



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
 ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2002130819/03, 23.03.2001

(24) Дата начала действия патента: 23.03.2001

(30) Приоритет: 19.04.2000 US 60/198,301

(43) Дата публикации заявки: 20.04.2004

(45) Опубликовано: 10.11.2005 Бюл. № 31

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: US 4185693 A, 29.01.1980.
 SU 1487558 A1, 08.06.1987.
 SU 71038 A, 04.09.1959.
 SU 1278445 A1, 23.12.1986.
 SU 1090265 A, 30.04.1984.
 SU 1078976 A1, 20.02.1995.
 US 3284281 A, 08.11.1966.
 US 4047760 A, 13.09.1977.

(85) Дата перевода заявки РСТ на национальную фазу: 19.11.2002

(86) Заявка РСТ:
 US 01/09247 (23.03.2001)

(87) Публикация РСТ:
 WO 01/81505 (01.11.2001)

Адрес для переписки:
 129010, Москва, ул. Б.Спасская, 25, стр.3,
 ООО"Юридическая фирма Городисский и
 Партнеры", пат.пов. Г.Б. Егоровой

(72) Автор(ы):

ПАССИ Квинн Р. (US),
 ТОМАС Мишель М. (US),
 БОХАКС Кевин М. (US)

(73) Патентообладатель(ли):

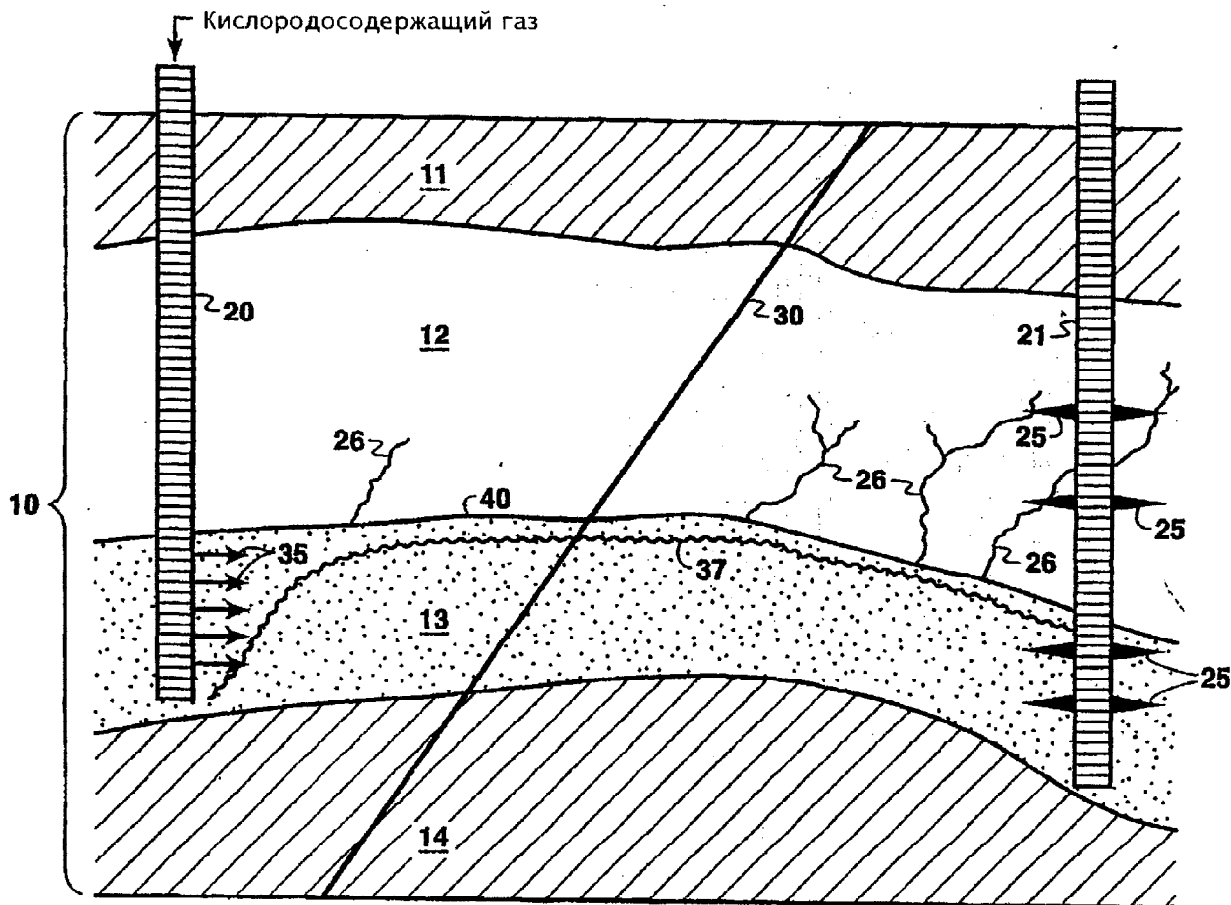
ЭКСОНМОБИЛ АПСТРИМ РИСЕРЧ КОМПАНИ
 (US)

(54) СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ ИЗ БОГАТОЙ ОРГАНИЧЕСКИМИ СОЕДИНЕНИЯМИ ПОРОДЫ

(57) Реферат:

Изобретение относится к получению углеводородов из богатой органическими соединениями породы, такой как керогеноносные подземные сланцевые месторождения. Более конкретно, изобретение относится к использованию пластов, имеющих свойство коллектора в качестве источника теплоты для превращения керогена в углеводороды. Обеспечивает ускорение превращения керогена в углеводороды в подземном месторождении. Сущность изобретения: способ предполагает содержание богатую

органическими соединениями породы, расположенной рядом с пластами, имеющими свойство коллектора. В пластах, имеющих свойство коллектора, вырабатывают достаточное количество тепла, такое, чтобы оно нагревало богатую органическими соединениями породу в подземной формации и ускорило превращение керогена в углеводороды в этом месторождении. В соответствии с вариантами способа в коллектор нагнетают кислородсодержащий газ, в том числе с условием повышения температуры в коллекторе до 220°C. 3 н. и 10 з.п. ф-лы, 3 ил.



Фиг. 1

RU 2263774 C2

RU 2263774 C2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: **2002130819/03, 23.03.2001**
 (24) Effective date for property rights: **23.03.2001**
 (30) Priority: **19.04.2000 US 60/198,301**
 (43) Application published: **20.04.2004**
 (45) Date of publication: **10.11.2005 Bull. 31**
 (85) Commencement of national phase: **19.11.2002**
 (86) PCT application:
US 01/09247 (23.03.2001)
 (87) PCT publication:
WO 01/81505 (01.11.2001)

Mail address:
129010, Moskva, ul. B.Spasskaja, 25, str.3,
OOO"Juridicheskaja firma Gorodisskij i
Partnery", pat.pov. G.B. Egorovoj

(72) Inventor(s):
PASSI Kvinn R. (US),
TOMAS Mishel' M. (US),
BOKhAKS Kevin M. (US)
 (73) Proprietor(s):
EhKSONMOBIL APSTRIM RISERCh KOMPANI
(US)

RU 2 263 774 C2

(54) **MEHTOD FOR OBTAINING HYDROCARBONS FROM ROCK RICH IN ORGANIC COMPOUNDS**

(57) Abstract:

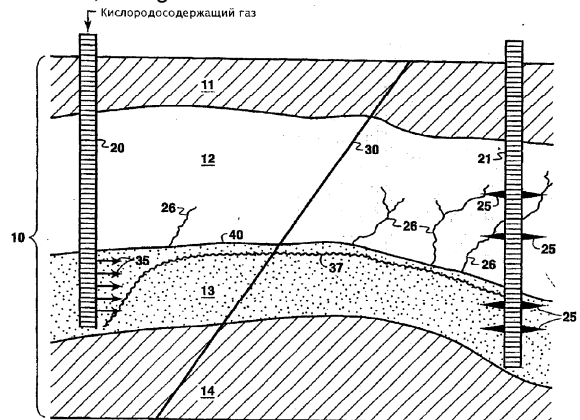
FIELD: hydrocarbon production, particularly to obtain hydrocarbons from kerogen-bearing underground shales deposits and to use formations exhibiting reservoir properties as heat sources to convert kerogen into hydrocarbons.

SUBSTANCE: method involves using rock rich in organic compounds and located near formations exhibiting reservoir properties; generating heat in above formations, wherein the heat is enough to rise temperature of rock rich in organic compounds in underground formation to increase rate of kerogen conversion into hydrocarbons. To realize above method oxygen-containing gas is injected into reservoir to increase reservoir temperature up to 220°C.

EFFECT: increased rate of kerogen conversion

into hydrocarbons.

13 cl, 3 dwg



Фиг. 1

RU 2 263 774 C2

Данное изобретение относится к получению углеводородов из богатой органическими соединениями породы, такой как керогеноносные подземные сланцевые месторождения. Более конкретно, изобретение относится к использованию пластов, имеющих свойство коллектора, в качестве источника теплоты для превращения керогена в углеводороды.

5 Начиная с середины 19-го века, когда началось промышленное использование и производство жидких углеводородов, ученые осуществляли поиск экономичной экстракции углеводородов из богатых органическими соединениями пород, таких как битумный сланец. Исторически и в настоящее время практически все углеводороды получают из подземных пластов-коллекторов и месторождений. Такие углеводородсодержащие коллекторы, 10 содержащие природный газ и/или нефть, обычно содержат проницаемую и пористую породу, такую как песчаник или известняк (карбонат). Часто подобные виды пород служат ловушками для углеводородов и могут использоваться в промышленности в качестве коллекторов для нефти или газа. Как только через пласт-коллектор пробурили скважину, из него можно добывать углеводороды в промышленных количествах. Иногда для 15 увеличения или ускорения добычи из этих коллекторов могут потребоваться способы обработки скважин, такие как гидравлический разрыв пласта или кислотная обработка.

Пласты-коллекторы и месторождения, такие как песчаник и карбонат, однако, не являются первоначальными источниками углеводородов. Эти коллекторы обычно представляют собой породы, в которые в течение геологического времени переместились 20 углеводороды. Настоящими так называемыми «нефтематеринскими породами» являются богатые органическими соединениями породы, из которых первоначально получают углеводороды. Обычной нефтематеринской породой является сланец, содержащий предшественник углеводорода, известный под названием кероген. Кероген представляет собой сложное органическое вещество, являющееся продуктом первоначального 25 биологического органического вещества, погребенного под землей и глинами, которое в конечном итоге образует сланцевые породы. Как правило, кероген прочно связан внутри породы и превращается в углеводороды только под действием температур свыше 100°C, обычно при значительном заглублении. Этот процесс протекает крайне медленно и происходит в течение геологического времени. Со временем, при подходящих условиях, 30 углеводороды внутри сланца или других нефтематеринских пород будут перемещаться (часто через естественные разрывы, трещины и разломы), пока не достигнут ловушки коллектора, такого как месторождения песчаника или карбоната.

Нефтематеринские породы, которые еще не высвободили свой кероген в виде углеводородов, называются «бедными» нефтематеринскими породами. Однако эти бедные 35 нефтематеринские породы содержат подавляющее большинство погребенного органического вещества в земной коре. По оценкам, менее 1% органического вещества находится в форме углеводородов, содержащихся в породе коллекторов. Значительно большая часть все еще находится в виде керогена и, таким образом, представляет собой огромный неиспользованный источник энергии.

40 К сожалению, кероген нелегко извлечь из сланца или других нефтематеринских пород. Керогеноносные породы вблизи поверхности можно разработать и раздробить, а затем способом, известным как сухая перегонка, размолотый сланец можно нагреть до высоких температур, в результате чего кероген превратится в жидкие углеводороды. Промышленные и экспериментальные способы шахтной разработки и сухой перегонки для 45 производства углеводородов из сланца проводились с 1862 года в различных странах по всему миру. В 1970-х и 1980-х годах несколько нефтяных компаний осуществляли эксплуатацию опытных установок на битумном сланце в бассейне Piceance Колорадо, где находятся большие высококачественные запасы горючего сланца. Более недавним проектом является проект Стюарта по горючему сланцу (Stuart Oil Shale Project) в 50 Австралии, в котором используют вращающуюся реторту для нагрева сланца до 500°C. В разработке битумного сланца на поверхности имеется ряд недостатков, делающих его разработку более дорогостоящей по сравнению с обычной добычей углеводородов. Эти недостатки включают в себя высокую стоимость шахтной разработки, дробления и сухой

перегонки сланца и природоохранные затраты на вывоз размолотого сланца, приведение в порядок рабочего участка и операции по очистке реторты и относящейся к ней установки.

5 Вследствие высоких затрат, связанных с разработкой битумного сланца на поверхности, и из-за того, что основная часть сланца находится на глубинах, слишком больших для шахтной разработки, производились попытки разработки битумного сланца с использованием способов *in situ*. При обработке *in situ* исключаются затраты на шахтную разработку, дробление, обработку и устранение сланцевой породы. Пробное испытание методики сухой перегонки горючего сланца было проведено на горючем сланце Green River в Колорадо в 1970-х и 1980-х годах. Согласно этому способу *in situ* битумный сланец
10 сначала дробят на большие куски с помощью взрывчатых веществ, а затем кероген сжигают *in situ* путем нагнетания воздуха в месторождение сланца. При пробной эксплуатации, осуществленной Occidental Petroleum и Rio Blanco в 1970-х и 1980-х годах, воздух нагнетали в верхнюю часть зоны дробления. После этого битумный сланец воспламенялся, и фронт горения перемещался вниз по зоне. Перегнанную нефть отводили
15 на дно зоны и собирали. В другом опытном проекте, разработанном Geokinetics, воздух нагнетали в стволы скважин на одном конце зоны дробления, а фронт горения двигался горизонтально. Сланец перегонялся перед фронтом горения, а полученную нефть снова отводили на дно кладки и добывали из скважин, расположенных на противоположном конце резервуара дробления.

20 В модификации обычного способа конверсии *in situ* размолотого сланца используют горячие дымовые газы от подземной переработки угля. В этом предлагаемом способе неглубоко залегающий пласт сланца дробят для получения горизонтальной реторты. Газификацию и сжигание *in situ* осуществляют поблизости от месторождения угля, отделенного от битумного сланца «непродуктивным» месторождением (для того, чтобы
25 горение не начиналось в раздробленном битумном сланце). Горячие инертные дымовые газы от переработки угля направляют к одному из концов раздробленного пласта сланца по скважине, связывающей месторождение угля с месторождением сланца. Горячие дымовые газы проходят горизонтально через раздробленное месторождение сланца, осуществляя сухую перегонку битумного сланца и вынося битумный сланец к
30 разработочным скважинам. По оценке, рабочие периоды составляют около 20 дней. Что касается других реторт для сухой перегонки битумного сланца *in situ*, то входящее в этот способ дробление сланца-ограничивает их до очень небольших глубин.

В патенте США 5868202 описан способ использования расположенного рядом «источника» водоносного пласта или трещины для доставки экстрагирующей жидкости,
35 содержащей топливо и кислород, к битумному сланцу. Воспламененная экстрагирующая жидкость движется под давлением через сланцы, выделяя тепловую энергию, горячие газы или углеводороды. Продукты экстракции перемещаются в соседний «отводной» водоносный пласт, из которого их добывают. Этот способ очень сложен для осуществления, поскольку в нем необходим контролируемый поток экстрагирующей
40 жидкости через битумный сланец.

Другие способы *in situ* включают в себя непосредственное нагревание битумного сланца, а не сжигание. Было предпринято несколько попыток использования микроволнового или прочего электромагнитного нагревания для нагрева нефтематеринской породы. Более прямой подход, первоначально разработанный в
45 Швеции, основывается на теплопереносе от нагретых скважин. В наиболее недавнем из этих способов используют теплоту, производимую либо электронагревателем, либо газовым отопительным прибором, для повышения температур ствола скважины до 600°C. При расположенных на расстоянии 0,6 м друг от друга опытных скважинах месторождение сланца достигало температуры около 300°C и вырабатывало нефть. Однако в этом способе
50 скважины расположены чрезвычайно близко друг к другу, и для достижения промышленных объемов добычи углеводородов потребовалось бы множество скважин.

В целом, различные способы разработки *in situ* нефтематеринской породы были непривлекательны с промышленной точки зрения. Поэтому необходим способ *in situ*,

позволяющий эффективно превращать кероген в производимые углеводороды, такой, чтобы керогеноносные месторождения сланца могли стать промышленно эксплуатируемыми.

5 Цель данного изобретения состоит в способе ускорения превращения керогена в углеводороды в подземном месторождении. Подземное месторождение содержит богатую органическими соединениями породу, такую как битумный сланец, и расположено рядом с пластами, имеющими свойство коллектора. Предпочтительно, пласты, имеющие свойство коллектора, расположены под богатой органическими соединениями породой. Теплота вырабатывается в пластах, имеющих свойство коллектора, в количестве, достаточном для
10 того, чтобы ускорить превращение керогена в углеводороды в богатой органическими соединениями порода.

В одном из вариантов воплощения изобретения для получения теплоты используют сжигание углеводородов *in situ* в пластах, имеющих свойство коллектора. Предпочтительно, эти углеводороды присутствуют в пластах от природы. Сжигание можно
15 поддерживать путем нагнетания в пласты воздуха или кислородсодержащего газа. Хотя предпочтительным является способ сжигания, тепло можно вырабатывать в пластах также путем нагнетания перегретого пара или за счет экзотермической химической реакции.

Температуру в некоторой части подземного месторождения, содержащего богатую органическими веществами породу, необходимо поднять до уровня, при котором
20 превращение керогена в углеводороды ускоряется. Для достижения практической скорости превращения керогена в углеводороды предпочтительная температура должна составлять, по меньшей мере, около 220°C, а более предпочтительно, примерно выше 250°C.

В одном из вариантов воплощения изобретения коллекторное месторождение, содержащее углеводороды, расположено поблизости от керогеноносного подземного
25 месторождения, предпочтительно, находится под керогеноносным подземным месторождением. Кислородсодержащий газ, такой как воздух, нагнетают в коллектор и сжигают вместе с углеводородами в этом коллекторе. В результате процесса горения в коллекторе вырабатывается теплота, которая переносится в керогеноносное месторождение и повышает температуру в части этого месторождения, по меньшей мере,
30 примерно до 220°C, а предпочтительно, по меньшей мере, примерно до 250°C.

Выработанная теплота ускоряет превращение керогена в углеводороды и, при указанных выше температурах, это превращение происходит на промышленно приемлемом уровне.

Фиг.1 представляет собой схематичное вертикальное поперечное сечение, изображающее месторождение сланца, которое располагается над пластами, имеющими
35 свойство коллектора.

Фиг.2 представляет собой график зависимости скоростей превращения керогена от температуры для обычной нефтематеринской породы.

Фиг.3 представляет собой график зависимости температуры в сланцевой нефтематеринской породе от расстояния (внутри этой нефтематеринской породы) от
40 источника теплоты, имеющего высокую температуру, до границы сланцевой породы.

В способе данного изобретения преодолеваются ограничения предшествующего уровня техники и дается возможность промышленной разработки богатых органическими соединениями пород, таких как битумный сланец. В данном способе решается проблема обеспечения постоянного, высокоинтенсивного и проникающего источника тепла для
45 превращения керогена в получаемые углеводороды путем использования в качестве источника тепла пластов, имеющих свойство коллектора, поблизости от богатой органическими соединениями породой.

По способу настоящего изобретения добычу углеводородов из сланца *in situ* можно осуществлять без дробления богатых органическими соединениями пород для того, чтобы
50 иметь возможность нагнетать в них жидкости. Вместо этого в способе используют близлежащий или расположенный рядом пласт-коллектор, такой как частично истощенный нефтяной или газовый коллектор, в качестве источника тепла, которое подводят в месторождение, содержащее богатые органическими соединениями породы.

Следовательно, в этом способе не требуется дорогостоящее дробление и бурение многочисленных близкорасположенных скважин, которые используют в качестве источников тепла, но которые имеют ограниченный интервал проникновения.

5 В предпочтительном варианте воплощения изобретения в качестве источника тепла можно использовать частично истощенный нефтяной или газовый пласт-коллектор, который расположен под месторождением, содержащим богатые органическими соединениями породы. Остаточная нефть и/или газ в пласте-коллекторе служили бы в качестве источника топлива для сжигания *in situ* внутри резервуара, производя, таким образом, интенсивный нагрев под вышележащим богатым органическими соединениями месторождением.

10 Хотя существуют другие варианты воплощения данного изобретения, которые будут обсуждаться ниже, следует понять, что способ изобретения в общих чертах относится к использованию пластов коллектора для выработки и переноса тепла (сначала путем проводимости) к месторождению, содержащему богатые органическими соединениями породы, такие как сланец. Для использования в данном описании и в формуле изобретения в дальнейшем термин «сланцевое месторождение» относится к любым отложениям богатой органическими соединениями породы, включая, но не ограничиваясь, сланцем, битумным сланцем, мергелем, микритом, диатомитом и прочими породами, которые специалисты в данной области посчитали бы потенциальными нефтематеринскими породами, содержащими кероген или родственное органическое вещество, заключенное в породах. Отложения богатой органическими соединениями породы могут быть сплошными или прерывистыми. Таким образом, «сланцевое месторождение» будет включать в себя отложения богатой органическими соединениями породы, такой как сланец, перемежающиеся другими породами или отложениями, которые потенциально не являлись нефтематеринскими породами.

25 Аналогичным образом, выражения «пласты коллектора» или «коллекторное месторождение», или слово «коллектор» относится к любой геологической формации, обладающей достаточной пористостью или проницаемостью, такой, что она содержит или способна содержать углеводороды, такие как нефть или газ. Пласты коллектора могут иметь форму сплошного коллектора или его части, как, например, коллектор из песчаника или карбоната, которые обычно находятся в нефте- или газодобывающих областях мира. Однако пласты коллектора могут также иметь форму прерывистых участков, таких как линзовидные песчаные образования.

30 Подразумевается также, что слово «кероген» охватывает широкий ряд органических веществ, которые могут быть включены в сланцевую или другие нефтематеринские породы, и не следует ограничивать его каким-либо конкретным составом или структурой. «Кероген» будет включать в себя полимероподобное органическое вещество, обычно находящееся в сланцевой породе, а также все остальные виды органических веществ, включая углеводороды и предшественники углеводородов, которые могут содержаться в нефтематеринской породе. Подразумевается также, что использование слова «углеводород» в общем включает в себя не только молекулярные углеводороды, но также более сложные органические вещества, такие как асфальтены, смолистые вещества, битум и органические вещества, содержащие элементы, отличные от углерода и водорода, такие как кислород, азот и сера.

45 Обращаясь более конкретно к чертежам, на фигуре 1 представлено вертикальное поперечное сечение 10, включающее в себя четыре индивидуальных месторождения подземной породы. Наверху поперечного сечения 10 находится месторождение 11 неутонченного состава. Аналогичное месторождение 14 изображено внизу поперечного сечения 10. Кроме того, внутри поперечного сечения 10 имеется богатое органическими веществами месторождение 12, расположенное непосредственно над коллектором 13. В данном примере коллектор 13 изображен в виде коллектора из песчаника, а месторождение 12 изображено в виде сланца. Кроме того, коллектор 13 также может содержать карбонатную породу или смесь пород, которые придадут ему проницаемость и

пористость, находящиеся в пределах, которыми обычно характеризуется пласт, имеющий качество коллектора. Например, для того, чтобы считаться пластами, имеющими свойство коллектора, порода должна обладать проницаемостью, по меньшей мере, приблизительно 10^{-6} Дарси и пористостью, по меньшей мере, приблизительно 5%. Специалисты в данной области смогут идентифицировать месторождения нефтеносной породы и пласты, имеющие свойство коллектора.

Кроме того, на фиг.1 изображены две скважины 20 и 21, расположенные на некотором расстоянии друг от друга. Несмотря на то, что они изображены на фиг.1 в виде вертикальных скважин, скважины 20 и 21 могли бы быть также искривленными или горизонтальными скважинами. Возможно в одно время обе эти скважины были пробурены в целях добычи нефти или природного газа из резервуара 13. Альтернативно, одна или обе данные представленные скважины могли бы быть пробурены с единственной целью осуществления на практике настоящего изобретения или в других целях, таких как нагнетание газа или жидкости, связанного с повышенной нефтедобычей или устранением отходов. Очевидно, что связанные с осуществлением изобретения затраты будут меньше в том случае, когда на месте окажутся предварительно имеющиеся скважины.

Для иллюстрации изобретения скважина 20 изображена в виде нагнетательной скважины, а скважина 21 в виде добывающей скважины. По всему пространству, окружающему скважины 20 и 21, могут также находиться другие многочисленные скважины, которые могут также служить как нагнетательные или добывающие скважины. Кроме того, для осуществления изобретения на практике при необходимости можно пробурить дополнительные скважины.

Другими характеристиками скважин и месторождений, изображенных на фиг.1, являются гидравлические разрывы 25, природные трещины 26 и диагональный сброс 30. Сброс 30 является главной линией сброса, нарушающей целостность поперечного сечения. В качестве сброса он представляет собой проход, вдоль которого могут протекать текущие среды, и может служить в качестве трубопровода для отвода углеводородов из нефтематеринских пород (не показаны), которые расположены выше или ниже поперечного сечения 10, в коллектор 13, в течение геологического времени. Как будет показано, сброс 30 и природные трещины 26 в сланцевом месторождении 12 могут обеспечить проходы для прямого протекания превращенных углеводородов керогена в добывающую скважину 21 или в коллектор 13 в течение сравнительно короткого периода времени, как воплощено в настоящем изобретении. Эти природные проходы для потока текущей среды можно расширить при помощи искусственно введенных проходов, таких как гидравлические разрывы 25. Гидравлические разрывы 25 могут быть существовавшими ранее, как разрывы, показанные в коллекторе 13, которые могли бы служить для интенсифицирования добычи нефти или газа из коллектора 13. Разрывы 25, такие как разрывы, показанные в сланцевом месторождении 12, можно также ввести с единственной целью расширить практическое воплощение изобретения. (Обычно в месторождении 12 не осуществляли бы гидравлический разрыв во время первоначального развития коллектора 13, поскольку месторождение 12 не является пластами, имеющими свойство коллектора, способного к обычной добыче углеводородов.)

Изобретение включает в себя использование коллектора 13 в качестве источника тепла. Предпочтительно коллектор 13 будет представлять собой углеводородоносное месторождение, содержащее углеводороды в количествах, достаточных для обеспечения и поддержания горения в присутствии кислорода. Во многих случаях коллектор 13 мог бы представлять собой коллектор, из которого добывают промышленные количества углеводородов, и находящийся вблизи конца своей экономической жизни, или из которого больше не осуществляют активную добычу углеводородов. Исходя из предположения, что для поддержания горения в коллекторе остались достаточные количества углеводородов, данный коллектор можно использовать в качестве источника тепла. В случае, если коллектор 13 не содержит достаточного количества горючих углеводородов, тогда может потребоваться нагнетание горючих углеводородов, таких как природный газ. Скважину 20

можно использовать для нагнетания в коллектор 13 горючих углеводородов.

Предполагая, что в коллекторе 13 имеется достаточный запас горючих углеводородов, скважину 20 используют для нагнетания воздуха или кислородсодержащего газа в скважину для смешивания с углеводородами и получения горючей смеси. Поток воздуха или кислорода в коллектор 13 обозначен стрелками 35. После этого углеводороды коллектора воспламеняются, начиная процесс горения *in situ*. По мере продвижения горения в коллектор 13 для поддержания горения нагнетают дополнительный воздух или кислород. Фронт горения может быть вертикальным или горизонтальным. Как показано на фиг.1, фронт горения 37 представляет собой преимущественно горизонтальную поверхность горения, за исключением участка вблизи нагнетательной скважины, где он является по существу вертикальным. Следует понимать, что фиг.1 иллюстрирует лишь один способ осуществления фронта горения. Процесс горения очень сложен и ориентация и расположение фронта горения будут зависеть от многих параметров, включая расположение и ориентацию нагнетательной скважины и характеристики резервуара.

По мере продолжения горения углеводородов *in situ* вырабатывается значительное количество тепла. Горячие продукты горения и проводимое тепло из коллектора 13 начнут постепенно переносить тепло в месторождение 12. Поскольку месторождение 12 является по существу проницаемым, тепло будет переноситься внутрь него, главным образом, путем теплопередачи. Однако горячие продукты горения могут также проникать в открытые каналы и проходы, такие как сброс 30, природные трещины 26 и гидравлические разрывы 25. Эти случайные проходы могут также вносить вклад в нагревание месторождения 12.

Получаемые в резервуаре 13 температуры могут достигать свыше 500°C. По мере передачи тепла в месторождение 12 его температура будет также постепенно повышаться, начиная от поверхности раздела 40 и вдоль трещин 26 и линии сброса 30, которые связаны с коллектором 13. Предпочтительно, чтобы температура в месторождении 12 поднялась, в конечном итоге, выше 250°C, а более предпочтительно, поднялась до интервала 260°C-290°C. Как показано на фиг.2, более высокие температуры сильно ускоряют превращение керогена (содержащегося в богатой органическими соединениями нефтематеринской породе) в углеводороды. В случае обычного морского нефтеносного керогена, как показано на фиг.2, для превращения 75% керогена в углеводороды потребуется свыше 1 миллиона лет при температурах примерно ниже 150°C. Примерно при 200°C продолжительность 75%-ного превращения падает в 1000 раз до 1000 лет, что все еще слишком медленно для промышленных целей. Однако при 250°C существует еще стократное сокращение по времени до 10 лет, которое ставит график превращения в рамки промышленно приемлемого интервала. В предпочтительно интервале 260°C-290°C продолжительности превращения снижаются до 1 года или менее. Другие нефтематеринские породы и типы керогена будут проявлять для превращения аналогичную зависимость времени от температуры. В широком диапазоне потенциальных нефтематеринских пород подобное превращение может происходить при температурах в пределах от около 220°C до около 330°C. Для большинства нефтематеринских пород такое превращение будет происходить при температурах от около 250°C до 300°C.

Конечно, температуры не могут быть постоянными на всем протяжении месторождения 12. Теплопроводность зависит от расстояния, и чем дальше от поверхности раздела 40 (на фиг.1), тем, по-видимому, ниже температура и тем меньше скорость превращения керогена в углеводороды. На фиг.3 показаны типичные профили температур для месторождения сланцевой породы, которую подвергали теплопередаче в течение периодов примерно в 1, 5 и 10 лет. Предполагается, что начальная температура данного сланцевого месторождения составляет около 60°C, а температура на поверхности раздела с источником тепла составляет 500°C. Даже спустя пять лет температура быстро снижается от поверхности раздела и падает до 275°C (средняя точка предпочтительного интервала) на расстоянии примерно 10 метров вглубь формации. Спустя 10 лет граница температуры 275°C продвинется примерно на 15 метров от источника тепла. Тем не

менее, конверсия керогена при расстоянии 10-15 метров приводит к получению большого количества углеводородов.

В случае обычного морского нефтеносного керогена, один грамм общего органического углерода (ООУ) можно превратить в 600 мг углеводородов с максимальным выходом и в
5 450 мг при 75%-ном превращении. Высококачественная богатая органическими соединениями порода содержит приблизительно 10 мас.% ООУ. Следовательно, обычный кубический метр высококачественного битумного сланца содержит около 200 кг общего органического углерода и мог бы дать около 0,13 кубических метров (0,8 баррелей)
10 углеводородов при 75%-ном превращении. Таким образом, 10-метровое (33 фута) сланцевое месторождение в 10000 гектаров (25000 акров) теоретически могло бы содержать около $1,3 \cdot 10^8$ кубических метров ($8 \cdot 10^8$ баррелей) углеводородного горючего сланца, который можно было бы извлечь через 5-10-летний период времени.

Рассмотренные выше объемы превращения, скорости и время являются иллюстративными. Более высокие или более низкие температуры горения могли бы
15 существенно повысить или снизить скорости превращения керогена и глубины проникновения тепла. Проникновение и передачу тепла можно также увеличить за счет природных и искусственных трещин. По мере нагревания богатой органическими соединениями породы и начала процесса превращения керогена увеличение давления в
20 порах внутри сланцевой породы способно в дальнейшем привести к образованию или увеличению трещины, микротрещины и прочие разрывы в сланцевой породе, увеличивая, таким образом, число путей проникновения тепла.

Спустя значительный промежуток времени (как правило, более одного года) можно извлекать полученные углеводороды. Стратегия добычи и расположение
25 перфорированных интервалов в добывающих скважинах будет зависеть от места, по которому идет поток углеводородов после превращения. Обращаясь вновь к фиг. 1, некоторые из углеводородов могут протекать вдоль трещин 26 и сброса 30 вниз из месторождения в коллектор 13 и могут быть извлечены из коллектора через скважины 20 и
30 21 или дополнительные новые скважины. Природные трещины 26 и гидравлические разрывы 25, пересекающие месторождение 12, могут также обеспечить проходимые пути для добычи углеводородов непосредственно из месторождения 12. Проницаемые участки между пластами, содержащиеся внутри месторождения 12, возможно, также могут служить протоком для превращенных углеводородов.

Описанный здесь способ сжигания *in situ* можно осуществлять в различных коллекторах, таких как коллектор тяжелой нефти, коллекторы обычной нефти или природного газа, то
35 есть в любом месте, где имеется источник горючего топлива. Однако предпочтительно, чтобы коллекторная формация имела высокую пористость (свыше 15%) и высокое насыщение остаточной нефтью (свыше 35%). Дымовые газы, образующиеся в результате горения, должны удаляться через скважины 20, 21 или другие скважины в коллекторе 13, поддерживая, таким образом, зону горения рядом с вершиной коллектора 13, где
40 теплоперенос особенно необходим. Предпочтительно также, чтобы коллектор обладал высокой проницаемостью (свыше 10^{-2} Дарси), облегчая, таким образом, регулирование силы тяжести. Кроме того, высокая проницаемость увеличивает приток воздуха из нагнетательной скважины 21 в коллектор 13 и удаление дымового газа.

Что касается качества богатой органическими соединениями породы, то
45 предпочтительно, чтобы в сланце или в другой нефтематеринской породе содержался сравнительно высокий процент общего органического углерода, предпочтительно, более 10 массовых процентов. Большее количество общего органического углерода, помимо повышения основного запаса, способно также повысить проницаемость нефтематеринской породы по мере конверсии керогена в углеводороды. Также важно качество керогена.
50 Предпочтительным является кероген, превращающийся в углеводороды при более низких температурах, и кероген, образующий большее количество углеводородов на грамм первоначального ООУ (большая HI (глубина спуска прибора)).

Хотя предпочтительно, чтобы месторождение органической породы залегало поверх,

или перемежалось в существенной степени горизонтальным слоем пластов, имеющих свойство коллектора, настоящее изобретение не ограничивается таким типом геологического строения. Данное изобретение можно осуществлять на практике в случае более сложного геологического строения. Например, даже если пласты, имеющие свойство коллектора, являются прерывистыми или линзовидными, тепло можно подвести к богатой органическими соединениями породе при помощи описанного здесь механизма горения. Несмотря на то, что предпочтительными геологическими средами являются горизонтальные формации, изображенные на фиг.1, настоящее изобретение можно воплощать в любой геологической среде, в которой пласты, имеющие свойство коллектора, в котором происходит горение *in situ*, способны переносить достаточное количество тепла в богатую органическими соединениями породу, с тем, чтобы превращение керогена происходило с повышенной скоростью.

Хотя в описанных здесь способах воплощения изобретения используют пласты коллектора, содержащего достаточное для поддержания горения количество остаточных углеводов, изобретение не ограничивается такими ситуациями. В случае, когда пласты, имеющие свойство коллектора, не содержат углеводов или не содержат достаточных количеств углеводов для поддержания горения, то, в некоторых случаях, экономически оправданной может стать подача горючих углеводов, таких как природный газ, в коллектор наряду с нагнетанием кислорода. Например, могут существовать ситуации, в которых доступны готовые источники природного газа, и в которых нефтематеринская порода и пластовый резервуар расположены очень выгодно. В случае, когда нефтематеринская порода богата керогеном, а в пластах коллектора не хватает горючих углеводов, тем не менее изобретение возможно осуществить с использованием нагнетаемых углеводов в качестве источника топлива. В связи с этим в некоторых геологических условиях возможно также увеличить, дополнить или поддерживать тепло, вырабатываемое за счет горения, при помощи других источников тепла, нагнетаемого в пласты коллектора. Например, нагнетание перегретого пара или генерирование экзотермических химических реакций может также стать потенциальными источниками тепла для пластов коллектора. Специалисты в данной области смогут выбрать источник тепла или сочетание источников тепла в коллекторе, наиболее подходящее для воплощения данного изобретения.

Специалисты в данной области поймут, что описанные здесь способы получения углеводов из богатой органическими соединениями породы не являются точными. Поэтому не следует усматривать в данном изобретении ограничения температур и скоростей превращения, объемов получения, описания коллектора и сланцевого месторождения и тому подобного. Используя имеющуюся под рукой информацию, относящуюся к сланцевому месторождению и нижележащему коллектору, специалисты-практики в данной области смогут использовать настоящее изобретение в целях экономического использования ранее не промышленных сланцевых отложений во многих областях мира.

Формула изобретения

1. Способ ускорения превращения керогена в углеводороды в подземной формации, содержащей богатую органическими соединениями породу и расположенной вблизи пластов, имеющих свойство коллектора, предусматривающий генерирование достаточного количества тепла в пластах, имеющих свойство коллектора, с тем, чтобы указанное тепло переносилось в подземное месторождение для ускорения превращения указанного керогена в указанной формации в углеводороды.

2. Способ по п.1, в котором тепло в пластах, имеющих свойство коллектора, генерируют за счет горения *in situ* в указанном коллекторе.

3. Способ по п.2, в котором указанное горение *in situ* поддерживают при помощи сжигания углеводов внутри указанных пластов, имеющих свойство коллектора.

4. Способ по п.3, в котором указанное горение *in situ* поддерживают при помощи

нагнетания в указанные пласты кислородсодержащего газа.

5. Способ по п.4, в котором по меньшей мере часть указанных углеводородов нагнетают в указанные пласты, имеющие свойство коллектора.

6. Способ по п.1, в котором тепло, генерируемое в указанных пластах, имеющих свойство коллектора, способно повысить температуру внутри части указанной подземной формации, по меньшей мере, примерно до 220°C.

7. Способ по п.1, в котором тепло, генерируемое в указанных пластах, имеющих свойство коллектора, поддерживают за счет перегретого пара, нагнетаемого в указанные пласты.

8. Способ по п.1, в котором тепло, генерируемое в указанных пластах, имеющих свойство коллектора, поддерживают за счет экзотермической химической реакции.

9. Способ ускорения превращения керогена в углеводороды из керогеноносной подземной формации, расположенной вблизи коллекторной формации, содержащей углеводороды, предусматривающий

(1) нагнетание кислородсодержащего газа в указанную коллекторную формацию;

(2) осуществление горения углеводородов в указанном коллекторе при помощи кислородсодержащего газа с тем, чтобы выработать достаточное количество тепла в указанной коллекторной формации, так, чтобы указанное тепло переместилось в указанную подземную формацию и в существенной степени ускорило превращение указанного керогена в углеводороды.

10. Способ по п.9, в котором указанная керогеноносная формация находится в контакте с указанным коллекторным месторождением.

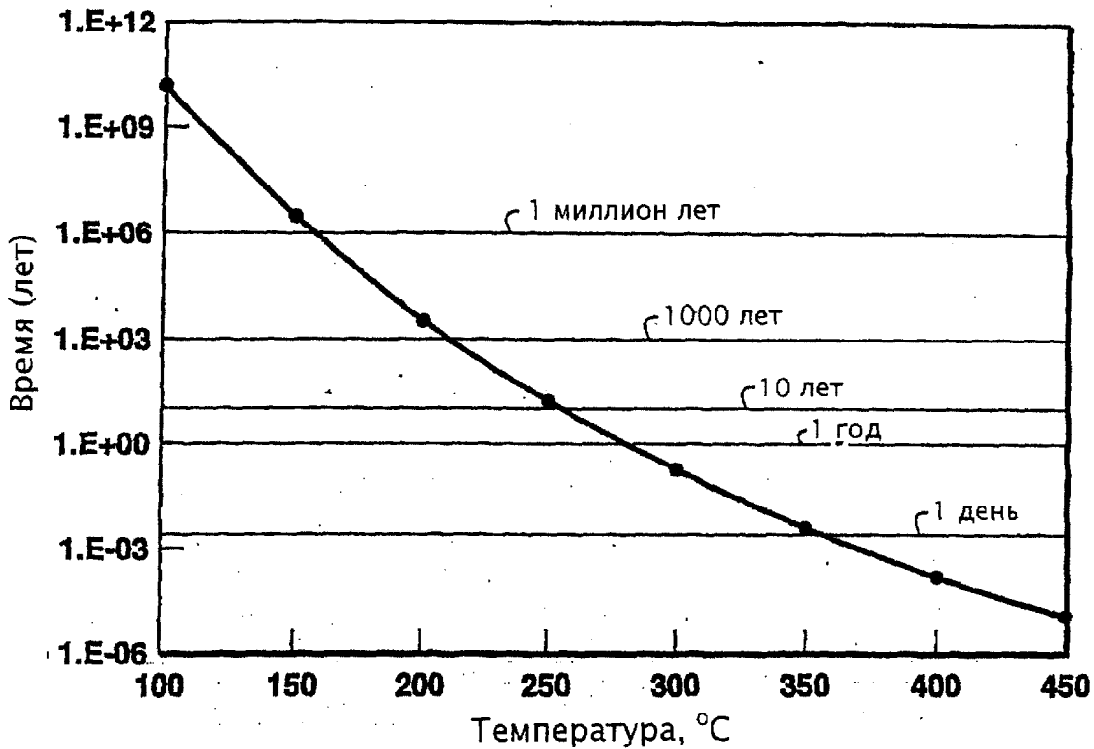
11. Способ по п.9, в котором указанная коллекторная формация содержит подземные отложения пластов, имеющих свойство коллектора, которые перемежаются слоями указанной керогеноносной подземной формации.

12. Способ по п.9, в котором тепло, вырабатываемое в указанном коллекторе, способно повысить температуру внутри части указанного подземного месторождения, по меньшей мере, примерно до 220°C.

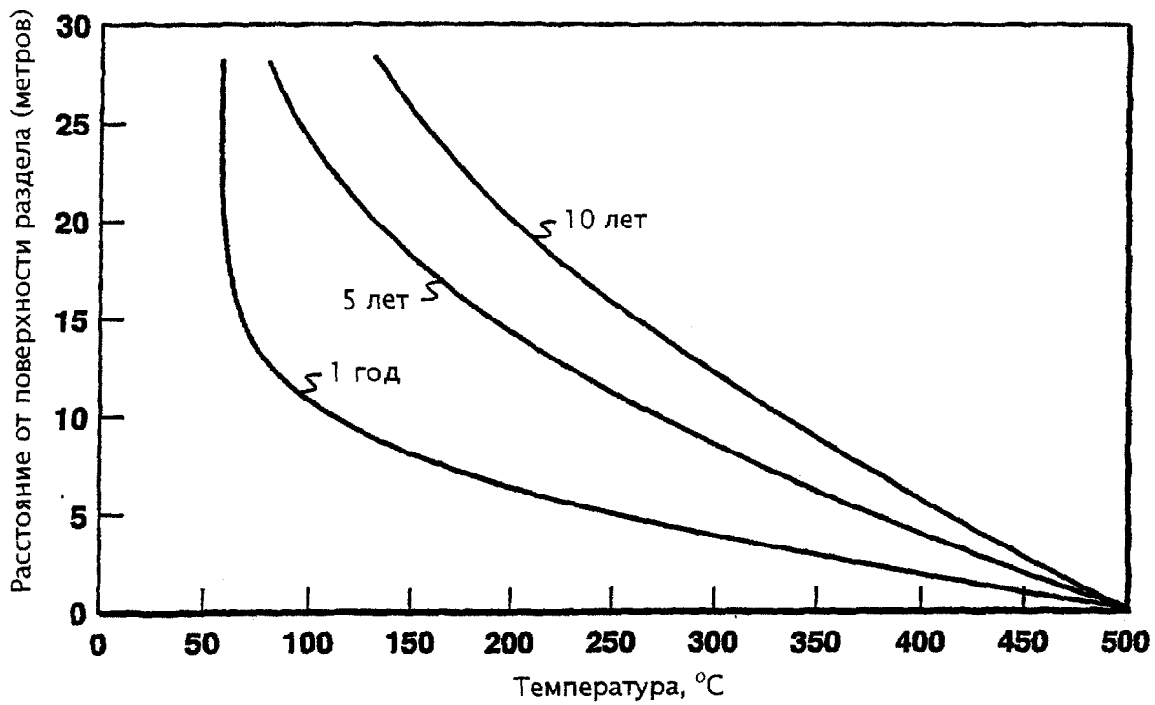
13. Способ ускорения превращения керогена в углеводороды из керогеноносной подземной формации, расположенной вблизи коллекторной формации, содержащей углеводороды, предусматривающий

(1) нагнетание кислородсодержащего газа в указанную коллекторную формацию;

(2) осуществление горения углеводородов в указанной коллекторной формации при помощи кислородсодержащего газа с тем, чтобы создать в указанном коллекторе достаточное тепло, так, чтобы указанное тепло перемещалось в указанную подземную формацию и повышало температуру внутри части указанного подземного коллектора, по меньшей мере, примерно до 220°C.



ФИГ. 2



ФИГ. 3