

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(21) **201992827** (13) **A1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2020.04.03

(51) Int. Cl. *G01V 1/42* (2006.01)

(22) Дата подачи заявки
2018.05.30

(54) ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРУКТУР В НЕДРАХ ЗЕМЛИ

(31) 62/513,822

(32) 2017.06.01

(33) US

(86) PCT/US2018/035114

(87) WO 2018/222704 2018.12.06

(88) 2019.01.10

(71) Заявитель:
**САУДИ АРАБИАН ОЙЛ КОМПАНИ
(SA)**

(72) Изобретатель:

**Бакулин Андрей, Голиков Павел,
Сильвестров Илья (SA)**

(74) Представитель:

**Лебедев В.В., Угрюмов В.М.,
Глухарёва А.О., Гизатуллина
Е.М., Строкова О.В., Лыу Т.Н.,
Костюшенкова М.Ю., Гизатуллин
Ш.Ф., Парамонова К.В. (RU)**

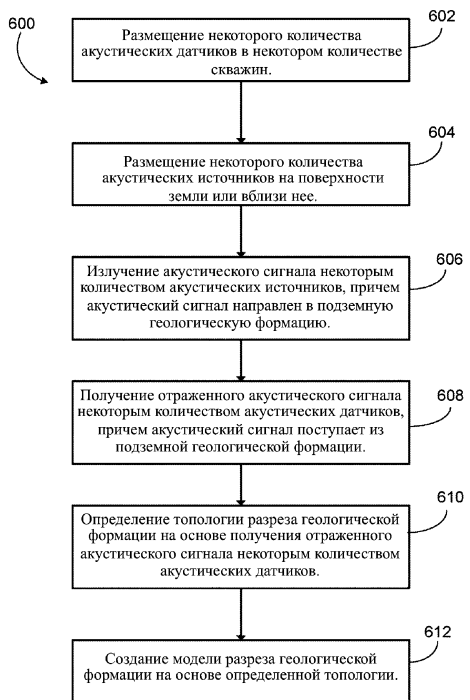
(57) Система геологической съемки предусматривает множество акустических источников, расположенных с шагом на исследуемом участке земной поверхности. Каждый из множества акустических источников рассчитан на генерирование сейсмической волны. Система также предусматривает множество акустических датчиков, расположенных в множестве скважин, которые пробурены в геологической формации, причем скважины имеют длину, достаточную для вскрытия опорного геологического горизонта. Система также включает в себя систему управления, находящуюся в коммутируемом соединении с множеством акустических датчиков и рассчитанную на выполнение действий, к которым относят получение данных от множества акустических источников, причем эти данные связаны с отраженными акустическими сигналами, которые были сгенерированы множеством акустических источников и получены множеством акустических датчиков; определение топологии разреза на основе полученных данных; и генерирование модели разреза геологической формации на основе этой определенной топологии разреза.

A1

201992827

201992827

A1



ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРУКТУР В НЕДРАХ ЗЕМЛИ

ОПИСАНИЕ

Заявление об установлении приоритета

[0001] Согласно настоящей заявке испрашивается преимущество в отношении предварительной заявки на выдачу патента США № 62/513,822, поданной 1 июня 2017 г., которая называется «Определение структур в недрах земли» и содержание которой полностью включено в настоящий документ посредством ссылки.

Область техники, к которой относится настоящее изобретение

[0002] Настоящее описание изобретения относится к определению структур в недрах земли и, в частности, к выявлению малоамплитудных структур в недрах земли посредством сбора и обработки сейсмических данных.

Предшествующий уровень техники настоящего изобретения

[0003] Сейсмические данные, собранные в определенных средах, могут быть существенно искажены осложнениями в верхней части разреза, такими как сложный рельеф, песчаные гряды, русла пересохших рек и карст. Такие осложнения обычно можно учитывать путем построения временных изображений, вводя изменения вертикального времени пробега и сдвигая зарегистрированные сейсмические трассы к условному уровню. Применяемые временные сдвиги постоянны для каждой трассы, они известны как статические поправки. Сложную верхнюю часть разреза также можно более точно учитывать путем построения глубинных изображений при помощи глубинно-скоростной модели верхней части разреза. Модели, которые используют для вычисления статических поправок или построения глубинных изображений, могут рассчитывать по наземным сейсмическим данным при помощи томографии на преломленных волнах или аналогичных методов. Однако обычно эти методы неспособны справиться со всеми осложнениями в верхней части разреза, характерными для определенных сред, в частности, это касается инверсии скоростей сейсмических волн с глубиной.

Краткое раскрытие настоящего изобретения

[0004] Согласно общему варианту осуществления настоящего изобретения система геологической съемки предусматривает множество акустических источников, расположенных с шагом на исследуемом участке земной поверхности. Каждый из

множества акустических источников рассчитан на генерирование сейсмической волны. Система также предусматривает множество акустических датчиков, расположенных в множестве скважин, которые пробурены в геологической формации, причем скважины имеют длину, достаточную для вскрытия опорного геологического горизонта. Система также включает в себя систему управления, находящуюся в коммутируемом соединении с множеством акустических датчиков и рассчитанную на выполнение действий, к которым относят получение данных от множества акустических источников, причем эти данные связаны с отраженными акустическими сигналами, которые были сгенерированы множеством акустических источников и получены множеством акустических датчиков; определение топологии разреза на основе полученных данных; и генерирование модели разреза геологической формации на основе этой определенной топологии разреза.

[0005] Согласно одному аспекту, комбинируемому с общим случаем осуществления, множество скважин бурят с равным интервалом, соответствующим желательной дискретизации длины сейсмической волны.

[0006] Согласно другому аспекту, комбинируемому с любым из вышеупомянутых аспектов, каждый акустический датчик включает в себя оптоволоконный акустический датчик.

[0007] Согласно другому аспекту, комбинируемому с любым из вышеупомянутых аспектов, каждый оптоволоконный акустический датчик представляет собой реверсивный оптоволоконный узел.

[0008] Согласно другому аспекту, комбинируемому с любым из вышеупомянутых аспектов, множество реверсивных оптоволоконных узлов соединено вместе при помощи единого оптоволоконного кабеля.

[0009] Согласно другому аспекту, комбинируемому с любым из вышеупомянутых аспектов, работа по определению топологии разреза предусматривает обработку данных, связанных с отраженными акустическими сигналами, во временной модели при помощи системы управления; и обработку данных, связанных с отраженными акустическими сигналами в глубинной модели при помощи системы управления.

[0010] Другой аспект, комбинируемый с любым из вышеупомянутых аспектов, дополнительно предусматривает расчет статических поправок к данным, связанным с отраженными акустическими сигналами.

[0011] Другой аспект, комбинируемый с любым из вышеупомянутых аспектов, дополнительно предусматривает разделение рассчитанных статических поправок на коротковолновые и длинноволновые.

[0012] Другой аспект, комбинируемый с любым из вышеупомянутых аспектов, дополнительно предусматривает ослабление помех от рассчитанных статических поправок к данным, связанным с отраженными акустическими сигналами.

[0013] Другой аспект, комбинируемый с любым из вышеупомянутых аспектов, дополнительно предусматривает сдвиг рассчитанных статических поправок к данным, связанным с отраженными акустическими сигналами, на множество заранее заданных промежуточных глубинных уровней на основе вертикальных сдвигов по времени, измеренных в множестве скважин.

[0014] Другой аспект, комбинируемый с любым из вышеупомянутых аспектов, дополнительно предусматривает суммирование сейсмограмм от каждого из множества акустических датчиков для формирования множества объединенных ансамблей трасс, причем каждый из объединенных ансамблей трасс имеет улучшенное отношение сигнал-помеха.

[0015] Другой аспект, комбинируемый с любым из вышеупомянутых аспектов, на каждом из заранее заданных промежуточных глубинных уровней дополнительно предусматривает сортировку объединенных ансамблей трасс по общей глубинной точке, применение коротковолновых статических поправок, и оценку скоростей суммирования и применение кинематической поправки и суммирование.

[0016] Другой аспект, комбинируемый с любым из вышеупомянутых аспектов, дополнительно предусматривает применение длинноволновых статических сдвигов на опорный геологический горизонт.

[0017] Другой аспект, комбинируемый с любым из вышеупомянутых аспектов, дополнительно предусматривает суммирование множества суммарных записей, сгенерированных на множестве заранее заданных промежуточных глубинных уровней, с получением окончательной суммы.

[0018] Другой аспект, комбинируемый с любым из вышеупомянутых аспектов, дополнительно предусматривает выполнение миграции во временной области после суммирования.

[0019] Другой аспект, комбинируемый с любым из вышеупомянутых аспектов, дополнительно предусматривает выполнение разделения по глубине рассчитанных статических поправок с ослабленными помехами к данным, связанным с отраженными акустическими сигналами.

[0020] Другой аспект, комбинируемый с любым из вышеупомянутых аспектов, дополнительно предусматривает генерирование скоростной модели верхней части разреза

между поверхностью земли и опорным геологическим горизонтом путем интерполяции измеренных скоростей отраженных сейсмических сигналов.

[0021] Другой аспект, комбинируемый с любым из вышеупомянутых аспектов, дополнительно предусматривает генерирование глубинной скоростной модели для глубин ниже опорного геологического горизонта.

[0022] Другой аспект, комбинируемый с любым из вышеупомянутых аспектов, дополнительно предусматривает глубинную миграцию до суммирования от поверхности земли на основе общей скоростной модели, в состав которой входит скоростная модель верхней части разреза.

[0023] Согласно другому аспекту, комбинируемому с любым из вышеупомянутых аспектов, множество акустических источников расположено с равным и повторяющимся шагом на исследуемом участке поверхности земли, причем множество акустических источников представляет собой покрытие из источников, расположенное на поверхности земли.

[0024] Согласно другому аспекту, комбинируемому с любым из вышеупомянутых аспектов, эти равные и повторяющиеся шаги составляют от 100 до 1000 метров.

[0025] Согласно другому аспекту, комбинируемому с любым из вышеупомянутых аспектов, геологическая формация содержит в себе сложную геологическую структуру и малоамплитудную геологическую структуру.

[0026] Согласно другому общему варианту осуществления способ предусматривает расположение множества акустических датчиков в множестве скважин; расположение множества акустических источников на поверхности земли или поблизости от нее; излучение акустического сигнала множеством сейсмических источников, причем сигнал направлен в подземную геологическую формацию; прием множеством акустических датчиков отраженного акустического сигнала от подземной геологической формации; определение топологии разреза геологической формации на основе приема отраженного акустического сигнала множеством акустических датчиков; и создание модели разреза геологической формации на основе этой определенной структуры.

[0027] Другой аспект, комбинируемый с общим случаем осуществления, дополнительно предусматривает бурение множества скважин в геологической формации, причем по меньшей мере часть скважин имеет глубину, достаточную для вскрытия опорного геологического горизонта.

[0028] Другой аспект, комбинируемый с любым из вышеупомянутых аспектов, дополнительно предусматривает обработку отраженного акустического сигнала во

временной модели с применением системы управления, которая находится в коммутируемом соединении с акустическими датчиками.

[0029] Другой аспект, комбинируемый с любым из вышеупомянутых аспектов, дополнительно предусматривает обработку отраженного акустического сигнала в глубинной модели с применением системы управления.

[0030] Другой аспект, комбинируемый с любым из вышеупомянутых аспектов, дополнительно предусматривает расчет статических поправок к отраженному акустическому сигналу.

[0031] Другой аспект, комбинируемый с любым из вышеупомянутых аспектов, дополнительно предусматривает разделение рассчитанных статических поправок на коротковолновые и длинноволновые.

[0032] Другой аспект, комбинируемый с любым из вышеупомянутых аспектов, дополнительно предусматривает ослабление помех от рассчитанных статических поправок к отраженному акустическому сигналу.

[0033] Другой аспект, комбинируемый с любым из вышеупомянутых аспектов, дополнительно предусматривает сдвиг рассчитанных статических поправок к отраженному акустическому сигналу на множество заранее заданных промежуточных глубинных уровней на основе вертикальных сдвигов по времени, измеренных в множестве скважин.

[0034] Другой аспект, комбинируемый с любым из вышеупомянутых аспектов, дополнительно предусматривает суммирование сейсмограмм от каждого из множества акустических датчиков для формирования множества объединенных ансамблей трасс, причем каждый из объединенных ансамблей трасс имеет улучшенное отношение сигнал-помеха.

[0035] Другой аспект, комбинируемый с любым из вышеупомянутых аспектов, на каждом из заранее заданных промежуточных глубинных уровней дополнительно предусматривает сортировку объединенных ансамблей трасс по общей глубинной точке, применение коротковолновых статических поправок, и оценку скоростей суммирования и применение кинематической поправки и суммирование.

[0036] Другой аспект, комбинируемый с любым из вышеупомянутых аспектов, дополнительно предусматривает применение длинноволновых статических сдвигов на опорный геологический горизонт.

[0037] Другой аспект, комбинируемый с любым из вышеупомянутых аспектов, дополнительно предусматривает суммирование множества суммарных записей,

сгенерированных на множестве заранее заданных промежуточных глубинных уровней, с получением окончательной суммы.

[0038] Другой аспект, комбинируемый с любым из вышеупомянутых аспектов, дополнительно предусматривает выполнение миграции во временной области после суммирования.

[0039] Другой аспект, комбинируемый с любым из вышеупомянутых аспектов, дополнительно предусматривает выполнение разделения по глубине рассчитанных статических поправок к отраженному акустическому сигналу с ослабленными помехами.

[0040] Другой аспект, комбинируемый с любым из вышеупомянутых аспектов, дополнительно предусматривает генерирование скоростной модели верхней части разреза между поверхностью земли и опорным геологическим горизонтом путем интерполяции измеренных скоростей отраженных сейсмических сигналов.

[0041] Другой аспект, комбинируемый с любым из вышеупомянутых аспектов, дополнительно предусматривает генерирование глубинной скоростной модели для глубин ниже опорного геологического горизонта.

[0042] Другой аспект, комбинируемый с любым из вышеупомянутых аспектов, дополнительно предусматривает глубинную миграцию до суммирования от поверхности земли на основе общей скоростной модели, в состав которой входит скоростная модель верхней части разреза.

[0043] Согласно одному аспекту, комбинируемому с любым из вышеупомянутых аспектов, расположение множества акустических источников на поверхности земли или поблизости от нее предусматривает расположение множества акустических источников с равным и повторяющимся шагом на исследуемом участке земной поверхности, причем множество акустических источников представляет собой покрытие из источников, расположенное на поверхности земли.

[0044] Согласно одному аспекту, комбинируемому с любым из вышеупомянутых аспектов, эти равные и повторяющиеся шаги составляют от 100 до 1000 метров.

[0045] Согласно другому общему варианту осуществления реализованный на компьютере способ генерирования модели разреза предусматривает выявление при помощи аппаратного процессора данных, связанных с отраженными акустическими сигналами, которые сгенерированы множеством акустических источников и приняты множеством акустических датчиков; определение топологии разреза геологической формации на основе выявленных данных при помощи аппаратного процессора; и генерирование при помощи аппаратного процессора модели разреза геологической формации на основе этой определенной топологии разреза.

[0046] Согласно одному аспекту, комбинируемому с общим вариантом осуществления, определение топологии разреза предусматривает: обработку данных, связанных с отраженными акустическими сигналами, во временной модели при помощи аппаратного процессора; и обработку данных, связанных с отраженными акустическими сигналами, в глубинной модели при помощи аппаратного процессора.

[0047] Согласно одному аспекту, комбинируемому с любым из вышеупомянутых аспектов, обработка данных, связанных с отраженными акустическими сигналами, во временной модели предусматривает: расчет статических поправок к данным, связанным с отраженными акустическими сигналами; разделение рассчитанных статических поправок на коротковолновые и длинноволновые; ослабление помех в рассчитанных статических поправках к данным, связанным с отраженными акустическими сигналами; и сдвиг рассчитанных статических поправок к данным, связанным с отраженными акустическими сигналами, к множеству заранее заданных промежуточных глубинных уровней на основе вертикальных сдвигов по времени, измеренных в множестве скважин; суммирование сейсмограмм от каждого из множества акустических датчиков для формирования множества объединенных ансамблей трасс, где каждый из объединенных ансамблей трасс имеет улучшенное отношение сигнал-помеха.

[0048] Согласно одному аспекту, комбинируемому с любым из вышеупомянутых аспектов, обработка данных, связанных с отраженными акустическими сигналами, во временной модели дополнительно предусматривает: на каждом из заранее заданных промежуточных глубинных уровней: сортировку объединенных ансамблей трасс по общей глубинной точке, применение коротковолновых статических поправок, и оценку скоростей суммирования и применение кинематической поправки и суммирование; применение длинноволнового статического сдвига на опорный геологический горизонт; суммирование множества суммарных записей, сгенерированных на множестве заранее заданных промежуточных глубинных уровней, в окончательную сумму; и выполнение миграции во временной области после суммирования.

[0049] Согласно одному аспекту, комбинируемому с любым из вышеупомянутых аспектов, обработка данных, связанных с отраженными акустическими сигналами, в глубинной модели дополнительно предусматривает: разделение по глубине рассчитанных статических поправок с ослабленными помехами к данным, связанным с отраженными акустическими сигналами; генерирование скоростной модели верхней части разреза между поверхностью земли и опорным геологическим горизонтом путем интерполяции измеренных скоростей отраженных сейсмических сигналов; генерирование скоростной модели верхней части разреза между поверхностью земли и опорным геологическим

горизонтом путем интерполяции измеренных скоростей отраженных сейсмических сигналов; генерирование глубинной скоростной модели для глубин ниже опорного геологического горизонта; глубинную миграцию до суммирования от поверхности земли на основе общей скоростной модели, в состав которой входит скоростная модель верхней части разреза.

[0050] Варианты осуществления системы сбора сейсмических данных согласно настоящему описанию изобретения могут предусматривать один, несколько или все описанные ниже признаки. Например, варианты осуществления могут способствовать прямому измерению скорости в верхней части разреза для правильного измерения длинноволновых вариаций скорости в верхней части разреза и интерполяции этих измерений на сейсмическую сетку на исследуемом участке с малоамплитудными поисковыми объектами, где большую роль играет снижение неопределенности, которая связана с верхней частью разреза.

[0051] Варианты осуществления согласно настоящему описанию изобретения могут быть реализованы в виде компьютеризированных способов, аппаратных вычислительных систем и материальных машиночитаемых носителей. Например, система из одного или нескольких компьютеров может быть рассчитана на выполнение определенных действий за счет того, что на ней установлено программное обеспечение, аппаратно-программное обеспечение, аппаратное обеспечение или их сочетание, которые в процессе работы приводят к выполнению этих действий или обеспечивают выполнение системой этих действий. Одна или несколько компьютерных программ могут быть рассчитаны на выполнение конкретных действий за счет включения таких команд, при исполнении которых устройством для обработки данных обеспечивают выполнение этих действий.

[0052] Подробная информация по одному или нескольким вариантам осуществления предмета изобретения, описанным в настоящем документе, представлена на прилагаемых фигурах и в описании. Другие признаки, аспекты и преимущества предмета изобретения станут очевидными из описания, фигур и формулы изобретения.

Краткое описание фигур

[0053] На фиг. 1А-1С представлено схематическое изображение одного варианта осуществления системы сбора и обработки сейсмических данных согласно настоящему изобретению.

[0054] На фиг. 2-5 представлены изображения синтетической модели результатов работы системы сбора и обработки сейсмических данных согласно настоящему изобретению.

[0055] На фиг. 6 представлен пример способа для генерирования сейсмического изображения малоамплитудной структуры в недрах земли согласно настоящему изобретению.

[0056] На фиг. 7 представлен пример осуществления последовательности действий в процессе построения изображений во временной области для системы сбора и обработки сейсмических данных согласно настоящему изобретению.

[0057] На фиг. 8 представлен пример осуществления последовательности действий в процессе построения изображений в глубинной области для системы сбора и обработки сейсмических данных согласно настоящему изобретению.

[0058] На фиг. 9 представлено схематическое изображение примера реверсивного оптоволоконного узла.

[0059] На фиг. 10А представлена принципиальная схема примера осуществления системы распределенных акустических измерений (DAS).

[0060] На фиг. 10В представлена принципиальная схема примера системы наблюдений для одновременной регистрации распределенными акустическими датчиками в нескольких скважинах, причем съемка выполнена с применением покрытия из акустических источников.

[0061] На фиг. 11А-11С представлены разрезы, демонстрирующие формы импульсов, зарегистрированных в разных скважинах, которые содержат акустические источники и акустические датчики.

[0062] На фиг. 12А представлен сравнительный график пиков времен и глубин по соседним скважинам для обычной системы и системы распределенных акустических измерений.

[0063] На фиг. 12В представлен сравнительный график пиков времен и глубин по соседним скважинам для системы распределенных акустических измерений и для вибрационного акустического источника сейсмических сигналов.

[0064] На фиг. 13 представлено сопоставление синтетической и реальной сейсмограммы общего пункта приема.

[0065] На фиг. 14 представлено несколько диаграмм, которые иллюстрируют сопоставление сейсмограмм общего пункта приема до суммирования, полученных наземным сейсмоприемником и системой распределенных акустических измерений.

[0066] На фиг. 15 представлен разрез, иллюстрирующий сопоставление изображений, которые получены с помощью системы распределенных акустических измерений и обычной сейсмической станции.

[0067] На фиг. 16 представлены разрезы, иллюстрирующие сопоставление синтетических и полевых данных для модельной упругой вертикальной компоненты, горизонтальной компоненты и полевой сейсмограммы для системы распределенных акустических измерений.

[0068] На фиг. 17 представлено схематическое изображение примера осуществления системы управления системой сбора и обработки сейсмических данных согласно настоящему изобретению.

Подробное раскрытие настоящего изобретения

[0069] В настоящем раскрытии изобретения описаны варианты осуществления систем сбора и обработки сейсмических данных, способа и машиночитаемых носителей, которые обнаруживают и определяют структуры в недрах земли, например, малоамплитудные структуры углеводородных залежей. Согласно некоторым аспектам, система сбора и обработки сейсмических данных предусматривает один или несколько акустических источников, расположенных на поверхности земли и один или несколько акустических датчиков, которые расположены в скважинах, пробуренных с поверхности земли в один или несколько интервалов в недрах земли. Согласно некоторым аспектам, акустические датчики для системы распределенных акустических измерений (DAS) или в ее составе в скважинах могут быть расположены на изучаемой площади с заданным шагом. Согласно некоторым аспектам, глубина скважин может быть достаточной (и выбранной) для того, чтобы вскрыть конкретный опорный сейсмический горизонт, находящийся на глубине под поверхностью земли и на глубине ниже, например, любых сложных формаций в верхней части разреза.

[0070] Согласно примерам осуществления, один или несколько сейсмических сигналов генерируют на поверхности земли при помощи акустических источников. Например, сигналы могут генерировать при помощи источников, расположенных с относительно небольшим интервалом на поверхности, и регистрировать одновременно во всех (или большинстве) скважин. Вертикальное время пробега звука вдоль скважин могут использовать для оценки скоростной модели верхней части разреза, а также статических поправок к опорному горизонту вблизи скважин. Скорости и статические поправки интерполируют между соседними скважинами с целью получения глубинно-скоростной

модели верхней части разреза и длинноволновой статической модели на изучаемой площади.

[0071] Согласно некоторым аспектам, сейсмические данные, зарегистрированные в скважинах, обрабатывают при помощи графов обработки с целью получения изображений разреза в глубинной и временной области. Например, согласно некоторым аспектам, граф обработки во временной области предусматривает удаление и ослабление помех в данных общей точки приема (например, сейсмоприемник, который принимает сейсмические сигналы от нескольких источников). Граф обработки во временной области может также предусматривать сортировку зарегистрированных сейсмических данных по общей глубинной площадке на нескольких глубинных уровнях, а также оценку скорости и суммирование сейсмических данных на каждом глубинном уровне. Согласно некоторым аспектам, граф обработки во временной области может также предусматривать окончательный сдвиг и суммирование всех предварительных сумм.

[0072] Граф обработки в глубинной области может быть реализован в системе сбора и обработки сейсмических данных после ослабления помех и коротковолновой статической коррекции зарегистрированных сейсмических данных. В ходе выполнения графа обработки в глубинной области происходит разделение восходящего и нисходящего волнового поля, причем восходящее волновое поле используют в качестве входного данного в глубинной миграции до суммирования от уровня со сглаженным рельефом. Скоростную модель на глубине могут генерировать как комбинацию модели верхней части разреза, полученной для более близких к поверхности частей скважин (например, скважин) в то время, как скоростная модель для больших глубин может быть получена при помощи технических решений для построения глубинной модели, таких как томография или другие способы.

[0073] Таким образом, проиллюстрированные примеры вариантов осуществления системы сбора и обработки сейсмических данных могут применять для построения скоростной модели верхней части разреза путем интерполяции измерений сейсмических данных, полученных акустическими датчиками. Система сбора и обработки сейсмических данных может также генерировать одно или несколько изображений разреза при помощи сейсмических данных от сейсмических датчиков, расположенных в скважинах.

[0074] На фиг. 1А-1С представлено схематическое изображение одного варианта осуществления системы 100 сбора и обработки сейсмических данных. На фиг. 1А представлена изометрическая проекция системы 100, на фиг. 1В представлен вид системы 100 в плане, а на фиг. 1С представлен вид системы 100 сбоку или в разрезе. Как видно, система сбора и обработки сейсмических данных предусматривает несколько скважин

106, пробуренных с поверхности 102 земли в изучаемом интервале (или на изучаемом участке) 104. Несколько акустических источников 108 (например, сейсмический вибратор, ударный источник, пневмопушка, плазменный источник звука, грузовик с ударным источником сейсмических сигналов или взрывчатые вещества) размещают на поверхности 102 земли на изучаемом участке 104. Несмотря на то, что каждая из скважин 106 и каждый из акустических источников 108 показаны как находящиеся или расположенные в пределах изучаемого участка 104 (на поверхности 102 земли), одна или несколько скважин 106 могут быть пробурены с поверхности 102 земли за пределами изучаемого участка 104 (или выходить за пределы изучаемого участка 104 на глубине ниже поверхности 102). Кроме того, один или несколько акустических источников 108 могут располагаться на поверхности 102 земли или вблизи нее за пределами изучаемого участка 104.

[0075] В примере системы 100, показанном на фиг. 1А-1С акустические датчики 122 (показаны на фиг. 1С) расположены в каждой из скважин 106. В этом примере каждый из акустических датчиков 122 включает в себя оптоволоконные сейсмические кабели-датчики, которые воспринимают звук благодаря тому, что кабели изгибаются под действием звуковых волн 132, излучаемых одним или несколькими акустическими источниками 108. В каждой скважине 106 оптоволоконные сейсмические кабели-датчики могут быть соединены между собой проложенным вблизи поверхности кабелем 124 (например, оптоволоконным кабелем, расположенным в траншее вблизи поверхности) и подключены к системе 150 управления (более подробно описана ниже). Согласно другим вариантам осуществления, акустические датчики 122 могут включать в себя сейсмоприемники, которые расположены в скважинах 106 и соединены между собой проложенным вблизи поверхности кабелем 124.

[0076] Согласно некоторым аспектам, каждый акустический датчик 122 может представлять собой реверсивный оптоволоконный узел 900, как показано на фиг. 9. Например, реверсивный оптоволоконный узел 900 может включать в себя оптоволоконный кабель 902, который входит в наконечник 904 (например, наконечник из пирекса) и образует петлю в наконечнике 904. Например, реверсивный оптоволоконный узел 900 включает в себя непрерывный оптический кабель 902, который также проходит через несколько других узлов 900. Таким образом, применение в системе 100 реверсивных оптоволоконных узлов 900 может обеспечить одновременную регистрацию сейсмических данных (с одним опрашивающим устройством), тем самым повышая производительность и снижая затраты. Согласно некоторым аспектам, узлы 900 могут быть изготовлены заранее и могут иметь относительно небольшой диаметр, а также могут быть защищены

наконечником 904, что решает или способствует решению проблемы поддержания минимального радиуса изгиба оптического волокна. Это ограничение часто приводит к тому, что требуются скважины большого диаметра и специальные реверсивные узлы, которые часто представляют собой слабое место в системе.

[0077] Кроме того, в системе 100, включающей в себя непрерывный волоконный кабель 902, проложенный через несколько скважин, горизонтальные участки волоконного кабеля, которые соединяют такие скважины, для защиты и лучшего соединения обычно укладывают в мелкие траншеи (например, глубиной 1 м). Таким образом, для снижения затрат и сокращения времени установки могут применять автоматическую проходку траншей и установку при помощи технологии заглубления кабеля. Путем регистрации сейсмических сигналов в горизонтальных отрезках волоконного кабеля, уложенного в траншею на поверхности, могут собирать сейсмические данные, пригодные для исследований верхней части разреза. Кроме того, непрерывные оптоволоконные кабели могут обеспечить вывод данных при относительно небольшом шаге между акустическими датчиками. При этом можно добиться частой дискретизации записи поверхностных волн, которая позволяет проследивать кривые дисперсии и другие колебания в верхней части разреза на наборах временных разрезов скоростей-частот, преобразовывать их для локальной одномерной модели и объединять такие модели в разных местоположениях. В то же время, могут регистрировать отражения от близповерхностных границ, что позволяет выполнять анализ скоростей суммирования и получать изображения аналогично обычной сейсморазведке. Преломленные волны также могут регистрировать при помощи расположенного на поверхности оптоволоконного кабеля, чтобы обеспечить входные данные для полноволновой инверсии, томографии первых вступлений и других методов инверсии, связанных с преломленными волнами.

[0078] Кроме того, применение непрерывного оптоволоконного кабеля может обеспечить разномасштабные сейсмические съемки с одним измерительным волокном с использованием одного и того же источника возбуждения. В обычных системах сбора данных приходится заранее определять дискретизацию сейсмоприемников и количество сейсмоприемников в группе. Эти параметры влияют на качество данных, выраженность различных зарегистрированных событий и дальнейшее использование сейсмических данных для обнаружения различных поисковых объектов в разрезе. Например, с целью регистрации тонких особенностей сейсмического волнового поля в неглубоких интервалах или верхней части разреза требуется использовать небольшие интервалы между приемниками и небольшие группы приемников. Для глубинных поисковых объектов обычно используют сбор данных по менее плотной сети с большими

расстановками с тем, чтобы ослабить связанные с поверхностью помехи и усилить слабые целевые отражения. При сборе данных DAS кабель-датчик всегда один и тот же, тогда как все параметры съемки задают в окне регистрации (опрашивающее устройство). Это позволяет получать различные наборы сейсмических данных, используя одну запись. Например, изменяя выходной шаг дискретизации и длину базы измерений (G), длину оптоволоконного кабеля, вдоль которого свет обратного рассеяния осредняют для получения выходного сейсмического сигнала, пользователь может получить такие наборы сейсмических данных, как перечислено ниже: 1) сбор «малоглубинных» данных с небольшим G и очень малым шагом с целью описания характеристик верхней части разреза, которая очень важна для наземной сейсморазведки; и 2) «глубинная» съемка с большим G и средним шагом, причем съемка может быть использована вместо обычных данных для обнаружения глубинных отражений, и в случае слабого сигнала для нее требуется хорошее отношение сигнал-помеха.

[0079] Согласно дополнительным аспектам, волоконный кабель 902 может быть всенаправленным кабелем. Например, некоторые волоконные кабели имеют строгую направленность, это означает, что они наиболее чувствительны к сигналу/деформациям вдоль волоконного кабеля и нечувствительны к сигналам/деформациям в направлении, перпендикулярном к волоконному кабелю. Таким образом, между параллельным и перпендикулярным направлениями чувствительность может снижаться. В то время как оптические кабели в вертикальных скважинах чувствительны к отражениям вертикально распространяющихся Р-волн, горизонтальные кабели не регистрируют таких сигналов, ограничивая применение поверхностных участков кабеля, например, томографией Р-волн или скоростным анализом. Чтобы этого не происходило, применяют всенаправленный оптоволоконный кабель, который чувствителен к сигналу/деформациям во всех направлениях (или по меньшей мере обладает повышенной чувствительностью к сигналам, имеющим большой угол к направлению, параллельному кабелю).

[0080] Как видно из этого примера, скважины 106 и акустические источники 108 формируют и располагают, соответственно, в виде повторяющейся сеточной расстановки на или от поверхности 102 земли. Например, в одном направлении каждая из скважин 106 находится на расстоянии 110 от соседней скважины 106, тогда как в другом направлении каждая из скважин 106 находится на расстоянии 112 от соседней скважины 106. Согласно некоторым аспектам, расстояния 110 и 112 могут быть равными или по существу равными (например, в пределах 5-10 процентов). Согласно некоторым аспектам, расстояния 110 и 112 могут составлять от нескольких метров до 1000 метров (м). Согласно некоторым аспектам, расстояния 110 и 112 могут зависеть, например, от относительных глубин

скважин 106. Например, для скважин 106 глубиной до 100 м в пределах изучаемого участка 104 расстояния 110 и 112 могут составлять от 100 м до 300 м. Для скважин 106 глубиной до 300 м в пределах изучаемого участка 104 расстояния 110 и 112 могут составлять от 300 м до 600 м. Для скважин 106 глубиной более 300 м в пределах изучаемого участка 104 расстояния 110 и 112 могут составлять до 1000 м.

[0081] Согласно некоторым примерам, скважины 106 или акустические источники 108, или и те и другие могут не быть сформированы или расположены в виде повторяющейся сеточной расстановки, как показано на фиг. 1А-1С. Например, скважины 106 на изучаемом участке 104 могут быть пробурены с поверхности 102 земли более случайным образом, или могут быть также пробурены на изучаемом участке 104 в виде разных (например, непрямоугольных) повторяющихся схем. Кроме того, источники 108 на изучаемом участке 104 могут быть расположены на поверхности 102 земли более случайным образом, или могут быть расположены на изучаемом участке 104 в виде разных (например, непрямоугольных) повторяющихся схем. Как видно из фиг. 1В, каждый акустический источник 108 может в одном направлении находиться на расстоянии 114 от соседних источников 108. Кроме того, в другом направлении каждый из источников 108 находится на расстоянии 116 от соседних источников 108. Согласно некоторым аспектам, расстояния 114 и 116 могут быть равными или по существу равными (например, в пределах 5-10 процентов). Согласно некоторым аспектам, расстояния 114 и 116 могут составлять от нескольких метров до 1000 метров. Согласно некоторым аспектам, расстояния 114 и 116 могут зависеть, например, от относительных глубин скважин 106.

[0082] В примере системы 100 на фиг. 1А-1С изучаемый участок 104 включает в себя часть поверхности 102 земли и включает в себя или определяет «покрытие из источников», в пределах которого расположены акустические источники 108. Согласно некоторым аспектам, это покрытие из источников охватывает или распространяется на участок поверхности 102 земли, с которого пробурены все скважины 106. В этой системе 100 распределение акустических источников 108 (а также количество источников 108) может обеспечивать хорошую дискретизацию волнового поля и высокую кратность на целевом горизонте. Согласно некоторым аспектам, для повышения отношения сигнал-помеха могут применять группы из нескольких акустических источников.

[0083] Как видно из фиг. 1В, скважины 106 пробурены таким образом, что забой каждой скважины 106 находится глубже, чем опорный сейсмический горизонт 126. В этом примере опорный сейсмический горизонт 126 может находиться приблизительно на 50-100 м глубже, чем поверхность 102 земли, но в альтернативных вариантах осуществления

он может находиться ближе к поверхности или дальше от нее. Кроме того, согласно некоторым аспектам, опорный сейсмический горизонт 126 может быть ориентирован вдоль определенного полярного направления, например, с востока на запад. Например, опорный сейсмический горизонт 126 определяет опорную (например, произвольную) плоскую поверхность, на которую делают поправки, и для сведения к минимуму влияния рельефа и интервалов верхней части разреза с низкими скоростями предполагается, что на ней расположены источники и приемники. Согласно некоторым аспектам, как показано на фиг. 1С, опорный сейсмический горизонт 126 определен на глубине ниже поверхности земли. Согласно некоторым аспектам, таким как морская система сбора и обработки сейсмических данных, опорный сейсмический горизонт может находиться на уровне моря. Кроме того, как показано на фиг. 1С, поверхностный слой 128 находится под поверхностью земли и на меньшей глубине, чем сложная структура 130 в верхней части разреза, которая включает в себя малоамплитудную структуру.

[0084] При работе система 100 может быть реализована путем создания скважин 106 (например, путем бурения) и расположения акустических источников 108 по сетке, как описано ранее. Акустические датчики 122 (например, оптоволоконные акустические датчики) располагают в скважинах 106. Система 150 управления может управлять акустическими источниками 108 (посредством кабеля 120 цепи управления) с целью генерирования одной или нескольких сейсмических волн 132 с поверхности 102 земли, через поверхностный слой 128 и в сложную структуру 130 в верхней части разреза, и через нее с тем, чтобы достигнуть одного или нескольких акустических датчиков 122, расположенных на разных глубинах в скважинах 106. В некоторых примерах энергия сейсмической волны 132 может быть длинноволновой (например, приблизительно 2 километра (км)). Согласно таким примерам, скважины могут быть расположены на расстоянии 1 км друг от друга, так что в пределах длины волны находится по меньшей мере две скважины 106. Это обеспечивает измерения акустическими датчиками 122 с целью надлежащей дискретизации модели верхней части разреза и статических поправок для надежной интерполяции между скважинами 106. Минимальную глубину скважин 106 могут выбирать таким образом, чтобы она была достаточной для вскрытия опорного сейсмического горизонта 126, находящегося на глубине ниже изображенных сложных структур в верхней части разреза.

[0085] Во время работы системы 100 система управления 150 может регистрировать сейсмический сигнал одновременно во всех скважинах 106 на всех глубинных уровнях, тем самым и собирают данные о скорости верхней части разреза (сейсмических волн 132, проходящих через интервалы в недрах земли), и выполняют

сейсмическую съемку при помощи акустических датчиков 122. Таким образом, система 100 обеспечивает непрерывное покрытие по углам/удалениям изучаемых подземных сейсмических отражающих горизонтов акустическими датчиками 122 вдоль сетки скважин 106. В некоторых случаях более глубокие скважины 106 могут обеспечить уменьшение горизонтального расстояния (например, расстояний 110 и 112) между ними, что может быть предпочтительным в случае неосложненного бурения скважин мелкого заложения. В случае сложного бурения скважин 106, могут быть предпочтительными скважины более мелкого заложения, но расположенные на меньшем расстоянии друг от друга. Для обеспечения надежного сейсмического сигнала 132 от глубинных целевых горизонтов могут использовать обычные акустические источники (например, источники согласно технологии вибросейс).

[0086] Согласно некоторым аспектам, все составные части системы 150 управления могут располагать рядом или вблизи от одной или нескольких скважин 106, и они могут обмениваться данными (посредством беспроводной или проводной связи) с другой частью системы 150 управления (или другой вычислительной системой), расположенной на удалении от скважин 106. Таким образом, система 150 управления может представлять собой вычислительную систему или системы, расположенные на скважинах 106 или на удалении от скважин 106 (например, в лаборатории по обработке данных).

[0087] На фиг. 2-5 представлены изображения синтетической модели по результатам работы системы сбора и обработки сейсмических данных согласно настоящему изобретению. Например, на фиг. 2 представлена двумерная длинноволновая статическая модель 200 для глубин ниже поверхности земли. На фиг. 3 представлено двумерное графическое изображение 300 истинных малоамплитудных структур. На фиг. 4 представлена двумерная модель 400 для глубин ниже поверхности земли, полученная путем интерполяции со скважин. На фиг. 5 представлено двумерное графическое изображение 500 рассчитанных малоамплитудных структур. Для демонстрации того, как сетка скважин может способствовать сейсморазведке за счет введения длинноволновой статической поправки и обеспечения точной модели верхней части разреза, при помощи модели SEAM II Arid (Oristaglio, 2015) был смоделирован синтетический пример. Рассмотрим две малоамплитудные структуры на изучаемой площади размером 10×10 км (фиг. 3). На фиг. 2 представлена истинная длиннопериодная статика, рассчитанная при помощи скоростной модели SEAM Arid в предположении, что опорный сейсмический горизонт находится на глубине 100 м. Наибольшая структурная неопределенность возникает из-за погрешностей в длиннопериодной статике, которые искажают геометрию и объем изучаемых структур. Для обеспечения сбора данных по сетке скважин 1×1 км

требуется 81 скважина (фиг. 4). В предположении, что коротковолновая статика может быть рассчитана по сейсмическим данным, длиннопериодную статику можно проинтерполировать со скважин на весь объем и получить надежные статические поправки для всей съемки. Фиг. 5 подтверждает надежное картирование и 10-метровой и 20-метровой малоамплитудных структур с помощью статических поправок, полученных по скважинам. Учитывая большие геологические риски, связанные с малоамплитудными структурами, и значительные затраты на бурение разведочных скважин, подобные целевые сетки скважин могут стать полезным инструментом в геофизическом наборе инструментов. Скважины с распределенными акустическими датчиками (описано ниже) могут обеспечить прямые и надежные оценки статических поправок для построения изображений не только во временной, но также и в глубинной области с тем, чтобы избежать невязок по глубине, которые часто встречаются на участках со сложными условиями в верхней части разреза.

[0088] На фиг. 6 представлен пример способа 600 для генерирования сейсмического изображения малоамплитудной структуры в недрах земли. Согласно некоторым аспектам, способ 600 могут осуществлять при помощи полной или, по меньшей мере, части системы 100, представленной на фиг. 1A-1C. Способ 600 могут начинать со стадии 602, которая предусматривает размещение множества акустических датчиков в множестве скважин. Способ 600 могут продолжать на стадии 604, которая предусматривает размещение множества акустических источников на поверхности земли или вблизи нее. Способ 600 могут продолжать на стадии 606, которая предусматривает излучение акустического сигнала множеством акустических источников, причем акустический сигнал направлен в подземную геологическую формацию. Способ 600 могут продолжать на стадии 608, которая предусматривает получение отраженного акустического сигнала множеством акустических датчиков, причем акустический сигнал поступает из подземной геологической формации. Способ 600 могут продолжать на стадии 610, которая предусматривает определение топологии разреза геологической формации на основе получения отраженного акустического сигнала множеством акустических датчиков. Способ 600 могут продолжать на стадии 612, которая предусматривает создание модели разреза геологической формации на основе этой определенной структуры.

[0089] Согласно некоторым аспектам, стадия 610 может предусматривать реализацию временной модели и глубинной модели. На фиг. 7 представлен пример частного случая способа на стадии 610 для реализации временной модели, например, с помощью системы 150 управления. Показанный способ реализации временной модели

могут начинать со стадии 702, которая предусматривает оценку статических поправок отраженного акустического сигнала. Частный случай способа могут продолжать на стадии 704, которая предусматривает разделение рассчитанных статических поправок на коротковолновые и длинноволновые. Способ 700 могут продолжать на стадии 706, которая предусматривает ослабление помех от рассчитанных статических поправок к отраженному акустическому сигналу. Частный случай способа могут продолжать на стадии 708, которая предусматривает сдвиг рассчитанных статических поправок к отраженному акустическому сигналу на множество заранее заданных промежуточных глубинных уровней на основе вертикальных сдвигов по времени, измеренных в множестве скважин. Частный случай способа могут продолжать на стадии 710, которая предусматривает суммирование сейсмограмм от каждого из множества акустических датчиков для формирования множества объединенных ансамблей трасс, причем каждый из объединенных ансамблей трасс имеет улучшенное отношение сигнал-помеха. Частный случай способа могут продолжать на стадии 712, которая для каждого из заранее заданных промежуточных глубинных уровней предусматривает: сортировку объединенных ансамблей трасс по общей глубинной точке, применение коротковолновых статических поправок, оценку скоростей суммирования, и применение кинематической поправки и суммирование. Частный случай способа могут продолжать на стадии 714, которая предусматривает применение длинноволновых статических сдвигов на опорный геологический горизонт. Частный случай способа могут продолжать на стадии 716, которая предусматривает суммирование множества суммарных записей, сгенерированных на множестве заранее заданных промежуточных глубинных уровней, с получением окончательной суммы. Частный случай способа могут продолжать на стадии 718, которая предусматривает выполнение временной миграции после суммирования.

[0090] На фиг. 8 представлено расширение со стадии 706 для реализации глубинной модели на стадии 610, например, с помощью системы 150 управления. Частный случай способа со стадии 706 могут начинать на стадии 720, которая предусматривает разделение по глубине рассчитанных статических поправок с ослабленными помехами к отраженному акустическому сигналу. Частный случай способа со стадии 706 могут продолжать на стадии 722, которая предусматривает генерирование скоростной модели верхней части разреза между поверхностью земли и опорным геологическим горизонтом путем интерполяции измеренных скоростей отраженных сейсмических сигналов. Частный случай способа со стадии 706 могут продолжать на стадии 724, которая предусматривает генерирование глубинной скоростной модели для глубин ниже опорного геологического горизонта. Частный случай способа со стадии 706

могут начинать на стадии 726, которая предусматривает глубинную миграцию до суммирования от поверхности земли на основе общей скоростной модели, в состав которой входит скоростная модель верхней части разреза.

[0091] В настоящем раскрытии изобретения описана интегрированная наземная система построения сейсмических изображений, в которой применены распределенные акустические измерения (DAS) в сети скважин мелкого заложения («интеллектуальные скважины DAS»). Эта система позволяет экономически эффективно выполнять одновременное определение характеристик зон верхней части разреза и построение изображения разреза. При помощи этой системы сбор данных о скорости в скважинах могут выполнять в любое время с применением одиночных взрывов, поскольку все глубинные уровни могут быть зарегистрированы одновременно. Плотные сетки интеллектуальных скважин DAS точно описывают длинноволновую статику и снижают неопределенность поисков и разведки малоамплитудных структур. Кроме того, соединение нескольких скважин при помощи единого оптоволокну может обеспечить эффективное выполнение сейсмической съемки с применением заглубленных вертикальных расстановок, что может обеспечить более качественные изображения глубинного разреза, чем наземная сейсморазведка, и с большей точностью, поскольку они помогают обойти большинство осложнений в верхней части разреза. Интеллектуальные скважины DAS могут использовать в съемках по требованию для одновременного определения характеристик верхней части разреза и построения изображений по глубинным отражениям от нефтегазовых объектов с целью поисков, разведки, разработки или мониторинга залежей.

[0092] Согласно описанию, варианты осуществления настоящего изобретения могут предусматривать схему сейсмической съемки с намного меньшим количеством каналов, чем у наземной съемки, что благодаря заглублению датчиков в землю решает проблемы и качества данных, и верхней части разреза. В конкретных вариантах осуществления системы одна компонента представляет собой интеллектуальную скважину с распределенными акустическими измерениями (DAS), ствол скважины мелкого заложения (глубиной 50-500 м), оснащенный экономически эффективным оптоволокну DAS в качестве сейсмического датчика.

[0093] Интеллектуальные скважины DAS могут обеспечивать прямые измерения близповерхностных изменений скорости и уменьшать количество ложных структур, причиной появления которых является плохо описанная модель верхней части разреза, полученная по непрямым методам, например, томографии на преломленных волнах. Применение сети интеллектуальных скважин DAS, соединенных одним волокну

(например, как показано на фиг. 1С), позволяет предлагаемой оптоволоконной системе выполнять новые сейсмические съемки с заглубленными вертикальными расстановками DAS. Такую съемку выполняют с относительно небольшими дополнительными затратами за счет прокладки волоконных кабелей между скважинами DAS, как показано на фиг. 1С. Уложенные в траншею соединительные кабели также регистрируют полезные наземные сейсмические данные аналогичные тем, которые регистрируют обычные горизонтальные сейсмоприемники. При использовании всенаправленных кабелей DAS (согласно описанию конкретных вариантов осуществления) могут также регистрировать сейсмические данные, аналогичные тем, которые регистрируют обычные вертикальные сейсмоприемники. Выполненные геофизические съемки могут использовать для поисков и разведки малоамплитудных структур, детальных геофизических исследований залежи или постоянного мониторинга.

[0094] Прямые измерения могут обеспечивать более надежное и точное определение характеристик верхней части разреза. Ранее скважины мелкого заложения (известные как геотехнические скважины) использовали для построения профиля скоростей в верхней части разреза с целью расчета статических поправок, которые требуются для снижения влияния верхней части разреза на глубинные сейсмические изображения. В обычных сейсмических скважинах необходимо перемещать один сейсмоприемник вверх по стволу скважины и для получения первых вступлений в качестве источника применять молот или падающий груз. По ряду причин качество данных обычно вызывает сомнения. Во-первых, данные собирают при помощи прижимного скважинного сейсмоприемника в открытом стволе, что приводит к переменной связи с приемником. Необходимость повторять возбуждение на каждом уровне приемников также приводит к переменной форме импульса источников. С силу ручного управления и больших глубин сложно добиться точного контроля над глубиной; для получения хороших первых вступлений требуются многократные возбуждения при помощи слабого источника. В процессе бурения буровая бригада должна постоянно находиться на площадке, чтобы иметь доступ к скважине и выполнять съемку сразу после завершения бурения во избежание возможного обрушения скважины. По этой причине измерения в скважине сложные и дорогостоящие, что ограничивает их применение.

[0095] При помощи предлагаемого устройства интеллектуальной скважины DAS можно собирать скважинные сейсмические данные, применяя относительно экономичные оптоволоконные кабели DAS. Кабель DAS разворачивают в стволе скважины сразу после бурения, он может находиться там постоянно благодаря низкой стоимости. Каждый метр кабеля DAS может выступать в качестве сейсмического датчика и обеспечивать

многоуровневую расстановку сверху донизу по всей длине скважины. Сетка малобюджетных скважин позволяет выполнять прямую оценку длинноволновых статических поправок, которые требуются для надежного построения изображений малоамплитудных структур.

[0096] Применение одноразовых датчиков DAS, которые могут применять, в частности, в вариантах осуществления системы 100, может обеспечить регистрацию более высококачественных данных сейсмических отражений с применением заглубленных приемников. В случае интеллектуальных скважин DAS регистрацию отражений могут осуществлять при помощи всей вертикальной антенны аналогично морским сейсмическим съемкам. Таким образом, система интеллектуальных скважин DAS одновременно обеспечивает и определение характеристик верхней части разреза и построение целевых глубинных изображений.

[0097] В Саудовской Аравии были проведены полевые экспериментальные работы с интеллектуальными скважинами DAS. Была развернута скважинная расстановка DAS, которая включает в себя двумерную линию скважин, выполняющую съемку методом отраженных волн с применением непрерывного оптоволоконного кабеля, который проходит через несколько скважин. Затем оценивали качество данных из скважин DAS и сопоставляли со стандартной скважинной съемкой при помощи обычных сейсмоприемников прижимного типа. Испытания показали, что двумерная съемка с вертикальной расстановкой DAS может давать надежные сейсмические данные для построения изображения разреза. Кроме того, выполнили прямое сопоставление данных до суммирования и изображений, полученных при помощи системы DAS, со старой наземной сейсмической съемкой с сейсмоприемниками.

[0098] Полевые испытания выполняли и для проверки определения характеристик верхней части разреза и для построения изображения глубинного разреза на суше Саудовской Аравии. Первая часть полевых испытаний состояла в скважинной съемке, которая схематически представлена на фиг. 10А. Временный волоконный кабель DAS с буферным покрытием был установлен в открытом стволе и затем засыпан подходящим материалом, обеспечивающим хорошую связь между волокном и формацией. Для привязки каналов DAS к их соответствующим местоположениям на поверхности и в скважинах использовали процедуру, называемую калибровкой расстояния, при которой сравнивают точки известного физического расположения и измеренное оптическое расстояние вдоль волокна. Волокно было подключено к мобильному узлу опрашивающего устройства, а сейсмический источник был размещен на поверхности земли вблизи от скважины. Для испытаний использовали несколько источников, в том

числе груз, падающий с ускорением (AWD), вибрационно-импульсный источник и обычный сейсмический вибратор. Для целей сопоставления и контроля вместе со съемкой DAS в нескольких скважинах выполняли также обычные скважинные измерения при помощи сейсмоприемника с одним приемным устройством.

[0099] Вторая фаза полевых испытаний состояла в выполнении съемки методом отраженных волн при помощи тех же интеллектуальных скважин DAS. Несмотря на то, что для специальной скважинной съемки пригодно отдельное волокно DAS в каждой скважине, для съемок методом отраженных волн может потребоваться несколько опрашивающих устройств, это может быть связано с большими затратами и может быть непрактично. Для повышения эффективности несколько скважин были соединены при помощи единого непрерывного волокна (подобно системе 100 на фиг. 1C), что требует прохождения кабеля вверх и вниз в каждом стволе скважины с петлей на забое. Наземные участки кабеля были уложены в траншеи на глубине 1 м. Одновременный сбор данных по всем каналам DAS при помощи одного опрашивающего устройства обеспечивают за счет прокладки непрерывного волокна в стволах скважин и траншеях. С применением вибраторов на изучаемой площади были собраны данные по нескольким двумерным профилям возбуждения, шаг между инлайнами и кросслайнами составлял 10 м. В результате местоположений источников было 2850, количество каналов DAS примерно 1200 (при дискретизации 4 м), четверть из них были скважинными. Фактическая геометрия приемников в испытаниях представлена на фиг. 10B, где точечные линии обозначают соединенные скважины DAS, использованные для построения изображений, а непрерывная линия обозначает отдельные скважины. Поскольку волокно чувствительно в первую очередь к деформации в осевом направлении, скважинные каналы лучше всего подходили для регистрации отраженных Р-волн, которые распространяются почти вертикально и были использованы для построения изображений. Наземные каналы менее чувствительны к отражениям, но регистрируют поверхностные волны с частой дискретизации для инверсии поверхностных волн и фиксируют сильные вступления преломленных волн, которые требуются для томографии. Проложенное волокно оставили на участке, что позволяет повторно выполнять скважинные измерения и/или собирать данные методом отраженных волн для изучения сезонных вариаций или сейсмического мониторинга.

[00100] Одна из целей испытанной системы сбора данных заключается в лучшем определении характеристик верхней части разреза для более точного построения изображений. Во-первых, сопоставляли данные, полученные при помощи обычных скважин и интеллектуальных скважин DAS, для прямого измерения скоростей в верхней

части разреза. Обычная скважинная сейсмограмма, полученная с применением источника AWD и прижимного скважинного сейсмоприемника, приведена на фиг. 11А. В этом примере в обычной скважинной системе применяли сейсмоприемники и AWD (сумма по 10 источникам в каждой глубинной точке), на глубине до 50 м шаг между каналами составлял 2 м, ниже – 4 м. Вынос источника составлял 5 м. На каждой глубине возбуждение источника повторяют несколько раз и данные суммируют для получения показанного результата. Это может отчасти объяснить некоторые формы импульсов ранних вступлений и наблюдаемые скачки пиков. Ниже глубины 100 м наблюдали значительное изменение частотного состава и кажущейся скорости первых вступлений, что вероятнее всего было вызвано изменениями литологии.

[00101] Сейсмограммы по интеллектуальной скважине DAS представлены для сопоставления на фиг. 11В и 11С. Форма импульса первого вступления, показанная на фиг. 11В, была также получена путем суммирования 10 повторов возбуждения источника AWD. Поскольку при помощи волокна DAS все глубинные уровни могут регистрировать одновременно, сбор данных был выполнен намного быстрее и полученные формы импульсов лучше согласованы между каналами, при этом качественные импульсы наблюдают от поверхности до общей глубины 100 м. Заметим, что сейсмограммы, представленные на фиг. 11А и 11В получены в разных местоположениях, поэтому прямое сопоставление прослеженных времен невозможно. Однако формы импульсов DAS в целом имеют аналогичное или лучшее качество по сравнению с обычной скважиной.

[00102] Запись по скважине DAS, представленная на фиг. 11С, была получена в скважине рядом (приблизительно в 300 м) с обычной скважиной (фиг. 11А) с применением 10 свип-сигналов вибротейса (8-80 Гц). Как и на фиг. 11В, наблюдаемые согласованные формы импульсов ранних вступлений были пригодны для прослеживания. На фиг. 12А представлено сопоставление кривых времен пробега для обычных пиков и пиков DAS по этим соседним скважинам. Для преобразования пиков в эквивалентные вертикальные времена пробега с учетом фактического местоположения источника по отношению к скважине были применены геометрические поправки. В целом, пики демонстрируют хорошую согласованность, хотя небольшое отклонение в наблюдаемых скоростях имеется на глубине ниже 40 м, что оправданно, учитывая природу верхней части разреза в условиях пустыни.

[00103] Все пики первых вступлений для 10 скважин DAS, где проводили сбор данных при помощи свип-сигналов вибротейса, показаны на фиг. 12В. Несмотря на то, что общий тренд пиков одинаков для скважин, даже на таком небольшом расстоянии в несколько километров видны четкие латеральные изменения скорости. Например, на

глубине приблизительно 80 м по одному направлению наблюдали изменения времен пробега в 30 мс. Эти изменения означают, что для надежного построения изображения малоамплитудных углеводородных структур необходима точная оценка статических поправок от средне- до длинноволновых.

[00104] Первый эксперимент с интеллектуальной скважиной DAS продемонстрировал, что для детальной оценки верхней части разреза могут быть получены данные высокого качества, сопоставимого, если не превышающего качество данных, полученных с применением обычных способов. В то время, как обычный сбор данных в скважине требует возбуждения нескольких источников на поверхности и изменения местоположения сейсμοприемников, сбор данных в интеллектуальной скважине DAS может быть выполнен при помощи одного возбуждения, в результате чего повышается эффективность съемки и устойчивость формы импульса. Помимо более высокого качества данных, скважины DAS имеют ряд других преимуществ по сравнению с обычными способами. Во время сбора обычных скважинных данных любое повреждение скважины может привести к потере инструмента, что вызовет задержки. Для скважин DAS риск значительно ниже, поскольку волокно устанавливают и сразу засыпают. Спуск кабелей DAS в большинство скважин сразу после бурения признан простым, а заполнение текучей или твердой средой, цементация или уплотнение бентонитом представляют собой практичное решение, обеспечивающее хороший акустический контакт. Кроме того, скважинную съемку могут повторять в будущем и также могут включать в состав сейсмической съемки методом отраженных волн с использованием нескольких скважин.

[00105] Построение изображения глубинного разреза с помощью отраженных волн представляет собой другую возможность, которую обеспечивает концепция интеллектуальной скважины DAS. Сейсмические данные, собранные в условиях пустыни, часто содержат сильные помехи, вызванные многократным рассеянием в верхней части разреза и влиянием поверхностных волн. Применение заглубленных приемников может частично решить эту проблему и обеспечить лучшее качество данных по сравнению с обычной наземной сейсморазведкой. Аналогичные результаты получены с помощью данных распределенных акустических измерений, при этом с увеличением глубины датчика мы наблюдаем всё больше отраженных сигналов и меньшую зашумленность, причиной которой является энергия, распространяющаяся в верхней части разреза в горизонтальном направлении. На фиг. 13 сопоставление синтетических и реальных данных на глубине 130 м показывает, что полевые данные имеют качество, достаточное для наблюдения целевого отраженного сигнала в полевых сейсмограммах.

[00106] Может представлять интерес сопоставление данных DAS со старыми трехмерными сейсмическими данными. На фиг. 14 показаны сейсмограммы общего пункта приема, полученные при помощи одного канала DAS в скважине мелкого заложения, и старые данные, полученные при помощи наземных расстановок сейсмоприемников. В обоих наборах данных наблюдали отличную кинематическую согласованность отраженных сигналов. Данные DAS демонстрируют более высокую детальность за счет меньшего расстояния между источниками, которое составляет 10 м против 60 м у старых данных. Более низкие уровни линейных помех в старых данных можно объяснить применением для полевых работ 72 сейсмоприемников и пяти расстановок вибраторов, что обеспечивает эффективное подавление поверхностных волн и других вступлений с низкой кажущейся скоростью. После устранения линейных помех в данных DAS и приведения к единому шагу мы видим большую согласованность между данными DAS и старыми данными, полученными при помощи сейсмоприемников, особенно для мелкозалегающих отражающих горизонтов, которые были очень плохо видны из-за поверхностных волн (как видно на фрагменте «с» фигуры 14). Поскольку в обеих съемках применяли линейный свип-сигнал с частотой 8-80 Гц, спектры сейсмограмм DAS и сейсмоприемников также можно сопоставлять напрямую (как показано на фрагментах “d” и “e” фигуры 14). Они выглядят очень похоже, что подтверждает широкополосность приемников DAS и в целом равноценность сейсмоприемникам.

[00107] Несмотря на то, что массив полевых данных DAS, как указано выше, содержит только шесть вертикальных расстановок с неравномерным и большим шагом, было получено надежное двумерное изображение, которое можно сопоставить со старым наземным сейсмическим изображением. Чтобы сделать сопоставление справедливым, из старых трехмерных данных было выбрано эквивалентное двумерное подмножество, содержащее одну приемную линию и одну параллельную линию возбуждения с высокой плотностью источников, шаг по обеим линиям составлял 60 м. К обоим массивам данных применяли одинаковую временную обработку, одну и ту же старую скорость и не применяли статические поправки. Чтобы компенсировать отсутствие расстановок источников/приемников во время съемки DAS, подавление линейных помех применяли к оптоволоконным данным, а для старых данных использовали полевые расстановки. Одна нестандартная стадия при обработке данных DAS состояла в приведении всех приемников к одному глубинному уровню для временной обработки и суммирования. Это может быть сделано разными способами, в том числе с использованием прямых времен пробега, путем изменения уровня приведения волнового уравнения или с помощью

интерферометрических подходов. В настоящей работе вертикальные времена пробега были прослежены в скважинных данных и все трассы были смещены к поверхности с применением полученных статических поправок. При таком подходе все глубинные уровни могут быть объединены в конечную сумму со значительно улучшенным отношением сигнал-помеха по сравнению с отдельными суммами по одной глубине.

[00108] На фиг. 15 представлено сопоставление предварительных сумм, полученных по данным DAS и старым данным сейсмоприемников. И близповерхностные и глубинные отражающие горизонты одинаково надежно изображены и в данных DAS, и в наземных сейсмических данных. Линии DAS и старые линии пересекаются под углом 45 градусов, поэтому изображение DAS показано слева, а старое изображение показано справа. В точке пересечения видна отличная увязка обоих изображений как по целевому отражающему горизонту, так и по другим отражающим горизонтам вплоть до 3 секунд. Это подтверждает высокую чувствительность вертикальных расстановок DAS к энергии отражения и способность получать изображения эквивалентные поверхностной сейсморазведке несмотря на большой шаг между стволами скважин мелкого заложения. Дальнейшая обработка и уточнение скоростной модели приведут к улучшению изображения. Построение глубинного изображения может быть аналогичным образом выполнено с применением модели, в которой сделана калибровка скоростей верхней части разреза, полученных при помощи скважин DAS.

[00109] Концепция интеллектуальной скважины DAS предоставляет гораздо больше возможностей для поисков и разведки нефти и газа в сложных поисковых объектах, например, малоамплитудных структурах. Если в модели верхней части разреза существует значительная неопределенность, которая может повлиять на поиски и разведку, может понадобиться собрать данные по требованию в новых интеллектуальных скважинах DAS. Буровая бригада забуривает все скважины и устанавливает волокно DAS. Затем приходит отряд регистрации и выполняет все скважинные съемки с использованием одного возбуждения/сви́п-сигнала на скважину (или несколько возбуждений для суммирования). Разделение этапов бурения/развертывания и сбора скважинных данных может свести к минимуму риск, затраты и время на сбор данных. Эффективный сбор данных при помощи мощного источника энергии, например, вибросейса, позволит выполнить сбор данных по скважине при помощи одного сви́п-сигнала. Это может дать дополнительные преимущества, например, сбор данных по вертикальным сейсмическим профилям (ВСП) мелкого заложения для выявления нескольких генераторов в верхней части разреза, которые как правило пропускают при обычных съемках ВСП из-за низкого качества малоглубинных данных. В случае принятия концепции "по требованию",

становится целесообразным создание регулярных сеток скважин над изучаемыми поисковыми объектами. Такие скважинные съемки могут представлять собой решения, пригодные для конкретных целей, в областях с осложненной верхней частью разреза.

[00110] Для этого есть следующие основания: сетка интеллектуальных скважин DAS может полностью устранить длинноволновую статику и обеспечить точность модели верхней части разреза, необходимую для малоамплитудных структур; глубинные данные имеют более высокое отношение сигнал-помеха по сравнению с наземными данными отражений и могут обеспечивать угловое покрытие и изображения, сопоставимые с наземной сейсморазведкой; сочетание интеллектуальных скважин DAS с сейсмической съемкой на поверхности (другими словами, с использованием одних и тех же источников) обеспечивает уникальный способ определения характеристик верхней части разреза с помощью односторонней томографической инверсии.

[00111] Волокно, уложенное в траншею вдоль поверхности, также, по-видимому, может регистрировать данные отличного качества, которые сопоставимы с модельными упругими откликами (как показано на фиг. 16). Как и ожидалось, преимущественно осевая направленность волокна предполагает, что оно имеет большое сходство с горизонтальными сейсмоприемниками. В отличие от вертикальных сейсмоприемников, и DAS, и горизонтальные сейсмоприемники показывают мало отражений. Вступления преломленных и поверхностных волн с хорошей дискретизацией можно легко использовать для томографии на преломленных волнах. Отличное качество данных DAS, полученных с применением укладки в траншею на малой глубине, указывает на то, что построение изображений по данным Р-волн наземной сейсмической съемки представляет собой выполнимую задачу при условии применения всенаправленных кабелей DAS.

[00112] В другом испытании описанных интеллектуальных скважин DAS постоянный сейсмический мониторинг с применением заглубленных датчиков был успешно продемонстрирован в рамках показательного проекта МУН с закачкой углекислого газа. В этом случае в силу высокой стоимости обычных датчиков в каждой 70-метровой скважине был установлен один многокомпонентный сейсмоприемник. В то время как для кабелей DAS в глубоких скважинах может понадобиться дорогостоящая защита, в приложениях для мелкозалегающей верхней части разреза требуется значительно меньшая защита, которая может стоить на порядок меньше. При таких экономически эффективных измерениях с помощью DAS весь ствол скважины может быть оснащен датчиками от поверхности через каждые несколько метров по цене, которая составляет небольшую часть цены одного обычного сейсмоприемника. Наличие

нескольких датчиков в каждой скважине может обеспечить более высокую кратность и более воспроизводимые периодические изображения сопоставимые с теми, которые получают с применением обычных датчиков. При оснащении всей скважины может быть увеличен шаг между скважинами мелкого заложения, что делает системы мониторинга более экономически эффективными в предположении, что предлагаемая оптоволоконная система DAS может оказать большое влияние на наземную сейсмическую съемку и мониторинг.

[00113] При поисках и разведке малоамплитудных структур, геофизических исследованиях залежей и мониторинге в сложных пустынных районах геофизические методы должны обеспечивать более высокую точность и достоверность. Несмотря на то, что усовершенствование наземной сейсморазведки за счет повышения количества каналов представляет собой подход, принятый в большинстве компаний, мы выбрали новый подход – использование скважин мелкого заложения, оснащенных оптоволоконными кабелями DAS в качестве датчиков. Экономически эффективные датчики в виде кабелей DAS в скважинах мелкого заложения позволяют выполнять прямую оценку скоростей в верхней части разреза, тем самым исключая главный источник структурной неопределенности при оконтуривании малоамплитудных структур, которые представляют собой важные объекты исследований. При разработке и добыче такие заглубленные системы могут обеспечивать новое высокоточное определение характеристик залежи и экономически эффективный мониторинг залежи, что приводит к повышению извлечения. По сравнению с наземной сейсморазведкой это является изменением, при котором вместо размещения на поверхности большего количества каналов и снижения отдачи можно добиться значительного повышения качества данных путем применения гораздо меньшего количества каналов более высокого качества в заглубленных скважинах мелкого заложения.

[00114] Согласно описанию был проведен двумерный полевой эксперимент, демонстрирующий обоснованность компонент и всей системы 100 в целом. Было обнаружено, что интеллектуальные скважины DAS, которые обеспечивают более простую, более безопасную и более экономически эффективную работу, обеспечивают отличное качество данных для определения характеристик верхней части разреза. При наличии датчиков от уровня поверхности земли на всю глубину требуется возбуждение одного источника, что дает одинаковую форму импульса для всех приемников, обеспечивая отличное качество сигнала по сравнению с обычными скважинами.

[00115] Соединение этих скважин одним волоконным кабелем, как это может происходить в конкретных вариантах осуществления, обеспечило эффективное

выполнение целевой съемки методом отраженных волн при помощи заглубленной вертикальной расстановки. Это может значительно снизить затраты на сбор наземных сейсмических данных за счет исключения крупных накладных расходов, обусловленных сотнями тысяч обычно используемых сейсмоприемников и кабелей. Заглубленные расстановки DAS могут обеспечивать альтернативный подход к построению изображений небольших по площади перспективных объектов и быть эффективной заменой локальным сейсмическим съемкам. Сопоставление собранных данных DAS со старыми сейсмическими данными показало хорошую согласованность данных DAS и сейсмоприемников как по сейсмограммам до суммирования и амплитудным спектрам, так и по окончательным суммам.

[00116] На фиг. 17 представлено схематическое изображение примера контроллера 1700 (или системы управления) для системы сбора и обработки сейсмических данных (например, системы 100) согласно настоящему описанию изобретения. Например, контроллер 1700 может включать в себя систему 150 управления или быть ее частью, показанной на фиг. 1С. Контроллер 1700 предназначен для того, чтобы включать в себя разные виды цифровых электронно-вычислительных устройств, таких как печатные платы (ПП), процессоры или цифровые электрические схемы, которые представляют собой часть системы сбора и обработки сейсмических данных. Кроме того, система может предусматривать съемные носители, такие как флэш-накопители USB. Например, на флэш-накопителях USB могут хранить операционные системы и другие приложения. Флэш-накопители USB могут содержать в себе компоненты ввода-вывода, такие как беспроводной передатчик или USB-разъем, который могут вставлять в USB-порт другого вычислительного устройства.

[00117] Контроллер 1700 содержит процессор 1710, накопительное устройство 1720, запоминающее устройство 1730 и устройство 1740 ввода/вывода. Все компоненты 1710, 1720, 1730 и 1740 соединяют между собой при помощи системной шины 1750. Процессор 1710 способен обрабатывать команды для выполнения в контроллере 1700. Процессор может быть спроектирован с использованием любой из ряда архитектур. Например, процессор 1710 может представлять собой процессор CISC (вычислительную машину с полным набором команд), процессор RISC (вычислительную машину с сокращенным набором команд) или MISC (вычислительную машину с минимальным набором команд).

[00118] Согласно одному варианту осуществления процессор 1710 представляет собой однопоточный процессор. Согласно другому варианту осуществления процессор 1710 представляет собой многопоточный процессор. Процессор 1710 способен

обрабатывать команды, которые хранятся в накопительном устройстве 1720 или на запоминающем устройстве 1730, с целью отображения графической информации для пользовательского интерфейса на устройстве 1740 ввода/вывода.

[00119] Накопительное устройство 1720 хранит информацию в контроллере 1700. Согласно одному варианту осуществления, накопительное устройство 1720 представляет собой машиночитаемый носитель. Согласно одному варианту осуществления, накопительное устройство 1720 представляет собой энергозависимое запоминающее устройство. Согласно одному варианту осуществления, накопительное устройство 1720 представляет собой энергонезависимое запоминающее устройство.

[00120] Запоминающее устройство 1730 способно обеспечивать массовое хранение данных для контроллера 1700. Согласно одному варианту осуществления, запоминающее устройство 1730 представляет собой машиночитаемый носитель. Согласно разным вариантам осуществления запоминающее устройство 1730 может представлять собой накопитель на гибком диске, накопитель на жестком диске, оптический диск или ленточный накопитель.

[00121] Устройство 1740 ввода/вывода обеспечивает операции ввода/вывода для контроллера 1700. Согласно одному варианту осуществления, устройство 1740 ввода/вывода содержит в себе клавиатуру или указательное устройство. Согласно другому варианту осуществления, устройство 1740 ввода/вывода содержит в себе устройство отображения для отображения графических пользовательских интерфейсов.

[00122] Описанные признаки могут быть реализованы в цифровых электрических схемах или в компьютерном аппаратном обеспечении, аппаратно-программном обеспечении, программном обеспечении или их сочетаниях. Устройство может быть реализовано в программном продукте, физически реализованном на информационном носителе, например, на машиночитаемом накопителе для выполнения программируемым процессором; и стадии способа может выполнять программируемый процессор, исполняющий программу команд для выполнения функций описанных вариантов осуществления, работающий на входных данных и генерирующий выходные данные. Описанные признаки могут быть предпочтительно реализованы в одной или нескольких компьютерных программах, которые исполняются в программируемой системе, включая по меньшей мере один программируемый процессор, подключенный для получения данных и команд от системы хранения данных и передачи данных и команд на нее, по меньшей мере к одному устройству ввода и по меньшей мере одному устройству вывода. Компьютерная программа представляет собой набор команд, которые могут быть использованы в компьютере прямо или косвенно с целью выполнения

определенного действия или получения определенного результата. Компьютерная программа может быть написана на любом языке программирования, включая компилируемые или интерпретируемые языки, и она может быть развернута в любом виде, в том числе, как отдельная программа или как модуль, компонента, подпрограмма или другая компонента, подходящая для использования в вычислительной среде.

[00123] Процессоры, подходящие для выполнения программы команд, включают в себя, например, микропроцессоры общего и специального назначения, и одиночный процессор или один из нескольких процессоров в компьютере любого типа. Как правило, процессор будет получать команды и данные с постоянного запоминающего устройства или оперативного запоминающего устройства или с обоих устройств. Процессор для выполнения команд и одно или несколько накопительных устройств для хранения команд и данных представляют собой существенные элементы компьютера. Как правило, с целью обмена данными компьютер будет также включать в себя одно или несколько запоминающих устройств для хранения файлов данных или будет функционально подключен к ним; к таким устройствам относят магнитные диски, такие как внутренние жесткие диски и съемные диски; магнитооптические диски; и оптические диски. К устройствам хранения информации, пригодным для размещения команд компьютерной программы и данных, относят все виды энергонезависимых запоминающих устройств, в том числе, например, полупроводниковые накопительные устройства, такие как EPROM, EEPROM и устройства флэш-памяти; магнитные диски, такие как внутренние жесткие диски и съемные диски; магнитооптические диски; и диски CD-ROM и DVD-ROM. Процессор и накопительное устройство могут быть дополнены специализированными интегральными схемами (ASIC) или включены в них.

[00124] Для обеспечения взаимодействия с пользователем, признаки могут быть реализованы на компьютере, оснащенном устройством визуализации, таким как монитор с ЭЛТ (электронно-лучевой трубкой) или ЖКЭ (жидкокристаллическим экраном) для просмотра информации пользователем, и клавиатурой, и указательным устройством, таким как мышь или шаровое устройство ввода, при помощи которых пользователь может осуществлять ввод данных в компьютер. Кроме того, такие действия могут осуществлять при помощи плоских сенсорных дисплеев и других подходящих механизмов.

[00125] Эти признаки могут быть реализованы в системе управления, которая включает в себя внутреннюю компоненту, такую как сервер данных, или включающую в себя компоненту межплатформенного программного обеспечения, такую как сервер приложений или интернет-сервер, или включающую в себя подсистему доступа, такую как клиентский компьютер с графическим пользовательским интерфейсом или интернет-

браузер, или любое их сочетание. Компоненты системы могут быть соединены при помощи любого вида или любой среды обмена цифровыми данными, такими как сети передачи данных. К примерам сетей передачи данных относят локальную вычислительную сеть (LAN), глобальную сеть (WAN), одноранговые сети (со специальными или статическими членами), инфраструктуры распределенных вычислений и интернет.

[00126] Несмотря на то, что настоящее описание изобретения содержит много конкретных деталей реализации, их следует истолковывать не как ограничения объема того, что может быть заявлено как изобретение, а как описания признаков, характерных для конкретных осуществлений. Конкретные признаки, описанные в настоящем описании изобретения в связи с отдельными вариантами осуществления, могут также быть совместно реализованы в одном варианте осуществления. И наоборот, различные признаки, описанные в связи с одним вариантом осуществления, могут быть также реализованы в нескольких вариантах осуществления по отдельности или в любой подходящей субкомбинации. Кроме того, несмотря на то, что признаки могут быть описаны как действующие в определенных сочетаниях и даже первоначально заявлены как таковые, один или несколько признаков из заявленного сочетания в некоторых случаях могут быть изъяты из сочетания, и заявленное сочетание может быть применено в субкомбинации или некотором варианте субкомбинации.

[00127] Аналогично, несмотря на то, что операции изображены на чертежах в определенном порядке, это не следует понимать как требование о том, чтобы для достижения желаемых результатов такие операции выполнялись в определенном показанном порядке или последовательно, или чтобы были выполнены все проиллюстрированные операции. При определенных обстоятельствах выгодными могут быть многозадачность и параллелизация. Кроме того, разделение различных компонент системы в описанных вариантах осуществления не следует понимать как требование такого разделения во всех вариантах осуществления, и следует понимать, что описанные программные компоненты и системы могут быть как правило объединены в единый программный продукт или объединены в пакет из нескольких программных продуктов.

[00128] Описано несколько вариантов осуществления. Тем не менее понятно, что могут быть внесены различные изменения, не выходящие за пределы сущности и объема описания изобретения. Так, описанный пример операций, способов или процессов может предусматривать больше стадий или меньше стадий, чем в описании. Кроме того, стадии в таких операциях для примера, способы или процессы могут быть выполнены не в той последовательности, что описана или проиллюстрирована на фигурах. Следовательно,

другие варианты осуществления находятся в пределах объема приведенной ниже формулы изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ:

1. Система геологической съемки, которая предусматривает:

множество акустических источников, расположенных на расстоянии друг от друга на исследуемом участке земной поверхности, при этом каждый из множества акустических датчиков рассчитан на генерирование сейсмической волны;

множество акустических датчиков, расположенных в множестве скважин, пробуренных в геологической формации, причем скважины имеют длину, которая достаточна для вскрытия опорного геологического горизонта; и

систему управления, находящуюся в коммутируемом соединении с множеством акустических датчиков и рассчитанную на выполнение операций, предусматривающих:

получение данных от множества акустических датчиков, причем данные связаны с отраженными акустическими сигналами, которые были сгенерированы множеством акустических источников и получены множеством акустических датчиков;

определение топологии разреза геологической формации на основе полученных данных; и

создание модели разреза геологической формации на основе определенной подземной структуры.

2. Система по п. 1, в которой множество скважин пробурено с равным шагом, соответствующим желательной дискретизации длины сейсмической волны.

3. Система по п. 1, в которой каждый акустический датчик предусматривает оптоволоконный акустический датчик.

4. Система по п. 3, в которой каждый оптоволоконный акустический датчик предусматривает реверсивный оптоволоконный узел.

5. Система по п. 4, в которой множество реверсивных оптоволоконных узлов соединено вместе при помощи единого оптоволоконного кабеля.

6. Система по п. 1, в которой действие по определению топологии разреза предусматривает:

обработку данных при помощи системы управления, причем данные связаны с отраженными акустическими сигналами во временной модели; и

обработку данных при помощи системы управления, причем данные связаны с отраженными акустическими сигналами в глубинной модели.

7. Система по п.6, в которой обработка данных, связанных с отраженными акустическими сигналами, во временной модели предусматривает:

расчет статических поправок к данным, связанным с отраженными акустическими сигналами;

разделение рассчитанных статических поправок на коротковолновые и длинноволновые;

ослабление помех в рассчитанных статических поправках к данным, связанным с отраженными акустическими сигналами;

сдвиг рассчитанных статических поправок к данным, связанным с отраженными акустическими сигналами, на множество заранее заданных промежуточных глубинных уровней на основе вертикальных сдвигов по времени, измеренных в множестве скважин;

суммирование сейсмограмм от каждого из множества акустических датчиков с целью формирования множества объединенных ансамблей трасс, причем каждый из объединенных ансамблей трасс имеет улучшенное отношение сигнал-помеха;

на каждом из множества заранее заданных промежуточных глубинных уровней:

сортировку объединенных ансамблей трасс по общей глубинной точке,

применение коротковолновых статических поправок, и

расчет скорости суммирования и применение кинематической поправки и суммирование;

применение длинноволновых статических сдвигов на опорный геологический горизонт;

суммирование множества суммарных записей, сгенерированных на множестве заранее заданных промежуточных глубинных уровней, с получением окончательной суммы; и

выполнение временной миграции после суммирования.

8. Система по п.7, в которой обработка данных, связанных с отраженными акустическими сигналами, в глубинной модели предусматривает:

выполнение разделения по глубине рассчитанных статических поправок с ослабленными помехами к данным, связанным с отраженными акустическими сигналами;

генерирование скоростной модели верхней части разреза между поверхностью земли и опорным геологическим горизонтом путем интерполяции измеренных скоростей отраженных сейсмических сигналов;

генерирование глубинной скоростной модели для глубин ниже опорного геологического горизонта; и

глубинную миграцию до суммирования от поверхности земли на основе общей скоростной модели, в состав которой входит скоростная модель верхней части разреза.

9. Система по п. 1, в которой множество акустических источников расположено с равным и повторяющимся шагом на исследуемом участке поверхности земли, причем множество акустических источников включает в себя покрытие из источников, расположенное на поверхности земли.

10. Система по п. 1, в которой равные и повторяющиеся шаги составляют от 100 метров до 1000 метров.

11. Система по п. 1, в которой геологическая формация содержит в себе сложную геологическую структуру и малоамплитудную геологическую структуру.

12. Способ, предусматривающий:

размещение множества акустических датчиков во множестве скважин;

размещение множества акустических источников на поверхности земли или вблизи нее;

излучение акустического сигнала множеством акустических источников, причем акустический сигнал направлен в подземную геологическую формацию;

получение отраженного акустического сигнала множеством акустических датчиков, причем акустический сигнал поступает из подземной геологической формации;

определение топологии разреза геологической формации на основе получения отраженного акустического сигнала множеством акустических датчиков;

создание модели разреза геологической формации на основе определенной топологии.

13. Способ по п. 12, который дополнительно предусматривает бурение множества скважин в геологической формации, причем по меньшей мере часть скважин имеет глубину, достаточную для вскрытия опорного геологического горизонта.

14. Способ по п. 12, в котором определение топологии разреза предусматривает:

обработку отраженного акустического сигнала во временной модели с применением системы управления, которая находится в коммутируемом соединении с акустическими датчиками; и

обработку отраженного акустического сигнала в глубинной модели при помощи системы управления.

15. Способ по п. 14, в котором обработка отраженного акустического сигнала во временной модели предусматривает:

расчет статических поправок к отраженному акустическому сигналу;

разделение рассчитанных статических поправок на коротковолновые и длинноволновые;

ослабление помех в рассчитанных статических поправках к отраженному акустическому сигналу;

сдвиг рассчитанных статических поправок к отраженному акустическому сигналу на множество заранее заданных промежуточных глубинных уровней на основе вертикальных сдвигов по времени, измеренных в множестве скважин;

суммирование сейсмограмм от каждого из множества акустических датчиков с целью формирования множества объединенных ансамблей трасс, причем каждый из объединенных ансамблей трасс имеет улучшенное отношение сигнал-помеха;

на каждом из множества заранее заданных промежуточных глубинных уровней:

сортировку объединенных ансамблей трасс по общей глубинной точке,

применение коротковолновых статических поправок, и

расчет скорости суммирования и применение кинематической поправки и суммирование;

применение длинноволновых статических сдвигов на опорный геологический горизонт;

суммирование множества суммарных записей, сгенерированных на множестве заранее заданных промежуточных глубинных уровней, с получением окончательной суммы; и

выполнение временной миграции после суммирования.

16. Способ по п.15, в котором обработка отраженного акустического сигнала в глубинной модели предусматривает:

разделение по глубине рассчитанных статических поправок с ослабленными помехами к отраженному акустическому сигналу;

генерирование скоростной модели верхней части разреза между поверхностью земли и опорным геологическим горизонтом путем интерполяции измеренных скоростей отраженных сейсмических сигналов;

генерирование глубинной скоростной модели для глубин ниже опорного геологического горизонта; и

глубинную миграцию до суммирования от поверхности земли на основе общей скоростной модели, в состав которой входит скоростная модель верхней части разреза.

17. Способ по п. 12, в котором расположение множества акустических источников на поверхности земли или поблизости от нее предусматривает расположение множества акустических источников с равным и повторяющимся шагом на исследуемом участке земной поверхности, причем множество акустических источников включает в себя покрытие из источников, расположенное на поверхности земли.

18. Способ по п. 17, в котором равные и повторяющиеся шаги составляют от 100 метров до 1000 метров.

19. Реализованный на компьютере способ для генерирования модели разреза, предусматривающий:

установление данных при помощи аппаратного процессора, которые связаны с отраженными акустическими сигналами, сгенерированными множеством акустических источников и полученными множеством акустических датчиков;

на основе определенных данных установление топологии разреза геологической формации при помощи аппаратного процессора; и

создание при помощи аппаратного процессора модели разреза геологической формации на основе определенной топологии разреза.

20. Реализованный на компьютере способ по п. 19, в котором установление топологии разреза предусматривает:

обработку при помощи аппаратного процессора данных, которые связаны с отраженными акустическими сигналами во временной модели; и

обработку при помощи аппаратного процессора данных, которые связаны с отраженными акустическими сигналами в глубинной модели.

21. Реализованный на компьютере способ по п. 20, в котором обработка данных, связанных с отраженными акустическими сигналами, во временной модели предусматривает:

расчет статических поправок к данным, связанным с отраженными акустическими сигналами;

разделение рассчитанных статических поправок на коротковолновые и длинноволновые;

ослабление помех в рассчитанных статических поправках к данным, связанным с отраженными акустическими сигналами;

сдвиг рассчитанных статических поправок к данным, связанным с отраженными акустическими сигналами, на множество заранее заданных промежуточных глубинных уровней на основе вертикальных сдвигов по времени, измеренных в множестве скважин;

суммирование сейсмограмм от каждого из множества акустических датчиков с целью формирования множества объединенных ансамблей трасс, причем каждый из объединенных ансамблей трасс имеет улучшенное отношение сигнал-помеха;

на каждом из множества заранее заданных промежуточных глубинных уровней:

сортировку объединенных ансамблей трасс по общей глубинной точке,

применение коротковолновых статических поправок, и

расчет скорости суммирования и применение кинематической поправки и суммирование;

применение длинноволновых статических сдвигов на опорный геологический горизонт;

суммирование множества суммарных записей, сгенерированных на множестве заранее заданных промежуточных глубинных уровней, с получением окончательной суммы; и

выполнение временной миграции после суммирования.

22. Реализованный на компьютере способ по п. 21, в котором обработка данных, связанных с отраженными акустическими сигналами, в глубинной модели предусматривает:

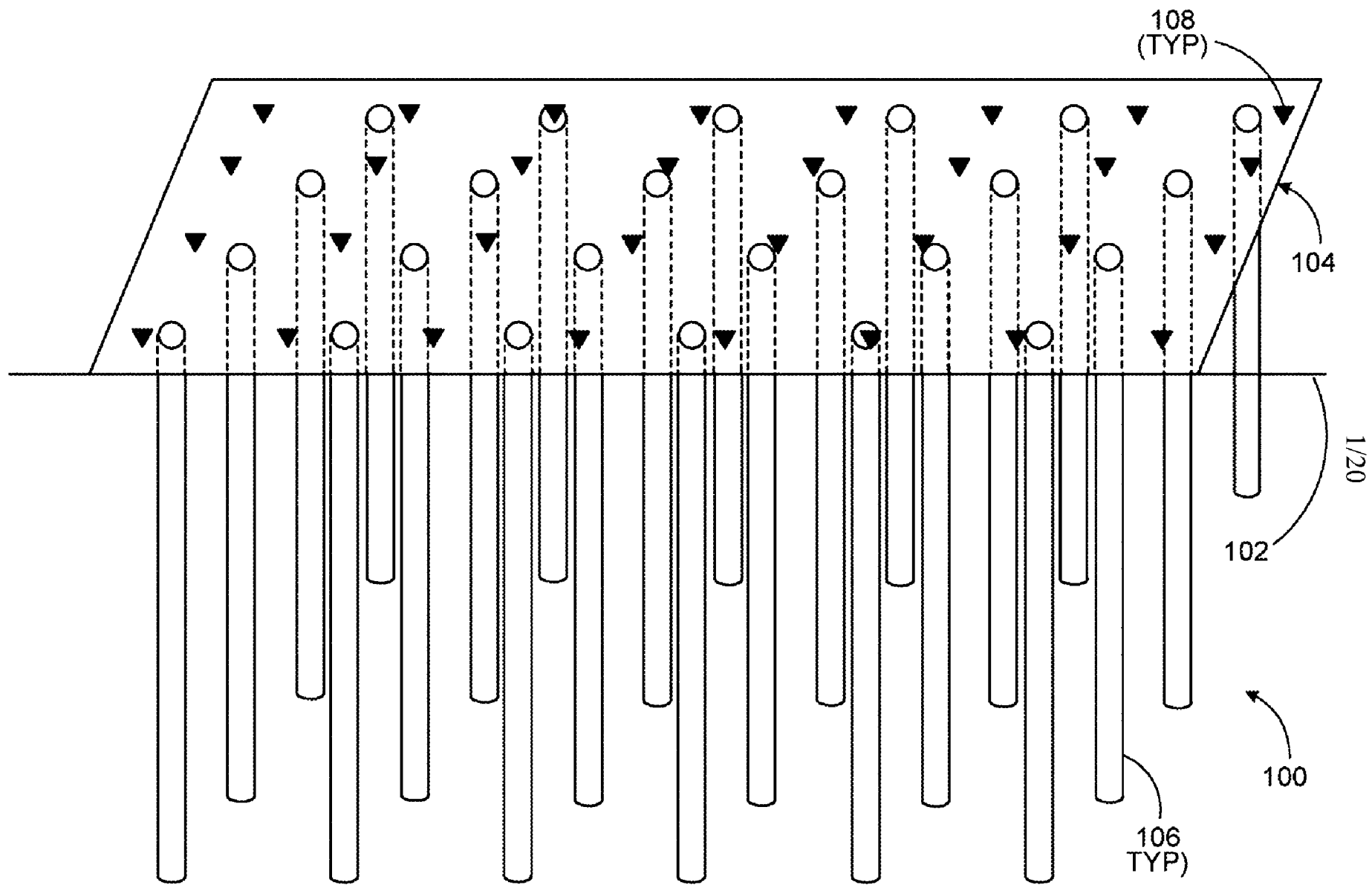
разделение по глубине рассчитанных статических поправок с ослабленными помехами к данным, связанным с отраженными акустическими сигналами;

генерирование скоростной модели верхней части разреза между поверхностью земли и опорным геологическим горизонтом путем интерполяции измеренных скоростей отраженных сейсмических сигналов;

генерирование глубинной скоростной модели для глубин ниже опорного геологического горизонта; и

глубинную миграцию до суммирования от поверхности земли на основе общей скоростной модели, в состав которой входит скоростная модель верхней части разреза.

Фиг. 1А



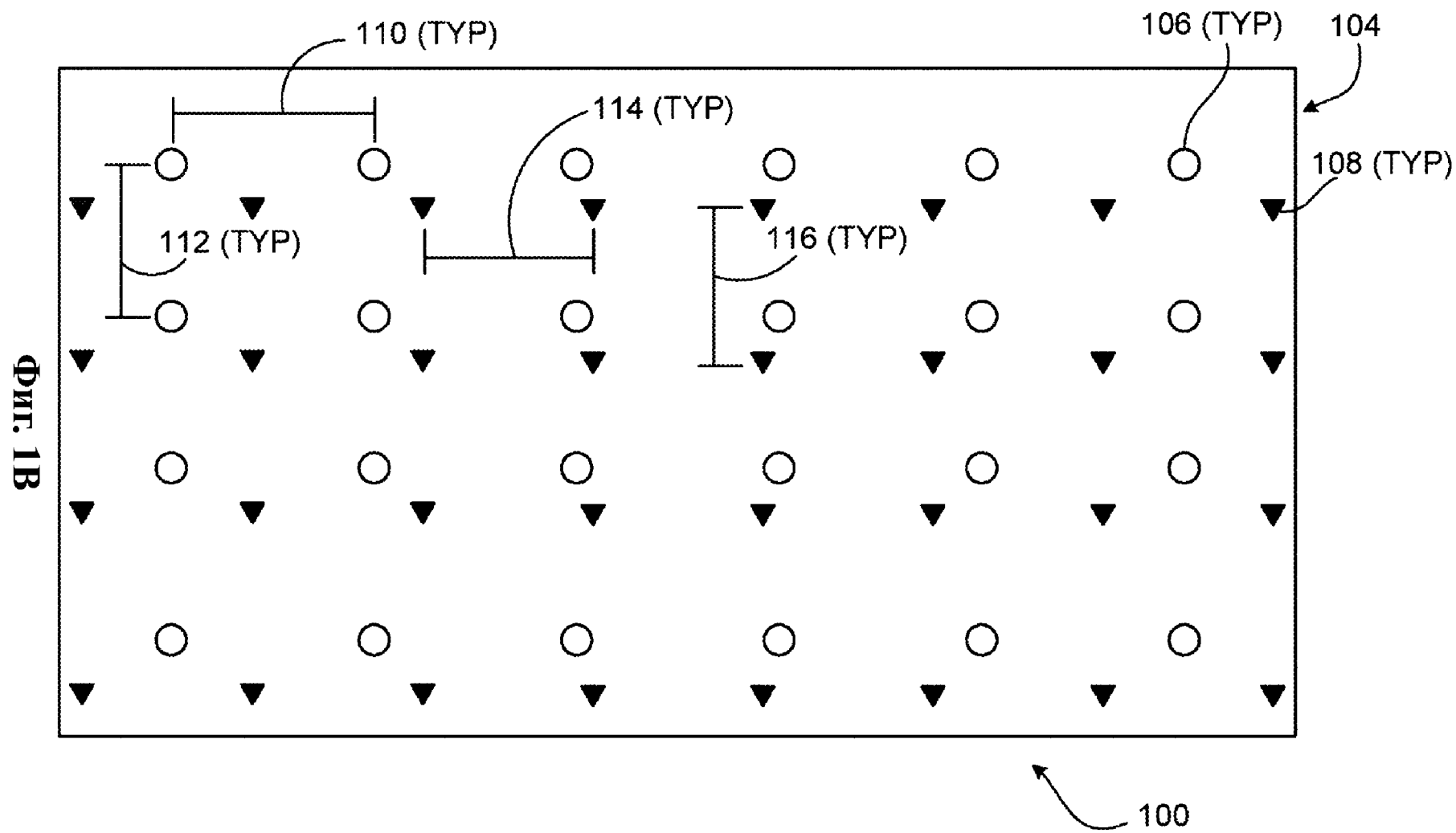
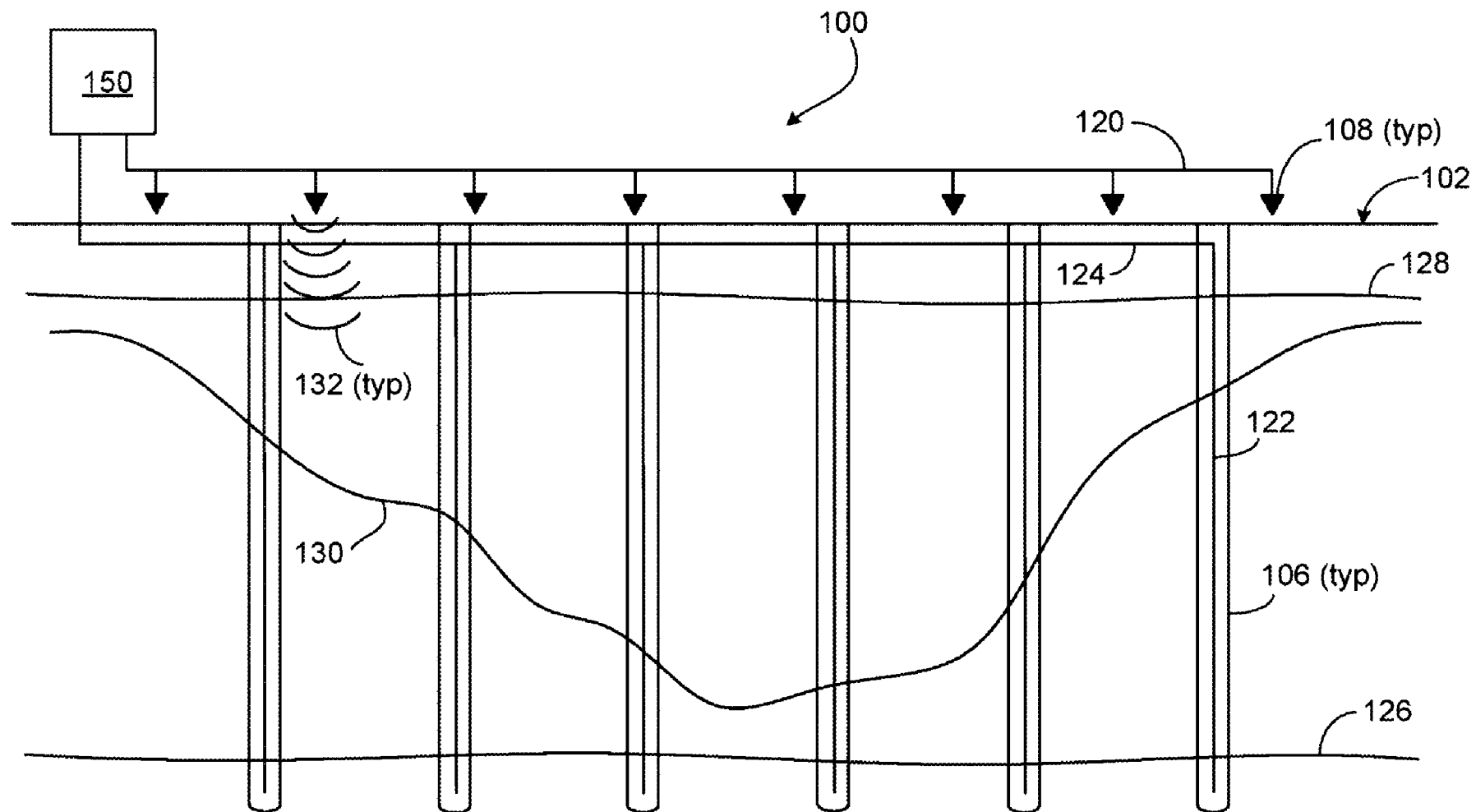
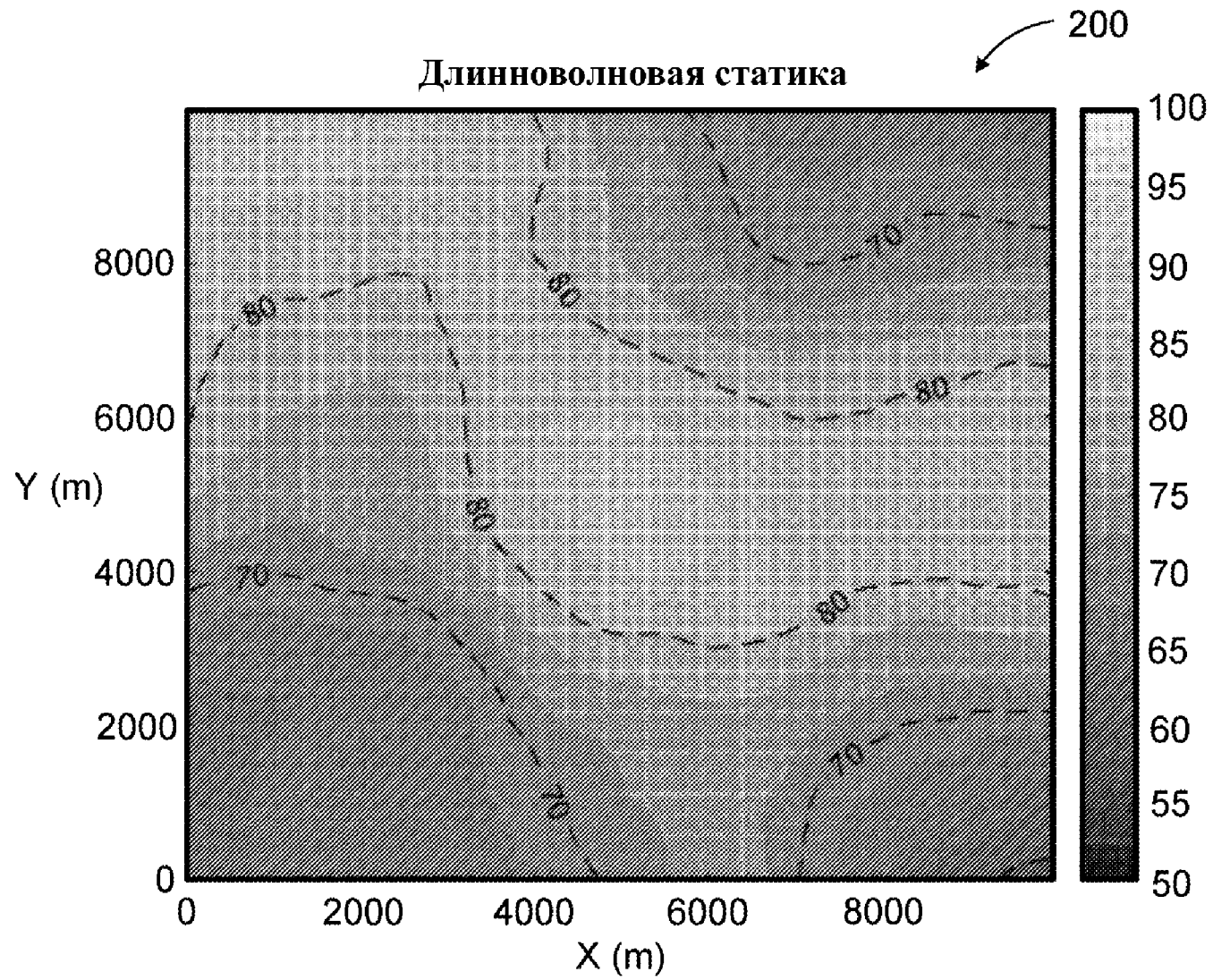


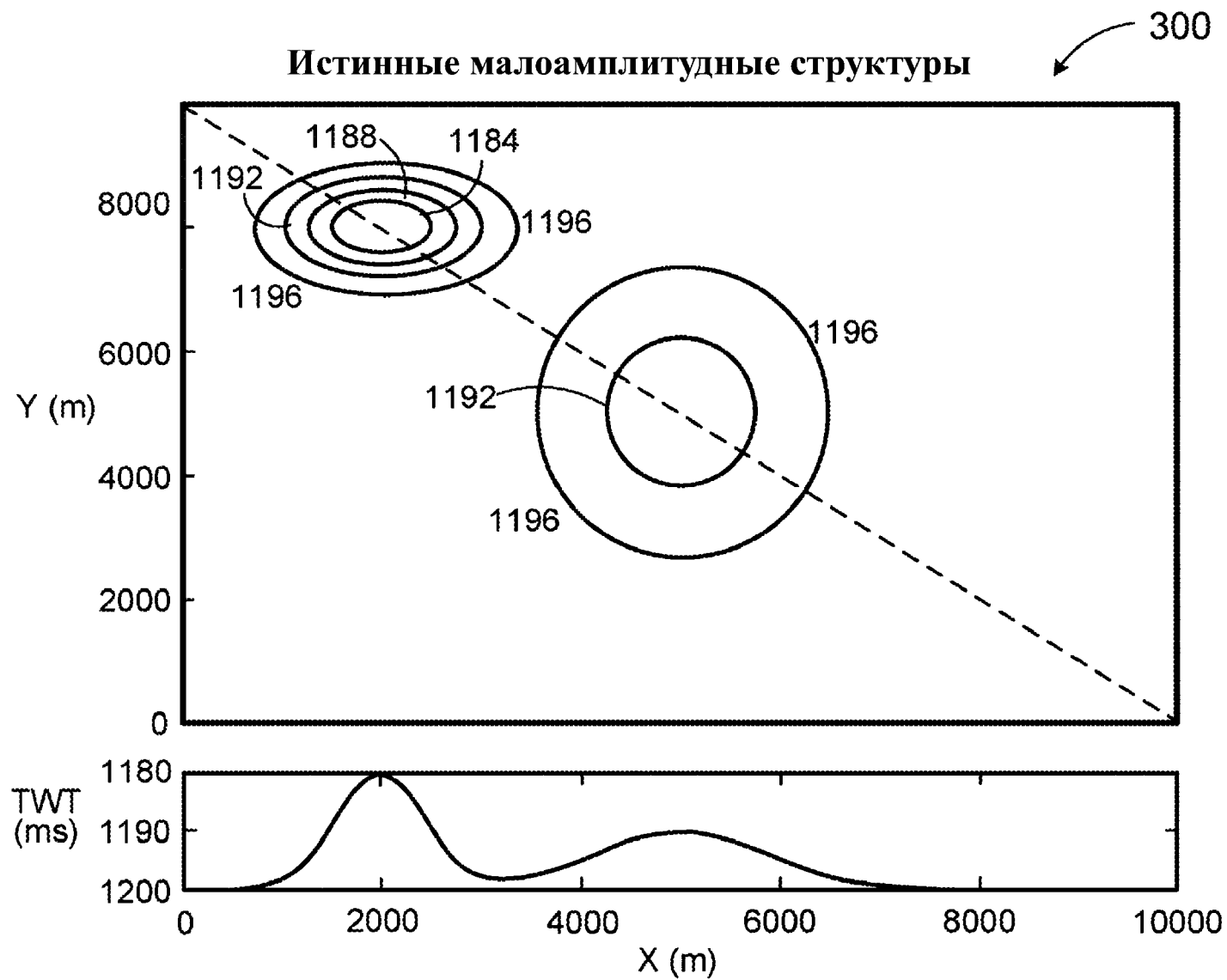
FIG. 1C



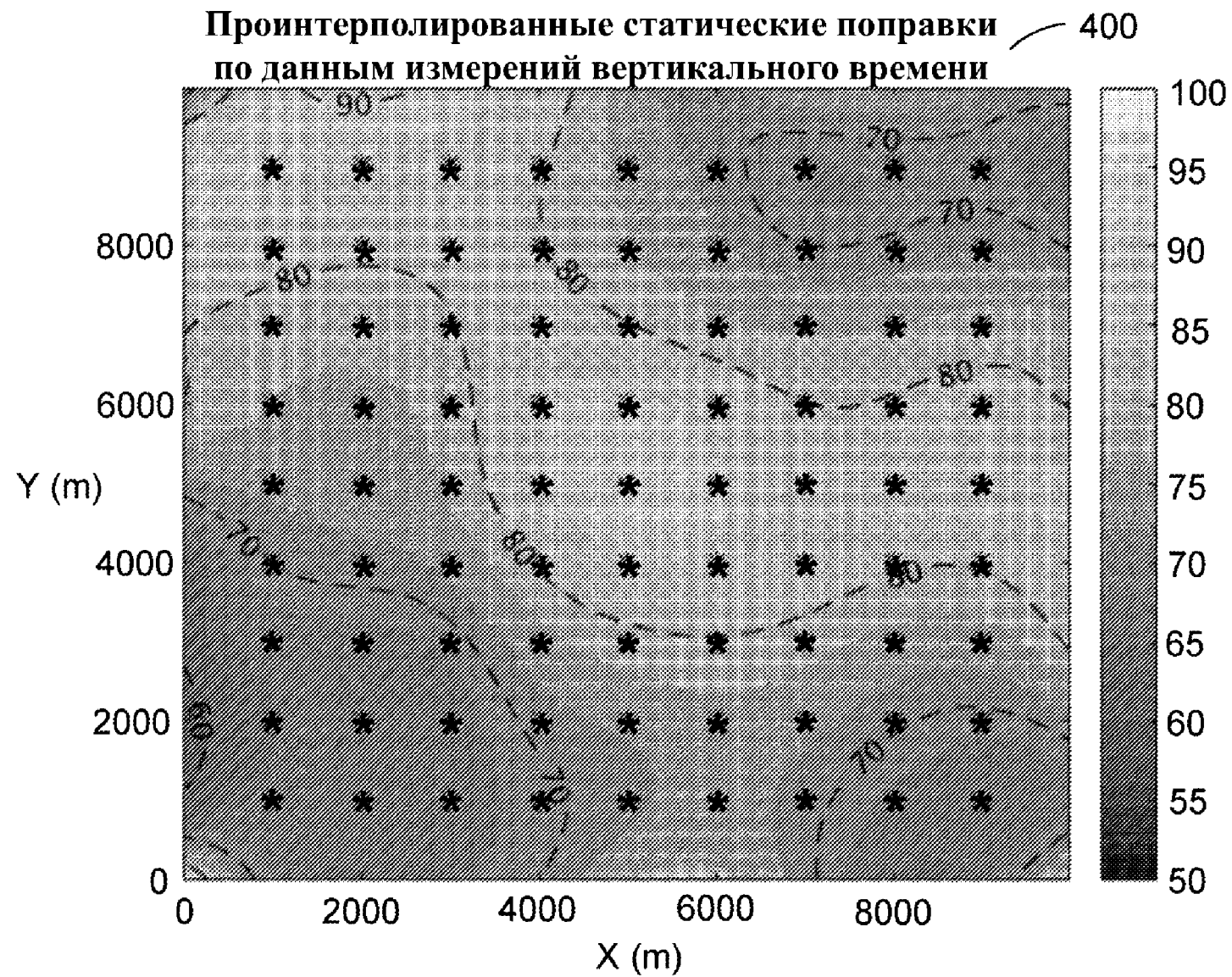
Фиг. 2



Фиг. 3

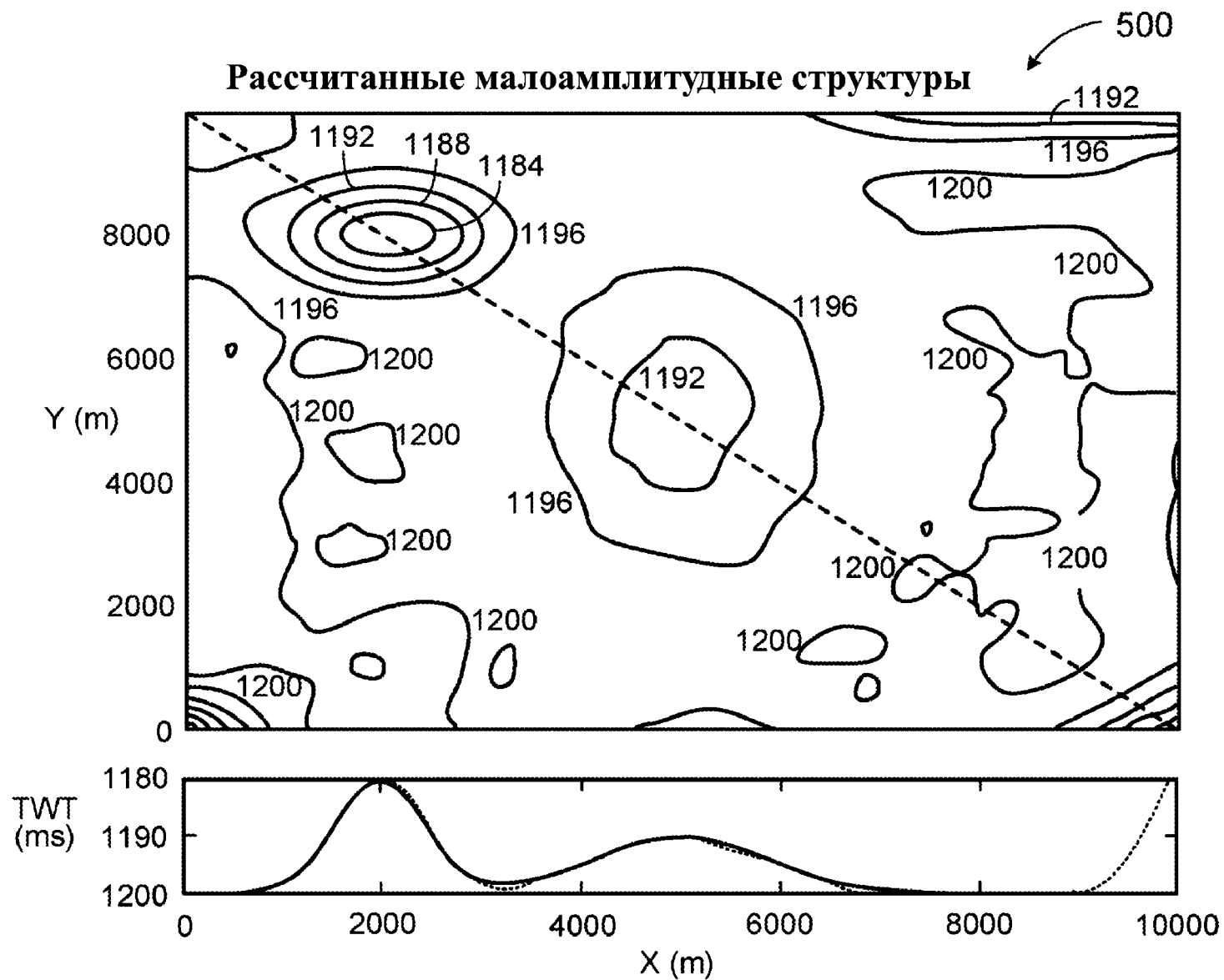


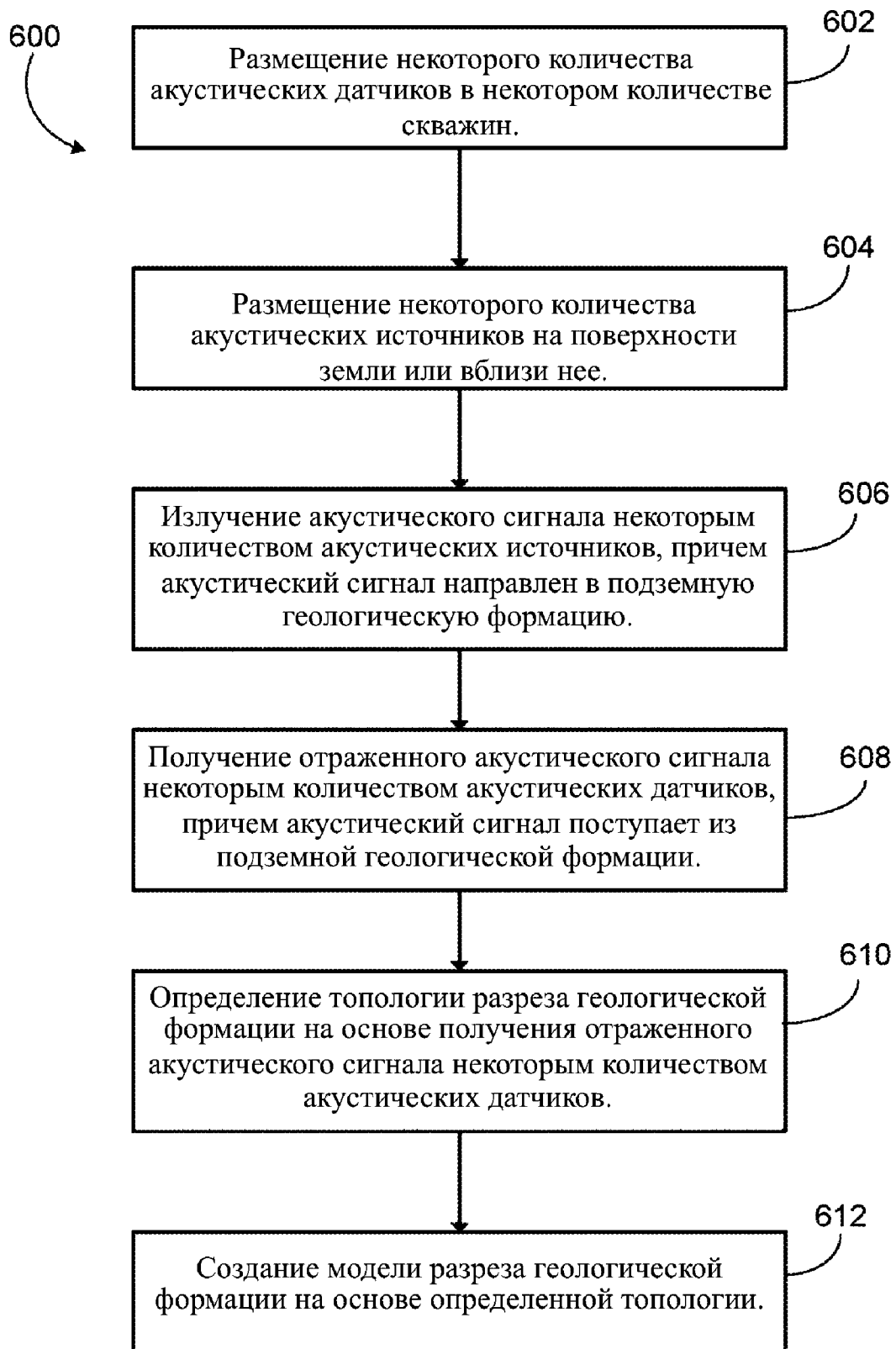
Проинтерполированные статические поправки
по данным измерений вертикального времени



Фиг. 4

Фиг. 5

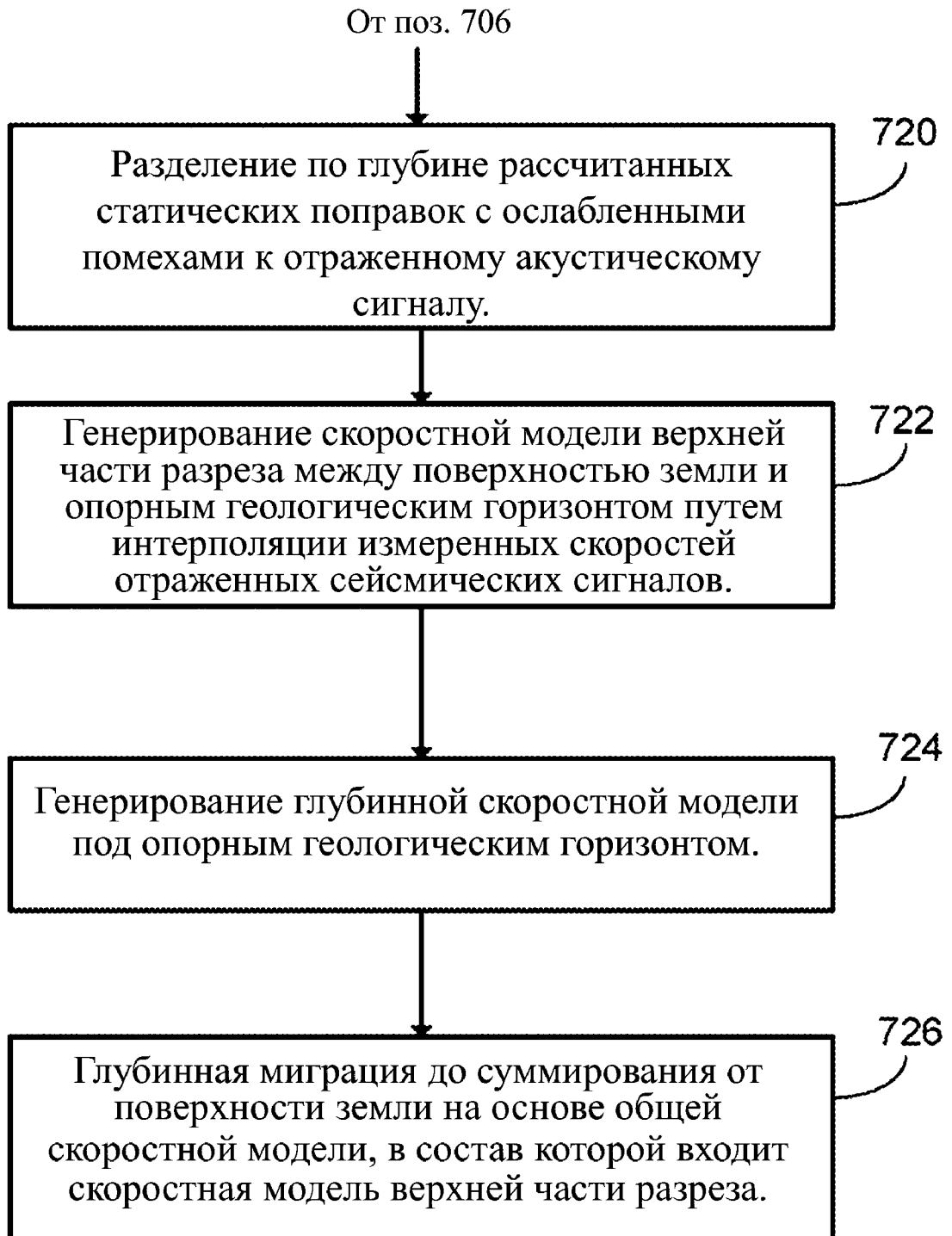




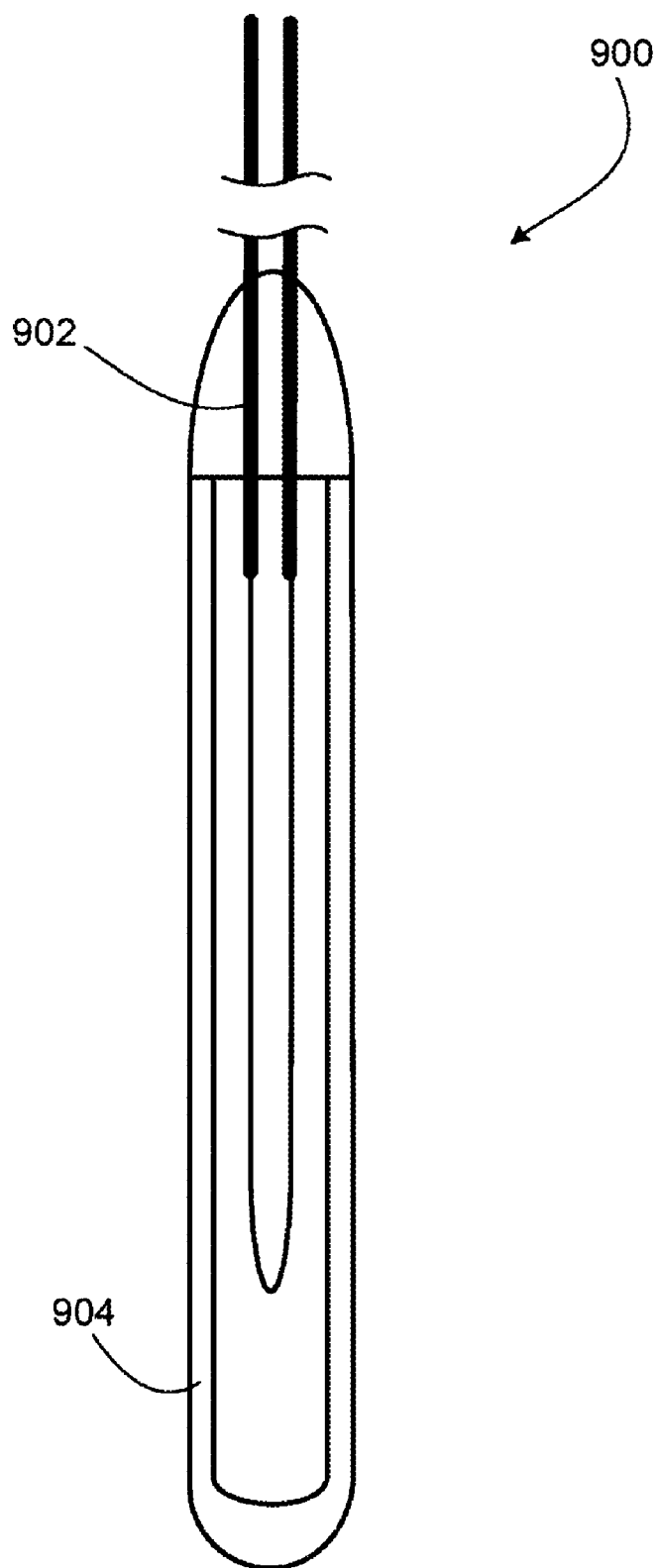
Фиг. 6



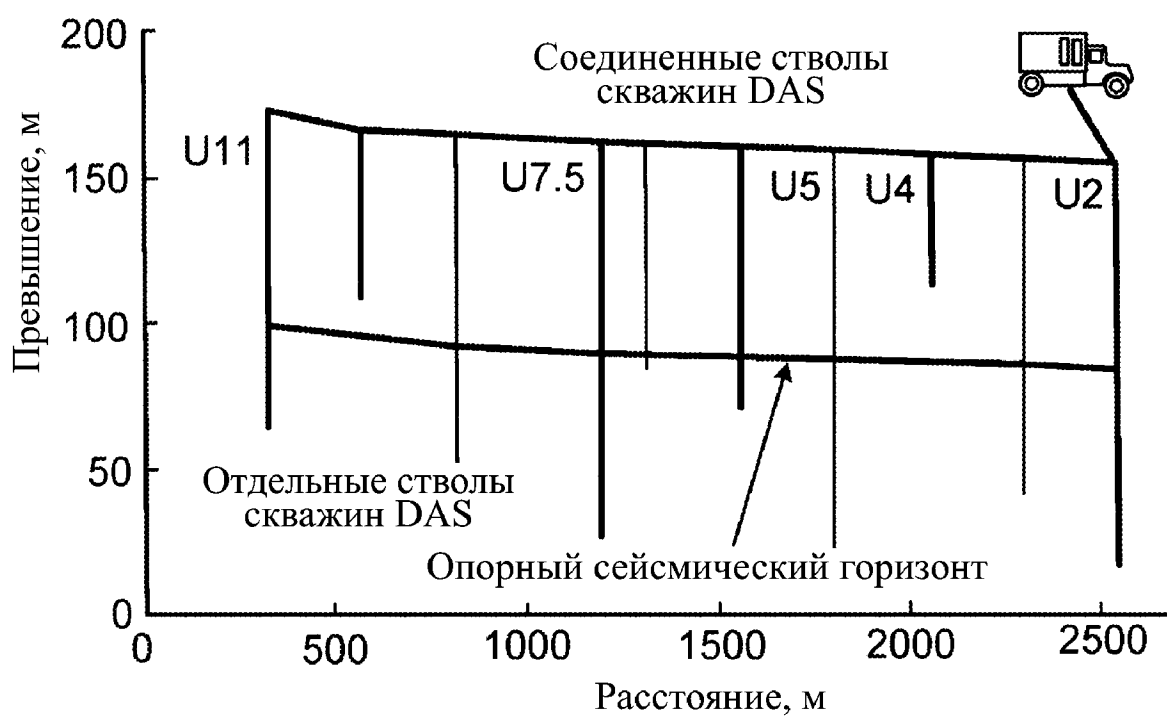
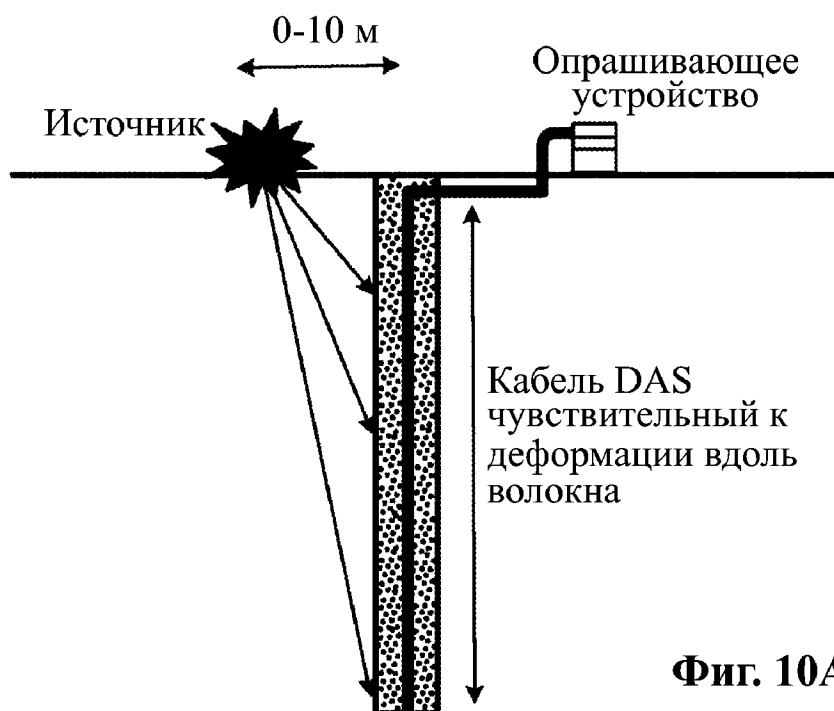
Фиг. 7



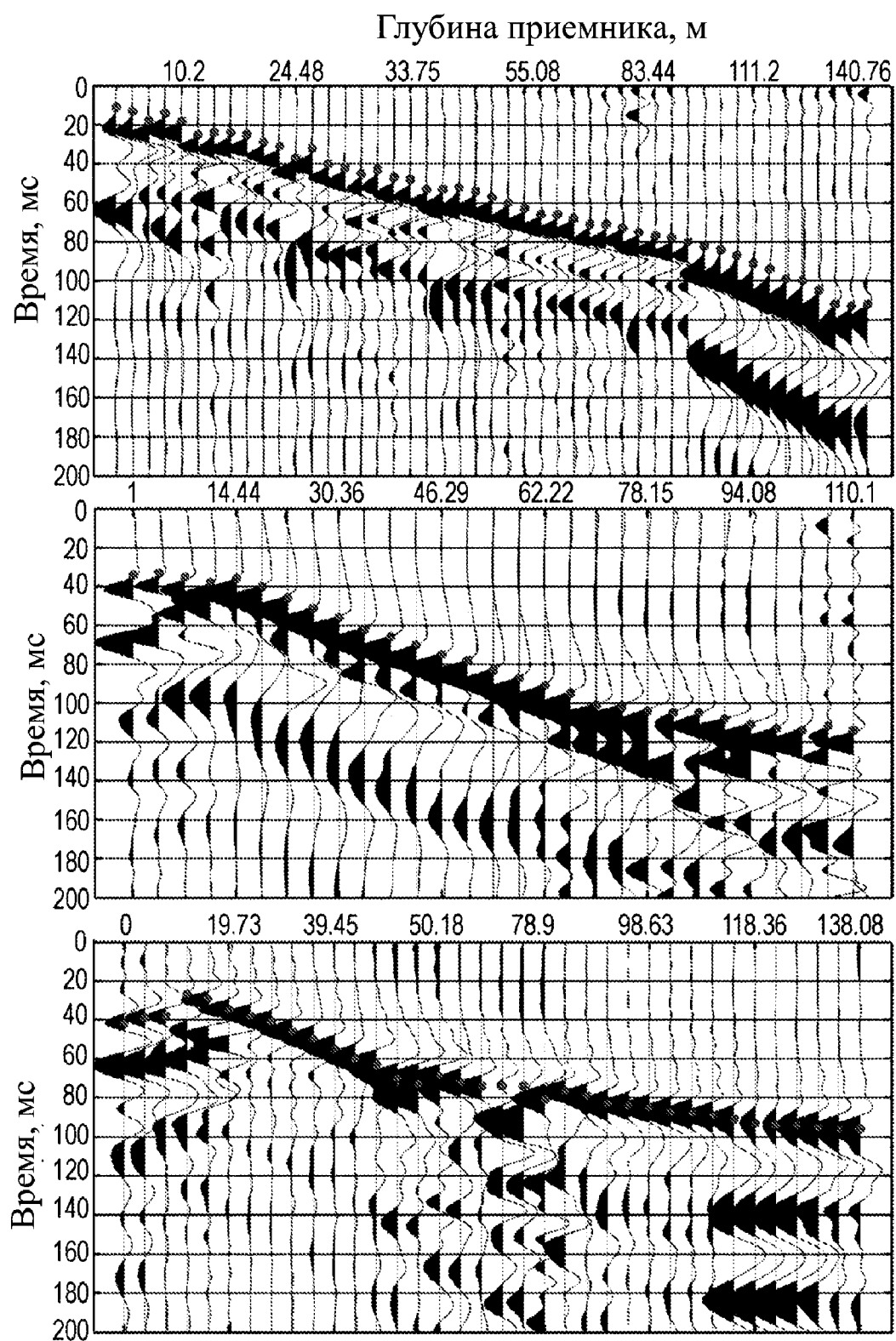
Фиг. 8



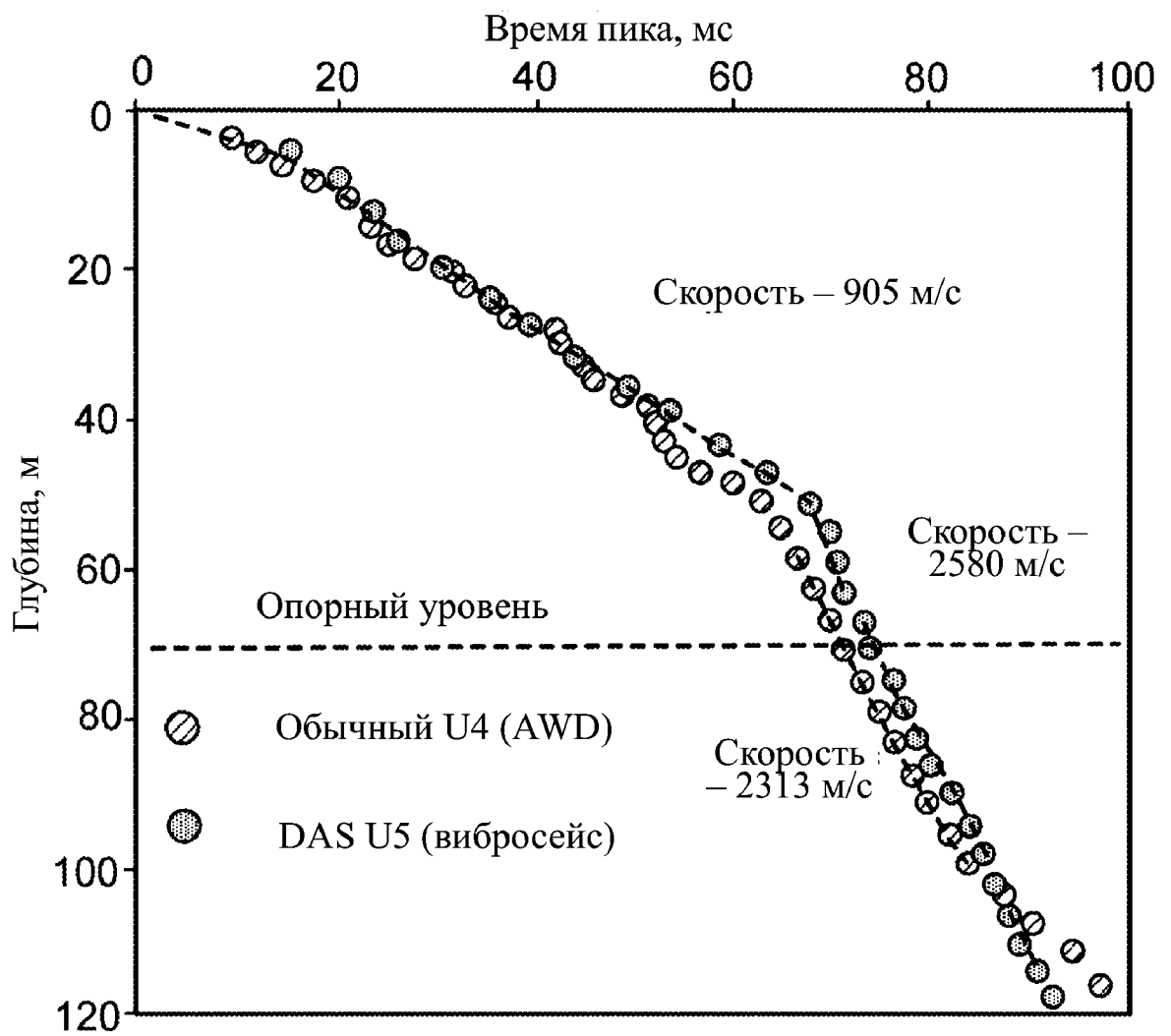
Фиг. 9



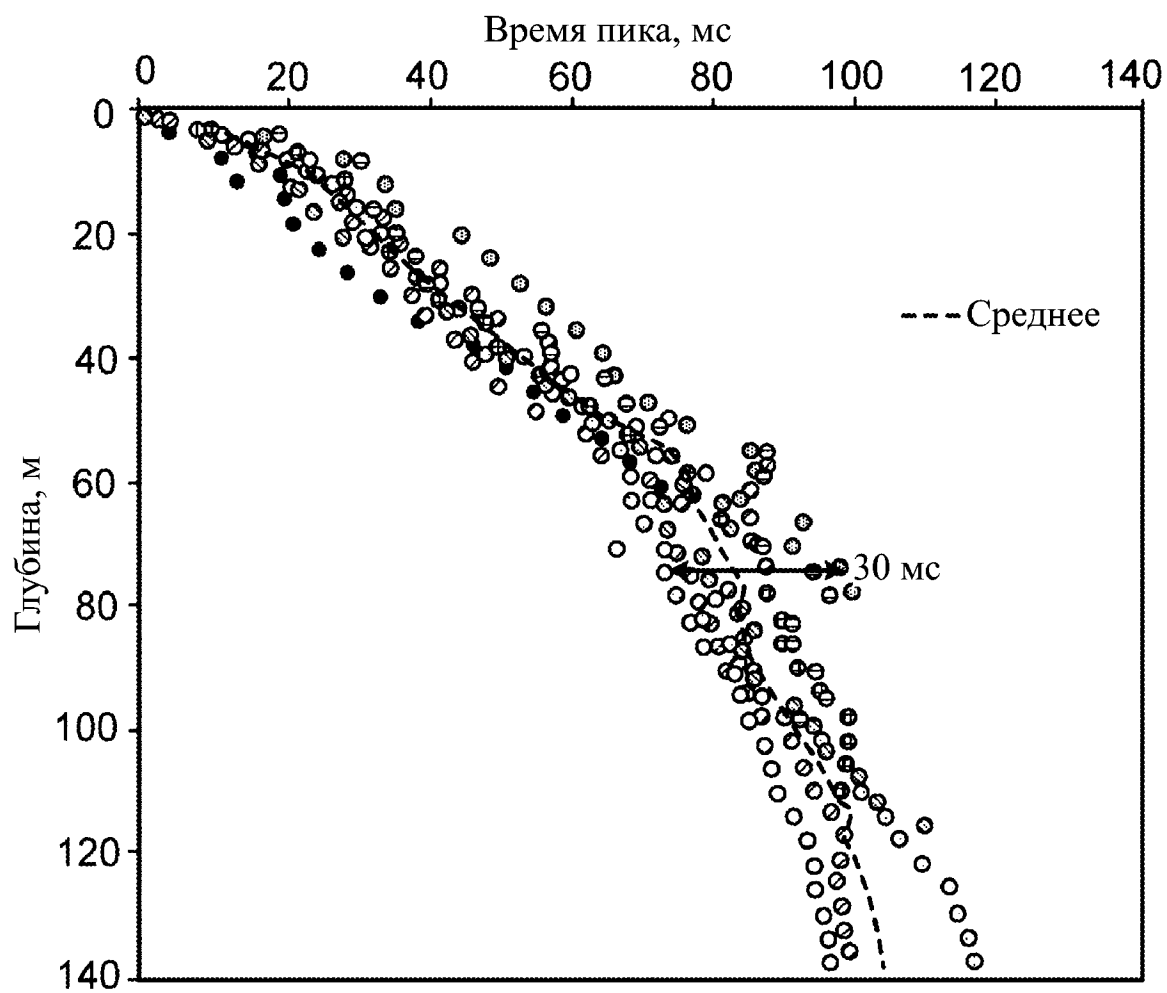
Фиг. 10В



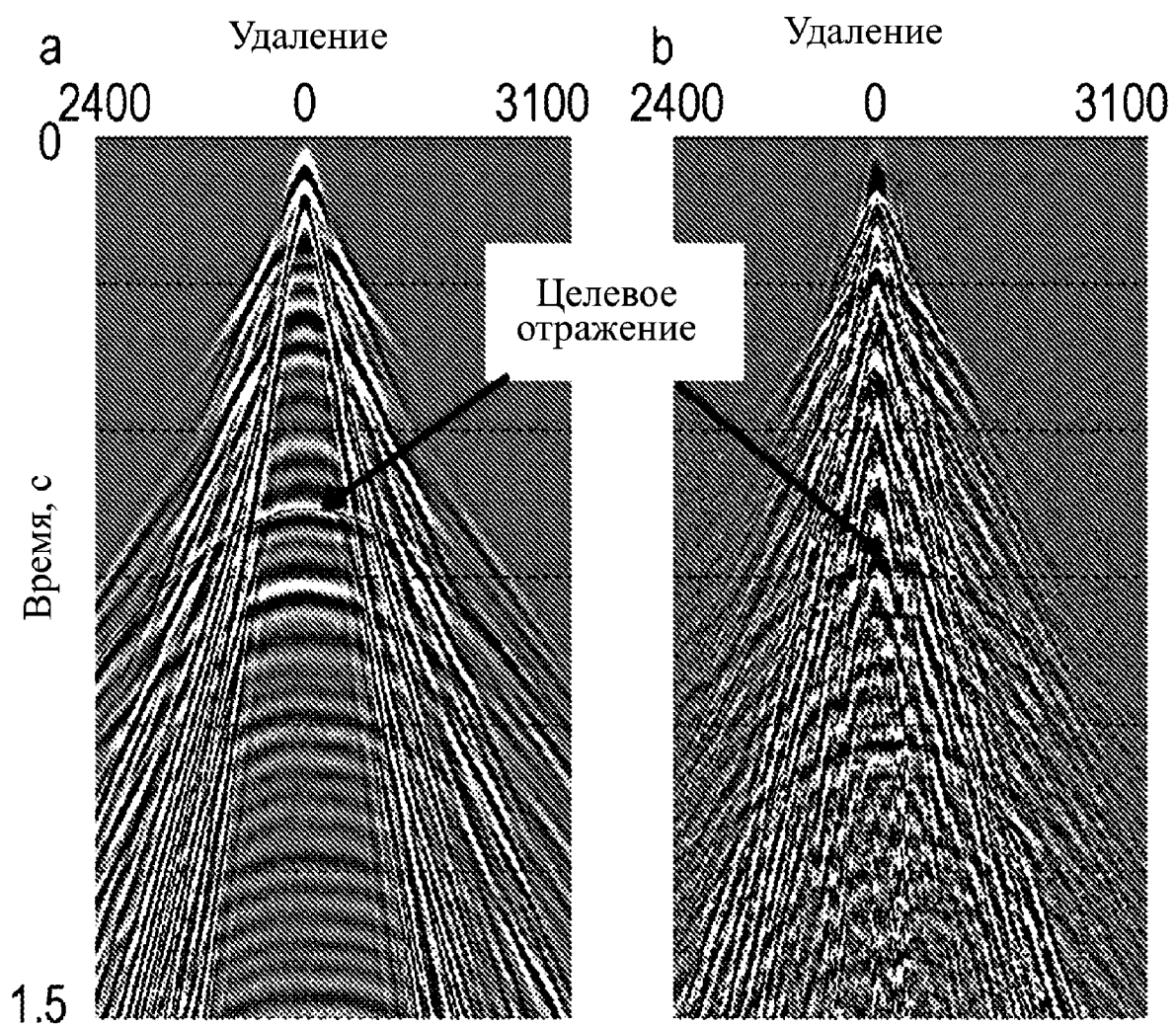
Фиг. 11



Фиг. 12А

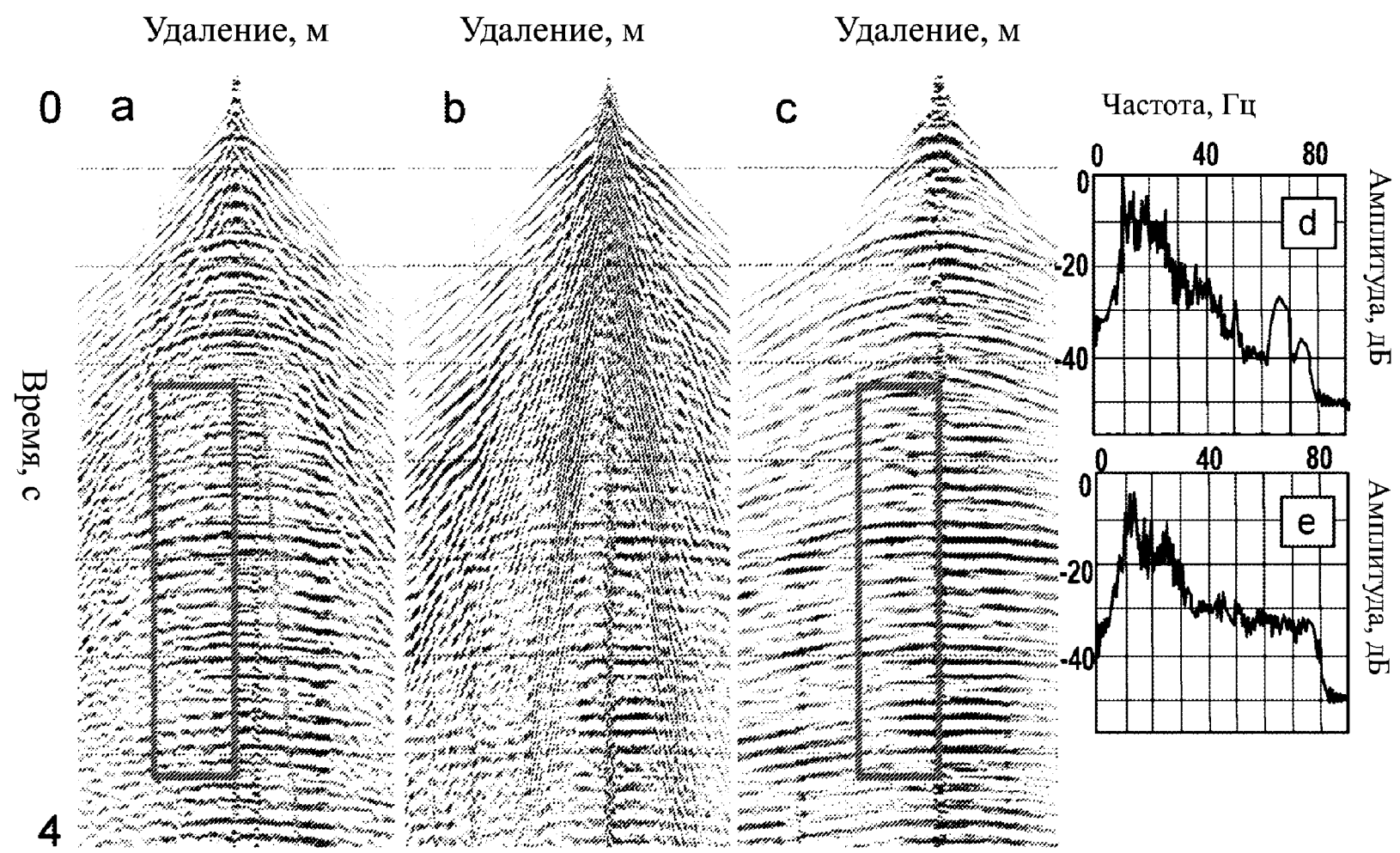


Фиг. 12В

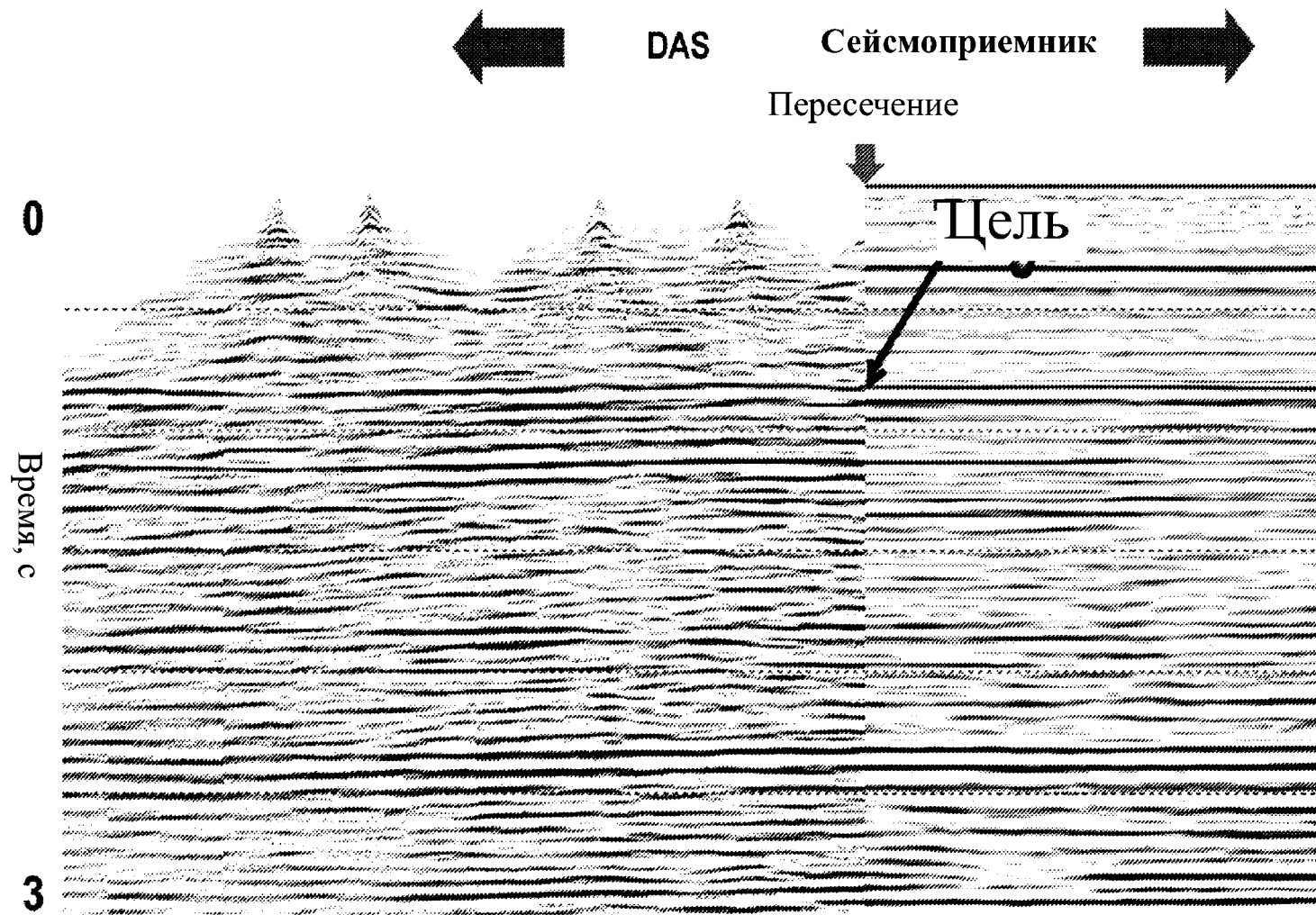


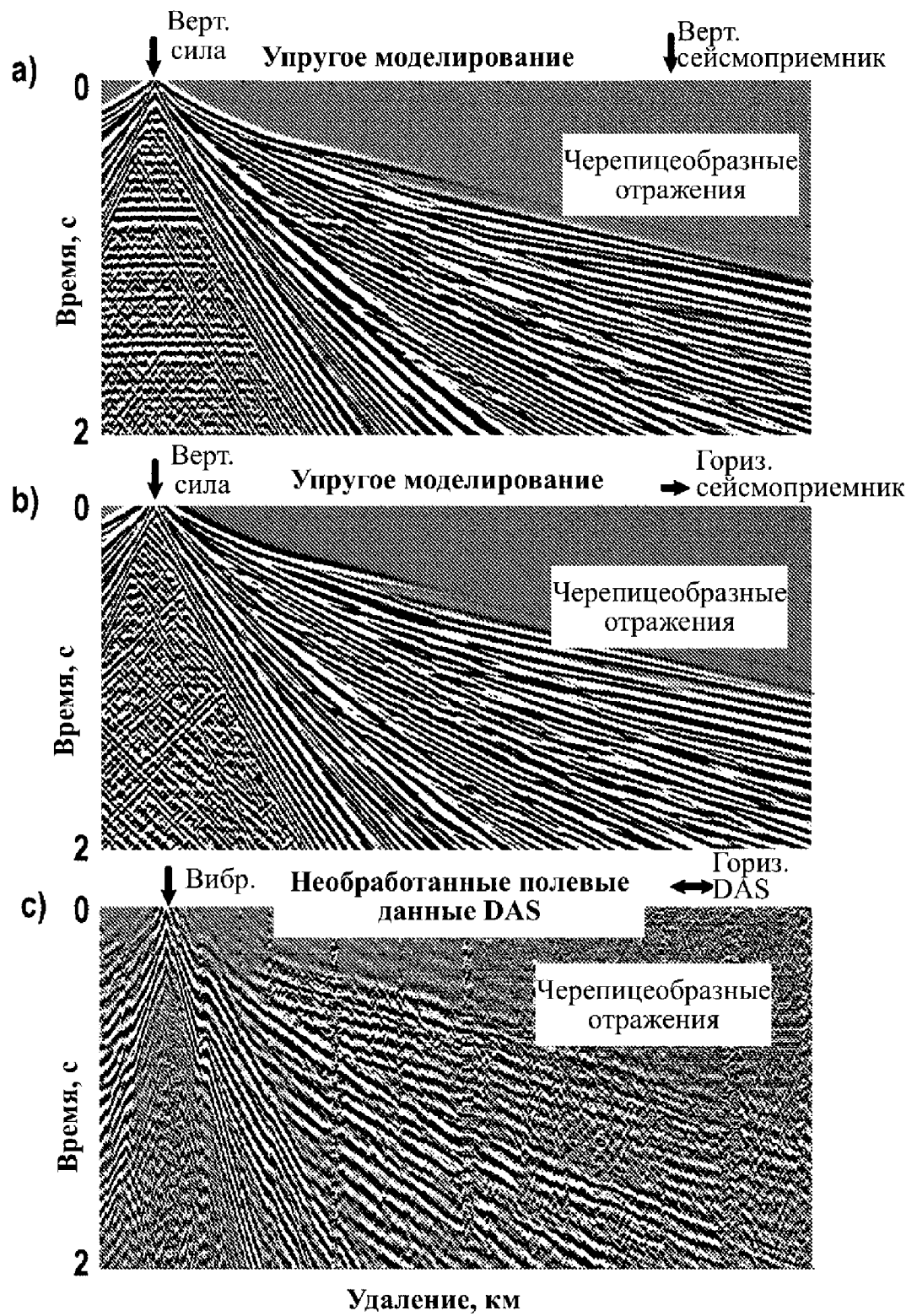
Фиг. 13

Фиг. 14



Фиг. 15





Фиг. 16

Фиг. 17

