

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **038818**(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2021.10.25

(21) Номер заявки
201992889

(22) Дата подачи заявки
2018.06.05

(51) Int. Cl. **G21F 9/28** (2006.01)
G21F 9/34 (2006.01)
G21F 9/36 (2006.01)

(54) ХРАНЕНИЕ ОПАСНОГО МАТЕРИАЛА В ПОДЗЕМНОМ ПЛАСТЕ

(31) **62/515,050**

(32) **2017.06.05**

(33) **US**

(43) **2020.04.30**

(86) **PCT/US2018/035974**

(87) **WO 2018/226636 2018.12.13**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
ДИП ИЗОЛЕЙШН, ИНК. (US)

(72) Изобретатель:
**Мюллер Ричард А., Мюллер
Элизабет А. (US)**

(74) Представитель:
**Лебедев В.В., Угрюмов В.М.,
Глухарёва А.О., Гизатуллина Е.М.,
Строкова О.В., Костюшенкова М.Ю.,
Гизатуллин Ш.Ф., Парамонова К.В.,
Джермакян Р.В. (RU)**

(56) **WO-A1-2015069300
US-B1-6238138
US-A-5387741
WO-A1-2016177876**

(57) Хранилище опасного материала содержит ствол скважины, проходящий вглубь геологической среды и содержащий входное отверстие, по меньшей мере, в непосредственной близости от земной поверхности, причем ствол скважины содержит, по существу, вертикальную часть ствола скважины, переходную часть ствола скважины, соединенную с, по существу, вертикальной частью ствола скважины, и часть ствола скважины для хранения опасного материала, причем по меньшей мере одна из переходной части ствола скважины или части ствола скважины для хранения опасного материала содержит изолирующую часть ствола скважины; контейнер для хранения, расположенный в части ствола скважины для хранения опасного материала, причем размер контейнера для хранения является подходящим для ввода во входное отверстие ствола скважины через, по существу, вертикальную часть ствола скважины и переходную часть ствола скважины в часть ствола скважины для хранения опасного материала, причем контейнер для хранения содержит внутреннюю полость, размер которой является подходящим для размещения опасного материала; и уплотнение, расположенное в стволе скважины, причем уплотнение изолирует часть ствола скважины для хранения опасного материала от входного отверстия ствола скважины.

B1**038818****038818****B1**

Притязание на приоритет

Настоящая заявка испрашивает приоритет по предварительной заявке на патент США № 62/515050, поданной 5 июня 2017 года и озаглавленной "Storing hazardous material in a subterranean formation", полное содержание которой включено в настоящий документ посредством ссылки.

Область техники

Изобретение относится к хранению опасного материала в подземном пласте и, в частности, к хранению отработанного ядерного топлива в подземном пласте.

Уровень техники

Опасные отходы часто помещаются в долговременное, постоянное или отчасти постоянное хранилище, чтобы предотвратить возникновение проблем со здоровьем у населения, живущего поблизости сохраняемых отходов. Такое хранение опасных отходов часто сопряжено с трудностями, связанными, например, с определением места хранения и обеспечением герметизации. Например, безопасное хранение ядерных отходов (например, отработанного ядерного топлива, будь то из промышленных энергетических реакторов или из испытательных реакторов или же высокоактивных отходов военного назначения) считается одной из нерешенных проблем в сфере энергетических технологий. Безопасное хранение долгоживущих радиоактивных отходов является серьезным препятствием для внедрения ядерной энергетики в Соединенных Штатах и во всем мире. Традиционные способы хранения отходов сосредоточены на использовании туннелей, примером чего является проект хранилища Юкка Маунтин (Гора Юкка). В других методах задействуют стволы скважин, в том числе вертикальные стволы скважин, пробуренные в породе кристаллического фундамента. Другие традиционные методы включают образование туннеля со стволами скважины, отходящими от стенок туннеля в неглубоко залегающих пластах, для обеспечения доступа к ним людей.

Сущность изобретения

В общем варианте осуществления хранилище опасного материала содержит ствол скважины, проходящий вглубь геологической среды и содержащий входное отверстие, по меньшей мере, в непосредственной близости от земной поверхности, причем ствол скважины содержит, по существу, вертикальную часть ствола скважины, переходную часть ствола скважины, соединенную с, по существу, вертикальной частью ствола скважины, и часть ствола скважины для хранения опасного материала, соединенную с переходной частью ствола скважины, причем по меньшей мере одна из переходной части ствола скважины или части ствола скважины для хранения опасного материала содержит изолирующую часть ствола скважины, которая направлена в вертикальной плоскости к земной поверхности и в сторону от места пересечения, по существу, вертикальной части ствола скважины и переходной части ствола скважины; контейнер для хранения, расположенный в части ствола скважины для хранения опасного материала, причем размер контейнера для хранения является подходящим для ввода во входное отверстие ствола скважины через, по существу, вертикальную часть ствола скважины и переходную часть ствола скважины в часть ствола скважины для хранения опасного материала, причем контейнер для хранения содержит внутреннюю полость, размер которой является подходящим для размещения опасного материала; и уплотнение, расположенное в стволе скважины, причем уплотнение изолирует часть ствола скважины для хранения опасного материала от входного отверстия ствола скважины.

В аспекте, сочетаемом с общим вариантом осуществления, изолирующая часть ствола скважины содержит наклонную в вертикальной плоскости часть ствола скважины, которая содержит ближний конец, соединенный с переходной частью ствола скважины на первой глубине, и дальний конец, противоположный ближнему концу и находящийся на второй глубине, меньшей первой глубины.

В другом аспекте, сочетаемом с любым из предшествующих аспектов, наклонная в вертикальной плоскости часть ствола скважины содержит часть ствола скважины для хранения опасного материала.

В другом аспекте, сочетаемом с любым из предшествующих аспектов, угол наклона наклонной в вертикальной плоскости части ствола скважины определяется, по меньшей мере, частично на основании расстояния, связанного с зоной возмущения геологического пласта, которая окружает наклонную в вертикальной плоскости часть ствола скважины, и длины расстояния, касательной к самой низкой части контейнера для хранения и, по существу, вертикальной части ствола скважины.

В другом аспекте, сочетаемом с любым из предшествующих аспектов, расстояние, связанное с зоной возмущения геологического пласта, включает расстояние между наружной окружностью зоны возмущения и радиальной осевой линией наклонной в вертикальной плоскости части ствола скважины.

В другом аспекте, сочетаемом с любым из предшествующих аспектов, угол наклона составляет приблизительно 3° .

В другом аспекте, сочетаемом с любым из предшествующих аспектов, изолирующая часть ствола скважины содержит J-образную часть ствола скважины, соединенную между, по существу, вертикальной частью ствола скважины и частью ствола скважины для хранения опасного материала.

В другом аспекте, сочетаемом с любым из предшествующих аспектов, J-образная часть ствола скважины содержит переходную часть ствола скважины.

В другом аспекте, сочетаемом с любым из предшествующих аспектов, часть ствола скважины для хранения опасного материала содержит по меньшей мере одну из, по существу, горизонтальной части

ствола скважины или наклонной в вертикальной плоскости части ствола скважины.

В другом аспекте, сочетаемом с любым из предшествующих аспектов, изолирующая часть ствола скважины содержит волнообразную в вертикальном направлении часть ствола скважины, соединенную с переходной частью ствола скважины.

В другом аспекте, сочетаемом с любым из предшествующих аспектов, переходная часть ствола скважины содержит искривленную часть ствола скважины между, по существу, вертикальной частью ствола скважины и волнообразной в вертикальном направлении частью ствола скважины.

В другом аспекте, сочетаемом с любым из предшествующих аспектов, часть ствола скважины для хранения опасного материала расположена внутри или ниже загряздающего слоя, который содержит по меньшей мере один из сланцевого пластового слоя, соляного пластового слоя или другого непроницаемого пластового слоя.

В другом аспекте, сочетаемом с любым из предшествующих аспектов, часть ствола скважины для хранения опасного материала изолирована в вертикальном направлении загряздающим слоем от подземной зоны, которая содержит проточную воду.

В другом аспекте, сочетаемом с любым из предшествующих аспектов, часть ствола скважины для хранения опасного материала образована ниже загряздающего слоя и изолирована в вертикальном направлении загряздающим слоем от подземной зоны, которая содержит проточную воду. В другом аспекте, сочетаемом с любым из предшествующих аспектов, часть ствола скважины для хранения опасного материала образована внутри загряздающего слоя и изолирована в вертикальном направлении по меньшей мере частью загряздающего слоя от подземной зоны, которая содержит проточную воду.

В другом аспекте, сочетаемом с любым из предшествующих аспектов, проницаемость загряздающего слоя составляет менее чем приблизительно 0,01 мД.

В другом аспекте, сочетаемом с любым из предшествующих аспектов, хрупкость загряздающего слоя проявляется при менее чем приблизительно 10 МПа, причем хрупкость включает отношение напряжения сжатия загряздающего слоя к прочности на разрыв загряздающего слоя. В другом аспекте, сочетаемом с любым из предшествующих аспектов, толщина загряздающего слоя в непосредственной близости от части ствола скважины для хранения опасного материала составляет по меньшей мере приблизительно 100 футов.

В другом аспекте, сочетаемом с любым из предшествующих аспектов, толщина загряздающего слоя в непосредственной близости от части ствола скважины для хранения опасного материала препятствует диффузии опасного материала, который выходит из контейнера для хранения через загряздающий слой в течение периода времени, который основан на периоде полураспада указанного опасного материала.

В другом аспекте, сочетаемом с любым из предшествующих аспектов, загряздающий слой содержит приблизительно 20-30% объемной массы глины или органического вещества.

В другом аспекте, сочетаемом с любым из предшествующих аспектов, загряздающий слой содержит непроницаемый слой.

В другом аспекте, сочетаемом с любым из предшествующих аспектов, загряздающий слой содержит барьер от утечки, определяемый постоянной времени для утечки опасного материала, составляющей 10000 или более лет.

В другом аспекте, сочетаемом с любым из предшествующих аспектов, загряздающий слой содержит пласт, содержащий углеводороды или двуокись углерода.

В другом аспекте, сочетаемом с любым из предшествующих аспектов, опасный материал включает отработанное ядерное топливо.

В другом аспекте, сочетаемом с любым из предшествующих аспектов, дополнительно содержится по меньшей мере одна компоновка обсадной колонны, которая проходит от или в непосредственной близости от земной поверхности через ствол скважины в часть ствола скважины для хранения опасного материала.

В другом аспекте, сочетаемом с любым из предшествующих аспектов, контейнер для хранения содержит соединительную часть, выполненную с возможностью соединения по меньшей мере с одним из следующего: колонна скважинного инструмента или другой контейнер для хранения.

В другом аспекте, сочетаемом с любым из предшествующих аспектов, изолирующая часть ствола скважины содержит спиральный ствол скважины.

В другом аспекте, сочетаемом с любым из предшествующих аспектов, изолирующая часть ствола скважины имеет заданную геометрическую конфигурацию, независимую от напряженного состояния пласта горных пород, в котором образована изолирующая часть ствола скважины.

В другом общем варианте осуществления способ хранения опасного материала включает перемещение контейнера для хранения через входное отверстие ствола скважины, проходящего под земную поверхность, причем входное отверстие находится, по меньшей мере, в непосредственной близости от земной поверхности, а контейнер для хранения содержит внутреннюю полость, размер которой является подходящим для размещения опасного материала; перемещение контейнера для хранения через ствол скважины, который содержит, по существу, вертикальную часть ствола скважины, переходную часть

ствола скважины, соединенную с, по существу, вертикальной частью ствола скважины, и часть ствола скважины для хранения опасного материала, соединенную с переходной частью ствола скважины, причем по меньшей мере одна из переходной части ствола скважины или части ствола скважины для хранения опасного материала содержит изолирующую часть ствола скважины, которая направлена в вертикальной плоскости к земной поверхности и в сторону от места пересечения, по существу, вертикальной части ствола скважины и переходной части ствола скважины; перемещение контейнера для хранения в часть ствола скважины для хранения опасного материала; и образование уплотнения в стволе скважины, которое изолирует часть ствола скважины для хранения от входного отверстия ствола скважины. В аспекте, сочетаемом с общим вариантом осуществления, изолирующая часть ствола скважины содержит наклонную в вертикальной плоскости часть ствола скважины, которая содержит ближний конец, соединенный с переходной частью ствола скважины на первой глубине, и дальний конец, противоположный ближнему концу и находящийся на второй глубине, меньшей первой глубины.

В другом аспекте, сочетаемом с любым из предшествующих аспектов, наклонная в вертикальной плоскости часть ствола скважины содержит часть ствола скважины для хранения опасного материала.

В другом аспекте, сочетаемом с любым из предшествующих аспектов, угол наклона наклонной в вертикальной плоскости части ствола скважины определяется, по меньшей мере, частично на основании расстояния, связанного с зоной возмущения геологического пласта, которая окружает наклонную в вертикальной плоскости часть ствола скважины, и длины расстояния, касательной к самой низкой части контейнера для хранения и, по существу, вертикальной части ствола скважины.

В другом аспекте, сочетаемом с любым из предшествующих аспектов, расстояние, связанное с зоной возмущения геологического пласта, включает расстояние между наружной окружностью зоны возмущения и радиальной осевой линией наклонной в вертикальной плоскости части ствола скважины.

В другом аспекте, сочетаемом с любым из предшествующих аспектов, угол наклона составляет приблизительно 3° .

В другом аспекте, сочетаемом с любым из предшествующих аспектов, изолирующая часть ствола скважины содержит J-образную часть ствола скважины, соединенную между, по существу, вертикальной частью ствола скважины и частью ствола скважины для хранения опасного материала.

В другом аспекте, сочетаемом с любым из предшествующих аспектов, J-образная часть ствола скважины содержит переходную часть ствола скважины.

В другом аспекте, сочетаемом с любым из предшествующих аспектов, часть ствола скважины для хранения опасного материала содержит по меньшей мере одну из, по существу, горизонтальной части ствола скважины или наклонной в вертикальной плоскости части ствола скважины.

В другом аспекте, сочетаемом с любым из предшествующих аспектов, изолирующая часть ствола скважины содержит волнообразную в вертикальном направлении часть ствола скважины, соединенную с переходной частью ствола скважины.

В другом аспекте, сочетаемом с любым из предшествующих аспектов, переходная часть ствола скважины содержит искривленную часть ствола скважины между, по существу, вертикальной частью ствола скважины и волнообразной в вертикальном направлении частью ствола скважины.

В другом аспекте, сочетаемом с любым из предшествующих аспектов, часть ствола скважины для хранения опасного материала расположена внутри или ниже загряздающего слоя, который содержит по меньшей мере один из сланцевого пластового слоя, соляного пластового слоя или другого непроницаемого пластового слоя.

В другом аспекте, сочетаемом с любым из предшествующих аспектов, часть ствола скважины для хранения опасного материала изолирована в вертикальном направлении загряздающим слоем от подземной зоны, которая содержит проточную воду.

В другом аспекте, сочетаемом с любым из предшествующих аспектов, часть ствола скважины для хранения опасного материала образована ниже загряздающего слоя и изолирована в вертикальном направлении загряздающим слоем от подземной зоны, которая содержит проточную воду. В другом аспекте, сочетаемом с любым из предшествующих аспектов, часть ствола скважины для хранения опасного материала образована внутри загряздающего слоя и изолирована в вертикальном направлении по меньшей мере частью загряздающего слоя от подземной зоны, которая содержит проточную воду.

В другом аспекте, сочетаемом с любым из предшествующих аспектов, проницаемость загряздающего слоя составляет менее чем приблизительно 0,01 мД.

В другом аспекте, сочетаемом с любым из предшествующих аспектов, хрупкость загряздающего слоя проявляется при менее чем приблизительно 10 МПа, причем хрупкость включает отношение напряжения сжатия загряздающего слоя к прочности на разрыв загряздающего слоя. В другом аспекте, сочетаемом с любым из предшествующих аспектов, толщина загряздающего слоя в непосредственной близости от части ствола скважины для хранения опасного материала составляет по меньшей мере приблизительно 100 футов.

В другом аспекте, сочетаемом с любым из предшествующих аспектов, толщина загряздающего слоя в непосредственной близости от части ствола скважины для хранения опасного материала препятствует диффузии опасного материала, который выходит из контейнера для хранения через загряздающий

слой в течение периода времени, который основан на периоде полураспада указанного опасного материала.

В другом аспекте, сочетаемом с любым из предшествующих аспектов, загряздающий слой содержит приблизительно 20-30% объемной массы глины или органического вещества.

В другом аспекте, сочетаемом с любым из предшествующих аспектов, загряздающий слой содержит непроницаемый слой.

В другом аспекте, сочетаемом с любым из предшествующих аспектов, загряздающий слой содержит барьер от утечки, определяемый постоянной времени для утечки опасного материала, составляющей 10000 лет или более.

В другом аспекте, сочетаемом с любым из предшествующих аспектов, загряздающий слой содержит пласт, содержащий углеводороды или двуокись углерода.

В другом аспекте, сочетаемом с любым из предшествующих аспектов, опасный материал включает отработанное ядерное топливо.

В другом аспекте, сочетаемом с любым из предшествующих аспектов, дополнительно содержится по меньшей мере одна компоновка обсадной колонны, которая проходит от или в непосредственной близости от земной поверхности через ствол скважины в часть ствола скважины для хранения опасного материала.

В другом аспекте, сочетаемом с любым из предшествующих аспектов, контейнер для хранения содержит соединительную часть, выполненную с возможностью соединения по меньшей мере с одним из следующего: колонна скважинного инструмента или другой контейнер для хранения.

Другой аспект, сочетаемый с любым из предшествующих аспектов, дополнительно включает образование ствола скважины от земной поверхности до подземного пласта перед перемещением контейнера для хранения через входное отверстие ствола скважины, который проходит под земную поверхность.

Другой аспект, сочетаемый с любым из предшествующих аспектов, дополнительно включает установку обсадной колонны в стволе скважины, которая проходит от или в непосредственной близости от земной поверхности, через ствол скважины в часть ствола скважины для хранения опасного материала.

Другой аспект, сочетаемый с любым из предшествующих аспектов, дополнительно включает цементирование обсадной колонны в стволе скважины.

Другой аспект, сочетаемый с любым из предшествующих аспектов, дополнительно включает добычу углеводородного флюида из подземного пласта, через ствол скважины на земную поверхность, после образования ствола скважины.

Другой аспект, сочетаемый с любым из предшествующих аспектов, дополнительно включает удаление уплотнения из ствола скважины; и извлечение контейнера для хранения из части ствола скважины для хранения опасного материала на земную поверхность.

Другой аспект, сочетаемый с любым из предшествующих аспектов, дополнительно включает отслеживание по меньшей мере одной переменной, связанной с контейнером для хранения, с помощью датчика, расположенного в непосредственной близости от части ствола скважины для хранения опасного материала; и запись отслеживаемой переменной на земной поверхности.

В другом аспекте, сочетаемом с любым из предшествующих аспектов, отслеживаемая переменная включает по меньшей мере одно из следующего: уровень излучения, температура, давление, наличие кислорода, наличие водяного пара, наличие жидкой воды, кислотность или сейсмическая активность.

Другой аспект, сочетаемый с любым из предшествующих аспектов, дополнительно включает, на основании отслеживаемой переменной, превышающей пороговое значение: удаление уплотнения из ствола скважины; и извлечение контейнера для хранения из части ствола скважины для хранения опасного материала на земную поверхность.

В другом общем варианте осуществления способ хранения опасного материала включает перемещение контейнера для хранения через входное отверстие ствола скважины, проходящего под земную поверхность, причем входное отверстие находится, по меньшей мере, в непосредственной близости от земной поверхности, а контейнер для хранения содержит внутреннюю полость, размер которой является подходящим для размещения опасного материала; перемещение контейнера для хранения через ствол скважины, который содержит, по существу, вертикальную часть ствола скважины, переходную часть ствола скважины, соединенную с, по существу, вертикальной частью ствола скважины, и часть ствола скважины для хранения опасного материала, соединенную с переходной частью ствола скважины, причем часть ствола скважины для хранения опасного материала расположена ниже самовосстанавливающегося геологического пласта, и часть ствола скважины для хранения опасного материала изолирована в вертикальном направлении самовосстанавливающимся геологическим пластом от подземной зоны, которая содержит проточную воду; перемещение контейнера для хранения в часть ствола скважины для хранения опасного материала; и образование уплотнения в стволе скважины, которое изолирует часть ствола скважины для хранения от входного отверстия ствола скважины.

В аспекте, сочетаемом с общим вариантом осуществления, самовосстанавливающийся геологический пласт содержит по меньшей мере одно из следующего: сланец, соль, глина или доломит.

В другом общем варианте осуществления хранилище опасного материала содержит ствол скважины-

ны, проходящий вглубь геологической среды и содержащий входное отверстие, по меньшей мере, в непосредственной близости от земной поверхности, причем ствол скважины содержит, по существу, вертикальную часть ствола скважины, переходную часть ствола скважины, соединенную с, по существу, вертикальной частью ствола скважины, и часть ствола скважины для хранения опасного материала, соединенную с переходной частью ствола скважины, причем часть ствола скважины для хранения опасного материала расположена ниже самовосстанавливающегося геологического пласта, и часть ствола скважины для хранения опасного материала изолирована в вертикальном направлении самовосстанавливающимся геологическим пластом от подземной зоны, которая содержит проточную воду; контейнер для хранения, расположенный в части ствола скважины для хранения опасного материала, причем размер контейнера для хранения является подходящим для ввода во входное отверстие через, по существу, вертикальную часть ствола скважины, переходную часть ствола скважины в часть ствола скважины для хранения опасного материала, и контейнер для хранения содержит внутреннюю полость, размер которой является подходящим для размещения опасного материала; и уплотнение, расположенное в стволе скважины, причем уплотнение изолирует часть ствола скважины для хранения опасного материала от входного отверстия ствола скважины.

В аспекте, сочетаемом с общим вариантом осуществления, самовосстанавливающийся геологический пласт содержит по меньшей мере одно из следующего: сланец, соль, глина или доломит.

Варианты осуществления хранилища опасного материала в соответствии с настоящим изобретением могут включать один или более следующих отличительных признаков. Например, хранилище опасного материала в соответствии с настоящим изобретением может обеспечивать множество уровней герметизации опасного материала в хранилище, расположенном на глубине тысяч футов под землей и отделенном от любой находящейся поблизости проточной воды. В связи с хранилищем опасного материала в соответствии с настоящим изобретением могут также использоваться проверенные методы (например, бурение) для создания или образования зоны хранения опасного материала в подземной зоне, в которой, как обнаружено, в течение миллионов лет содержатся уплотненные текучими веществами углеводороды. В качестве другого примера хранилище опасного материала в соответствии с настоящим изобретением может обеспечить длительное хранение (например, в течение тысяч лет) опасного материала (например, радиоактивных отходов) в сланцевом пласте, который обладает геологическими свойствами, подходящими для такого хранения, включая, среди прочего, низкую проницаемость, толщину и пластичность. Кроме того, больший объем опасного материала может храниться при низких затратах - по сравнению с традиционными методами хранения - отчасти благодаря применению методов наклонно-направленного бурения, которые содействуют образованию длинных горизонтальных стволов скважины, часто превышающих милю в длину. Кроме того, пласты горных пород, которые обладают геологическими свойствами, подходящими для такого хранения, могут находиться в непосредственной близости от участков, на которых может находиться или создаваться опасный материал, тем самым уменьшая опасности, связанные с транспортировкой такого опасного материала.

Варианты осуществления хранилища опасного материала в соответствии с изобретением также могут включать один или более следующих отличительных признаков. Большие емкости хранения, в свою очередь, позволяют размещать опасные материалы с целью хранения без необходимости осуществлять сложную предварительную обработку, такую как сгущение или перевод в различные формы или контейнеры. В качестве еще одного примера в случае ядерных отходов из реактора, например, отходы могут храниться без изменений в своих исходных топливных гранулах или в своих исходных топливных стержнях, или в своих исходных топливных сборках, которые содержат десятки топливных стержней. В другом аспекте опасный материал может храниться в исходном контейнере, но в контейнер вводится цемент или другой материал, чтобы заполнить промежутки между опасными материалами и конструкцией. Например, если опасный материал хранится в топливных стержнях, которые, в свою очередь, хранятся в топливных сборках, то пространства между стержнями (обычно заполненные водой, находясь внутри ядерного реактора) могут быть заполнены цементом или другим материалом для обеспечения дополнительного слоя изоляции от наружной среды. В качестве еще одного примера облегчается безопасное и недорогое хранение опасного материала с одновременным обеспечением возможности извлекать такой материал, если обстоятельства сделают целесообразным извлечение сохраняемых материалов.

Подробности одного или более вариантов осуществления предмета настоящего изобретения, описанного в настоящем изобретении, изложены на прилагаемых чертежах и в приведенном ниже описании. Другие отличительные признаки, аспекты и преимущества предмета настоящего изобретения будут очевидными из описания, чертежей и формулы изобретения.

Краткое описание чертежей

На фиг. 1А проиллюстрировано схематическое представление приведенного в качестве примера варианта осуществления системы хранилища опасного материала во время операции размещения или извлечения в соответствии с настоящим изобретением;

на фиг. 1В - схематическое представление части приведенного в качестве примера варианта осуществления системы хранилища опасного материала, проиллюстрированной на фиг. 1А, на которой показано приведенное в качестве примера определение минимального угла наклонной части системы хранили-

ща опасного материала;

на фиг. 2 - схематическое представление другого приведенного в качестве примера варианта осуществления системы хранилища опасного материала во время операции размещения или извлечения в соответствии с настоящим изобретением;

на фиг. 3 - схематическое представление другого приведенного в качестве примера варианта осуществления системы хранилища опасного материала во время операции размещения или извлечения в соответствии с настоящим изобретением;

на фиг. 4А-4С - схематические представления других приведенных в качестве примера вариантов осуществления системы хранилища опасного материала в соответствии с настоящим изобретением;

на фиг. 5А - вид сверху, а на фиг. 5В-5С - виды сбоку схематических представлений другого приведенного в качестве примера варианта осуществления системы хранилища опасного материала.

Подробное описание

На фиг. 1А проиллюстрировано схематическое представление приведенных в качестве примера вариантов осуществления системы хранилища опасного материала, например подземного местоположения для долгосрочного (например, на период, составляющий десятки, сотни, тысячи лет или более), но безопасного и надежного хранения опасного материала с возможностью извлечения, во время операции размещения или извлечения в соответствии с настоящим изобретением. Например, в соответствии с фиг. 1А, на данной фигуре проиллюстрирована приведенная в качестве примера система 100 хранилища опасного материала во время процесса размещения (или извлечения, описанного ниже), например, во время развертывания одного или более контейнеров для опасного материала в подземном пласте. Как проиллюстрировано, система 100 хранилища опасного материала содержит ствол 104 скважины, образованный (например, пробуренный или образованный иным образом) от земной поверхности 102 через множество подземных слоев 112, 114, 116 и 132. Хотя земная поверхность 102 показана как наземная поверхность, земная поверхность 102 может быть поверхностью ниже уровня моря или другой подводной поверхностью, такой как поверхность дна озера или дна океана, или другой поверхностью под массой воды. Таким образом, настоящее изобретение предполагает, что ствол 104 скважины может быть образован под массой воды от места бурения в местонахождении или в непосредственной близости от массы воды.

Проиллюстрированный в этом примере ствол 104 скважины является направленным стволом скважины системы 100 хранилища опасного материала. Например, ствол 104 скважины содержит, по существу, вертикальную часть 106, соединенную с изогнутой по радиусу или искривленной частью 108, которая, в свою очередь, соединена с наклонной частью 110. Используемый в настоящем документе термин "по существу" в контексте ориентации ствола скважины относится к стволам скважин, которые могут быть не совсем вертикальными (например, точно перпендикулярными к земной поверхности 102) или не совсем горизонтальными (например, точно параллельными земной поверхности 102) или точно наклоненными под определенным углом наклона относительно земной поверхности 102. Другими словами, вертикальные стволы скважины нередко волнообразно смещены относительно истинного вертикального направления, так что они могут быть пробурены под углом, который отклоняется от истинной вертикали, и наклонные стволы скважины нередко волнообразно смещены относительно истинного угла наклона. Кроме того, в некоторых аспектах наклонный ствол скважины может не иметь или может иметь точно одинаковый наклон (например, в градусах) по всей длине ствола скважины. Вместо этого наклон ствола скважины может изменяться по всей его длине (например, на 1-5°). Как проиллюстрировано в этом примере, три части ствола 104 скважины - вертикальная часть 106, изогнутая по радиусу часть 108 и наклонная часть 110 - образуют непрерывный ствол 104 скважины, который проходит вглубь геологической среды.

Проиллюстрированный в этом примере ствол 104 скважины имеет кондукторную обсадную колонну 120, расположенную и установленную вокруг ствола 104 скважины и проходящую от земной поверхности 102 на определенную глубину вглубь геологической среды. Например, кондукторная обсадная колонна 120 может быть трубчатым элементом (или колонной трубчатых элементов) относительно большого диаметра, установленным (например, цементированным) вокруг ствола 104 скважины в неглубоко залегающем пласте. Используемый в настоящем документе термин "трубчатый элемент" может относиться к элементу, который имеет круглое поперечное сечение, эллиптическое поперечное сечение или поперечное сечение другой формы. Например, в этом варианте осуществления системы 100 хранилища опасного материала кондукторная обсадная колонна 120 проходит от земной поверхности через поверхностный слой 112. Поверхностный слой 112 в этом примере представляет собой геологический слой, состоящий из одного или более слоистых пластов горных пород. В некоторых аспектах поверхностный слой 112 в этом примере может содержать или может не содержать пресноводные водоносные горизонты, источники соленой воды или насыщенного минерального раствора или другие источники проточной воды (например, воду, которая перемещается через геологический пласт). В некоторых аспектах кондукторная обсадная колонна 120 может изолировать ствол 104 скважины от такой проточной воды, а также может обеспечивать место подвешивания для других обсадных колонн, устанавливаемых в стволе 104 скважины. Кроме того, хотя это и не проиллюстрировано, направляющая обсадная колонна может быть

установлена над кондукторной обсадной колонной 120 (например, между кондукторной обсадной колонной 120 и поверхностью 102, а также внутри поверхностного слоя 112), чтобы предотвратить вытекание буровых растворов в поверхностный слой 112.

Как проиллюстрировано, эксплуатационная обсадная колонна 122 расположена и установлена внутри ствола 104 скважины ниже по стволу скважины от кондукторной обсадной колонны 120. Хотя эта обсадная колонна и называется "эксплуатационной", в этом примере через обсадную колонну 122 может производиться или может не производиться добыча углеводородов. Таким образом, обсадная колонна 122 подразумевает и включает любую форму трубчатого элемента, который установлен (например, зацементирован) в стволе 104 скважины ниже по стволу скважины от кондукторной обсадной колонны 120. В некоторых примерах системы 100 хранилища опасного материала эксплуатационная обсадная колонна 122 может начинаться на конце изогнутой по радиусу части 108 и проходить через всю наклонную часть 110. Кроме того, обсадная колонна 122 может проходить в изогнутую по радиусу часть 108 и в вертикальную часть 106.

Как проиллюстрировано, цемент 130 размещен (например, закачан) вокруг обсадных колонн 120 и 122 в кольцевом пространстве между обсадными колоннами 120 и 122 и стволом 104 скважины. Цемент 130 может, например, закреплять обсадные колонны 120 и 122 (и любые другие обсадные колонны или хвостовики ствола 104 скважины) при их прохождении через подземные слои под земной поверхностью 102. В некоторых аспектах цемент 130 может быть установлен по всей длине обсадных колонн (например, обсадных колонн 120 и 122 и любых других обсадных колонн), или цемент 130 может применяться вдоль определенных частей обсадных колонн, если это подходит для конкретного ствола 102 скважины. Цемент 130 также может обеспечить дополнительный слой для содержания опасного материала в контейнерах 126.

Ствол 104 скважины и связанные с ним обсадные колонны 120 и 122 могут быть образованы с различными типовыми размерами и на различных типовых глубинах (например, истинной вертикальной глубине; TVD). Например, направляющая обсадная колонна (не показана) может достигать приблизительно до 120 футов TVD, и ее диаметр может составлять приблизительно от 28 до 60 дюймов. Кондукторная обсадная колонна 120 может достигать приблизительно до 2500 футов TVD, и ее диаметр может составлять приблизительно от 22 до 48 дюймов. Промежуточная обсадная колонна (не показана) между кондукторной обсадной колонной 120 и эксплуатационной обсадной колонной 122 может достигать приблизительно до 8000 футов TVD, и ее диаметр может составлять приблизительно от 16 до 36 дюймов. Эксплуатационная обсадная колонна 122 может проходить наклонно (например, для обсаживания наклонной части 110), и ее диаметр может составлять приблизительно от 11 до 22 дюймов. Вышеуказанные размеры приведены исключительно в качестве примеров, и в настоящем изобретении рассматриваются другие размеры (например, диаметры, TVD, длины). Например, диаметры и TVD могут зависеть от конкретного геологического состава одного или более из множества подземных слоев (112, 114, 116 и 132), конкретных методов бурения, а также размера, формы или конструкции контейнера 126 для опасного материала, который содержит опасный материал, который должен быть помещен в систему 100 хранилища опасного материала. В некоторых альтернативных примерах эксплуатационная обсадная колонна 122 (или другая обсадная колонна в стволе 104 скважины) может иметь круглое поперечное сечение, эллиптическое поперечное сечение или некоторую другую форму.

Как проиллюстрировано, вертикальная часть 106 ствола 104 скважины проходит через подземные слои 112, 114, 116 и 132 и в этом примере достигает забоя в подземном слое 119. Как обсуждалось выше, поверхностный слой 112 может содержать или может не содержать проточную воду. Подземный слой 114, который находится ниже поверхностного слоя 112, в этом примере представляет собой слой 114 проточной воды. Например, слой 114 проточной воды может содержать один или более источников проточной воды, таких как пресноводные водоносные горизонты, источник соленой воды или насыщенного минерального раствора или другой источник проточной воды. В этом примере системы 100 хранилища опасного материала проточной водой может быть вода, которая перемещается через подземный слой за счет перепада давления во всем подземном слое или его части. Например, слой 114 проточной воды может представлять собой проницаемый геологический пласт, в котором вода свободно перемещается (например, из-за перепадов давления или иным образом) внутри слоя 114. В некоторых аспектах слой 114 проточной воды может быть основным источником потребляемой людьми воды в конкретной географической области. Примеры пластов горных пород, из которых может состоять слой 114 проточной воды, включают, среди прочих пластов, пористые песчаники и известняки. Другие проиллюстрированные слои, такие как непроницаемый слой 116 и накопительный слой 119, могут содержать непроточную воду. В некоторых аспектах непроточная вода представляет собой воду (например, пресную воду, соляную воду, насыщенный минеральный раствор), которая не подходит для потребления людьми и/или животными. В некоторых аспектах непроточная вода может представлять собой воду, которая из-за своего движения через слои 116 и/или 119 не может достичь слоя 114 проточной воды, земной поверхности 102, или и того, и другого, в течение 10000 лет или более (например, в течение 1000000 лет).

В этом приведенном в качестве примера варианте осуществления системы 100 хранилища опасного материала под слоем 114 проточной воды находится непроницаемый слой 116. В этом примере непрони-

цаемый слой 116 может не пропускать проточную воду. Таким образом, по сравнению со слоем 114 проточной воды непроницаемый слой 116 может иметь низкую проницаемость, например проницаемость порядка нанодарси (нД). Кроме того, в этом примере непроницаемый слой 116 может быть относительно не пластичным (т.е. хрупким) геологическим пластом. Одним из показателей отсутствия пластичности является хрупкость, которая представляет собой отношение напряжения сжатия к прочности на разрыв. В некоторых примерах хрупкость непроницаемого слоя 116 может составлять приблизительно от 20 до 40 МПа.

Как проиллюстрировано в этом примере, непроницаемый слой 116 является менее глубоким (например, находится ближе к земной поверхности 102), чем накопительный слой 119. В этом примере пласты горных пород, из которых может состоять непроницаемый слой 116, содержат, например, некоторые виды песчаника, аргиллита, глины и сланца, которые обладают описанными выше свойствами проницаемости и хрупкости. В альтернативных примерах непроницаемый слой 116 может быть глубже (например, находится дальше от земной поверхности 102), чем накопительный слой 119. В таких альтернативных примерах непроницаемый слой 116 может состоять из магматической породы, такой как гранит.

Ниже непроницаемого слоя 116 находится накопительный слой 119. В этом примере накопительный слой 119 может быть выбран по нескольким причинам в качестве места достижения забоя для наклонной части 110, в которой хранится опасный материал. По сравнению с непроницаемым слоем 116 или другими слоями накопительный слой 119 может быть толстым, например, его общая вертикальная толщина может составлять приблизительно 100-200 футов. Толщина накопительного слоя 119 может обеспечить более легкое достижение забоя и наклонно-направленное бурение, тем самым обеспечивая несложное размещение наклонной части 110 внутри накопительного слоя 119 во время работ по строительству (например, буровых работ). При образовании через приблизительный горизонтальный центр накопительного слоя 119 наклонная часть 110 может быть окружена геологическим пластом толщиной приблизительно 50-100 футов, который содержит накопительный слой 119. Кроме того, накопительный слой 119 может содержать только непроточную воду, например, из-за очень низкой проницаемости слоя 119 (например, порядка милли- или нанодарси). Кроме того, накопительный слой 119 может обладать достаточной пластичностью, так что хрупкость пласта горных пород, который содержит слой 119, составляет приблизительно от 3 до 10 МПа. Примеры пластов горных пород, из которых может состоять накопительный слой 119, включают сланец и ангидрит. Кроме того, в некоторых аспектах опасный материал может храниться под накопительным слоем, даже в проницаемом пласте, таком как песчаник или известняк, если накопительный слой обладает геологическими свойствами, достаточными для изолирования проницаемого слоя от слоя 114 проточной воды.

В некоторых приведенных в качестве примера вариантах осуществления системы 100 хранилища опасного материала накопительный слой 119 (и/или непроницаемый слой 116) состоит из сланца. В некоторых примерах сланец может иметь свойства, которые соответствуют свойствам, описанным выше в связи с накопительным слоем 119. Например, сланцевые пласты могут быть пригодны для длительного хранения опасного материала (например, в контейнерах 126 для опасного материала) и для их изолирования от слоя 114 проточной воды (например, водоносных горизонтов) и земной поверхности 102. Сланцевые пласты могут располагаться относительно глубоко в геологической среде, обычно на глубине 3000 футов или больше, и находиться в изоляции под любыми пресноводными водоносными горизонтами. Другие пласты могут содержать соляные залежи или другой непроницаемый пластовый слой.

Например, сланцевые пласты (или соляные залежи или другие непроницаемые пластовые слои) могут обладать геологическими свойствами, которые повышают долговременную (например, в течение тысяч лет) изоляцию материала. Такие свойства, например, были продемонстрированы длительным хранением (например, в течение десятков миллионов лет) углеводородных флюидов (например, газа, жидкости, многофазного флюида) без выхода значительных фракций таких флюидов в окружающие слои (например, слой 114 проточной воды). В действительности, сланцы, как было показано, удерживают природный газ в течение миллионов лет или более, что демонстрирует его проверенную способность длительного хранения опасного материала. Типовые сланцевые пласты (например, Marcellus, Eagle Ford, Barnett и другие) имеют слоистую структуру, которая содержит много избыточных уплотняющих слоев, которые эффективно предотвращали перемещение воды, нефти и газа в течение миллионов лет, не содержит проточную воду и, как ожидается (например, исходя из геологических свойств), сможет герметично изолировать опасный материал (например, флюиды или твердые вещества) в течение тысяч лет после размещения.

В некоторых аспектах образование накопительного слоя 119 и/или непроницаемого слоя 116 может образовывать барьер от утечки или загрязняющий слой для защиты от утечки флюидов, который может быть определен, по меньшей мере, частично проявленной способностью слоя сохранять углеводороды или другие флюиды (например, двуокись углерода) в течение сотен лет, тысяч лет, десятков тысяч лет, сотен тысяч лет или даже миллионов лет. Например, загрязняющий слой накопительного слоя 119 и/или непроницаемого слоя 116 может быть определен постоянной времени в отношении утечки опасного материала в течение более чем 10000 лет (например, приблизительно от 10000 до 1000000 лет) на основании такого проявленного хранения углеводородов или других флюидов.

Сланцевые (или соляной или другой непроницаемый слой) пласты также могут залегать на подходящей глубине, например от 3000 до 12000 футов TVD. Такие глубины обычно находятся ниже подземного водоносного горизонта (например, поверхностного слоя 112 и/или слоя 114 проточной воды). Кроме того, наличие растворимых элементов в сланцах, в том числе соли, и отсутствие этих же элементов в слоях водоносного горизонта указывает на жидкую изоляцию между сланцевыми слоями и слоями водоносного горизонта. Другим конкретным свойством сланца, которое может эффективным образом использоваться для хранения опасного материала, является его содержание глины, которое в некоторых аспектах обеспечивает определенную степень пластичности, большую, чем пластичность, наблюдаемая в других непроницаемых пластах горных пород (например, непроницаемом слое 116). Например, сланец может быть слоистым, составленным из тонких чередующихся слоев глин (например, приблизительно 20-30% глины по объему) и других минералов. Такой состав может сделать сланец менее хрупким и, таким образом, менее восприимчивым к образованию трещин или разломов (например, естественным или иным образом) по сравнению с пластами горных пород в непроницаемом слое (например, доломитом или другой горной породой). Например, пласты горных пород в непроницаемом слое 116 могут обладать проницаемостью, пригодной для длительного хранения опасного материала, но они слишком хрупкие и обычно подвержены образованию трещин или разломов. Таким образом, такие пласты могут не иметь надлежащие герметизирующие свойства (что подтверждается их геологическими свойствами) для длительного хранения опасного материала.

Настоящее изобретение предполагает, что между проиллюстрированными подземными слоями 112, 114, 116 и 119 или среди них может быть много других слоев. Например, могут иметься повторяющиеся структуры (например, по вертикали) одного или более из слоя 114 проточной воды, непроницаемого слоя 116 и накопительного слоя 119. Кроме того, в некоторых случаях накопительный слой 119 может непосредственно примыкать (например, вертикально) к слою 114 проточной воды, т.е. без промежуточного непроницаемого слоя 116. В некоторых примерах весь изогнутый по радиусу ствол 108 скважины и наклонный ствол 110 скважины или их части могут быть образованы ниже накопительного слоя 119 таким образом, что накопительный слой 119 (например, сланцевый пласт или другой геологический пласт со свойствами, описанными в настоящем документе) вертикально располагается между наклонным стволом 110 скважины и слоем 114 проточной воды.

Кроме того, в этом приведенном в качестве примера варианте осуществления самовосстанавливающийся слой 132 может располагаться под земной поверхностью 102 и, например, между поверхностью 102 и одним или двумя из непроницаемого слоя 116 и накопительного слоя 119. В некоторых аспектах самовосстанавливающийся слой 132 может содержать геологический пласт, который может останавливать движение или препятствовать движению потока опасного материала (в жидком, твердом или газообразном состоянии) из накопительной части ствола 104 скважины к или в сторону земной поверхности 102. Например, при образовании ствола 104 скважины (например, в процессе бурения) все части геологических пластов слоев 112, 114, 116 и 119 могут быть повреждены (как проиллюстрировано поврежденной зоной 140), тем самым изменяя или воздействуя на их геологические характеристики (например, проницаемость). В действительности, хотя для простоты изложения проиллюстрировано, что поврежденная зона 140 расположена между слоями 114 и 132, поврежденная зона 140 может охватывать всю длину (вертикальную, искривленную и наклонную части) ствола 104 скважины на определенном расстоянии от слоев 112, 114, 116, 119 и 132 или может иметь иное расположение.

В определенных аспектах местоположение ствола 104 скважины может быть выбрано таким образом, чтобы он проходил через самовосстанавливающийся слой 132. Например, как проиллюстрировано, ствол 104 скважины может быть образован так, что по меньшей мере часть вертикальной части 106 ствола 104 скважины образована таким образом, чтобы проходить через самовосстанавливающийся слой 132. В некоторых аспектах самовосстанавливающийся слой 132 содержит геологический пласт, который не дает трещин в течение продолжительных периодов времени даже после осуществления в нем бурения. Примеры геологического пласта в самовосстанавливающемся слое 132 включают глину или доломит. Трещины в таких горных породах имеют тенденцию затягиваться, т.е. со временем они быстро исчезают из-за относительной пластичности материала и огромных давлений, которые возникают под землей из-за давления массы находящейся выше породы на пласт в самовосстанавлиющемся слое. В дополнение к обеспечению "механизма смыкания трещин" для затягивания трещин, которые возникают из-за образования ствола 104 скважины (например, путем бурения или иным образом), самовосстанавливающийся слой 132 может также обеспечивать барьер для защиты от естественных разломов и других трещин, которые в противном случае могли бы создать путь для утечки опасного материала (например, жидкости или твердого вещества) из зоны хранения (например, в наклонной части 110) в сторону земной поверхности 102, слоя 114 проточной воды или и того и другого.

Как показано в этом примере, наклонная часть 110 ствола 104 скважины содержит зону 117 хранения на дальнем участке части 110, в которой может быть размещен с возможностью извлечения опасный материал для длительного хранения. Например, как проиллюстрировано, рабочая колонна 124 (например, лифтовая труба, гибкие насосно-компрессорные трубы, талевый канат или иное устройство) может проходить в обсаженный ствол 104 скважины для размещения одного или более (проиллюстрированы

три контейнера, но их может быть больше или меньше) контейнеров 126 для опасного материала для длительного хранения, но в некоторых аспектах - хранения с возможностью извлечения, в части 110. Например, в варианте осуществления, проиллюстрированном на фиг. 1А, рабочая колонна 124 может содержать скважинный инструмент 128, который соединяется с контейнером 126, и при каждом спуске в ствол 104 скважины скважинный инструмент 128 может размещать тот или иной контейнер 126 для опасного материала в наклонной части 110.

В некоторых аспектах скважинный инструмент 128 может соединяться с контейнером 126 посредством резьбового соединения или соединения другого типа, такого как защелкивающееся соединение. В альтернативных аспектах скважинный инструмент 128 может соединяться с контейнером 126 с помощью самоблокирующейся защелки таким образом, что путем вращения (или линейного перемещения, или электрических или гидравлических переключателей) скважинный инструмент 128 может путем защелкивания зацепляться с контейнером 126 (или отцепляться от него). В альтернативных аспектах скважинный инструмент 124 может содержать один или более магнитов (например, магниты из редкоземельных металлов, электромагниты, их комбинацию или иные приспособления), которые путем притягивания соединяются с контейнером 126. В некоторых примерах контейнер 126 также может содержать один или более магнитов (например, магниты из редкоземельных металлов, электромагниты, их комбинацию или иные приспособления) противоположной полярности по сравнению с магнитами на скважинном инструменте 124. В некоторых примерах контейнер 126 может быть изготовлен из железа или другого материала, притягивающегося к магнитам скважинного инструмента 124, или содержать этот материал. В качестве другого примера каждый контейнер 126 может быть размещен внутри ствола 104 скважины с помощью скважинного трактора (например, на талевом канате или ином приспособлении), который может толкать или тянуть контейнер в наклонную часть 110 с помощью моторизованного перемещения (например, с помощью электрического привода). В качестве еще одного примера каждый контейнер 126 может содержать ролики (например, колеса) или может быть установлен на них таким образом, что скважинный инструмент 124 может протолкнуть контейнер 126 в обсаженный ствол 104 скважины.

В некоторых приведенных в качестве примера вариантах осуществления перед операцией размещения контейнера 126, одна или более обсадных колонн 120 и 122 ствола скважины, или и то и другое может быть покрыто антифрикционным покрытием. Например, за счет нанесения покрытия (например, продукта на нефтяной основе, смолы, керамики или другого материала) на контейнер 126 и/или обсадные колонны ствола скважины может быть облегчено перемещение контейнера 126 через обсаженный ствол 104 скважины в наклонную часть 110. В некоторых аспектах может быть покрыта только часть обсадных колонн ствола скважины. Например, в некоторых аспектах, по существу, вертикальная часть 106 может не иметь покрытия, а изогнутая по радиусу часть 108 или наклонная часть 110, или и та и другая могут быть покрыты для содействия более легкому размещению и извлечению контейнера 126.

На фиг. 1А также проиллюстрирован пример операции извлечения опасного материала из наклонной части 110 ствола 104 скважины. Операция извлечения может быть противоположной операции размещения, так что скважинный инструмент 124 (например, ловильный инструмент) может быть спущен в ствол 104 скважины, соединенный с последним размещенным контейнером 126 (например, с помощью резьбы, защелки, магнита или иным образом), и может вытянуть контейнер 126 на земную поверхность 102. Скважинный инструмент 124 может совершать многократные операции спуска с извлечением для извлечения множества контейнеров из наклонной части 110 ствола 104 скважины.

Каждый контейнер 126 может содержать опасный материал. В некоторых примерах такой опасный материал может быть биологическими или химическими отходами или другим биологическим или химическим опасным материалом. В некоторых примерах опасный материал может содержать ядерный материал, такой как отработанное ядерное топливо, извлеченное из ядерного реактора (например, промышленного энергетического или испытательного реактора) или ядерный материал военного назначения. Например, гигаваттная атомная станция может производить 30 т отработанного ядерного топлива в год. Плотность этого топлива обычно близка к $10 \text{ (} 10 \text{ г/см}^3 = 10 \text{ кг/л)}$, следовательно, объем ядерных отходов в течение года составляет приблизительно 3 м^3 . Отработанное ядерное топливо в виде гранул ядерного топлива может быть извлечено из реактора и не регенерировано. Гранулы ядерного топлива являются твердыми, хотя могут содержать и испускать различные радиоактивные газы, включая тритий (период полураспада 13 лет), криптон-85 (период полураспада 10,8 года) и двуокись углерода, содержащую C-14 (период полураспада 5730 лет).

В некоторых аспектах накопительный слой 119 должен иметь возможность содержать любой радиоактивный продукт (например, газы) в слое 119, даже если такой продукт выходит из контейнеров 126. Например, накопительный слой 119 может быть выбран из расчета периодов времени диффузии радиоактивного продукта через слой 119. Например, минимальное время диффузии радиоактивного продукта, выходящего из накопительного слоя 119, может быть установлено, например, путем умножения пятидесяти на период полураспада для любого конкретного компонента гранул ядерного топлива. Пятьдесят периодов полураспада в качестве минимального времени диффузии уменьшает количество радиоактивного продукта в 1×10^{15} раз. В качестве другого примера выбор значения минимального времени диффузии в течение тридцати периодов полураспада уменьшит количество радиоактивного продукта в 1 мил-

лиард раз.

Например, плутоний-239 часто считается продуктом опасных отходов в отработанном ядерном топливе из-за его длительного периода полураспада - 24100 лет. Для этого изотопа 50 периодов полураспада составит 1,2 миллиона лет. Плутоний-239 имеет низкую растворимость в воде, не является летучим и в твердом состоянии имеет чрезвычайно маленький период диффузии (например, много миллионов лет) через скелет пласта горных пород, содержащего проиллюстрированный накопительный слой 119 (например, сланцевый или другой пласт). Накопительному слою 119, состоящему, например, из сланца, может быть свойственно иметь такие периоды времени изолирования (например, миллионы лет), как видно из геологической истории содержания газообразных углеводородов (например, метана и других веществ) в течение нескольких миллионов лет. И напротив, при осуществлении обычных способов хранения ядерных материалов существует опасность того, что некоторое количество плутония может раствориться в слое, который состоит из подвижных грунтовых вод, при выходе из места хранения.

Как дополнительно проиллюстрировано на фиг. 1А, контейнеры 126 для хранения могут быть размещены для длительного хранения в наклонной части 110, которая, как проиллюстрировано, наклоняется вверх под небольшим углом (например, 2-5°) при удалении от вертикальной части 106 ствола 104 скважины. Как проиллюстрировано, наклонная часть 110 наклоняется вверх к земной поверхности 102. В некоторых аспектах, например, когда в контейнерах 126 хранится радиоактивный опасный материал, наклон части 110 ствола скважины может обеспечить дополнительную степень безопасности и герметизации для предотвращения или препятствования попаданию материала, даже если он просочился из контейнера 126, например, в слой 114 проточной воды, вертикальную часть 106 ствола 104 скважины, на земную поверхность 102 или их комбинацию. Например, радионуклиды, представляющие собой проблему, в опасном материале имеют тенденцию быть относительно плавучими или тяжелыми (по сравнению с насыщенным минеральным раствором или другими флюидами, которые могут заполнять ствол скважины). Плавучие радионуклиды могут представлять наибольшую проблему в отношении утечки, поскольку тяжелые элементы и молекулы имеют тенденцию тонуть и не будут диффундировать по направлению вверх к земной поверхности 102. Газ криптон, в частности $^{14}\text{CO}_2$ (где ^{14}C относится к радиоактивному углероду, также называемому С-14, который является изотопом углерода с периодом полураспада 5730 лет), является плавучим радиоактивным элементом, который тяжелее воздуха (как и большинство газов), но намного легче воды. Таким образом, если $^{14}\text{CO}_2$ вводить в водяную баню, такой газ будет стремиться всплывать вверх к земной поверхности 102. С другой стороны, йод более плотный, чем вода, и при введении в водяную баню имеет тенденцию диффундировать вниз.

Благодаря использованию наклонной части 110 ствола 104 скважины любая такая диффузия радиоактивного материала (например, даже если он просочился из контейнера 126 и при наличии воды или другой жидкости в стволе 104 скважины или при иных условиях) будет направлена под углом вверх к дальнему концу 121 наклонной части 110 и в сторону от изогнутой по радиусу части 108 (и вертикальной части 106) ствола 104 скважины. Таким образом, в случае утечки опасного материала, даже в виде способного к диффузии газа, не будет образовываться путь (например, непосредственно) к земной поверхности 102 (или слою 114 проточной воды) через вертикальную часть 106 ствола 110 скважины. Например, вытекший опасный материал (особенно в газообразном состоянии) будет направлен и будет собираться на дальнем конце 121 части 110 ствола скважины.

Также могут быть осуществлены альтернативные способы размещения контейнеров 126 в наклонной части 110 ствола скважины. Например, флюид (к примеру, жидкость или газ) может циркулировать через ствол 104 скважины для гидравлического проталкивания контейнеров 126 в наклонную часть 110 ствола скважины. В некоторых примерах каждый контейнер 126 может проталкиваться гидравлическим способом по отдельности. В альтернативных аспектах два или более контейнеров 126 могут одновременно проталкиваться гидравлическим способом через ствол 104 скважины для их размещения в наклонной части 110. В некоторых случаях флюид может быть водой. Другие примеры включают буровой раствор или буровую пену. В некоторых примерах для проталкивания контейнеров 126 в ствол скважины может использоваться газ, такой как воздух, аргон или азот.

В некоторых аспектах выбор флюида может зависеть, по меньшей мере, частично от вязкости флюида. Например, может быть выбран флюид с достаточной вязкостью, чтобы препятствовать падению контейнера 126 в, по существу, вертикальную часть 106. Это сопротивление или полное сопротивление может обеспечить некоторый фактор безопасности для защиты от внезапного падения контейнера 126. Также флюид может обеспечивать смазку для уменьшения трения при скольжении между контейнером 126 и обсадными колоннами 120 и 122. Контейнер 126 может транспортироваться внутри обсадной колонны, заполненной жидкостью с регулируемой вязкостью, плотностью и смазочными свойствами. Заполненное флюидом кольцевое пространство между внутренним диаметром обсадных колонн 120 и 122 и наружным диаметром транспортируемого контейнера 126 представляет собой отверстие, предназначенное для погашения любой высокой скорости движения контейнера, обеспечивая автоматическую пассивную защиту при маловероятном отсоединении транспортируемого контейнера 126.

В некоторых аспектах могут использоваться другие методы, чтобы содействовать размещению контейнера 126 в наклонной части 110. Например, одна или более установленных обсадных колонн (напри-

мер, обсадных колонн 120 и 122) могут иметь направляющие для направления контейнера 126 для хранения в ствол 102 скважины при одновременном уменьшении трения между обсадными колоннами и контейнером 126. Контейнер 126 для хранения и обсадные колонны (или направляющие) могут быть выполнены из материалов, которые легко скользят друг по другу. Обсадные колонны могут иметь поверхность, которая легко смазывается, или поверхность, которая является самосмазывающейся при воздействии веса контейнера 126 для хранения. Флюид также может использоваться для извлечения контейнера 126. Например, в приведенной в качестве примера операции извлечения объем внутри обсадных колонн 120 и 122 может быть заполнен сжатым газом (например, воздухом, азотом, аргоном или иным веществом). При увеличении давления на конце наклонной части 110 контейнеры 126 могут проталкиваться в направлении изогнутой по радиусу части 108, а затем через, по существу, вертикальную часть 106 к земной поверхности.

В некоторых аспектах ствол 104 скважины может быть образован для основной цели - длительного хранения опасных материалов. В альтернативных аспектах ствол 104 скважины может быть предварительно образован для основной цели - добычи углеводородов (например, нефти, газа). Например, накопительный слой 119 может представлять собой углеводородсодержащий пласт, из которого углеводороды добывали через ствол 104 скважины на земную поверхность 102. В некоторых аспектах перед добычей углеводородов в накопительном слое 119, возможно, был произведен гидроразрыв. Кроме того, в некоторых аспектах перед гидроразрывом эксплуатационная обсадная колонна 122, возможно, была перфорирована. В таких аспектах в эксплуатационной обсадной колонне 122 может быть произведен ремонт (например, она может быть зацементирована) для заделывания любых отверстий, образованных в процессе перфорирования до осуществления операции по размещению опасного материала. Кроме того, в это время также могут быть заделаны любые трещины или отверстия в цементе между обсадной колонной и стволом скважины.

Например, в случае отработанного ядерного топлива в виде опасного материала ствол скважины может быть образован в той или иной зоне, например рядом с атомной электростанцией, в качестве нового ствола скважины при условии, что эта зона также содержит соответствующий накопительный слой 119, такой как сланцевый пласт. В альтернативном варианте в качестве ствола 104 скважины может быть выбрана существующая скважина, из которой уже добывают сланцевый газ, или скважина, которая была заброшена как "непродуктивная" (например, с достаточно низким содержанием органических веществ, так что в этом месте слишком мало газа для промышленной разработки). В некоторых аспектах предшествующий гидравлический разрыв, выполненный в накопительном пласте 119 через ствол 104 скважины, может лишь незначительно повлиять на способность ствола 104 скважины хранить опасный материал. Тем не менее, такие предшествующие работы могут также подтвердить способность накопительного слоя 119 сохранять газы и другие флюиды миллионы лет. Следовательно, при возможном выходе опасного материала или продукта опасного материала (например, радиоактивных газов или иных веществ) из контейнера 126 и их попадании в подвергнутый гидроразрыву пласт накопительного слоя 119 трещины, возникшие в результате гидроразрыва, могут позволить этому материалу относительно быстро распространиться на расстояние, сопоставимое по размеру с протяженностью трещин. В некоторых аспектах ствол 102 скважины, возможно, был пробурен для добычи углеводородов, но добыча таких углеводородов не удалась, например, потому что накопительный слой 119 содержал пласт горных пород (например, сланцевый или иной пласт), который был слишком пластичным и с трудом поддающимся гидроразрыву для добычи, но оказалась преимущественно пластичным для длительного хранения опасного материала.

На фиг. 1В проиллюстрировано схематическое представление части приведенного в качестве примера варианта осуществления системы 100 хранилища опасного материала, которая показывает приведенное в качестве примера определение минимального угла наклонной части 110 системы 100 хранилища опасного материала. Например, как показано в системе 100, наклонная часть 110 обеспечивает то, что любой путь, по которому вытекающий опасный материал (например, из одного или более контейнеров 126) просачивается к земной поверхности 102 через ствол 104 скважины, содержит по меньшей мере одну нисходящую составляющую часть. В этом случае наклонная часть 110 является нисходящей составляющей частью. В других приведенных в качестве примера и описанных далее вариантах осуществления, таких как системы 200 и 300, другие части (например, J-образная часть или волнообразная часть) могут содержать по меньшей мере одну нисходящую составляющую часть. Такие пути, как показано в этом примере, опускаются ниже линии 175 горизонтальной границы утечки, пересекающей контейнер 126, который находится ближе всего (при размещении в зоне 117 хранения) к вертикальной части 106 ствола 104 скважины и, следовательно, должен содержать нисходящую составляющую часть.

В некоторых аспектах угол α наклонной части 110 ствола 104 скважины может быть определен (и тем самым может направлять траекторию образования ствола 104 скважины) в соответствии с радиусом R поврежденной зоны 140 ствола 104 скважины и расстоянием D до контейнера 126, который находится ближе всего к вертикальной части 106 ствола 104 скважины. Как показано в выноске на фиг. 1В, при известных расстояниях R и D (или, по меньшей мере, расчетных показателях) угол α может быть вычислен в соответствии с арктангенсом R/D . В приведенном в качестве примера варианте осуществления R может составлять приблизительно 1 м, а D может составлять приблизительно 20 м. Следовательно, угол α как

арктангенс R/D составляет приблизительно 3°. Это всего лишь один пример определения угла а нисходящей составляющей части (например, наклонной части 110) ствола 104 скважины для обеспечения того, чтобы такая нисходящая составляющая часть находилась ниже линии 175 горизонтальной границы утечки.

На фиг. 2 проиллюстрировано схематическое представление приведенных в качестве примера вариантов осуществления другой системы хранилища опасного материала, например подземного местоположения для долгосрочного (например, на период, составляющий десятки, сотни, тысячи лет или более), но безопасного и надежного хранения опасного материала с возможностью извлечения, во время операции размещения или извлечения в соответствии с настоящим изобретением. Например, в соответствии с фиг. 2, на данной фигуре проиллюстрирована приведенная в качестве примера система 200 хранилища опасного материала во время процесса размещения (или извлечения, описанного ниже), например во время развертывания одного или более контейнеров для опасного материала в подземном пласте. Как проиллюстрировано, система 200 хранилища опасного материала содержит ствол 204 скважины, сформированный (например, пробуренный или образованный иным образом) от земной поверхности 202 через множество подземных слоев 212, 214 и 216. Хотя земная поверхность 202 показана как наземная поверхность, земная поверхность 202 может быть поверхностью ниже уровня моря или другой подводной поверхностью, такой как поверхность дна озера или дна океана, или другой поверхностью под массой воды. Таким образом, настоящее изобретение предполагает, что ствол 204 скважины может быть образован под массой воды от места бурения в местонахождении или в непосредственной близости от массы воды.

Проиллюстрированный в этом примере ствол 204 скважины является направленным стволом скважины системы 200 хранилища опасного материала. Например, ствол 204 скважины содержит, по существу, вертикальную часть 206, соединенную с J-образной частью 208, которая, в свою очередь, соединена с, по существу, горизонтальной частью 210. Как проиллюстрировано, J-образная часть 208 имеет форму, которая напоминает нижнюю часть буквы "J", и может иметь форму, подобную форме используемого в водопроводной системе устройства с однооборотным сифоном, которая применяется для предотвращения миграции газов с одной стороны изгиба к другой стороне изгиба. Используемый в настоящем документе термин "по существу" в контексте ориентации ствола скважины относится к стволам скважин, которые могут быть не совсем вертикальными (например, точно перпендикулярными к земной поверхности 202) или не совсем горизонтальными (например, точно параллельными земной поверхности 202) или точно наклоненными под определенным углом наклона относительно земной поверхности 202. Другими словами, вертикальные стволы скважины нередко волнообразно смещены относительно истинного вертикального направления, так что они могут быть пробурены под углом, который отклоняется от истинной вертикали, и горизонтальные стволы скважины нередко волнообразно смещены относительно точной горизонтали.

Как проиллюстрировано в этом примере, три части ствола 204 скважины - вертикальная часть 206, J-образная часть 208 и, по существу, горизонтальная часть 210 - образуют непрерывный ствол 204 скважины, который проходит вглубь геологической среды. Кроме того, как показано пунктирной линией на фиг. 2, J-образная часть 208 может быть соединена с наклонной частью 240 вместо (или в дополнение к), по существу, горизонтальной части 210 ствола 204 скважины.

Проиллюстрированный в этом примере ствол 204 скважины имеет кондукторную обсадную колонну 220, расположенную и установленную вокруг ствола 204 скважины и проходящую от земной поверхности 202 на определенную глубину вглубь геологической среды. Например, кондукторная обсадная колонна 220 может быть трубчатым элементом (или колонной трубчатых элементов) относительно большого диаметра, установленным (например, цементированным) вокруг ствола 204 скважины в неглубоко залегающем пласте. Используемый в настоящем документе термин "трубчатый элемент" может относиться к элементу, который имеет круглое поперечное сечение, эллиптическое поперечное сечение или поперечное сечение другой формы. Например, в этом варианте осуществления системы 200 хранилища опасного материала кондукторная обсадная колонна 220 проходит от земной поверхности через поверхностный слой 212. Поверхностный слой 212 в этом примере представляет собой геологический слой, состоящий из одного или более слоистых пластов горных пород. В некоторых аспектах поверхностный слой 212 в этом примере может содержать или может не содержать пресноводные водоносные горизонты, источники соленой воды или насыщенного минерального раствора или другие источники проточной воды (например, воду, которая перемещается через геологический пласт). В некоторых аспектах кондукторная обсадная колонна 220 может изолировать ствол 204 скважины от такой проточной воды, а также может обеспечивать место подвешивания для других обсадных колонн, устанавливаемых в стволе 204 скважины. Кроме того, хотя это и не проиллюстрировано, направляющая обсадная колонна может быть установлена над кондукторной обсадной колонной 220 (например, между кондукторной обсадной колонной 220 и поверхностью 202, а также внутри поверхностного слоя 212), чтобы предотвратить вытекание буровых растворов в поверхностный слой 212.

Как проиллюстрировано, эксплуатационная обсадная колонна 222 расположена и установлена внутри ствола 204 скважины ниже по стволу скважины от кондукторной обсадной колонны 220. Хотя эта обсадная колонна и называется "эксплуатационной", в этом примере через обсадную колонну 222 может производиться или может не производиться добыча углеводородов. Таким образом, обсадная колонна

222 подразумевает и включает любую форму трубчатого элемента, который установлен (например, зацементирован) в стволе 204 скважины ниже по стволу скважины от кондукторной обсадной колонны 220. В некоторых примерах системы 200 хранилища опасного материала эксплуатационная обсадная колонна 222 может начинаться на конце J-образной части 208 и проходить через всю, по существу, горизонтальную часть 210. Кроме того, обсадная колонна 222 может проходить в J-образную часть 208 и в вертикальную часть 206.

Как проиллюстрировано, цемент 230 размещен (например, закачан) вокруг обсадных колонн 220 и 222 в кольцевом пространстве между обсадными колоннами 220 и 222 и стволом 204 скважины. Цемент 230 может, например, закреплять обсадные колонны 220 и 222 (и любые другие обсадные колонны или хвостовики ствола 204 скважины) при их прохождении через подземные слои под земной поверхностью 202. В некоторых аспектах цемент 230 может быть установлен по всей длине обсадных колонн (например, обсадных колонн 220 и 222 и любых других обсадных колонн), или цемент 230 может применяться вдоль определенных частей обсадных колонн, если это подходит для конкретного ствола 202 скважины. Цемент 230 также может обеспечить дополнительный слой для содержания опасного материала в контейнерах 226.

Ствол 204 скважины и связанные с ним обсадные колонны 220 и 222 могут быть образованы с различными типовыми размерами и на различных типовых глубинах (например, истинной вертикальной глубине; TVD). Например, направляющая обсадная колонна (не показана) может достигать приблизительно до 120 футов TVD, и ее диаметр может составлять приблизительно от 28 до 60 дюймов. Кондукторная обсадная колонна 220 может достигать приблизительно до 2500 футов TVD, и ее диаметр может составлять приблизительно от 22 до 48 дюймов. Промежуточная обсадная колонна (не показана) между кондукторной обсадной колонной 220 и эксплуатационной обсадной колонной 222 может достигать приблизительно до 8000 футов TVD, и ее диаметр может составлять приблизительно от 16 до 36 дюймов. Эксплуатационная обсадная колонна 222 может проходить наклонно (например, для обсаживания, по существу, горизонтальной части 210 и/или наклонной части 240), и ее диаметр может составлять приблизительно от 11 до 22 дюймов. Вышеуказанные размеры приведены исключительно в качестве примеров, и в настоящем изобретении рассматриваются другие размеры (например, диаметры, TVD, длины). Например, диаметры и TVD могут зависеть от конкретного геологического состава одного или более из множества подземных слоев (212, 214 и 216), конкретных методов бурения, а также размера, формы или конструкции контейнера 226 для опасного материала, который содержит опасный материал, который должен быть помещен в систему 200 хранилища опасного материала. В некоторых альтернативных примерах эксплуатационная обсадная колонна 222 (или другая обсадная колонна в стволе 204 скважины) может иметь круглое поперечное сечение, эллиптическое поперечное сечение или некоторую другую форму.

Как проиллюстрировано, вертикальная часть 206 ствола 204 скважины проходит через подземные слои 212, 214 и 216 и в этом примере достигает забоя в подземном слое 219. Как обсуждалось выше, поверхностный слой 212 может содержать или может не содержать проточную воду. Подземный слой 214, который находится ниже поверхностного слоя 212, в этом примере представляет собой слой 214 проточной воды. Например, слой 214 проточной воды может содержать один или более источников проточной воды, таких как пресноводные водоносные горизонты, источник соленой воды или насыщенного минерального раствора или другой источник проточной воды. В этом примере системы 200 хранилища опасного материала проточной водой может быть вода, которая перемещается через подземный слой за счет перепада давления во всем подземном слое или его части. Например, слой 214 проточной воды может представлять собой проницаемый геологический пласт, в котором вода свободно перемещается (например, из-за перепадов давления или иным образом) внутри слоя 214. В некоторых аспектах слой 214 проточной воды может быть основным источником потребляемой людьми воды в конкретной географической области. Примеры пластов горных пород, из которых может состоять слой 214 проточной воды, включают, среди прочих пластов, пористые песчаники и известняки. Другие проиллюстрированные слои, такие как непроницаемый слой 216 и накопительный слой 219, могут содержать непроточную воду. В некоторых аспектах непроточная вода представляет собой воду (например, пресную воду, соляную воду, насыщенный минеральный раствор), которая не подходит для потребления людьми и/или животными. В некоторых аспектах непроточная вода может представлять собой воду, которая из-за своего движения через слои 216 и/или 219 не может достичь слоя 214 проточной воды, земной поверхности 202, или и того, и другого, в течение 10000 лет или более (например, в течение 1000000 лет).

В этом приведенном в качестве примера варианте осуществления системы 200 хранилища опасного материала под слоем 214 проточной воды находится непроницаемый слой 216. В этом примере непроницаемый слой 216 может не пропускать проточную воду. Таким образом, по сравнению со слоем 214 проточной воды непроницаемый слой 216 может иметь низкую проницаемость, например, проницаемость порядка 0,01 мД. Кроме того, в этом примере непроницаемый слой 216 может быть относительно не пластичным (т.е. хрупким) геологическим пластом. Одним из показателей отсутствия пластичности является хрупкость, которая представляет собой отношение напряжения сжатия к прочности на разрыв. В некоторых примерах хрупкость непроницаемого слоя 216 может составлять приблизительно от 20 до 40 МПа.

Как проиллюстрировано в этом примере, непроницаемый слой 216 является менее глубоким (например, находится ближе к земной поверхности 202), чем накопительный слой 219. В этом примере пласты горных пород, из которых может состоять непроницаемый слой 216, содержат, например некоторые виды песчаника, аргиллита, глины и сланца, которые обладают описанными выше свойствами проницаемости и хрупкости. В альтернативных примерах непроницаемый слой 216 может быть глубже (например, находится дальше от земной поверхности 202), чем накопительный слой 219. В таких альтернативных примерах непроницаемый слой 216 может состоять из магматической породы, такой как гранит.

Ниже непроницаемого слоя 216 находится накопительный слой 219. В этом примере накопительный слой 219 может быть выбран по нескольким причинам в качестве места достижения забоя для, по существу, горизонтальной части 210, в которой хранится опасный материал. По сравнению с непроницаемым слоем 216 или другими слоями накопительный слой 219 может быть толстым, например его общая вертикальная толщина может составлять приблизительно 100-200 футов. Толщина накопительного слоя 219 может обеспечить более легкое достижение забоя и наклонно-направленное бурение, тем самым обеспечивая несложное размещение, по существу, горизонтальной части 210 внутри накопительного слоя 219 во время работ по строительству (например, буровых работ). При образовании через приблизительно горизонтальный центр накопительного слоя 219, по существу, горизонтальная часть 210 может быть окружена геологическим пластом толщиной приблизительно 50-100 футов, который содержит накопительный слой 219. Кроме того, накопительный слой 219 может содержать только непроточную воду, например, из-за очень низкой проницаемости слоя 219 (например, порядка милли- или нанодарси). Кроме того, накопительный слой 219 может обладать достаточной пластичностью, так что хрупкость пласта горных пород, который содержит слой 219, составляет приблизительно от 3 до 10 МПа. Примеры пластов горных пород, из которых может состоять накопительный слой 219, включают сланец и ангидрит. Кроме того, в некоторых аспектах опасный материал может храниться под накопительным слоем, даже в проницаемом пласте, таком как песчаник или известняк, если накопительный слой обладает геологическими свойствами, достаточными для изолирования проницаемого слоя от слоя 214 проточной воды. В некоторых приведенных в качестве примера вариантах осуществления системы 200 хранилища опасного материала накопительный слой 219 (и/или непроницаемый слой 216) состоит из сланца. В некоторых примерах сланец может иметь свойства, которые соответствуют свойствам, описанным выше в связи с накопительным слоем 219. Например, сланцевые пласты могут быть пригодны для длительного хранения опасного материала (например, в контейнерах 226 для опасного материала) и для их изолирования от слоя 214 проточной воды (например, водоносных горизонтов) и земной поверхности 202. Сланцевые пласты могут располагаться относительно глубоко в геологической среде, обычно на глубине 3000 футов или больше и находиться в изоляции под любыми пресноводными водоносными горизонтами. Другие пласты могут содержать соляные залежи или другой непроницаемый пластовый слой.

Например, сланцевые пласты (или соляные залежи или другие непроницаемые пластовые слои) могут обладать геологическими свойствами, которые повышают долговременную (например, в течение тысяч лет) изоляцию материала. Такие свойства, например, были продемонстрированы длительным хранением (например, в течение десятков миллионов лет) углеводородных флюидов (например, газа, жидкости, многофазного флюида) без выхода таких флюидов в окружающие слои (например, слой 214 проточной воды). В действительности, сланцы, как было показано, удерживают природный газ в течение миллионов лет или более, что демонстрирует его проверенную способность длительного хранения опасного материала. Типовые сланцевые пласты (например, Marcellus, Eagle Ford, Barnett и другие) имеют слоистую структуру, которая содержит много избыточных уплотняющих слоев, которые эффективно предотвращали перемещение воды, нефти и газа в течение миллионов лет, не содержит проточную воду и, как ожидается (например, исходя из геологических свойств), сможет герметично изолировать опасный материал (например, флюиды или твердые вещества) в течение тысяч лет после размещения.

В некоторых аспектах образование накопительного слоя 219 и/или непроницаемого слоя 216 может образовывать барьер от утечки или загрязняющий слой для защиты от утечки флюидов, который может быть определен, по меньшей мере, частично проявленной способностью слоя сохранять углеводороды или другие флюиды (например, двуокись углерода) в течение сотен лет, тысяч лет, десятков тысяч лет, сотен тысяч лет или даже миллионов лет. Например, загрязняющий слой накопительного слоя 219 и/или непроницаемого слоя 216 может быть определен постоянной времени в отношении утечки опасного материала в течение более чем 10000 лет (например, от 10000 до 1000000 лет) на основании такого проявленного хранения углеводородов или других флюидов.

Сланцевые (или соляной или другой непроницаемый слой) пласты также могут залегать на подходящей глубине, например от 3000 до 12000 футов TVD. Такие глубины обычно находятся ниже подземного водоносного горизонта (например, поверхностного слоя 212 и/или слоя 214 проточной воды). Кроме того, наличие растворимых элементов в сланцах, в том числе соли, и отсутствие этих же элементов в слоях водоносного горизонта, указывает на жидкую изоляцию между сланцевыми слоями и слоями водоносного горизонта. Другим конкретным свойством сланца, которое может эффективным образом использоваться для хранения опасного материала, является его содержание глины, которое в некоторых аспектах обеспечивает определенную степень пластичности, большую, чем пластичность, наблюдаемая в

других непроницаемых пластах горных пород (например, непроницаемом слое 216). Например, сланец может быть слоистым, составленным из тонких чередующихся слоев глин (например, приблизительно 20-30% глины по объему) и других минералов. Такой состав может сделать сланец менее хрупким и, таким образом, менее восприимчивым к образованию трещин или разломов (например, естественным или иным образом) по сравнению с пластами горных пород в непроницаемом слое (например, доломитом или другой горной породой). Например, пласты горных пород в непроницаемом слое 216 могут обладать проницаемостью, пригодной для длительного хранения опасного материала, но они слишком хрупкие и обычно подвержены образованию трещин или разломов. Таким образом, такие пласты могут не иметь надлежащие герметизирующие свойства (что подтверждается их геологическими свойствами) для длительного хранения опасного материала.

Настоящее изобретение предполагает, что между проиллюстрированными подземными слоями 212, 214, 216 и 219 или среди них может быть много других слоев. Например, могут иметься повторяющиеся структуры (например, по вертикали) одного или более из слоя 214 проточной воды, непроницаемого слоя 216 и накопительного слоя 219. Кроме того, в некоторых случаях накопительный слой 219 может непосредственно примыкать (например, вертикально) к слою 214 проточной воды, т.е. без промежуточного непроницаемого слоя 216. В некоторых примерах полностью или частично J-образный ствол 208 скважины и, по существу, горизонтальная часть 210 (и/или наклонная часть 240) могут быть образованы ниже накопительного слоя 219 таким образом, что накопительный слой 219 (например, сланцевый пласт или другой геологический пласт со свойствами, описанными в настоящем документе) вертикально располагается между, по существу, горизонтальной частью 210 (и/или наклонной частью 240) и слоем 214 проточной воды.

Хотя это и не проиллюстрировано в данном конкретном примере, показанном на фиг. 2, самовосстанавливающийся слой (например, самовосстанавливающийся слой 132) может располагаться под земной поверхностью 202 и, например, между поверхностью 202 и одним из двумя из непроницаемого слоя 216 и накопительного слоя 219. В некоторых аспектах самовосстанавливающийся слой может содержать геологический пласт, который может останавливать движение или препятствовать движению потока опасного материала (в жидком, твердом или газообразном состоянии) из накопительной части ствола 204 скважины к или в сторону земной поверхности 202. Например, при образовании ствола 204 скважины (например, в процессе бурения) все части геологических пластов слоев 212, 214, 216 и 219 могут быть повреждены, тем самым изменяя или воздействуя на их геологические характеристики (например, проницаемость).

В определенных аспектах местоположение ствола 204 скважины может быть выбрано таким образом, чтобы он проходил через самовосстанавливающийся слой. Например, как проиллюстрировано, ствол 204 скважины может быть образован так, что по меньшей мере часть вертикальной части 206 ствола 204 скважины образована таким образом, чтобы проходить через самовосстанавливающийся слой. В некоторых аспектах самовосстанавливающийся слой содержит геологический пласт, который не дает трещин в течение продолжительных периодов времени даже после осуществления в нем бурения. Примеры геологического пласта в самовосстанавливающемся слое включают глину или доломит. Трещины в таких горных породах имеют тенденцию затягиваться, т.е. со временем они быстро исчезают из-за относительной пластичности материала и огромных давлений, которые возникают под землей из-за давления массы находящейся выше породы на пласт в самовосстанавлиющемся слое. В дополнение к обеспечению "механизма смыкания трещин" для затягивания трещин, которые возникают из-за образования ствола 204 скважины (например, путем бурения или иным образом), самовосстанавливающийся слой может также обеспечивать барьер для защиты от естественных разломов и других трещин, которые в противном случае могли бы создать путь для утечки опасного материала (например, жидкости или твердого вещества) из зоны хранения (например, в, по существу, горизонтальной части 210) в сторону земной поверхности 202, слоя 214 проточной воды или и того и другого.

Как показано в этом примере, по существу, горизонтальная часть 210 ствола 204 скважины содержит зону 217 хранения на дальнем участке части 210, в которой может быть размещен с возможностью извлечения опасный материал для длительного хранения. Например, как проиллюстрировано, рабочая колонна 224 (например, лифтовая труба, гибкие насосно-компрессорные трубы, талевый канат или иное устройство) может проходить в обсаженный ствол 204 скважины для размещения одного или более (проиллюстрированы три контейнера, но их может быть больше или меньше) контейнеров 226 для опасного материала для длительного хранения, но в некоторых аспектах - хранения с возможностью извлечения, в части 210. Например, в варианте осуществления, проиллюстрированном на фиг. 2, рабочая колонна 224 может содержать скважинный инструмент 228, который соединяется с контейнером 226, и при каждом спуске в ствол 204 скважины скважинный инструмент 228 может размещать тот или иной контейнер 226 для опасного материала в, по существу, горизонтальной части 210.

В некоторых аспектах скважинный инструмент 228 может соединяться с контейнером 226 посредством резьбового соединения или соединения другого типа, такого как защелкивающееся соединение. В альтернативных аспектах скважинный инструмент 228 может соединяться с контейнером 226 с помощью самоблокирующейся защелки таким образом, что путем вращения (или линейного перемещения, или

электрических или гидравлических переключателей) скважинный инструмент 228 может путем защелкивания зацепляться с контейнером 226 (или отцепляться от него). В альтернативных аспектах скважинный инструмент 224 может содержать один или более магнитов (например, магниты из редкоземельных металлов, электромагниты, их комбинацию или иные приспособления), которые путем притягивания соединяются с контейнером 226. В некоторых примерах контейнер 226 также может содержать один или более магнитов (например, магниты из редкоземельных металлов, электромагниты, их комбинацию или иные приспособления) противоположной полярности по сравнению с магнитами на скважинном инструменте 224. В некоторых примерах контейнер 226 может быть изготовлен из железа или другого материала, притягивающегося к магнитам скважинного инструмента 224, или содержать этот материал. В качестве другого примера каждый контейнер 226 может быть размещен внутри ствола 204 скважины с помощью скважинного трактора (например, на талевом канате или ином приспособлении), который может толкать или тянуть контейнер в, по существу, горизонтальную часть 210 с помощью моторизованного перемещения (например, с помощью электрического привода). В качестве еще одного примера каждый контейнер 226 может содержать ролики (например, колеса) или может быть установлен на них таким образом, что скважинный инструмент 224 может протолкнуть контейнер 226 в обсаженный ствол 204 скважины.

В некоторых приведенных в качестве примера вариантах осуществления перед операцией размещения контейнер 226, одна или более обсадных колонн 220 и 222 ствола скважины или и то и другое могут быть покрыты антифрикционным покрытием. Например, за счет нанесения покрытия (например, продукта на нефтяной основе, смолы, керамики или другого материала) на контейнер 226 и/или обсадные колонны ствола скважины может быть облегчено перемещение контейнера 226 через обсаженный ствол 204 скважины в, по существу, горизонтальную часть 210. В некоторых аспектах может быть покрыта только часть обсадных колонн ствола скважины. Например, в некоторых аспектах, по существу, вертикальная часть 206 может не иметь покрытия, а J-образная часть 208 или, по существу, горизонтальная часть 210, или и та, и другая, могут быть покрыты для содействия более легкому размещению и извлечению контейнера 226.

На фиг. 2 также проиллюстрирован пример операции извлечения опасного материала из, по существу, горизонтальной части 210 ствола 204 скважины. Операция извлечения может быть противоположной операции размещения, так что скважинный инструмент 224 (например, ловильный инструмент) может быть спущен в ствол 204 скважины, соединенный с последним размещенным контейнером 226 (например, с помощью резьбы, защелки, магнита или иным образом), и может вытянуть контейнер 226 на земную поверхность 202. Скважинный инструмент 224 может совершать многократные операции спуска с извлечением для извлечения множества контейнеров из, по существу, горизонтальной части 210 ствола 204 скважины. Каждый контейнер 226 может содержать опасный материал. В некоторых примерах такой опасный материал может быть биологическими или химическими отходами или другим биологическим или химическим опасным материалом. В некоторых примерах опасный материал может содержать ядерный материал, такой как отработанное ядерное топливо, извлеченное из ядерного реактора (например, промышленного энергетического или испытательного реактора) или ядерный материал военного назначения. Например, гигаваттная атомная станция может производить 30 т отработанного ядерного топлива в год. Плотность этого топлива обычно близка к $10 \text{ (} 10 \text{ г/см}^3 = 10 \text{ кг/л)}$, следовательно, объем ядерных отходов в течение года составляет приблизительно 3 м^3 . Отработанное ядерное топливо в виде гранул ядерного топлива может быть извлечено из реактора и не регенерировано. Гранулы ядерного топлива являются твердыми, хотя могут содержать и испускать различные радиоактивные газы, включая тритий (период полураспада 13 лет), криптон-85 (период полураспада 10,8 года) и двуокись углерода, содержащую C-14 (период полураспада 5730 лет).

В некоторых аспектах накопительный слой 219 должен иметь возможность содержать любой радиоактивный продукт (например, газы) в слое 219, даже если такой продукт выходит из контейнеров 226. Например, накопительный слой 219 может быть выбран из расчета периодов времени диффузии радиоактивного продукта через слой 219. Например, минимальное время диффузии радиоактивного продукта, выходящего из накопительного слоя 219, может быть установлено, например, путем умножения пятидесяти на период полураспада для любого конкретного компонента гранул ядерного топлива. Пятьдесят периодов полураспада в качестве минимального времени диффузии уменьшает количество радиоактивного продукта в 1×10^{-15} раз. В качестве другого примера, выбор значения минимального времени диффузии в течение тридцати периодов полураспада уменьшит количество радиоактивного продукта в 1 миллиард раз.

Например, плутоний-239 часто считается продуктом опасных отходов в отработанном ядерном топливе из-за его длительного периода полураспада - 24100 лет. Для этого изотопа 50 периодов полураспада составит 1,2 миллиона лет. Плутоний-239 имеет низкую растворимость в воде, не является летучим и в твердом состоянии не может диффундировать через скелет пласта горных пород, содержащего проиллюстрированный накопительный слой 219 (например, сланцевый или другой пласт). Накопительному слою 219, состоящему, например, из сланца, может быть свойственно иметь такие периоды времени изолирования (например, миллионы лет), как видно из геологической истории содержания газообразных

углеводородов (например, метана и других веществ) в течение нескольких миллионов лет. И напротив, при осуществлении обычных способов хранения ядерных материалов существует опасность того, что некоторое количество плутония может раствориться в слое, который состоит из подвижных грунтовых вод, при выходе из места хранения. Как дополнительно проиллюстрировано на фиг. 2, контейнеры 226 для хранения могут быть размещены для длительного хранения в, по существу, горизонтальной части 210, которая, как показано, соединена с вертикальной частью 106 ствола 104 скважины через J-образную часть 208. Как проиллюстрировано, J-образная часть 208 содержит часть, направленную вверх и наклоненную к земной поверхности 202. В некоторых аспектах, например, когда в контейнерах 226 хранится радиоактивный опасный материал, этот наклон J-образной части 208 (и наклон наклонной части 240 в случае ее образования) может обеспечить дополнительную степень безопасности и герметизации для предотвращения или препятствования попаданию материала, даже если он просочился из контейнера 226, например, в слой 214 проточной воды, вертикальную часть 206 ствола 204 скважины, на земную поверхность 202 или их комбинацию. Например, радионуклиды, представляющие собой проблему, в опасном материале имеют тенденцию быть относительно плавучими или тяжелыми (по сравнению с другими компонентами материала). Плавучие радионуклиды могут представлять наибольшую проблему в отношении утечки, поскольку тяжелые элементы и молекулы имеют тенденцию тонуть и не будут диффундировать по направлению вверх к земной поверхности 202. Газ криптон, в частности криптон-85, является плавучим радиоактивным элементом, который тяжелее воздуха (как и большинство газов), но намного легче воды. Таким образом, если криптон-85 вводить в водяную баню, такой газ будет стремиться всплывать вверх к земной поверхности 202. С другой стороны, йод более плотный, чем вода, и при введении в водяную баню имеет тенденцию диффундировать вниз.

Благодаря использованию J-образной части 208 ствола 204 скважины любая такая диффузия радиоактивного материала (например, даже если он просочился из контейнера 226 и при наличии воды или другой жидкости в стволе 204 скважины или при иных условиях) будет направлена под углом вверх к, по существу, горизонтальной части 210 и, в частности, к дальнему концу 221, по существу, горизонтальной части 210 и в сторону от J-образной части 208 (и вертикальной части 206) ствола 204 скважины. Таким образом, в случае утечки опасного материала, даже в виде способного к диффузии газа, не будет образовываться путь (например, непосредственно) к земной поверхности 202 (или слою 214 проточной воды) через вертикальную часть 206 ствола 210 скважины. Например, вытекший опасный материал (особенно в газообразном состоянии) будет направлен и будет собираться на дальнем конце 221 части 210 ствола скважины, или, в общем случае, внутри, по существу, горизонтальной части 210 ствола 204 скважины.

Также могут быть осуществлены альтернативные способы размещения контейнеров 226 в наклонной части 210 ствола скважины. Например, флюид (к примеру, жидкость или газ) может циркулировать через ствол 204 скважины для гидравлического проталкивания контейнеров 226 в наклонную часть 210 ствола скважины. В некоторых примерах каждый контейнер 226 может проталкиваться гидравлическим способом по отдельности. В альтернативных аспектах два или более контейнеров 226 могут одновременно проталкиваться гидравлическим способом через ствол 204 скважины для их размещения в, по существу, горизонтальной части 210. В некоторых случаях флюид может быть водой. Другие примеры включают буровой раствор или буровую пену. В некоторых примерах для проталкивания контейнеров 226 в ствол скважины может использоваться газ, такой как воздух, аргон или азот. В некоторых аспектах выбор флюида может зависеть, по меньшей мере, частично от вязкости флюида. Например, может быть выбран флюид с достаточной вязкостью, чтобы препятствовать падению контейнера 226 в, по существу, вертикальную часть 206. Это сопротивление или полное сопротивление может обеспечить некоторый фактор безопасности для защиты от внезапного падения контейнера 226. Также флюид может обеспечивать смазку для уменьшения трения при скольжении между контейнером 226 и обсадными колоннами 220 и 222. Контейнер 226 может транспортироваться внутри обсадной колонны, заполненной жидкостью с регулируемой вязкостью, плотностью и смазочными свойствами. Заполненное флюидом кольцевое пространство между внутренним диаметром обсадных колонн 220 и 222 и наружным диаметром транспортируемого контейнера 226 представляет собой отверстие, предназначенное для погашения любой высокой скорости движения контейнера, обеспечивая автоматическую пассивную защиту при маловероятном отсоединении транспортируемого контейнера 226.

В некоторых аспектах могут использоваться другие методы, чтобы содействовать размещению контейнера 226 в, по существу, горизонтальной части 210. Например, одна или более установленных обсадных колонн (например, обсадных колонн 220 и 222) могут иметь направляющие для направления контейнера 226 для хранения в ствол 202 скважины при одновременном уменьшении трения между обсадными колоннами и контейнером 226. Контейнер 226 для хранения и обсадные колонны (или направляющие) могут быть выполнены из материалов, которые легко скользят друг по другу. Обсадные колонны могут иметь поверхность, которая легко смазывается, или поверхность, которая является самосмазывающейся при воздействии веса контейнера 226 для хранения.

Флюид также может использоваться для извлечения контейнера 226. Например, в приведенной в качестве примера операции извлечения объем внутри обсадных колонн 220 и 222 может быть заполнен сжатым газом (например, воздухом, азотом, аргон или иным веществом). При увеличении давления на

конце, по существу, горизонтальной части 210 контейнеры 226 могут проталкиваться в направлении J-образной части 208, а затем через, по существу, вертикальную часть 206 к земной поверхности. В некоторых аспектах ствол 204 скважины может быть образован для основной цели - длительного хранения опасных материалов. В альтернативных аспектах ствол 204 скважины может быть предварительно образован для основной цели - добычи углеводородов (например, нефти, газа). Например, накопительный слой 219 может представлять собой углеводородсодержащий пласт, из которого углеводороды добывали через ствол 204 скважины на земную поверхность 202. В некоторых аспектах перед добычей углеводородов в накопительном слое 219, возможно, был произведен гидроразрыв. Кроме того, в некоторых аспектах перед гидроразрывом эксплуатационная обсадная колонна 222, возможно, была перфорирована. В таких аспектах в эксплуатационной обсадной колонне 222 может быть произведен ремонт (например, она может быть зацементирована) для заделывания любых отверстий, образованных в процессе перфорирования до осуществления операции по размещению опасного материала. Кроме того, в это время также могут быть заделаны любые трещины или отверстия в цементе между обсадной колонной и стволом скважины.

Например, в случае отработанного ядерного топлива в виде опасного материала ствол скважины может быть образован в той или иной зоне, например рядом с атомной электростанцией, в качестве нового ствола скважины при условии, что эта зона также содержит соответствующий накопительный слой 219, такой как сланцевый пласт. В альтернативном варианте в качестве ствола 204 скважины может быть выбрана существующая скважина, из которой уже добывают сланцевый газ, или скважина, которая была заброшена как "непродуктивная" (например, с достаточно низким содержанием органических веществ, так что в этом месте слишком мало газа для промышленной разработки). В некоторых аспектах предшествующий гидравлический разрыв, выполненный в накопительном пласте 219 через ствол 204 скважины, может лишь незначительно повлиять на способность ствола 204 скважины хранить опасный материал. Тем не менее, такие предшествующие работы могут также подтвердить способность накопительного слоя 219 сохранять газы и другие флюиды миллионы лет. Следовательно, при возможном выходе опасного материала или продукта опасного материала (например, радиоактивных газов или иных веществ) из контейнера 226 и их попадании в подвергнутый гидроразрыву пласт накопительного слоя 219 трещины, возникшие в результате гидроразрыва, могут позволить этому материалу относительно быстро распространиться на расстояние, сопоставимое по размеру с протяженностью трещин. В некоторых аспектах ствол 202 скважины, возможно, был пробурен для добычи углеводородов, но добыча таких углеводородов не удалась, например, потому что накопительный слой 219 содержал пласт горных пород (например, сланцевый или иной пласт), который был слишком пластичным и с трудом поддающимся гидроразрыву для добычи, но оказалась преимущественно пластичным для длительного хранения опасного материала.

На фиг. 3 проиллюстрировано схематическое представление приведенных в качестве примера вариантов осуществления другой системы хранилища опасного материала, например подземного местоположения для долгосрочного (например, на период, составляющий десятки, сотни, тысячи лет или более), но безопасного и надежного хранения опасного материала с возможностью извлечения, во время операции размещения или извлечения в соответствии с настоящим изобретением. Например, в соответствии с фиг. 3, на данной фигуре проиллюстрирована приведенная в качестве примера система 300 хранилища опасного материала во время процесса размещения (или извлечения, описанного ниже), например, во время развертывания одного или более контейнеров для опасного материала в подземном пласте. Как проиллюстрировано, система 300 хранилища опасного материала содержит ствол 304 скважины, сформированный (например, пробуренный или образованный иным образом) от земной поверхности 302 через множество подземных слоев 312, 314 и 316. Хотя земная поверхность 302 показана как наземная поверхность, земная поверхность 302 может быть поверхностью ниже уровня моря или другой подводной поверхностью, такой как поверхность дна озера или дна океана, или другой поверхностью под массой воды. Таким образом, настоящее изобретение предполагает, что ствол 304 скважины может быть образован под массой воды от места бурения в местонахождении или в непосредственной близости от массы воды.

Проиллюстрированный в этом примере ствол 304 скважины является направленным стволом скважины системы 300 хранилища опасного материала. Например, ствол 304 скважины содержит, по существу, вертикальную часть 306, соединенную с искривленной частью 308, которая, в свою очередь, соединена с волнообразной в вертикальном направлении частью 310. Используемый в настоящем документе термин "по существу" в контексте ориентации ствола скважины относится к стволам скважин, которые могут быть не совсем вертикальными (например, точно перпендикулярными к земной поверхности 302) или не совсем горизонтальными (например, точно параллельными земной поверхности 302) или точно наклоненными под определенным углом наклона относительно земной поверхности 302. Другими словами, вертикальные стволы скважины нередко волнообразно смещены относительно истинного вертикального направления, так что они могут быть пробурены под углом, который отклоняется от истинной вертикали, и горизонтальные стволы скважины нередко волнообразно смещены относительно точной горизонтали. Кроме того, в некоторых аспектах волнообразная часть может не быть равномерно волнообразной, т.е. иметь равномерно разнесенные пики или равномерно разнесенные впадины. Вместо этого волнообразный ствол скважины может быть неравномерно волнообразным, например, имея неравномер-

но разнесенные пики и/или неравномерно разнесенные впадины. Кроме того, в волнообразном стволе скважины расстояние от пика до впадины может изменяться вдоль протяженности ствола скважины. Как проиллюстрировано в этом примере, три части ствола 304 скважины - вертикальная часть 306, искривленная часть 308 и волнообразная в вертикальном направлении часть 310 - образуют непрерывный ствол 304 скважины, который проходит вглубь геологической среды.

Проиллюстрированный в этом примере ствол 304 скважины имеет кондукторную обсадную колонну 320, расположенную и установленную вокруг ствола 304 скважины и проходящую от земной поверхности 302 на определенную глубину вглубь геологической среды. Например, кондукторная обсадная колонна 320 может быть трубчатым элементом (или колонной трубчатых элементов) относительно большого диаметра, установленным (например, цементированным) вокруг ствола 304 скважины в неглубоко залегающем пласте. Используемый в настоящем документе термин "трубчатый элемент" может относиться к элементу, который имеет круглое поперечное сечение, эллиптическое поперечное сечение или поперечное сечение другой формы. Например, в этом варианте осуществления системы 300 хранилища опасного материала кондукторная обсадная колонна 320 проходит от земной поверхности через поверхностный слой 312. Поверхностный слой 312 в этом примере представляет собой геологический слой, состоящий из одного или более слоистых пластов горных пород. В некоторых аспектах поверхностный слой 312 в этом примере может содержать или может не содержать пресноводные водоносные горизонты, источники соленой воды или насыщенного минерального раствора или другие источники проточной воды (например, воду, которая перемещается через геологический пласт). В некоторых аспектах кондукторная обсадная колонна 320 может изолировать ствол 304 скважины от такой проточной воды, а также может обеспечивать место подвешивания для других обсадных колонн, устанавливаемых в стволе 304 скважины. Кроме того, хотя это и не проиллюстрировано, направляющая обсадная колонна может быть установлена над кондукторной обсадной колонной 320 (например, между кондукторной обсадной колонной 320 и поверхностью 302, а также внутри поверхностного слоя 312), чтобы предотвратить вытекание буровых растворов в поверхностный слой 312.

Как проиллюстрировано, эксплуатационная обсадная колонна 322 расположена и установлена внутри ствола 304 скважины ниже по стволу скважины от кондукторной обсадной колонны 320. Хотя эта обсадная колонна и называется "эксплуатационной", в этом примере через обсадную колонну 322 может производиться или может не производиться добыча углеводородов. Таким образом, обсадная колонна 322 подразумевает и включает любую форму трубчатого элемента, который установлен (например, зацементирован) в стволе 304 скважины ниже по стволу скважины от кондукторной обсадной колонны 320. В некоторых примерах системы 300 хранилища опасного материала эксплуатационная обсадная колонна 322 может начинаться на конце искривленной части 308 и проходить через всю волнообразную в вертикальном направлении часть 310. Кроме того, обсадная колонна 322 может проходить в искривленную часть 308 и в вертикальную часть 306.

Как проиллюстрировано, цемент 330 размещен (например, закачан) вокруг обсадных колонн 320 и 322 в кольцевом пространстве между обсадными колоннами 320 и 322 и стволом 304 скважины. Цемент 330 может, например, закреплять обсадные колонны 320 и 322 (и любые другие обсадные колонны или хвостовики ствола 304 скважины) при их прохождении через подземные слои под земной поверхностью 302. В некоторых аспектах цемент 330 может быть установлен по всей длине обсадных колонн (например, обсадных колонн 320 и 322 и любых других обсадных колонн), или цемент 330 может применяться вдоль определенных частей обсадных колонн, если это подходит для конкретного ствола 302 скважины. Цемент 330 также может обеспечить дополнительный слой для содержания опасного материала в контейнерах 326.

Ствол 304 скважины и связанные с ним обсадные колонны 320 и 322 могут быть образованы с различными типовыми размерами и на различных типовых глубинах (например, истинной вертикальной глубине; TVD). Например, направляющая обсадная колонна (не показана) может достигать приблизительно до 120 футов TVD, и ее диаметр может составлять приблизительно от 28 до 60 дюймов. Кондукторная обсадная колонна 320 может достигать приблизительно до 2500 футов TVD, и ее диаметр может составлять приблизительно от 22 до 48 дюймов. Промежуточная обсадная колонна (не показана) между кондукторной обсадной колонной 320 и эксплуатационной обсадной колонной 322 может достигать приблизительно до 8000 футов TVD, и ее диаметр может составлять приблизительно от 16 до 36 дюймов. Эксплуатационная обсадная колонна 322 может проходить наклонно (например, для обсаживания волнообразной в вертикальном направлении части 310), и ее диаметр может составлять приблизительно от 11 до 22 дюймов. Вышеуказанные размеры приведены исключительно в качестве примеров, и в настоящем изобретении рассматриваются другие размеры (например, диаметры, TVD, длины). Например, диаметры и TVD могут зависеть от конкретного геологического состава одного или более из множества подземных слоев (312, 314 и 316), конкретных методов бурения, а также размера, формы или конструкции контейнера 326 для опасного материала, который содержит опасный материал, который должен быть помещен в систему 300 хранилища опасного материала. В некоторых альтернативных примерах эксплуатационная обсадная колонна 322 (или другая обсадная колонна в стволе 304 скважины) может иметь круглое поперечное сечение, эллиптическое поперечное сечение или некоторую другую форму.

Как проиллюстрировано, вертикальная часть 306 ствола 304 скважины проходит через подземные слои 312, 314 и 316 и в этом примере достигает забоя в подземном слое 319. Как обсуждалось выше, поверхностный слой 312 может содержать или может не содержать проточную воду. Подземный слой 314, который находится ниже поверхностного слоя 312, в этом примере представляет собой слой 314 проточной воды. Например, слой 314 проточной воды может содержать один или более источников проточной воды, таких как пресноводные водоносные горизонты, источник соленой воды или насыщенного минерального раствора или другой источник проточной воды. В этом примере системы 300 хранилища опасного материала проточной водой может быть вода, которая перемещается через подземный слой за счет перепада давления во всем подземном слое или его части. Например, слой 314 проточной воды может представлять собой проницаемый геологический пласт, в котором вода свободно перемещается (например, из-за перепадов давления или иным образом) внутри слоя 314. В некоторых аспектах слой 314 проточной воды может быть основным источником потребляемой людьми воды в конкретной географической области. Примеры пластов горных пород, из которых может состоять слой 314 проточной воды, включают, среди прочих пластов, пористые песчаники и известняки. Другие проиллюстрированные слои, такие как непроницаемый слой 316 и накопительный слой 319, могут содержать непроточную воду. В некоторых аспектах непроточная вода представляет собой воду (например, пресную воду, соляную воду, насыщенный минеральный раствор), которая не подходит для потребления людьми и/или животными. В некоторых аспектах непроточная вода может представлять собой воду, которая из-за своего движения через слои 316 и/или 319 не может достичь слоя 314 проточной воды, земной поверхности 302, или и того, и другого, в течение 10000 лет или более (например, в течение 1000000 лет).

В этом приведенном в качестве примера варианте осуществления системы 300 хранилища опасного материала под слоем 314 проточной воды находится непроницаемый слой 316. В этом примере непроницаемый слой 316 может не пропускать проточную воду. Таким образом, по сравнению со слоем 314 проточной воды непроницаемый слой 316 может иметь низкую проницаемость, например, проницаемость порядка нанодарси. Кроме того, в этом примере непроницаемый слой 316 может быть относительно не пластичным (т.е. хрупким) геологическим пластом. Одним из показателей отсутствия пластичности является хрупкость, которая представляет собой отношение напряжения сжатия к прочности на разрыв. В некоторых примерах хрупкость непроницаемого слоя 316 может составлять приблизительно от 20 до 40 МПа.

Как проиллюстрировано в этом примере, непроницаемый слой 316 является менее глубоким (например, находится ближе к земной поверхности 302), чем накопительный слой 319. В этом примере пласты горных пород, из которых может состоять непроницаемый слой 316, содержат, например, некоторые виды песчаника, аргиллита, глины и сланца, которые обладают описанными выше свойствами проницаемости и хрупкости. В альтернативных примерах непроницаемый слой 316 может быть глубже (например, находится дальше от земной поверхности 302), чем накопительный слой 319. В таких альтернативных примерах непроницаемый слой 316 может состоять из магматической породы, такой как гранит.

Ниже непроницаемого слоя 316 находится накопительный слой 319. В этом примере накопительный слой 319 может быть выбран по нескольким причинам в качестве места достижения забоя для волнообразной в вертикальном направлении части 310, в которой хранится опасный материал. По сравнению с непроницаемым слоем 316 или другими слоями накопительный слой 319 может быть толстым, например его общая вертикальная толщина может составлять приблизительно 100-200 футов. Толщина накопительного слоя 319 может обеспечить более легкое достижение забоя и наклонно-направленное бурение, тем самым обеспечивая несложное размещение волнообразной в вертикальном направлении части 310 внутри накопительного слоя 319 во время работ по строительству (например, буровых работ). При образовании через приблизительный горизонтальный центр накопительного слоя 319 волнообразная в вертикальном направлении часть 310 может быть окружена геологическим пластом толщиной приблизительно 50-100 футов, который содержит накопительный слой 319. Кроме того, накопительный слой 319 может содержать только непроточную воду, например, из-за очень низкой проницаемости слоя 319 (например, порядка милли- или нанодарси). Кроме того, накопительный слой 319 может обладать достаточной пластичностью, так что хрупкость пласта горных пород, который содержит слой 319, составляет приблизительно от 3 до 10 МПа. Примеры пластов горных пород, из которых может состоять накопительный слой 319, включают сланец и ангидрит. Кроме того, в некоторых аспектах опасный материал может храниться под накопительным слоем, даже в проницаемом пласте, таком как песчаник или известняк, если накопительный слой обладает геологическими свойствами, достаточными для изолирования проницаемого слоя от слоя 314 проточной воды.

В некоторых приведенных в качестве примера вариантах осуществления системы 300 хранилища опасного материала накопительный слой 319 (и/или непроницаемый слой 316) состоит из сланца. В некоторых примерах сланец может иметь свойства, которые соответствуют свойствам, описанным выше в связи с накопительным слоем 319. Например, сланцевые пласты могут быть пригодны для длительного хранения опасного материала (например, в контейнерах 326 для опасного материала) и для их изолирования от слоя 314 проточной воды (например, водоносных горизонтов) и земной поверхности 302. Сланцевые пласты могут располагаться относительно глубоко в геологической среде, обычно на глубине 3000 футов или больше, и находиться в изоляции под любыми пресноводными водоносными горизонтами.

Другие пласты могут содержать соляные залежи или другой непроницаемый пластовый слой.

Например, сланцевые пласты (или соляные залежи или другие непроницаемые пластовые слои) могут обладать геологическими свойствами, которые повышают долговременную (например, в течение тысяч лет) изоляцию материала. Такие свойства, например, были продемонстрированы длительным хранением (например, в течение десятков миллионов лет) углеводородных флюидов (например, газа, жидкости, многофазного флюида) без выхода таких флюидов в окружающие слои (например, слой 314 проточной воды). В действительности, сланцы, как было показано, удерживают природный газ в течение миллионов лет или более, что демонстрирует его проверенную способность длительного хранения опасного материала. Типовые сланцевые пласты (например, Marcellus, Eagle Ford, Barnett и другие) имеют слоистую структуру, которая содержит много избыточных уплотняющих слоев, которые эффективно предотвращали перемещение воды, нефти и газа в течение миллионов лет, не содержит проточную воду и, как ожидается (например, исходя из геологических свойств), сможет герметично изолировать опасный материал (например, флюиды или твердые вещества) в течение тысяч лет после размещения.

В некоторых аспектах образование накопительного слоя 319 и/или непроницаемого слоя 316 может образовывать барьер от утечки или загрязняющий слой для защиты от утечки флюидов, который может быть определен, по меньшей мере, частично проявленной способностью слоя сохранять углеводороды или другие флюиды (например, двуокись углерода) в течение сотен лет, тысяч лет, десятков тысяч лет, сотен тысяч лет или даже миллионов лет. Например, загрязняющий слой накопительного слоя 319 и/или непроницаемого слоя 316 может быть определен постоянной времени в отношении утечки опасного материала в течение более чем 10000 лет (например, от 10000 лет до 1000000 лет) на основании такого проявленного хранения углеводородов или других флюидов.

Сланцевые (или соляной или другой непроницаемый слой) пласты также могут залегать на подходящей глубине, например от 3000 до 12000 футов TVD. Такие глубины обычно находятся ниже подземного водоносного горизонта (например, поверхностного слоя 312 и/или слоя 314 проточной воды). Кроме того, наличие растворимых элементов в сланцах, в том числе соли, и отсутствие этих же элементов в слоях водоносного горизонта, указывает на жидкую изоляцию между сланцевыми слоями и слоями водоносного горизонта. Другим конкретным свойством сланца, которое может эффективным образом использоваться для хранения опасного материала, является его содержание глины, которое в некоторых аспектах обеспечивает определенную степень пластичности, большую, чем пластичность, наблюдаемая в других непроницаемых пластах горных пород (например, непроницаемом слое 316). Например, сланец может быть слоистым, составленным из тонких чередующихся слоев глин (например, приблизительно 20-30% глины по объему) и других минералов. Такой состав может сделать сланец менее хрупким и, таким образом, менее восприимчивым к образованию трещин или разломов (например, естественным или иным образом) по сравнению с пластами горных пород в непроницаемом слое (например, доломитом или другой горной породой). Например, пласты горных пород в непроницаемом слое 316 могут обладать проницаемостью, пригодной для длительного хранения опасного материала, но они слишком хрупкие и обычно подвержены образованию трещин или разломов. Таким образом, такие пласты могут не иметь надлежащие герметизирующие свойства (что подтверждается их геологическими свойствами) для длительного хранения опасного материала.

Настоящее изобретение предполагает, что между проиллюстрированными подземными слоями 312, 314, 316 и 319 или среди них может быть много других слоев. Например, могут иметься повторяющиеся структуры (например, по вертикали) одного или более из слоя 314 проточной воды, непроницаемого слоя 316 и накопительного слоя 319. Кроме того, в некоторых случаях накопительный слой 319 может непосредственно примыкать (например, вертикально) к слою 314 проточной воды, т.е. без промежуточного непроницаемого слоя 316. В некоторых примерах вся изогнутая часть 308 и волнообразная в вертикальном направлении часть 310 или их части могут быть образованы ниже накопительного слоя 319 таким образом, что накопительный слой 319 (например, сланцевый пласт или другой геологический пласт со свойствами, описанными в настоящем документе) вертикально располагается между волнообразной в вертикальном направлении частью 310 и слоем 314 проточной воды.

Хотя это и не проиллюстрировано в данном конкретном примере, показанном на фиг. 3, самовосстанавливающийся слой (например, самовосстанавливающийся слой 132) может располагаться под земной поверхностью 302 и, например, между поверхностью 302 и одним из двумя из непроницаемого слоя 316 и накопительного слоя 319. В некоторых аспектах самовосстанавливающийся слой может содержать геологический пласт, который может останавливать движение или препятствовать движению потока опасного материала (в жидком, твердом или газообразном состоянии) из накопительной части ствола 304 скважины к или в сторону земной поверхности 302. Например, при образовании ствола 304 скважины (например, в процессе бурения) все части геологических пластов слоев 312, 314, 316 и 319 могут быть повреждены, тем самым изменяя или воздействуя на их геологические характеристики (например, проницаемость).

В определенных аспектах местоположение ствола 304 скважины может быть выбрано таким образом, чтобы он проходил через самовосстанавливающийся слой. Например, как проиллюстрировано, ствол 304 скважины может быть образован так, что по меньшей мере часть вертикальной части 306 ство-

ла 304 скважины образована таким образом, чтобы проходить через самовосстанавливающийся слой. В некоторых аспектах самовосстанавливающийся слой содержит геологический пласт, который не дает трещин в течение продолжительных периодов времени даже после осуществления в нем бурения. Примеры геологического пласта в самовосстанавливающемся слое включают глину или доломит. Трещины в таких горных породах имеют тенденцию затягиваться, т.е. со временем они быстро исчезают из-за относительной пластичности материала и огромных давлений, которые возникают под землей из-за давления массы находящейся выше породы на пласт в самовосстанавливающемся слое. В дополнение к обеспечению "механизма смыкания трещин" для затягивания трещин, которые возникают из-за образования ствола 304 скважины (например, путем бурения или иным образом), самовосстанавливающийся слой может также обеспечивать барьер для защиты от естественных разломов и других трещин, которые в противном случае могли бы создать путь для утечки опасного материала (например, жидкости или твердого вещества) из зоны хранения (например, в волнообразной в вертикальном направлении части 310) в сторону земной поверхности 302, слоя 314 проточной воды или и того и другого.

Как показано в этом примере, волнообразная в вертикальном направлении часть 310 ствола 304 скважины содержит зону 317 хранения на дальнем участке части 310, в которой может быть размещен с возможностью извлечения опасный материал для длительного хранения. Например, как проиллюстрировано, рабочая колонна 324 (например, лифтовая труба, гибкие насосно-компрессорные трубы, талевый канат или иное устройство) может проходить в обсаженный ствол 304 скважины для размещения одного или более (проиллюстрированы три контейнера, но их может быть больше или меньше) контейнеров 326 для опасного материала для длительного хранения, но в некоторых аспектах - хранения с возможностью извлечения, в части 310. Например, в варианте осуществления, проиллюстрированном на фиг. 3, рабочая колонна 324 может содержать скважинный инструмент 328, который соединяется с контейнером 326, и при каждом спуске в ствол 304 скважины скважинный инструмент 328 может размещать тот или иной контейнер 326 для опасного материала в волнообразной в вертикальном направлении части 310. В некоторых аспектах скважинный инструмент 328 может соединяться с контейнером 326 посредством резьбового соединения или соединения другого типа, такого как защелкивающееся соединение. В альтернативных аспектах скважинный инструмент 328 может соединяться с контейнером 326 с помощью самоблокирующейся защелки таким образом, что путем вращения (или линейного перемещения, или электрических или гидравлических переключателей) скважинный инструмент 328 может путем защелкивания зацепляться с контейнером 326 (или отцепляться от него). В альтернативных аспектах скважинный инструмент 324 может содержать один или более магнитов (например, магниты из редкоземельных металлов, электромагниты, их комбинацию или иные приспособления), которые путем притягивания соединяются с контейнером 326. В некоторых примерах контейнер 326 также может содержать один или более магнитов (например, магниты из редкоземельных металлов, электромагниты, их комбинацию или иные приспособления) противоположной полярности по сравнению с магнитами на скважинном инструменте 324. В некоторых примерах контейнер 326 может быть изготовлен из железа или другого материала, притягивающегося к магнитам скважинного инструмента 324, или содержать этот материал. В качестве другого примера каждый контейнер 326 может быть размещен внутри ствола 304 скважины с помощью скважинного трактора (например, на талевом канате или ином приспособлении), который может толкать или тянуть контейнер в волнообразную в вертикальном направлении часть 310 с помощью моторизованного перемещения (например, с помощью электрического привода). В качестве еще одного примера, каждый контейнер 326 может содержать ролики (например, колеса) или может быть установлен на них таким образом, что скважинный инструмент 324 может протолкнуть контейнер 326 в обсаженный ствол 304 скважины. В некоторых приведенных в качестве примера вариантах осуществления перед операцией размещения контейнер 326, одна или более обсадных колонн 320 и 322 ствола скважины, или и то и другое могут быть покрыты антифрикционным покрытием. Например, за счет нанесения покрытия (например, продукта на нефтяной основе, смолы, керамики или другого материала) на контейнер 326 и/или обсадные колонны ствола скважины может быть облегчено перемещение контейнера 326 через обсаженный ствол 304 скважины в волнообразную в вертикальном направлении часть 310. В некоторых аспектах может быть покрыта только часть обсадных колонн ствола скважины. Например, в некоторых аспектах, по существу, вертикальная часть 306 может не иметь покрытия, а искривленная часть 308 или волнообразная в вертикальном направлении часть 310, или и та и другая могут быть покрыты для содействия более легкому размещению и извлечению контейнера 326.

На фиг. 3 также проиллюстрирован пример операции извлечения опасного материала из волнообразной в вертикальном направлении части 310 ствола 304 скважины. Операция извлечения может быть противоположной операции размещения, так что скважинный инструмент 324 (например, ловильный инструмент) может быть спущен в ствол 304 скважины, соединенный с последним размещенным контейнером 326 (например, с помощью резьбы, защелки, магнита или иным образом), и может вытянуть контейнер 326 на земную поверхность 302. Скважинный инструмент 324 может совершать многократные операции спуска с извлечением для извлечения множества контейнеров из волнообразной в вертикальном направлении части 310 ствола 304 скважины.

Каждый контейнер 326 может содержать опасный материал. В некоторых примерах такой опасный

материал может быть биологическими или химическими отходами или другим биологическим или химическим опасным материалом. В некоторых примерах опасный материал может содержать ядерный материал, такой как отработанное ядерное топливо, извлеченное из ядерного реактора (например, промышленного энергетического или испытательного реактора) или ядерный материал военного назначения. Например, гигаваттная атомная станция может производить 30 т отработанного ядерного топлива в год. Плотность этого топлива обычно близка к $10 \text{ (} 10 \text{ г/см}^3 = 10 \text{ кг/л)}$, следовательно, объем ядерных отходов в течение года составляет приблизительно 3 м^3 . Отработанное ядерное топливо в виде гранул ядерного топлива может быть извлечено из реактора и не регенерировано. Гранулы ядерного топлива являются твердыми, хотя могут содержать и испускать различные радиоактивные газы, включая тритий (период полураспада 13 лет), криптон-85 (период полураспада 10,8 года) и двуокись углерода, содержащую C-14 (период полураспада 5730 лет).

В некоторых аспектах накопительный слой 319 должен иметь возможность содержать любой радиоактивный продукт (например, газы) в слое 319, даже если такой продукт выходит из контейнеров 326. Например, накопительный слой 319 может быть выбран из расчета периодов времени диффузии радиоактивного продукта через слой 319. Например, минимальное время диффузии радиоактивного продукта, выходящего из накопительного слоя 319, может быть установлено, например, путем умножения пятидесяти на период полураспада для любого конкретного компонента гранул ядерного топлива. Пятьдесят периодов полураспада в качестве минимального времени диффузии уменьшает количество радиоактивного продукта в 1×10^{-15} раз. В качестве другого примера, выбор значения минимального времени диффузии в течение тридцати периодов полураспада уменьшит количество радиоактивного продукта в 1 миллиард раз.

Например, плутоний-239 часто считается продуктом опасных отходов в отработанном ядерном топливе из-за его длительного периода полураспада - 24100 лет. Для этого изотопа 50 периодов полураспада составит 1,2 миллиона лет. Плутоний-239 имеет низкую растворимость в воде, не является летучим и в твердом состоянии не может диффундировать через скелет пласта горных пород, содержащего проиллюстрированный накопительный слой 319 (например, сланцевый или другой пласт). Накопительному слою 319, состоящему, например, из сланца, может быть свойственно иметь такие периоды времени изолирования (например, миллионы лет), как видно из геологической истории содержания газообразных углеводородов (например, метана и других веществ) в течение нескольких миллионов лет. И напротив, при осуществлении обычных способов хранения ядерных материалов существует опасность того, что некоторое количество плутония может раствориться в слое, который состоит из подвижных грунтовых вод, при выходе из места хранения. Как дополнительно проиллюстрировано на фиг. 3, контейнеры 326 для хранения могут быть размещены для длительного хранения в волнообразной в вертикальном направлении части 310, которая, как показано, соединена с вертикальной частью 106 ствола 104 скважины через искривленную часть 308. Как проиллюстрировано, искривленная часть 308 содержит часть, направленную вверх и наклоненную к земной поверхности 302. Кроме того, как показано, волнообразная часть 310 ствола 304 скважины содержит несколько наклоненных вверх и наклоненных вниз (относительно поверхности 302) частей, тем самым образуя несколько пиков и впадин в волнообразной части 310. В некоторых аспектах, например, когда в контейнерах 326 хранится радиоактивный опасный материал, эти наклонные искривленной части 308 и волнообразной части 310 могут обеспечить дополнительную степень безопасности и герметизации для предотвращения или препятствования попаданию материала, даже если он вытекает из контейнера 326, например, в слой 314 проточной воды, вертикальную часть 306 ствола 304 скважины, на земную поверхность 302 или их комбинацию. Например, радионуклиды, представляющие собой проблему, в опасном материале имеют тенденцию быть относительно плавучими или тяжелыми (по сравнению с другими компонентами материала). Плавучие радионуклиды могут представлять наибольшую проблему в отношении утечки, поскольку тяжелые элементы и молекулы имеют тенденцию тонуть и не будут диффундировать по направлению вверх к земной поверхности 302. Газ криптон, в частности криптон-85, является плавучим радиоактивным элементом, который тяжелее воздуха (как и большинство газов), но намного легче воды. Таким образом, если криптон-85 вводить в водяную баню, такой газ будет стремиться всплывать вверх к земной поверхности 302. С другой стороны, йод более плотный, чем вода, и при введении в водяную баню имеет тенденцию диффундировать вниз.

Благодаря использованию искривленной части 308 ствола 304 скважины и волнообразной части 310 любая такая диффузия радиоактивного материала (например, даже если он просочился из контейнера 326 и при наличии воды или другой жидкости в стволе 304 скважины или при иных условиях) будет направлена к волнообразной в вертикальном направлении части 310 и, в частности, к пикам внутри волнообразной в вертикальном направлении части 310 и в сторону от искривленной части 308 (и вертикальной части 306) ствола 304 скважины. Таким образом, в случае утечки опасного материала, даже в виде способного к диффузии газа, не будет образовываться путь (например, непосредственно) к земной поверхности 302 (или слою 314 проточной воды) через вертикальную часть 306 ствола 310 скважины. Например, вытекший опасный материал (особенно в газообразном состоянии) будет направлен и будет собираться в пиках части 310 ствола скважины, или, в общем случае, внутри волнообразной в вертикальном направлении части 310 ствола 304 скважины. Также могут быть осуществлены альтернативные способы

размещения контейнеров 326 в наклонной части 310 ствола скважины.

Например, флюид (к примеру, жидкость или газ) может циркулировать через ствол 304 скважины для гидравлического проталкивания контейнеров 326 в наклонную часть 310 ствола скважины. В некоторых примерах каждый контейнер 326 может проталкиваться гидравлическим способом по отдельности. В альтернативных аспектах два или более контейнеров 326 могут одновременно проталкиваться гидравлическим способом через ствол 304 скважины для их размещения в волнообразной в вертикальном направлении части 310. В некоторых случаях флюид может быть водой. Другие примеры включают буровой раствор или буровую пену. В некоторых примерах для проталкивания контейнеров 326 в ствол скважины может использоваться газ, такой как воздух, аргон или азот.

В некоторых аспектах выбор флюида может зависеть, по меньшей мере, частично от вязкости флюида. Например, может быть выбран флюид с достаточной вязкостью, чтобы препятствовать падению контейнера 326 в, по существу, вертикальную часть 306. Это сопротивление или полное сопротивление может обеспечить некоторый фактор безопасности для защиты от внезапного падения контейнера 326. Также флюид может обеспечивать смазку для уменьшения трения при скольжении между контейнером 326 и обсадными колоннами 320 и 322. Контейнер 326 может транспортироваться внутри обсадной колонны, заполненной жидкостью с регулируемой вязкостью, плотностью и смазочными свойствами. Заполненное флюидом кольцевое пространство между внутренним диаметром обсадных колонн 320 и 322 и наружным диаметром транспортируемого контейнера 326 представляет собой отверстие, предназначенное для погашения любой высокой скорости движения контейнера, обеспечивая автоматическую пассивную защиту при маловероятном отсоединении транспортируемого контейнера 326.

В некоторых аспектах могут использоваться другие методы, чтобы содействовать размещению контейнера 326 в волнообразной в вертикальном направлении части 310. Например, одна или более установленных обсадных колонн (например, обсадных колонн 320 и 322) могут иметь направляющие для направления контейнера 326 для хранения в ствол 302 скважины при одновременном уменьшении трения между обсадными колоннами и контейнером 326. Контейнер 326 для хранения и обсадные колонны (или направляющие) могут быть выполнены из материалов, которые легко скользят друг по другу. Обсадные колонны могут иметь поверхность, которая легко смазывается, или поверхность, которая является самосмазывающейся при воздействии веса контейнера 326 для хранения.

Флюид также может использоваться для извлечения контейнера 326. Например, в приведенной в качестве примера операции извлечения объем внутри обсадных колонн 320 и 322 может быть заполнен сжатым газом (например, воздухом, азотом, аргоном или иным веществом). При увеличении давления на конце волнообразной в вертикальном направлении части 310 контейнеры 326 могут проталкиваться в направлении искривленной части 308, а затем через, по существу, вертикальную часть 306 к земной поверхности.

В некоторых аспектах ствол 304 скважины может быть образован для основной цели - длительного хранения опасных материалов. В альтернативных аспектах ствол 304 скважины может быть предварительно образован для основной цели - добычи углеводородов (например, нефти, газа). Например, накопительный слой 319 может представлять собой углеводородсодержащий пласт, из которого углеводороды добывали через ствол 304 скважины на земную поверхность 302. В некоторых аспектах перед добычей углеводородов в накопительном слое 319, возможно, был произведен гидроразрыв. Кроме того, в некоторых аспектах перед гидроразрывом эксплуатационная обсадная колонна 322, возможно, была перфорирована. В таких аспектах в эксплуатационной обсадной колонне 322 может быть произведен ремонт (например, она может быть зацементирована) для заделывания любых отверстий, образованных в процессе перфорирования до осуществления операции по размещению опасного материала. Кроме того, в это время также могут быть заделаны любые трещины или отверстия в цементе между обсадной колонной и стволом скважины.

Например, в случае отработанного ядерного топлива в виде опасного материала ствол скважины может быть образован в той или иной зоне, например рядом с атомной электростанцией, в качестве нового ствола скважины при условии, что эта зона также содержит соответствующий накопительный слой 319, такой как сланцевый пласт. В альтернативном варианте в качестве ствола 304 скважины может быть выбрана существующая скважина, из которой уже добывают сланцевый газ, или скважина, которая была заброшена как "непродуктивная" (например, с достаточно низким содержанием органических веществ, так что в этом месте слишком мало газа для промышленной разработки). В некоторых аспектах предшествующий гидравлический разрыв, выполненный в накопительном пласте 319 через ствол 304 скважины, может лишь незначительно повлиять на способность ствола 304 скважины хранить опасный материал. Тем не менее, такие предшествующие работы могут также подтвердить способность накопительного слоя 319 сохранять газы и другие флюиды миллионы лет. Следовательно, при возможном выходе опасного материала или продукта опасного материала (например, радиоактивных газов или иных веществ) из контейнера 326 и их попадании в подвергнутый гидроразрыву пласт накопительного слоя 319 трещины, возникшие в результате гидроразрыва, могут позволить этому материалу относительно быстро распространиться на расстояние, сопоставимое по размеру с протяженностью трещин. В некоторых аспектах ствол 302 скважины, возможно, был пробурен для добычи углеводородов, но добыча таких углеводоро-

дов не удалась, например, потому что накопительный слой 319 содержал пласт горных пород (например, сланцевый или иной пласт), который был слишком пластичным и с трудом поддающимся гидроразрыву для добычи, но оказалась преимущественно пластичным для длительного хранения опасного материала.

На фиг. 4А-4С проиллюстрированы схематические представления других приведенных в качестве примера вариантов осуществления системы хранилища опасного материала в соответствии с настоящим изобретением. На фиг. 4А проиллюстрирована система 400 хранилища опасного материала, на фиг. 4В проиллюстрирована система 450 хранилища опасного материала, а на фиг. 4С проиллюстрирована система 480 хранилища опасного материала. Каждая из систем 400, 450 и 480 содержит, по существу, вертикальный ствол (соответственно 404, 454 и 484) скважины, пробуренный с земной поверхности (соответственно 402, 452 и 482). Каждый, по существу, вертикальный ствол (404, 454, 484) скважины соединяется с (или продолжается) переходным стволом (соответственно 406, 456 и 486) скважины, который является искривленным или изогнутым по радиусу стволом скважины. Затем каждый переходной ствол (406, 456 и 486) скважины соединяется с (или продолжается) изолирующим стволом (соответственно 408, 458 и 488) скважины, который включает или содержит хранилище опасного материала, в котором в соответствии с настоящим изобретением могут быть размещены для длительного хранения и из которого, при необходимости, могут быть извлечены один или более контейнеров для хранения опасного материала (например, контейнеры 126).

Как проиллюстрировано на фиг. 4А, изолирующий ствол 408 скважины представляет собой спиральный ствол скважины, который в месте своего соединения с переходным стволом 406 скважины начинает изгибаться по горизонтали и одновременно начинает изгибаться в сторону, т.е. в горизонтальном направлении. При достижении спиральным стволом скважины его самой нижней точки он продолжает изгибаться в обоих направлениях, придавая ему направленную вверх слегка спиральную форму. В этой точке горизонтальный изгиб может быть немного больше, чтобы не пересекаться с вертикальным стволом 404 скважины. В месте начала подъема спирального ствола скважины может начинаться искривленная секция хранилища опасного материала. Секция для хранения может проходить до самой высокой точки (например, точки, ближайшей к земной поверхности 402), которая является глухой ловушкой (например, для вышедшего опасного твердого вещества, жидкости или газа). Подъем спирального ствола скважины обычно может составлять 3° .

В некоторых аспектах траектория спирального ствола 408 скважины может проходить ниже оси спирали (т.е. по центру спиралеобразных кругов) или может быть смещена. Кроме того, как проиллюстрировано на фиг. 4А, вертикальный ствол 404 скважины образован внутри спирального ствола 408 скважины. Другими словами, спиральный ствол 408 скважины может быть образован симметрично вокруг вертикального ствола 404 скважины. С краткой ссылкой на фиг. 4С система 480 содержит спиральный ствол 488 скважины, аналогичный спиральному стволу 408 скважины. Однако спиральный ствол 488 скважины образован со смещением к одной стороне вертикального ствола 484 скважины. В некоторых аспектах спиральный ствол 488 скважины может быть образован со смещением от любой стороны вертикального ствола 484 скважины.

В соответствии с фиг. 4В система 450 содержит спиральный ствол 458 скважины, который соединен с переходным стволом 456 скважины, который поворачивается от вертикального ствола 454 скважины. В настоящем документе спиральный ствол 458 скважины ориентирован не вертикально (например, с осью вращения, параллельной вертикальному стволу скважины), а горизонтально (например, с осью вращения, перпендикулярной вертикальному стволу 454 скважины). В конце или внутри спирального ствола 458 скважины (или в обоих местах) находится секция хранения опасного материала. В вариантах осуществления систем 400, 450 и 480 радиус кривизны переходных стволов скважин может составлять приблизительно 1000 футов. Длина окружности каждой спирали в спиральных стволах скважины может быть в 2π раза больше радиуса кривизны или составлять приблизительно 6000 футов. Таким образом, каждая спираль в спиральных стволах скважины может охватывать немногим более одной мили зоны хранения контейнеров для опасного материала. В некоторых альтернативных аспектах радиус кривизны может составлять приблизительно 500 футов. Затем каждая спираль спиральных стволов скважины может охватывать приблизительно 0,5 мили зоны хранения контейнеров для опасного материала. Если требуется две мили хранения, то для каждого из спиральных стволов скважины такого размера может быть предусмотрено четыре спирали.

Как проиллюстрировано на фиг. 4А-4С, каждая из систем 400, 450 и 480 содержит части ствола скважины, которые служат в качестве зон хранения опасного материала и направлены в вертикальной плоскости к земной поверхности и в сторону от места пересечения переходного ствола скважины каждой системы и вертикального ствола скважины каждой секции. Таким образом, любой вытекший опасный материал (например, такой как радиоактивный отходящий газ) может быть направлен в такие вертикально расположенные зоны хранения и в сторону от вертикальных стволов скважины. Каждый из стволов скважины, проиллюстрированных на фиг. 4А-4С, может быть обсаженным или необсаженным; обсадная колонна может служить в качестве дополнительного слоя защиты для предотвращения попадания опасного материала в проточную воду. При отсутствии обсадной колонны могут быстрее происходить угло-

вые изменения в любом стволе скважины с учетом ограничения, связанного с перемещением через него любого контейнера. При наличии обсадной колонны угловые изменения в направлении стволов скважины могут происходить достаточно медленно (как это происходит при стандартном наклонно-направленном бурении), чтобы обсадную колонну можно было протолкнуть в ствол скважины. Кроме того, в некоторых аспектах весь или часть каждого из проиллюстрированных изолирующих стволов (408, 458 и 488) скважины может быть образован внутри или ниже непроницаемого слоя (как описано в настоящем изобретении).

В некоторых аспектах варианты осуществления спирального ствола скважины могут сохранять постоянную кривизну вокруг оси вращения. Альтернативные варианты осуществления спирального ствола скважины могут иметь постепенно меняющуюся кривизну, что делает спирали в спиральном стволе скважины либо более сжатыми, либо менее ограниченными. В других дополнительных вариантах осуществления спирального ствола скважины могут быть спирали, изменяющиеся по радиусу (что делает его более или менее сжатым), а вертикальный подъем является незначительным или отсутствует (например, в ситуациях, в которых это может быть практически в случае геологического слоя, в котором толщина секции хранения опасного материала изолирующих стволов скважин не очень большая в вертикальном направлении). На фиг. 5А проиллюстрирован вид сверху, а на фиг. 5В-5С проиллюстрированы виды сбоку схематических представлений другого приведенного в качестве примера варианта осуществления системы 500 хранилища опасного материала. Как проиллюстрировано, система содержит вертикальный ствол 504 скважины, образованный вглубь от земной поверхности 502. Вертикальный ствол 504 скважины соединен с переходным стволом 506 скважины или проходит в него. Переходной ствол 506 скважины соединен с изолирующим стволом 508 скважины или поворачивает с заходом в него. В этом примере изолирующий ствол 508 скважины включает или содержит волнообразный ствол скважины, в котором волнистости проходят, по существу, из стороны в сторону. Как проиллюстрировано на фиг. 5В, изолирующий ствол 508 скважины поднимается к земной поверхности 502 и в вертикальной плоскости в сторону от переходного ствола 506 скважины, когда он волнообразно изгибается из стороны в сторону. Как проиллюстрировано на фиг. 5С, в качестве альтернативного варианта, изолирующий ствол 508 скважины остается в плоскости, по существу, параллельной земной поверхности 502, когда он волнообразно изгибается из стороны в сторону. В некоторых аспектах спиральные или волнообразные стволы скважины могут быть ориентированы без учета распределения напряжений любого газоносного или нефтеносного слоя, в котором они образованы. Это связано с тем, что при ориентации не требуется учитывать какое-либо трещинообразование ствола скважины, что является необходимым в случае добычи углеводородов. Таким образом, могут быть использованы геометрические конфигурации ствола скважины, которые не ориентированы в направлении распределения напряжений породы и являются более компактными. Кроме того, эти стволы скважины могут играть важную роль в уменьшении площади участка земли, под которым образуют стволы скважины. Это также может снизить стоимость участка земли и любых прав на разработку полезных ископаемых, которые необходимо приобрести для постройки систем хранилища опасного материала. Следовательно, прокладывание стволов скважин определяется не распределением напряжений в породе, а главным образом эффективным и практичным использованием доступных участков земли.

Каждый из стволов скважины, проиллюстрированных на фиг. 5А-5С, может быть обсаженным или необсаженным; обсадная колонна может служить в качестве дополнительного слоя защиты для предотвращения попадания опасного материала в проточную воду. При отсутствии обсадной колонны могут быстрее происходить угловые изменения в любом стволе скважины с учетом ограничения, связанного с перемещением через него любого контейнера. При наличии обсадной колонны угловые изменения в направлении стволов скважины могут происходить достаточно медленно (как это происходит при стандартном наклонно-направленном бурении), чтобы обсадную колонну можно было протолкнуть в ствол скважины. Кроме того, в некоторых аспектах весь изолирующий ствол 508 скважины или его часть может быть образован внутри или ниже непроницаемого слоя (как описано в настоящем изобретении). В общем, в соответствии с фиг. 1А, 2, 3, 4А-4С и 5А-5С, приведенные в качестве примера системы хранилища опасного материала (например, 100, 200, 300, 400, 450, 480 и 500) могут предусматривать несколько герметизирующих слоев, чтобы обеспечить герметичное хранение опасного материала (например, биологического, химического и ядерного) в соответствующем подземном слое. В некоторых приведенных в качестве примера вариантах осуществления может быть по меньшей мере 12 герметизирующих слоев. В альтернативных вариантах осуществления могут использовать меньшее или большее количество герметизирующих слоев. Во-первых, при использовании отработанного ядерного топлива в качестве приведенного в качестве примера опасного материала топливные гранулы извлекают из реактора и не регенерируют. Они могут быть изготовлены из спеченной двуокиси урана (UO_2), керамики, а также могут оставаться твердыми и испускать различные радиоактивные газы, в том числе тритий (период полураспада 13 лет), криптон-85 (период полураспада 10,8 года) и двуокись углерода, содержащую С-14 (период полураспада 5730 лет). Если гранулы не подвергаются воздействию чрезвычайно коррозионных условий или другим воздействиям, которые повреждают многочисленные герметизирующие слои, большинство радиоактивных изотопов (в том числе С-14, тритий или криптон-85) будут содержаться в гранулах.

Во-вторых, топливные гранулы окружены циркуляционными трубками топливных стержней, как в реакторе. Как описано, трубки могут быть установлены в исходных топливных сборках или удалены из этих сборок для более плотной укладки.

В-третьих, указанные трубы размещают в герметичных корпусах контейнера для опасного материала. Такой корпус может представлять собой типовую конструкцию или многопанельную конструкцию, причем множество панелей (например, сбоку, сверху, снизу) механически закреплены (например, винтами, заклепками, сварными швами и т.д.).

В-четвертых, материал (например, твердое вещество или жидкость) может заполнять контейнер для опасного материала, чтобы обеспечить дополнительный буфер между материалом и наружной частью контейнера.

В-пятых, контейнер(ы) для опасного материала размещают (как описано выше) в стволе скважины, который обложен стальной или другой уплотнительной обсадной колонной, которая в некоторых примерах проходит через весь ствол скважины (например, по существу, вертикальную часть, изогнутую по радиусу часть и наклонную часть). Обсадную колонну цементируют на месте, обеспечивая относительно гладкую поверхность (например, по сравнению со стенкой ствола скважины) для перемещения через нее контейнера для опасного материала и тем самым уменьшая вероятность утечки или разрушения во время размещения или извлечения. В-шестых, цемент, который удерживает или помогает удерживать обсадную колонну на месте, также может обеспечить герметизирующий слой для удержания опасного материала в случае его утечки из контейнера. В-седьмых, контейнер для опасного материала хранится в части ствола скважины (например, в наклонной части), которая расположена внутри толстого (например, толщиной 100-200 футов) слоя пласта горных пород, который содержит накопительный слой. Накопительный слой может быть выбран, по меньшей мере, частично из-за геологических свойств пласта горных пород (например, наличие только непроточной воды, низкая проницаемость, густая, подходящая пластичность или отсутствие хрупкости). Например, в случае сланца в качестве пласта горных пород накопительного слоя этот тип горной породы может обеспечивать определенный уровень герметизации, поскольку известно, что сланец является покрывающей породой для углеводородного газа в течение миллионов лет. Сланец может содержать насыщенный минеральный раствор, но этот насыщенный минеральный раствор является явно непроточным и не сообщается с поверхностной пресной водой. В-восьмых, в некоторых аспектах пласт горных пород накопительного слоя может иметь другие уникальные геологические свойства, которые обеспечивают другой уровень герметизации. Например, сланцевая порода часто содержит реактивные компоненты, такие как сульфид железа, которые снижают вероятность того, что опасные материалы (например, отработанное ядерное топливо и его радиоактивный продукт) могут мигрировать сквозь накопительный слой, не вступая в реакцию с последующим еще большим снижением скорости диффузии такого продукта. Кроме того, накопительный слой может содержать компоненты, такие как глина и органические вещества, которые обычно имеют чрезвычайно низкую диффузионную способность.

Например, сланец может быть слоистым и состоять из тонких чередующихся слоев глин и других минералов. Такое расслоение пласта горных пород в накопительном слое, таком как сланец, может обеспечить этот дополнительный герметизирующий слой.

В-девятых, накопительный слой может располагаться глубже и ниже непроницаемого слоя, который отделяет накопительный слой (например, в вертикальной плоскости) от слоя проточной воды.

В-десятых, накопительный слой может быть выбран в зависимости от глубины (например, 3000-12000 футов) такого слоя в подземных слоях. Такие глубины обычно намного ниже любых слоев, которые содержат проточную воду, и, следовательно, глубина накопительного слоя по вертикали обеспечивает дополнительный герметизирующий слой.

В-одиннадцатых, приведенные в качестве примера варианты осуществления системы хранилища опасного материала в соответствии с настоящим изобретением способствуют осуществлению отслеживания над хранимым опасным материалом. Например, если отслеживаемые данные указывают на утечку или иное состояние опасного материала (например, изменение температуры, радиоактивность и т.д.) или даже на повреждение или разгерметизацию контейнера, контейнер для опасного материала может быть извлечен для ремонта или осмотра.

В-двенадцатых, один или более контейнеров для опасного материала могут извлекаться для периодического осмотра, предварительной обработки или ремонта по мере необходимости (например, с осуществлением отслеживания или без него). Таким образом, любую проблему с контейнерами можно решить, не допуская утечки опасного материала или его неконтролируемого выхода из контейнеров.

В-тринадцатых, даже если опасный материал вышел из контейнеров, и между вытекшим опасным материалом и земной поверхностью нет непроницаемого слоя, просочившийся опасный материал может удерживаться внутри ствола скважины в месте, в котором нет пути вверх к поверхности или к водоносным горизонтам (например, слоям проточной воды) или в другие зоны, которые представляют опасность для людей. Например, от места, которое может быть глухим забоем наклонного ствола скважины, J-образного ствола скважины или пиков волнообразного в вертикальном направлении ствола скважины, может не быть прямого пути вверх (например, к поверхности) к вертикальной части ствола скважины.

Выше описан ряд вариантов осуществления изобретения. Тем не менее, следует понимать, что мо-

гут быть сделаны различные модификации без отклонения от сущности и объема изобретения. Например, описанные в настоящем документе и приведенные в качестве примера операции, способы или процессы могут включать большее или меньшее количество этапов, чем описано. Кроме того, этапы в таких приведенных в качестве примера операциях, способах или процессах могут выполняться в последовательности, отличной от последовательности, описанной или проиллюстрированной на фигурах. Соответственно, другие варианты осуществления настоящего изобретения находятся в пределах объема последующей формулы изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Хранилище опасного материала, содержащее

ствол скважины, проходящий вглубь геологической среды и содержащий входное отверстие, по меньшей мере, в непосредственной близости от земной поверхности, причем ствол скважины содержит, по существу, вертикальную часть ствола скважины, переходную часть ствола скважины, соединенную с, по существу, вертикальной частью ствола скважины, и часть ствола скважины для хранения опасного материала, соединенную с переходной частью ствола скважины, причем по меньшей мере одна из переходной части ствола скважины или части ствола скважины для хранения опасного материала содержит изолирующую часть ствола скважины, которая направлена в вертикальной плоскости к земной поверхности и в сторону от места пересечения, по существу, вертикальной части ствола скважины и переходной части ствола скважины;

контейнер для хранения, расположенный в части ствола скважины для хранения опасного материала, причем размер контейнера для хранения является подходящим для ввода во входное отверстие ствола скважины через, по существу, вертикальную часть ствола скважины и переходную часть ствола скважины в часть ствола скважины для хранения опасного материала, причем контейнер для хранения содержит внутреннюю полость, размер которой является подходящим для размещения опасного материала; и

уплотнение, расположенное в стволе скважины, причем уплотнение изолирует часть ствола скважины для хранения опасного материала от входного отверстия ствола скважины.

2. Хранилище опасного материала по п.1, при этом изолирующая часть ствола скважины содержит наклонную в вертикальной плоскости часть ствола скважины, которая содержит ближний конец, соединенный с переходной частью ствола скважины на первой глубине, и дальний конец, противоположный ближнему концу и находящийся на второй глубине, меньшей первой глубины.

3. Хранилище опасного материала по п.2, при этом наклонная в вертикальной плоскости часть ствола скважины содержит часть ствола скважины для хранения опасного материала.

4. Хранилище опасного материала по п.2, при этом угол наклона наклонной в вертикальной плоскости части ствола скважины определяется, по меньшей мере, частично на основании расстояния, связанного с зоной возмущения геологического пласта, которая окружает наклонную в вертикальной плоскости часть ствола скважины, и длины расстояния, касательной к самой низкой части контейнера для хранения и, по существу, вертикальной части ствола скважины.

5. Хранилище опасного материала по п.4, при этом расстояние, связанное с зоной возмущения геологического пласта, включает расстояние между наружной окружностью зоны возмущения и радиальной осевой линией наклонной в вертикальной плоскости части ствола скважины.

6. Хранилище опасного материала по п.4, при этом угол наклона составляет приблизительно 3°.

7. Хранилище опасного материала по п.1, при этом изолирующая часть ствола скважины содержит J-образную часть ствола скважины, соединенную между, по существу, вертикальной частью ствола скважины и частью ствола скважины для хранения опасного материала.

8. Хранилище опасного материала по п.7, при этом J-образная часть ствола скважины содержит переходную часть ствола скважины.

9. Хранилище опасного материала по п.7, при этом часть ствола скважины для хранения опасного материала содержит по меньшей мере одну из, по существу, горизонтальной части ствола скважины или наклонной в вертикальной плоскости части ствола скважины.

10. Хранилище опасного материала по п.1, при этом изолирующая часть ствола скважины содержит волнообразную в вертикальном направлении часть ствола скважины, соединенную с переходной частью ствола скважины.

11. Хранилище опасного материала по п.10, при этом переходная часть ствола скважины содержит искривленную часть ствола скважины между, по существу, вертикальной частью ствола скважины и волнообразной в вертикальном направлении частью ствола скважины.

12. Хранилище опасного материала по п.1, при этом часть ствола скважины для хранения опасного материала расположена внутри или ниже загряздающего слоя, который содержит по меньшей мере один из сланцевого пластового слоя, соляного пластового слоя или другого непроницаемого пластового слоя.

13. Хранилище опасного материала по п.12, при этом часть ствола скважины для хранения опасного материала изолирована в вертикальном направлении загряздающим слоем от подземной зоны, которая содержит проточную воду.

14. Хранилище опасного материала по п.12, при этом часть ствола скважины для хранения опасного материала образована ниже загряздающего слоя и изолирована в вертикальном направлении загряздающим слоем от подземной зоны, которая содержит проточную воду.

15. Хранилище опасного материала по п.12, при этом часть ствола скважины для хранения опасного материала образована внутри загряздающего слоя и изолирована в вертикальном направлении по меньшей мере частью загряздающего слоя от подземной зоны, которая содержит проточную воду.

16. Хранилище опасного материала по п.12, при этом проницаемость загряздающего слоя составляет менее чем приблизительно 0,01 мД.

17. Хранилище опасного материала по п.12, при этом хрупкость загряздающего слоя проявляется при менее чем приблизительно 10 МПа, причем хрупкость включает отношение напряжения сжатия загряздающего слоя к прочности на разрыв загряздающего слоя.

18. Хранилище опасного материала по п.12, при этом толщина загряздающего слоя в непосредственной близости от части ствола скважины для хранения опасного материала составляет по меньшей мере приблизительно 100 футов.

19. Хранилище опасного материала по п.12, при этом толщина загряздающего слоя в непосредственной близости от части ствола скважины для хранения опасного материала препятствует диффузии опасного материала, который выходит из контейнера для хранения через загряздающий слой в течение периода времени, который основан на периоде полураспада указанного опасного материала.

20. Хранилище опасного материала по п.12, при этом загряздающий слой содержит приблизительно 20-30% объемной массы глины или органического вещества.

21. Хранилище опасного материала по п.12, при этом загряздающий слой содержит непроницаемый слой.

22. Хранилище опасного материала по п.12, при этом загряздающий слой содержит барьер от утечки, определяемый постоянной времени для утечки опасного материала, составляющей 10000 лет или более.

23. Хранилище опасного материала по п.12, при этом загряздающий слой содержит пласт, содержащий углеводороды или двуокись углерода.

24. Хранилище опасного материала по п.1, при этом опасный материал содержит отработанное ядерное топливо.

25. Хранилище опасного материала по п.1, при этом хранилище дополнительно содержит по меньшей мере одну компоновку обсадной колонны, которая проходит от или в непосредственной близости от земной поверхности через ствол скважины в часть ствола скважины для хранения опасного материала.

26. Хранилище опасного материала по п.1, при этом контейнер для хранения содержит соединительную часть, выполненную с возможностью соединения по меньшей мере с одним из следующего: колонна скважинного инструмента или другой контейнер для хранения.

27. Хранилище опасного материала по п.1, при этом изолирующая часть ствола скважины содержит спиральный ствол скважины.

28. Хранилище опасного материала по п.1, при этом изолирующая часть ствола скважины имеет заданную геометрическую конфигурацию, независимую от напряженного состояния пласта горных пород, в котором образована изолирующая часть ствола скважины.

29. Способ хранения опасного материала, включающий перемещение контейнера для хранения через входное отверстие ствола скважины, проходящего под земную поверхность, причем входное отверстие находится, по меньшей мере, в непосредственной близости от земной поверхности, а контейнер для хранения содержит внутреннюю полость, размер которой является подходящим для размещения опасного материала;

перемещение контейнера для хранения через ствол скважины, который содержит, по существу, вертикальную часть ствола скважины, переходную часть ствола скважины, соединенную с, по существу, вертикальной частью ствола скважины, и часть ствола скважины для хранения опасного материала, соединенную с переходной частью ствола скважины, причем по меньшей мере одна из переходной части ствола скважины или части ствола скважины для хранения опасного материала содержит изолирующую часть ствола скважины, которая направлена в вертикальной плоскости к земной поверхности и в сторону от места пересечения, по существу, вертикальной части ствола скважины и переходной части ствола скважины;

перемещение контейнера для хранения в часть ствола скважины для хранения опасного материала; и образование уплотнения в стволе скважины, которое изолирует часть ствола скважины для хранения опасного материала от входного отверстия ствола скважины.

30. Способ по п.29, при этом изолирующая часть ствола скважины содержит наклонную в вертикальной плоскости часть ствола скважины, которая содержит ближний конец, соединенный с переходной частью ствола скважины на первой глубине, и дальний конец, противоположный ближнему концу и находящийся на второй глубине, меньшей первой глубины.

31. Способ по п.30, при этом наклонная в вертикальной плоскости часть ствола скважины содержит часть ствола скважины для хранения опасного материала.

32. Способ по п.29, при этом угол наклона наклонной в вертикальной плоскости части ствола сква-

жины определяется, по меньшей мере, частично на основании расстояния, связанного с зоной возмущения геологического пласта, которая окружает наклонную в вертикальной плоскости часть ствола скважины, и длины расстояния, касательной к самой низкой части контейнера для хранения и, по существу, вертикальной части ствола скважины.

33. Способ по п.32, при этом расстояние, связанное с зоной возмущения геологического пласта, включает расстояние между наружной окружностью зоны возмущения и радиальной осевой линией наклонной в вертикальной плоскости части ствола скважины.

34. Способ по п.32, при этом угол наклона составляет приблизительно 3° .

35. Способ по п.29, при этом изолирующая часть ствола скважины содержит J-образную часть ствола скважины, соединенную между, по существу, вертикальной частью ствола скважины и частью ствола скважины для хранения опасного материала.

36. Способ по п.35, при этом J-образная часть ствола скважины содержит переходную часть ствола скважины.

37. Способ по п.36, при этом часть ствола скважины для хранения опасного материала содержит по меньшей мере одну из, по существу, горизонтальной части ствола скважины или наклонной в вертикальной плоскости части ствола скважины.

38. Способ по п.29, при этом изолирующая часть ствола скважины содержит волнообразную в вертикальном направлении часть ствола скважины, соединенную с переходной частью ствола скважины.

39. Способ по п.38, при этом переходная часть ствола скважины содержит искривленную часть ствола скважины между, по существу, вертикальной частью ствола скважины и волнообразной в вертикальном направлении частью ствола скважины.

40. Способ по п.29, при этом часть ствола скважины для хранения опасного материала расположена внутри или ниже загряздающего слоя, который содержит по меньшей мере один из сланцевого пластового слоя, соляного пластового слоя или другого непроницаемого пластового слоя.

41. Способ по п.40, при этом часть ствола скважины для хранения опасного материала изолирована в вертикальном направлении загряздающим слоем от подземной зоны, которая содержит проточную воду.

42. Способ по п.40, при этом часть ствола скважины для хранения опасного материала образована ниже загряздающего слоя и изолирована в вертикальном направлении загряздающим слоем от подземной зоны, которая содержит проточную воду.

43. Способ по п.40, при этом часть ствола скважины для хранения опасного материала образована внутри загряздающего слоя и изолирована в вертикальном направлении по меньшей мере частью загряздающего слоя от подземной зоны, которая содержит проточную воду.

44. Способ по п.40, при этом проницаемость загряздающего слоя составляет менее чем приблизительно 0,01 мД.

45. Способ по п.40, при этом хрупкость загряздающего слоя проявляется при менее чем приблизительно 10 МПа, причем хрупкость включает отношение напряжения сжатия загряздающего слоя к прочности на разрыв загряздающего слоя.

46. Способ по п.39, при этом толщина загряздающего слоя в непосредственной близости от части ствола скважины для хранения опасного материала составляет по меньшей мере приблизительно 100 футов.

47. Способ по п.40, при этом толщина загряздающего слоя в непосредственной близости от части ствола скважины для хранения опасного материала препятствует диффузии опасного материала, который выходит из контейнера для хранения через загряздающий слой в течение периода времени, который основан на периоде полураспада указанного опасного материала.

48. Способ по п.40, при этом загряздающий слой содержит приблизительно 20-30% объемной массы глины или органического вещества.

49. Способ по п.40, при этом загряздающий слой содержит непроницаемый слой.

50. Способ по п.40, при этом загряздающий слой содержит барьер от утечки, определяемый постоянной времени для утечки опасного материала, составляющей 10000 лет или более.

51. Способ по п.40, при этом загряздающий слой содержит пласт, содержащий углеводороды или двуокись углерода.

52. Способ по п.29, при этом опасный материал содержит отработанное ядерное топливо.

53. Способ по п.29, при этом способ включает использование по меньшей мере одной компоновки обсадной колонны, которая проходит от или в непосредственной близости от земной поверхности через ствол скважины в часть ствола скважины для хранения опасного материала.

54. Способ по п.29, при этом контейнер для хранения содержит соединительную часть, выполненную с возможностью соединения по меньшей мере с одним из следующего: колонна скважинного инструмента или другой контейнер для хранения.

55. Способ по п.29, дополнительно включающий образование ствола скважины от земной поверхности до подземного пласта перед перемещением контейнера для хранения через входное отверстие ствола скважины, который проходит под земную поверхность.

56. Способ по п.55, дополнительно включающий установку обсадной колонны в стволе скважины,

которая проходит от или в непосредственной близости от земной поверхности через ствол скважины в часть ствола скважины для хранения опасного материала.

57. Способ по п.56, дополнительно включающий цементирование обсадной колонны в стволе скважины.

58. Способ по п.57, дополнительно включающий добычу углеводородного флюида из подземного пласта через ствол скважины на земную поверхность после образования ствола скважины.

59. Способ по п.29, дополнительно включающий удаление уплотнения из ствола скважины; и извлечение контейнера для хранения из части ствола скважины для хранения опасного материала на земную поверхность.

60. Способ по п.29, дополнительно включающий отслеживание по меньшей мере одной переменной, связанной с контейнером для хранения, с помощью датчика, расположенного в непосредственной близости от части ствола скважины для хранения опасного материала; и

запись отслеживаемой переменной на земной поверхности.

61. Способ по п.60, при этом отслеживаемая переменная включает по меньшей мере одно из следующего: уровень излучения, температура, давление, наличие кислорода, наличие водяного пара, наличие жидкой воды, кислотность или сейсмическая активность.

62. Способ по п.61, дополнительно включающий, на основании отслеживаемой переменной, превышающей пороговое значение:

удаление уплотнения из ствола скважины; и

извлечение контейнера для хранения из части ствола скважины для хранения опасного материала на земную поверхность.

63. Способ по п.29, при этом изолирующая часть ствола скважины содержит спиральный ствол скважины.

64. Способ хранения опасного материала, включающий

перемещение контейнера для хранения через входное отверстие ствола скважины, проходящего под земную поверхность, причем входное отверстие находится, по меньшей мере, в непосредственной близости от земной поверхности, а контейнер для хранения содержит внутреннюю полость, размер которой является подходящим для размещения опасного материала;

перемещение контейнера для хранения через ствол скважины, который содержит, по существу, вертикальную часть ствола скважины, переходную часть ствола скважины, соединенную с, по существу, вертикальной частью ствола скважины, и часть ствола скважины для хранения опасного материала, соединенную с переходной частью ствола скважины, причем часть ствола скважины для хранения опасного материала расположена ниже самовосстанавливающегося геологического пласта, и часть ствола скважины для хранения опасного материала изолирована в вертикальном направлении самовосстанавливающимся геологическим пластом от подземной зоны, которая содержит проточную воду;

перемещение контейнера для хранения в часть ствола скважины для хранения опасного материала; и образование уплотнения в стволе скважины, которое изолирует часть ствола скважины для хранения от входного отверстия ствола скважины.

65. Способ по п.64, при этом самовосстанавливающийся геологический пласт содержит по меньшей мере одно из следующего: сланец, соль, глина или доломит.

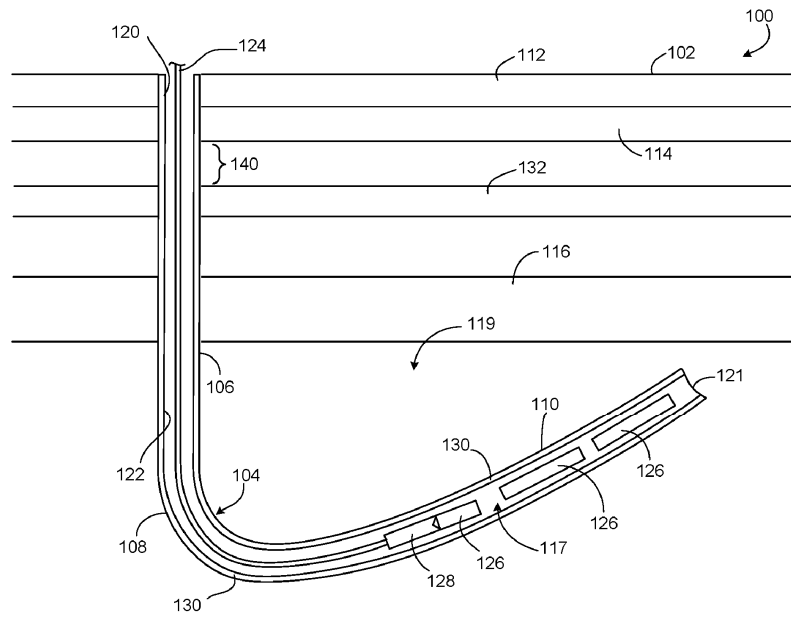
66. Хранилище опасного материала, содержащее

ствол скважины, проходящий вглубь геологической среды и содержащий входное отверстие, по меньшей мере, в непосредственной близости от земной поверхности, причем ствол скважины содержит, по существу, вертикальную часть ствола скважины, переходную часть ствола скважины, соединенную с, по существу, вертикальной частью ствола скважины, и часть ствола скважины для хранения опасного материала, соединенную с переходной частью ствола скважины, причем часть ствола скважины для хранения опасного материала расположена ниже самовосстанавливающегося геологического пласта, и часть ствола скважины для хранения опасного материала изолирована в вертикальном направлении самовосстанавливающимся геологическим пластом от подземной зоны, которая содержит проточную воду;

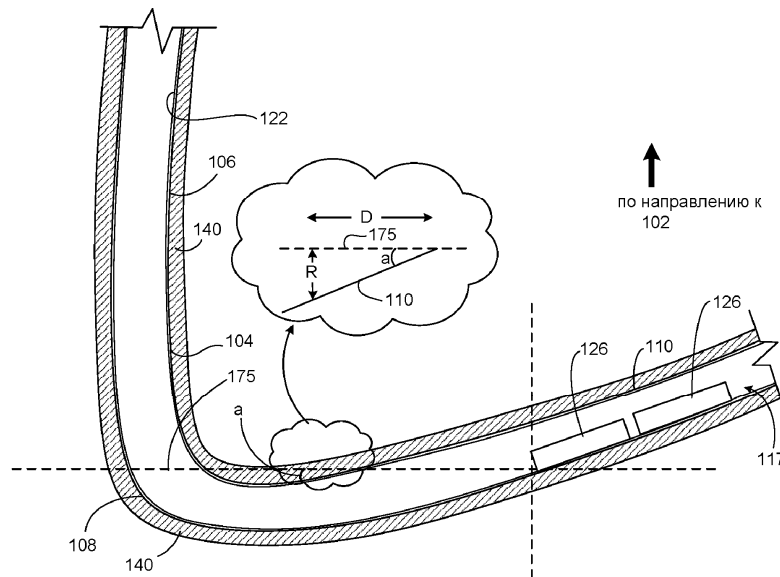
контейнер для хранения, расположенный в части ствола скважины для хранения опасного материала, причем размер контейнера для хранения является подходящим для ввода во входное отверстие через, по существу, вертикальную часть ствола скважины, переходную часть ствола скважины в часть ствола скважины для хранения опасного материала, и контейнер для хранения содержит внутреннюю полость, размер которой является подходящим для размещения опасного материала; и

уплотнение, расположенное в стволе скважины, причем уплотнение изолирует часть ствола скважины для хранения опасного материала от входного отверстия ствола скважины.

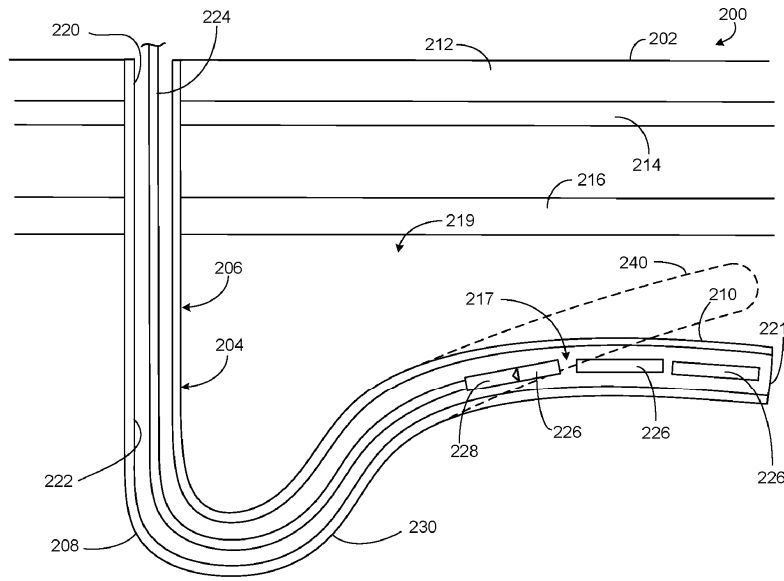
67. Хранилище опасного материала по п.66, при этом самовосстанавливающийся геологический пласт содержит по меньшей мере одно из следующего: сланец, соль, глина или доломит.



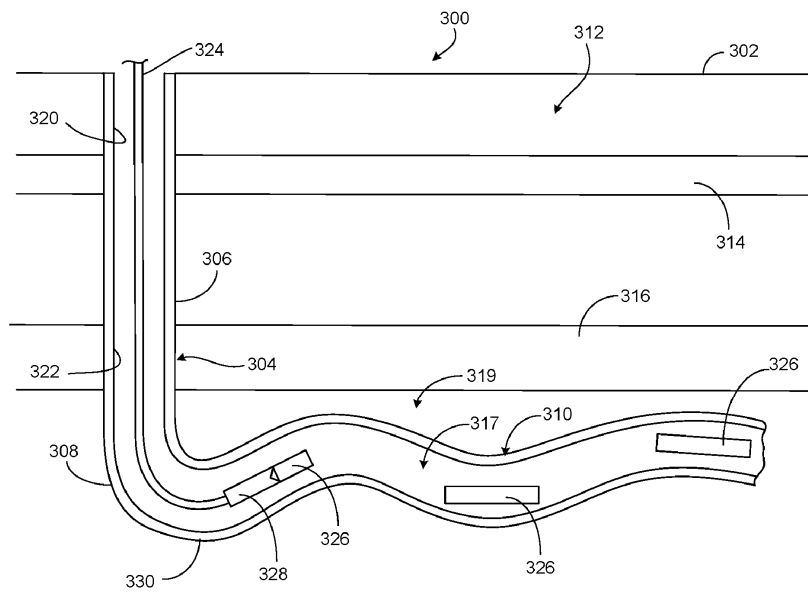
Фиг. 1А



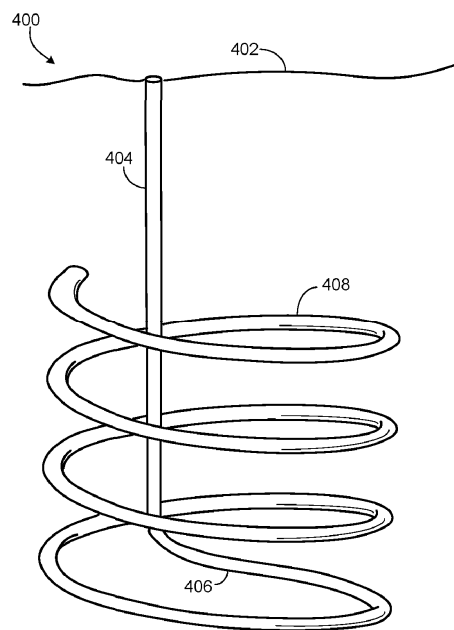
Фиг. 1В



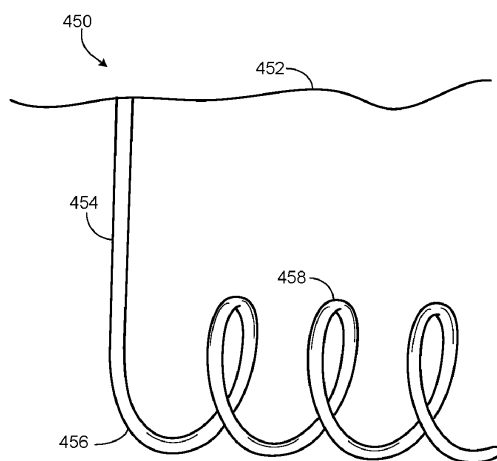
Фиг. 2



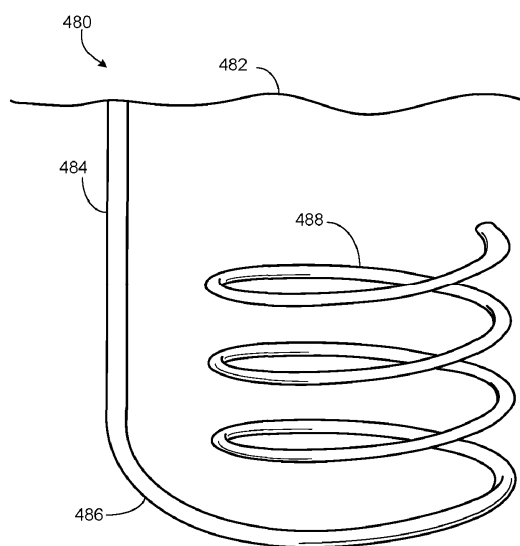
Фиг. 3



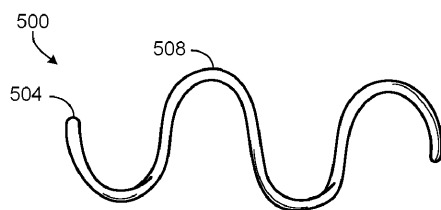
Фиг. 4А



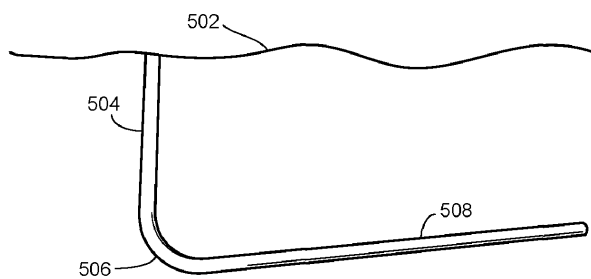
Фиг. 4В



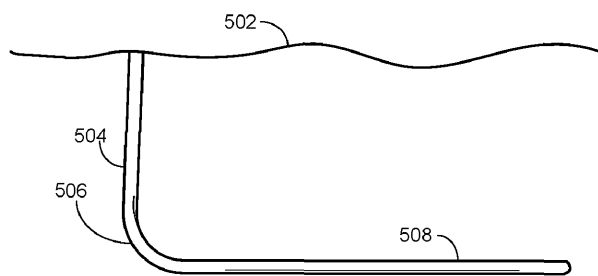
Фиг. 4С



Фиг. 5А



Фиг. 5В



Фиг. 5С

