питательных веществ ниже затрат на выработку пара. В связи с этим, воплощения настоящего изобретения дают значительное увеличение добычи нефти только с небольшим увеличением затрат на дополнительные скважины для питательных веществ и без какого-либо изменения способа ГДПП.

Дополнительное преимущество воплощений настоящего изобретения состоит в том, что они ориентированы на то, чтобы уменьшить отношение пара к нефти. Поэтому, с тем же количеством пара в обычном способе ГДПП, в воплощениях настоящего изобретения обеспечивают значительно большее количество добываемой нефти и, посредством этого, можно уменьшить относительное количество выбросов образующих парниковый эффект газов на единицу добытой нефти.

Кроме того, так как нефть в области НПП в меньшей степени подвержена биологическому разложению и является менее вязкой, чем нефть в паровой камере, она является коммерчески более ценной. Да-

лее, уменьшенная вязкость требует меньше энергии для течения через нефтяные эксплуатационные скважины.

Кроме того, при нагреве менее подверженная биологическому разложению нефть из области НГП является соответствующей для поддержки активности микробов с выделением газа, если ее все еще можно дополнительно биологически разложить. В связи с этим, в некоторых воплощениях настоящего изобретения нефть, естественно присутствующая в области НГП, может потребляться как форма питательных веществ для роста микробов.

В другом воплощении настоящего изобретения микробиологические клетки можно закачать в область НГП в виде формы биоприроста. Зависящее от местных условий лабораторное испытание требуется для определения идеальных питательных составов и/или составов биоприроста. В одном воплощении настоящего изобретения закаченные клеточные запасы могут происходить из банка засеянных микробиологических организмов, выделенных и культивированных из соответствующих образцов, полученных при бурении пласта. В другом воплощении настоящего изобретения закачиваемые клетки могут быть стандартными микробиологическими веществами или сообществами, известными как выделяющие газ при условиях высокой температуры в отсутствие кислорода.

В некоторых воплощениях настоящего изобретения может потребоваться доступ к большей части области НГП. В связи с этим, в настоящем изобретении рассматривают воплощения, включающие более одной нагнетательной скважины для питательных веществ. Нагнетательные скважины для питательных веществ можно пробурить с различными диаметрами, глубинами (неглубокие или глубокие), горизонтально, направленно и/или вертикально, в зависимости от целевой области для закачивания питательных веществ. Решение бурить меньше или больше нагнетательных скважин для питательных веществ, или горизонтальных и/или вертикальных скважин, может быть основано на характеристиках конкретного места и вычисленных отношениях стоимости/выгоды.

В некоторых воплощениях настоящего изобретения можно использовать горизонтальные скважины, предназначенные для стимуляции конкретных областей в геологическом пласте на основе температурных или микробиологических условий. В другом воплощении настоящего изобретения горизонтальные скважины могут быть аналогичными горизонтальным скважинам ГДПП. Горизонтальные скважины также могут быть вплоть до 1 км длиной или длиннее в горизонтальном направлении и/или достигать области всего нефтяного пласта.

В одном из воплощений настоящего изобретения нагнетательные скважины для питательных веществ можно пробурить из того же положения на поверхности или инфраструктуры, как и существующие эксплуатационные скважины, такие как буровые площадки эксплуатационных скважин ГДПП. Поэтому в некоторых воплощениях, в которых применяют данную технологию в сочетании с другим способом добычи нефти, таким как способ ГДПП, эти дополнительные скважины вероятно представляют меньшее приращение затрат на развертывание оборудования.

В другом воплощении настоящее изобретение можно использовать в обычно недоступной зоне, такой как область НГП, до или после способа ГДПП. Доступно только тепло, вырабатываемое с помощью стратегий теплового повышения нефтеотдачи, таких как способ ГДПП, при этом способ ГДПП является активным и успешным. Поэтому, когда настоящее изобретение используют до или после способа ГДПП, для теплового повышения нефтеотдачи можно закачивать теплую воду для поддержания оптимальных температурных условий для активации банка засеянных микробиологических организмов, размножения микробов и выработки газа. Теплую воду можно закачивать непрерывно или периодически. В некоторых воплощениях настоящего изобретения теплую воду можно закачивать с питательными веществами и/или микробами.

В одном из воплощений настоящего изобретения теплую воду можно закачивать в течение способа ГДПП для добавления тепла в конкретной области НГП.

В другом воплощении способ по настоящему изобретению может включать зависящие от местных условий контрольные испытания и приготовления для повышения нефтеотдачи пласта, включающие:

(1) отбор проб подземного месторождения из представляющего интерес места(мест) нефтяного пласта, например, образцов кернов, полученных при бурении НГП,

(2) анализ микробного разнообразия, нацеленный на редкие засеянные организмы банка, и лабораторное определение характеристик микробиологических сообществ в отложениях *in situ* в пласте -они могут включать выращивание при градиенте температуры, которые моделируют ГДПП нагрев посредством теплопроводности НГП,

(3) лабораторное определение субстратов, питательных веществ, температур, которые являются оптимальными для выделения газа микробиологическими сообществами, являющимися латентными, однако присутствующими в отложениях из представляющего интерес места,

(4) моделирование теплового нагрева с течением времени, например, посредством моделирования нагрева посредством теплопроводности от паровой камеры, для определения высокотемпературных условий для оптимального выделения газа микробами на основе физиологии засеянных микробиологических организмов банка без дополнительного вмешательства,

(5) моделирование дополнительного выделения газа, если питательные вещества поставляют в латентное микробиологическое сообщество, и/или поиск начала развития бактериальных эндоспор, которое может происходить в ответ на температуру и/или питательные вещества, и

(6) применение на практике улучшенной стратегии добычи нефти в представляющем интерес месте нефтяного пласта.

Настоящее изобретение включает способ добычи нефти из нефтяного пласта под поверхностью Земли. В этом способе обеспечивают нагнетательную скважину в подземном пласте для закачивания по меньшей мере одного питательного вещества. Обеспечивают источник тепла для непрерывного нагрева подземного пласта до, в течение или после закачивания по меньшей мере одного питательного вещества.

Выделяющие газ микроорганизмы, расположенные в подземном пласте, выращивают для выработки давления газа, которое вытесняет нефть в эксплуатационную скважину для добычи.

В одном из воплощений настоящего изобретения отмеченные выше стадии закачивания, выращивания и добычи можно циклически повторять. В другом воплощении настоящего изобретения добычу нефти можно выполнять одновременно с выращиванием микробов с помощью питательных веществ.

В дополнительном воплощении настоящее изобретение можно применить к засеянным микробиологическим организмам банка в подземных пластах тяжелой нефти, которые в настоящее время недоступны для, или притягательны для, обычных и/или тепловых (то есть ГДПП) способов, таких как относительно тонкие слои насыщенных нефтью песков, например, которые менее 8 метров толщиной. В таких тонких пластовых зонах способ ГДПП обычно не применяют, так как он считается экономически нестоятельным. В этом воплощении, так как тепловую энергию нельзя получить из сопутствующей тепловой стратегии, такой как способ ГДПП, тепловую энергию необходимо вводить в отложение другими средствами.

В одном из воплощений настоящего изобретения тепловую энергию можно поставлять в целевую область путем закачивания теплой воды, как упоминали ранее. на фиг. 10А показана первая фаза такого воплощения. Нагнетательная скважина 40 для питательных веществ закачивает теплую воду, питательные вещества и, при необходимости, микробы 55 из резервуара 60 на поверхности. В одном из воплощений настоящего изобретения теплая вода, питательные вещества и, при необходимости, микробы 55 постоянно текут в нефтяной пласт 25 для уменьшения вязкости с помощью тепла и активации и выращивания микробиологического сообщества, включая латентные микроорганизмы банка, чтобы оно выделяло газ, который повышает подвижность нефти и/или обеспечивает давление вытеснения нефти для добычи.

На фиг. 10В показано одно воплощение второй фазы воплощения настоящего изобретения, показанного на фиг. 10А. В этом воплощении нагнетательная скважина 40 для питательных веществ также может выполнять функцию эксплуатационной скважины. В одном воплощении нагретая, и поэтому менее вязкая нефть, вытесняется газом, выработанным микроорганизмами на первой фазе (фиг. 10А), по направлению к эксплуатационной скважине (фиг. 10В).

Температуру теплой воды можно изменять в зависимости от предпочтений целевого микробиологического сообщества. Теплая вода нагревает отложения и, наряду с питательными веществами, уменьшает вязкость нефти и может вносить вклад в повышение давления в пласте. Таким образом, приспособленные к высоким температурам микробы активируются и размножаются с выделением газа, который повышает давление и/или подвижность *in situ*, что приводит к повышенным потоку и добыче нефти.

В одном из воплощений настоящего изобретения теплую воду можно закачать для облегчения добычи нефти и цикл закачивания/добычи продолжается с повторением. В некоторых воплощениях период циклов закачивания/добычи может зависеть от пласта и его можно определить с помощью предшествующих попыток при обычной добыче нефти при низкой температуре.

В одном воплощении настоящего изобретения такие чередующиеся циклы могут продолжаться до тех пор, пока не прекратится добыча нефти. В другом воплощении настоящего изобретения выращивание микроорганизмов в подземных отложениях с помощью теплой воды и питательных веществ может продолжаться более нескольких месяцев. В дополнительном воплощении настоящего изобретения добыча нефти может продолжаться вплоть до 6 месяцев и более.

В некоторых воплощениях настоящего изобретения нагнетательные скважины для питательных веществ и/или закачивания теплой воды также можно использовать для добычи нефти.

В некоторых воплощениях настоящего изобретения дополнительную тепловую энергию, поставляемую теплой водой, можно использовать для дополнительной первичной добычи нефти при низких температурах или для вторичной добычи нефти, такой как технология заводнения.

Специалист может теперь представить альтернативные структуры и воплощения или их изменения, все из которых, как предполагается, находятся в пределах области защиты изобретения, определенной в следующей формуле изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ добычи нефти из подземного нефтяного пласта, где способ включает стадии:

(a) предоставления по меньшей мере одной нагнетательной скважины в подземном пласте,

(b) предоставления источника тепла для нагрева подземного пласта и активирования по меньшей мере одного присутствующего *in situ* латентного выделяющего газ микроорганизма из глубокого биосферного банка засеянных микроорганизмов, расположенного в подземном пласте, и поддержание тем-

пературы от температуры выше температуры *in situ* до температуры ниже верхнего предела для жизни микроорганизмов;

(с) закачивания по меньшей мере одного питательного вещества в подземный пласт по меньшей мере через одну нагнетательную скважину,

(d) стимулирования активности по меньшей мере одного присутствующего *in situ* латентного выделяющего газ микроорганизма глубокого биосферного банка засеянных микроорганизмов, расположенного в подземном пласте, для выработки газового давления, и

(е) добычи нефти через эксплуатационную скважину.

2. Способ по п.1, в котором источником тепла является передаваемое теплопроводностью тепло, представляющее собой побочный продукт от добычи нефти путем гравитационного дренажа с применением пара.

3. Способ по п.1, в котором источником тепла является теплая вода.

4. Способ по п.1, в котором стадии (b) и (с) в способе выполняют либо поочередно, либо одновременно.

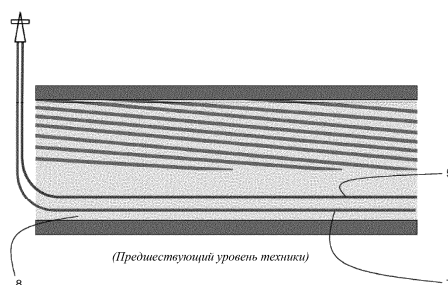
5. Способ по п.1, дополнительно включающий закачивание в подземный пласт по меньшей мере одного выделяющего газ микроорганизма по меньшей мере через одну нагнетательную скважину.

6. Способ по п.1, в котором по меньшей мере один присутствующий *in situ* латентный выделяющий газ микроорганизм из глубокого биосферного банка засеянных микроорганизмов является бактерией.

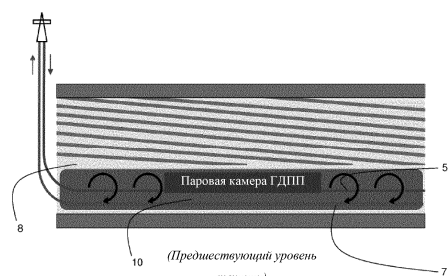
7. Способ по п.1, в котором нефть представляет собой один вид нефти из тяжелой нефти, битума, труднодоступной нефти и традиционной нефти.

8. Способ по п.1, в котором по меньшей мере одна нагнетательная скважина также является эксплуатационной скважиной.

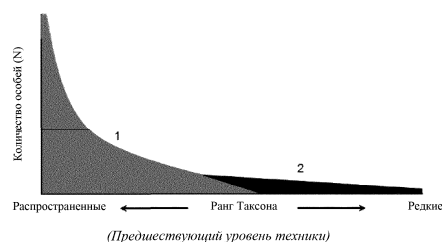
9. Способ по п.1, в котором присутствующий *in situ* латентный выделяющий газ микроорганизм представляет собой образующие эндоспores термофильные бактерии.



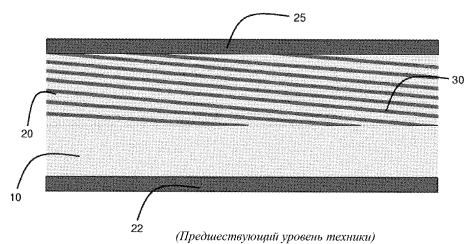
Фиг. 1



Фиг. 2



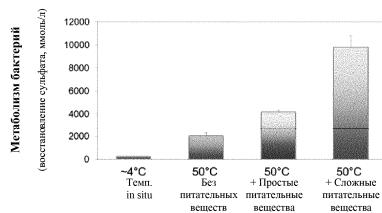
Фиг. 3



Фиг. 4

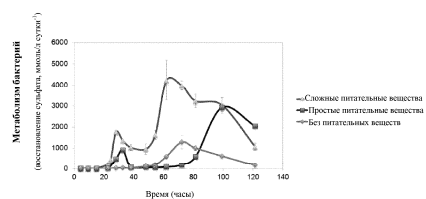


Фиг. 5



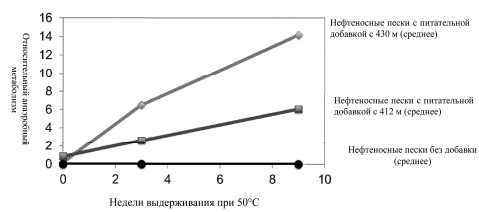
(Предшествующий уровень техники)

Фиг. 6

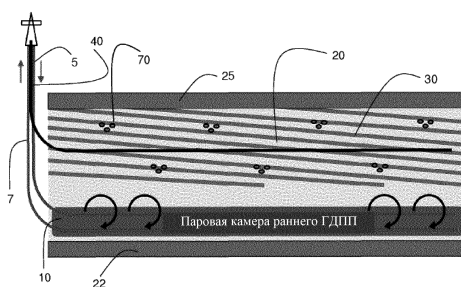


(Предшествующий уровень техники)

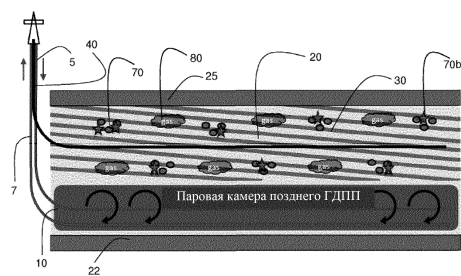
Фиг. 7



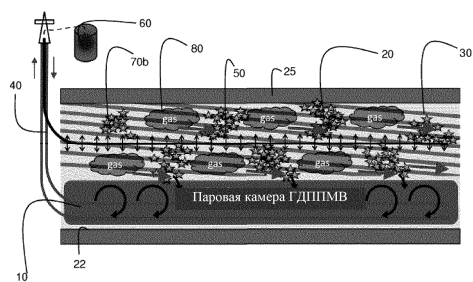
Фиг. 8



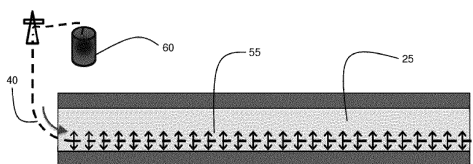
Фиг. 9А



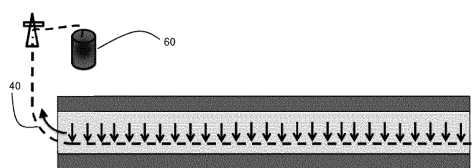
Фиг. 9В



Фиг. 9С



Фиг. 10А



Фиг. 10В