

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(21) **201991314** (13) **A1**

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

(43) Дата публикации заявки
2019.11.29

(51) Int. Cl. *G01V 1/28* (2006.01)
G01V 1/30 (2006.01)

(22) Дата подачи заявки
2017.12.04

(54) **ПОЛНОВОЛНОВАЯ ИНВЕРСИЯ С УЧЕТОМ ГЕОМЕТРИИ СЕЙМИЧЕСКОЙ
СЪЕМКИ**

(31) 62/429,569

(32) 2016.12.02

(33) US

(86) PCT/US2017/064503

(87) WO 2018/102813 2018.06.07

(88) 2018.08.09

(71) Заявитель:

**БИПИ КОРПОРЕЙШН НОРТ
АМЕРИКА ИНК. (US)**

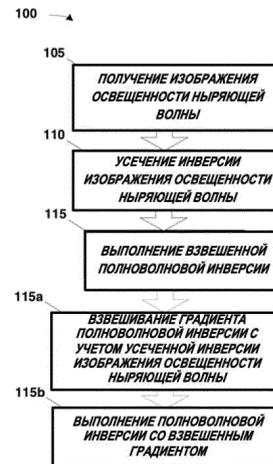
(72) Изобретатель:

Ахмед Имтиаз (US)

(74) Представитель:

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

(57) Способ для применения в сейсморазведке предусматривает получение изображения освещенности ныряющей волны для подземной области по набору сейсмических данных, характеризующих эту подземную область, с учетом выбранной геометрии съемки; усечение инверсии изображения освещенности ныряющей волны до некоторого диапазона значений и выполнение взвешенной полноволновой инверсии. Взвешенная полноволновая инверсия дополнительно предусматривает взвешивание градиента полноволновой инверсии с применением усеченной инверсии изображения освещенности ныряющей волны и выполнение полноволновой инверсии с применением взвешенного градиента.



A1

201991314

201991314

A1

ПОЛНОВОЛНОВАЯ ИНВЕРСИЯ С УЧЕТОМ ГЕОМЕТРИИ СЕЙМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

ОПИСАНИЕ

Ссылка на родственные заявки

[0001] Согласно настоящей заявке испрашивается приоритет в соответствии с предварительной заявкой на выдачу патента США № 62/429,569, поданной 2 декабря 2016 г. Ее раскрытие полностью включено в настоящую заявку посредством ссылки.

Область техники, к которой относится настоящее изобретение

[0001] Настоящее изобретение относится к изображению информации сейсмической съемки и, в частности, к эффективной работе и использованию вычислительных ресурсов при таком изображении.

Предшествующий уровень техники настоящего изобретения

[0002] В настоящем разделе этого документа представлены избранные разделы существующего уровня техники, которые могут быть связаны с различными аспектами настоящего изобретения, описанными и/или заявленными ниже. Эта информация предназначена для лучшего понимания различных аспектов настоящего раскрытия. Таким образом, это является обсуждением предшествующего уровня техники. То, что уровень техники является предшествующим, никоим образом не означает, что он также является известным уровнем техники. Предшествующий уровень техники может быть известным или неизвестным уровнем техники. Настоящее обсуждение следует рассматривать с этой точки зрения, а не как признание известного уровня техники.

[0003] Поиск углеводородов часто осуществляют с помощью "сейсморазведочных работ". При сейсморазведочных работах акустические сигналы сейсмических частот передают в землю при помощи импульсных источников, свип-источников или других источников энергии. Энергия от этих сигналов распространяется через землю и структура подземной толщи (толщ) горных пород характерным образом изменяет сигналы и их свойства. Затем сейсмические сигналы частично возвращаются на поверхность земли за счет различных механизмов, например, отражения, преломления и пр. Вернувшиеся сигналы получают и регистрируют в виде сейсмических данных.

[0004] Поскольку структуры толщ характерными способами изменяют сигналы и их свойства, сейсмические данные характеризуют подземную область, через которую они

распространяются. По выявленным характерным изменениям сейсмического сигнала геофизики как правило могут делать предположения о структуре подземной области. Анализ, при помощи которого геофизики это делают, в значительной степени зависит от вычислительных ресурсов. Наборы сейсмических данных настолько велики, что не поддаются численным расчетам и анализам вручную, поэтому для решения подобных задач геофизики обращаются к компьютерам. Эти наборы данных настолько велики и их обработка настолько сложна, что большинство численных задач также очень трудоемки с точки зрения вычислений. То есть, для этого требуется много вычислительных ресурсов в течение длительного времени.

[0005] Одним из аспектов этого процесса является «моделирование» подземной области, которую исследуют или планируют исследовать. Обычно модели, характеризующие подземную область, строят по сейсмическим или другим данным. Иногда эти данные предварительно собирают для подземной области в форме, например, каротажных диаграмм, геологической информации, геологических моделей и результатов предшествующей сейсмической обработки. В других случаях эти данные являются синтетическими, поскольку они были получены другими способами. Например, синтетические данные могут быть получены в результате реализации компьютером алгоритмов/способов с использованием модели, как описано выше.

[0006] Как правило, модели отражают различные свойства подземной толщи горных пород, поэтому их можно называть «моделями свойств геологической среды». Обычно эти модели характеризуют конкретное физическое свойство подземной области. Одним из физических свойств, представляющих интерес при таких работах, является скорость, и ее представляют в виде «скоростной модели». Скоростная модель - это представление толщи горных пород в геологической среде, которое может быть использовано при анализе сейсмических данных. Для преобразования сейсмических данных в «сейсмическое изображение» геофизикам необходимо выполнить анализ скоростей геологической среды в разных местоположениях подземной области. Вычисление скоростной модели также трудоемко с точки зрения вычислений, и его правильность и точность напрямую влияют на качество сейсмического изображения.

[0007] Другое физическое свойство, представляющее интерес при таких работах, — «глубина исследования». Глубиной исследования можно считать глубину, на которой полезная информация получена из подземной области в данной съемке, для данной координаты по широте и долготе. Она зависит от нескольких широко известных параметров, например, расположения источника и приемника, свойств сейсмического сигнала, скорости в геологической среде и пр.

[0008] Местоположения источников и приемников, также известные как «геометрия съемки», и структура геологической среды могут оказывать значительное влияние на глубину исследования для съемки в целом. Структура геологической среды и взаимодействие сейсмического сигнала со структурой геологической среды могут быть довольно сложными. Они будут отличаться в зависимости от местоположения в пределах подземной толщи горных пород. Поэтому глубина исследования представляет собой не столько цифру, сколько зависимость от ряда факторов, которые будут изменяться в зависимости от местоположения в пределах подземной области. Вычисление глубины исследования обычно тоже трудоемкое, и ее сложно определить однозначно по любому данному набору сейсмических данных.

[0009] Один из способов, применяемых при анализе сейсмических данных, представляет собой полноволновую инверсию (FWI), ее результат представляет собой модель свойств геологической среды, которую применяют для расчета сейсмического изображения. Иногда геофизики также выполняют анализ глубины исследования скоростной модели по полноволновой инверсии — фактору глубины исследования и общей точности сейсмического изображения. Однако полноволновая инверсия трудоемка с точки зрения вычислений.

[0010] Как видно из вышеизложенного, такая деятельность является затратной и с точки зрения времени, и с точки зрения вычислений. Поэтому в ходе выполнения сейсморазведочных работ значительные выгоды могут быть получены за счет повышения эффективности работы и использования вычислительных ресурсов. Несмотря на то, что существует множество технических решений, подходящих для этой цели, данная область техники всегда открыта для дальнейших усовершенствований. Поэтому раскрываемое техническое решение будет принято хорошо.

Краткое описание фигур

[0011] Прилагаемые фигуры, которые включены в настоящий документ и составляют его часть, иллюстрируют варианты осуществления настоящего изобретения и вместе с описанием служат для пояснения принципов предлагаемого изобретения. На фигурах изображено следующее:

[0012] На фиг. 1 представлена последовательность операций в способе технического решения, раскрываемого в настоящем документе.

[0013] На фиг. 2 представлена последовательность операций для получения изображения освещенности ныряющей волны в одном конкретном варианте осуществления способа, показанного на фиг. 1.

[0014] На фиг. 3А - 3В показано вычислительное устройство, которое могут использовать для реализации некоторых аспектов технического решения, раскрываемого в настоящем документе.

[0015] На фиг. 4 проиллюстрированы некоторые понятия, связанные с получением изображения освещенности ныряющей волны в условиях типичной сейсмической съемки.

[0016] На фиг. 5 представлена графическая визуализация типичной скоростной модели, которую могут применять в некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения.

[0017] На фиг. 6 представлена графическая визуализация синтетических низкочастотных данных, полученных путем прямого моделирования из скоростной модели, показанной на фиг. 5.

[0018] На фиг. 7 представлена графическая визуализация угловых сейсмограмм, полученных путем обратной временной миграции низкочастотных данных, показанных на фиг. 6. Углы раскрытия сейсмограммы увеличиваются на разрезе слева направо.

[0019] На фиг. 8А - 8С представлена графическая визуализация освещенностей ныряющей волны, полученная из угловых сейсмограмм с большими углами, которые показаны на фиг. 7, для максимальных удалений 8 км, 12 км и 15 км, соответственно.

[0020] На фиг. 9 показан один конкретный вариант осуществления изображения объема освещенности ныряющей волны.

[0021] На фиг. 10 представлен градиент полноволновой инверсии, предобусловленный объемом освещенности ныряющей волны, показанным на фиг. 9.

[0022] На фиг. 11А - 11В показаны модифицированные возмущения теста «шахматной доски» с применением традиционного графа полноволновой инверсии и градиента полноволновой инверсии, предобусловленного освещенностью ныряющей волны согласно техническому решению, раскрываемому в настоящем документе, соответственно, причем каждый рисунок демонстрирует два среза куба изображения.

Подробное раскрытие настоящего изобретения

[0023] Модели свойств геологической среды, например, скоростные модели, построенные с помощью полноволновой инверсии (FWI), могут быть построены с применением сейсмических данных, полученных на больших удалениях и содержащих низкочастотные ныряющие волны. Поскольку первая итерация полноволновой инверсии приблизительно соответствует миграции, раскрываемое техническое решение аппроксимирует влияние выбранной геометрии съемки путем расчета изображения объема освещенности ныряющей волны (DWI) при помощи миграции низкочастотной энергии с

большими углами раскрытия. При помощи анализа этого объема изображения освещенности ныряющей волны можно наблюдать относительную силу освещенности в модели, уменьшающуюся с глубиной. Если полноволновая инверсия предобусловлена путем перемножения градиента полноволновой инверсии и объема изображения освещенности ныряющей волны, эту модель можно модифицировать только в пределах сильно освещенных, мелкозалегающих частей модели, за ними в последующих итерациях следуют слабо освещенные, более глубинные части модели. Посредством этого для выбранной геометрии съемки техническое решение заставляет полноволновую инверсию модифицировать модель только там, где данные вероятнее всего будут способствовать решению, уменьшая ее нелинейность.

[0024] В частности, в технологическом решении, раскрываемом в настоящем документе, используют объем изображения освещенности ныряющей волны в качестве предобусловливателя для полноволновой инверсии сейсмических данных, зарегистрированных с применением конкретной геометрии съемки. Выше было сказано, что модели свойств геологической среды по полноволновой инверсии наиболее чувствительны к присутствию низкочастотной информации о ныряющих волнах, полученной на больших удалениях и зарегистрированной в каждой сейсмограмме общего пункта взрыва. Также выше было сказано, что первая итерация полноволновой инверсии приблизительно соответствует миграции и поэтому влияние выбранной геометрии съемки аппроксимируют путем запуска одной итерации обратной временной миграции (RTM) для каждого местоположения пункта взрыва и суммирования для данной геометрии как при получении изображения. Путем включения только низкочастотной части волнового поля из каждой сейсмограммы общего пункта взрыва, содержащей ныряющие волны, можно аппроксимировать глубину исследования (DOI) полноволновой инверсии для выбранной геометрии съемки.

[0025] В данном случае глубину исследования называют объемом изображения освещенности ныряющей волны. При помощи анализа этого объема изображения освещенности ныряющей волны можно наблюдать относительную силу освещенности ныряющей волны в модели свойств геологической среды для конкретной геометрии съемки. Освещенность в разрезе сильнее в мелкозалегающей части модели и она постепенно ослабевает с глубиной.

[0026] С математической точки зрения полноволновая инверсия модифицирует модель свойств геологической среды путем вычисления возмущений скорости по произведению градиента и длины шага и прибавления этих возмущений к начальной модели. Градиент вычисляют для всей модели, но из анализа объема освещенности

ныряющей волны известно, что глубина исследования полноволновой инверсии зависит от геометрии съемки, использованной для регистрации сейсмических данных. Чтобы сосредоточить обновление модели только в пределах освещенной зоны, в техническом решении, раскрываемом в настоящем документе, реализована стратегия модификации сверху вниз при помощи предобуславливания градиента полноволновой инверсии путем умножения его на объем изображения освещенности ныряющей волны с тем, чтобы сначала применять модификацию к сильно освещенным мелкозалегающим частям модели, а затем к слабо освещенным, более глубинным частям модели.

[0027] Далее приведено подробное описание варианта осуществления(s) (иллюстративных вариантов осуществления) предлагаемого изобретения, пример(ы) которого(ых) представлен(ы) на прилагаемых чертежах. Везде, где это возможно, для ссылки на одни и те же или подобные части на чертежах будут использованы одинаковые позиции.

[0028] Один конкретный вариант осуществления этого технического решения представлен на фиг. 1, где изображена последовательность 100 операций в способе технического решения. Последовательность 100 операций начинается с первого получения (в блоке 105) изображения освещенности ныряющей волны для подземной области по набору сейсмических данных, характеризующих подземную область и полученных при помощи выбранной геометрии съемки. Изображение освещенности ныряющей волны может быть получено одним из нескольких способов. Например, такое изображение освещенности ныряющей волны может быть создано заранее и заархивировано. В таком случае изображение освещенности ныряющей волны может быть «получено» путем извлечения его из архивного хранилища. Согласно другим вариантам осуществления освещенность ныряющей волны можно сгенерировать с нуля. Можно применить любой подходящий способ, очевидный для специалистов в данной области техники, понимающих преимущества настоящего раскрытия.

[0029] Однако чтобы обеспечить лучшее понимание этого аспекта технологического решения, ниже будет подробно рассмотрен один конкретный вариант осуществления. В этом конкретном варианте осуществления освещенность ныряющей волны генерируют из данных. Тем не менее, следует понимать, что заявленный ниже способ этим не ограничивается. Аналогичным образом, в этом конкретном варианте осуществления модель свойств геологической среды представляет собой скоростную модель, но согласно другим вариантам осуществления могут быть использованы модели других атрибутов.

[0030] Последовательность 200 операций, при помощи которых может быть получено изображение освещенности ныряющей волны (блок 105 на фиг. 1) согласно

одному конкретному варианту осуществления, представлена на фиг. 2. Из описания в настоящем документе специалистам в данной области техники будет понятно, что последовательность операций в значительной степени, а в некоторых вариантах осуществления полностью, реализована на компьютере. В этой связи на фиг. 3А - 3В представлены примеры вычислительных устройств, при помощи которых могут быть выполнены реализованные на компьютере аспекты этой последовательности 200 операций.

[0031] На фиг. 3А показаны отдельные части архитектуры аппаратного и программного обеспечения вычислительного устройства 300. В зависимости от конкретной реализации вычислительное устройство 300 может быть вычислительным устройством общего назначения или специальным вычислительным устройством. Вычислительное устройство 300 предусматривает, по меньшей мере, электронный процессор 303, взаимодействующий с хранилищем 306 по каналам 309 передачи информации.

[0032] Электронный процессор 303 может быть любым подходящим процессором или группой процессоров, известных в данной области техники. Специалисты в данной области техники также поймут, что данные и массивы данных, такие как те, которые используют в способе, раскрываемом в настоящем документе, имеют довольно большой объем, и что описанная здесь обработка требует большого объема вычислений. Поэтому типичные реализации электронного процессора 303 фактически содержат несколько групп электронных процессоров, распределенных между несколькими согласованно работающими вычислительными устройствами. Один из таких вариантов осуществления описан ниже.

[0033] Хранилище 306 может включать в себя среду для постоянного хранения, такую как магнитный жесткий диск и/или оперативную память (RAM) и/или съемные носители, такие как оптический диск 315. Хранилище 306 содержит ряд программных компонент, включая операционную систему 312 (OS); приложение 314; скоростную модель 316 (VM), структуру данных, в которой могут храниться низкочастотные сейсмические данные 318 (LFSD); структуру данных, в которой может храниться некоторое количество сейсмограмм 320; и структуру данных, в которой может храниться изображение 322. Хранилище 306 также может быть распределено между несколькими вычислительными устройствами, как описано выше.

[0034] Так же, как и электронный процессор 303, конструктивные ограничения во всех конкретных вариантах осуществления могут оказывать влияние на конструкцию хранилища 306 в зависимости от конкретной реализации. Например, как отмечено выше, раскрываемый метод работает на объемных массивах данных, что обычно упрощается использованием разных накопителей данных, таких как избыточный массив независимых

дисков (RAID). Специалистам в данной области техники известны также другие типы накопителей данных, которые могут быть использованы в дополнение или вместо RAID.

[0035] Электронный процессор 303 работает под управлением операционной системы 312 и исполняет прикладную программу 314 с использованием канала 309 передачи информации. Этот процесс может начинаться автоматически, например, при запуске, или по команде пользователя. Пользователь может дать команду напрямую при помощи пользовательского интерфейса 324.

[0036] Пользовательский интерфейс 324 содержит программу 326 пользовательского интерфейса (UIS) и дисплей 328. Эта система может также предусматривать периферийные устройства ввода/вывода (I/O), такие как кнопочная панель или клавиатура 330 и мышь 332. Такие детали конкретной реализации не имеют значения для раскрываемого здесь технического решения. Например, некоторые варианты осуществления могут не содержать периферийных устройств ввода/вывода, если дисплей 328 оснащен сенсорным экраном. Соответственно, раскрываемый здесь метод допускает разные варианты этого аспекта компьютерной системы 300, и могут быть использованы любые обычные реализации, известные в данной области техники.

[0037] Кроме того, нет требований, чтобы функциональные возможности описанной выше компьютерной системы 300 были реализованы так, как описано в настоящем документе. Например, прикладная программа 314 может быть реализована в виде других программных компонент, таких как служебный процесс или утилита. Функциональные возможности приложения 314 не обязательно должны быть объединены в одну программную компоненту и могут быть распределены между двумя или более программными компонентами. Таким же образом структуры данных могут быть реализованы с использованием любых подходящих структур данных, известных в данной области техники.

[0038] Как и в случае с электронным процессором 303 и хранилищем 306, реализация канала 309 передачи информации будет зависеть от конкретного варианта осуществления. Если компьютерная система 300 установлена на одном вычислительном устройстве, канал 309 передачи информации может быть, например, системой шин этого одного вычислительного устройства. Либо если компьютерная система 300 реализована на множестве объединенных в сеть вычислительных устройств, тогда канал 309 передачи информации может использовать проводную или беспроводную связь между вычислительными устройствами.

[0039] Некоторые части представленного здесь подробного описания изложены в терминах программно реализованной процедуры, содержащей символические

представления операций над битами данных в памяти компьютерной системы или вычислительного устройства. Эти описания и представления являются средствами, которые специалисты в данной области техники используют для более эффективной передачи сущности их работы другим специалистам в данной области техники. Процедура и функционирование требуют конкретных манипуляций физическими величинами, которые приведут к физическим изменениям конкретного устройства или системы, на которой выполняют эти действия или на которой хранят результаты. Обычно, но не обязательно, эти величины принимают форму электрических, магнитных или оптических сигналов, которые можно хранить, передавать, комбинировать, сравнивать или выполнять с ними другие действия. Иногда, особенно в целях широкого использования, считают удобным называть эти сигналы битами, значениями, элементами, символами, терминами, числами и т.д.

[0040] Однако следует помнить, что все эти и аналогичные термины должны быть связаны с соответствующими физическими величинами и являются просто удобными обозначениями, которые применяют для этих величин. Если в настоящем раскрытии специально не оговорено или из него иным образом не очевидно, эти описания относятся к действиям и процедурам электронного устройства, которое выполняет действия и преобразует данные, представленные в виде физических (электронных, магнитных или оптических) величин в хранилище некоторого электронного устройства, в другие данные, так же представленные в виде физических величин в хранилище или на передающих или отображающих устройствах. Типичными терминами в таком описании, среди прочих, могут быть: «обработка», «вычисление», «расчет», «нахождение», «вывод на экран» и подобные им.

[0041] Кроме того, выполнение функций программного обеспечения изменяет вычислительное устройство, на котором оно происходит. Например, сбор данных будет так же физически изменять содержимое хранилища, как и последующая обработка данных. Физическое изменение - это «физическое преобразование», которое приводит к изменению физического состояния хранилища данных вычислительного устройства.

[0042] Заметим, что программно реализованные аспекты изобретения обычно записывают на некоторый носитель - запоминающее устройство для хранения программ - или реализуют с использованием некоторой среды передачи информации. Запоминающее устройство для хранения программ может быть магнитным (например, жестким диском) или оптическим (например, постоянное запоминающее устройство на компакт-диске или CD-ROM), оно может быть предназначено только для чтения или для неограниченного доступа. Таким же образом среда передачи информации может быть коаксиальным

кабелем, витыми парами, оптическим волокном или некоторой другой средой передачи информации, известной в данной области техники. Изобретение не ограничено этими аспектами любых реализаций.

[0043] На фиг. 3В изображен пример части компьютерной системы 350, при помощи которой выполняют такую обработку в представленном варианте осуществления. Компьютерная система 350 подключена к (компьютерной) сети, но подключение компьютерной системы 350 к сети не является обязательным требованием. Варианты осуществления могут задействовать, например, одноранговую архитектуру или некоторый гибрид одноранговой и клиент-серверной архитектуры. Для применения настоящего изобретения размеры и местоположение компьютерной системы 350 не существенны. Размеры и местоположение могут изменяться от нескольких устройств локальной сети (LAN), расположенной в одном помещении, до многих сотен или тысяч устройств, распределенных по всему миру в виде корпоративной компьютерной системы.

[0044] Проиллюстрированная часть компьютерной системы 350 включает в себя сервер 352, запоминающее устройство 354 и рабочую станцию 356. Кроме того, специалистам в данной области техники будет понятно, что компьютерная система 350 и даже показанная ее часть могут быть гораздо более сложными. Однако такие детали обычны, и мы не будем их обсуждать или демонстрировать, чтобы не затруднять понимание заявленного ниже предмета изобретения.

[0045] На фиг. 3В показано, что приложение 314 находится на сервере 352, а скоростная модель 316, низкочастотные сейсмические данные 318, сейсмограммы 320 и изображение 322 находятся на запоминающем устройстве 354. Это только один из способов размещения разных программных компонент, наш способ не зависит от их расположения. Несмотря на то, что в некоторых вариантах осуществления проблемы быстрогодействия при определенных местоположениях могут быть смягчены, в других случаях местонахождение компонент программного обеспечения значения не имеет.

[0046] Раскрываемый здесь способ допускает некоторые изменения в обработке в зависимости от способа сбора данных и реализации конкретных целей для конечного продукта. Специалистам в данной области техники будет очевидно, что независимо от подхода к обработке обычно будет существовать некоторый уровень предварительной обработки. Такую предварительную обработку обычно будут использовать в разных вариантах осуществления раскрываемого здесь способа. Однако в силу повсеместности в данной области техники и знакомства специалистов данной области техники с такой предварительной обработкой, мы не будем дальше обсуждать ее для сохранения ясности и чтобы не отвлекаться от объекта изобретения, заявленного ниже.

[0047] На фиг. 2 и фиг. 3В показано, что пользователь 358 вызывает на рабочей станции 356 приложение 314 для исполнения способа 200. Как было упомянуто выше, предполагается, что скоростная модель 316 уже была создана на момент, когда пользователь 358 запускает способ 200. Скоростная модель 316 представляет собой модель конкретной подземной области, где съемка уже была проведена или съемку планируют. Она создана с применением технических решений, широко известных в данной области техники. В тех вариантах осуществления, где скоростная модель 316 не была сгенерирована заранее, сначала ее генерируют с применением этих широко известных технических решений. Дальнейшее обсуждение этих технических решений, широко известных в данной области техники, будет пропущено ради ясности и с тем, чтобы не затруднять понимание настоящего изобретения.

[0048] Скоростная модель 316 сгенерирована из данных (не показаны), характеризующих подземную область. В проиллюстрированных вариантах осуществления эти данные представляют собой сейсмические данные, полученные в предшествующих сейсмических съемках. В других вариантах осуществления для этой цели вместо или в дополнение к сейсмическим данным могут использовать другие источники данных, если желательны сейсмические данные. К таким источникам данных можно отнести, например, каротаж, гравиметрические съемки, электромагнитные съемки, геологические исследования и пр. Специалисты в данной области техники понимающие преимущества настоящего раскрытия, могут знать и о других источниках данных, которые могут подходить для этой цели.

[0049] Полноволновая инверсия (FWI) сейсмических данных с достаточно низкими частотами и достаточно высоким отношением сигнал-помеха представляет собой одно из технических решений, широко известных в данной области техники, для построения скоростной модели по сейсмическим данным. В одном варианте осуществления полноволновую инверсию начинают с низких частот (самых низких) и затем добавляют всё более высокие частоты. Таким образом, модель свойств геологической среды, одно из которых представляет собой скорость, медленно приобретает четкие очертания, когда в ходе повторяющихся запусков инверсии постепенно добавляют всё более тонкие особенности. Скоростная модель на выходе каждого этапа этой процедуры затем становится начальной моделью для следующего этапа. См. статью L. Sirgue & R. G. Pratt, "Efficient Waveform Inversion and Imaging: A Strategy for Selecting Temporal Frequencies", 69 Geophysics 231 (2004).

[0050] Кроме того, скоростная модель 316 проиллюстрированных вариантов осуществления представляет собой «гладкую» скоростную модель. В данном случае

термин «гладкая» указывает на то, что скоростная модель была отфильтрована низкочастотным фильтром так, чтобы масштаб длины скоростей был больше длины сейсмических волн в исследовании. Однако такое сглаживание необязательно для осуществления всех вариантов настоящего изобретения. Некоторые другие варианты осуществления могут использовать несглаженную скоростную модель.

[0051] На фиг. 2 и фиг. 3А способ 200 начинают с прямого моделирования (в блоке 210) по скоростной модели 316 подземной области для создания набора низкочастотных сейсмических данных 318. В частности это прямое моделирование известно как прямое моделирование распространения волн «туда и обратно». Согласно другим вариантам осуществления прямое моделирование может быть «односторонним», что обычно считают менее точным, чем двустороннее моделирование. Однако согласно данному варианту осуществления ссылки на прямое моделирование описывают двустороннее моделирование. Общая концепция двустороннего прямого моделирования по скоростной модели широко известна в данной области техники. Однако настоящее изобретение имеет по меньшей мере два отличия от обычной практики.

[0052] Одно отличие состоит в том, что прямое моделирование (в блоке 210) выполняют выборочно с одной или несколькими частными геометриями съемки или местоположениями источников и приемников. Выбор геометрии съемки будет зависеть от варианта осуществления, поскольку глубина исследования полноволновой инверсии зависит от геометрии съемки. В некоторых вариантах осуществления могут оценивать глубину исследования полноволновой инверсии для сейсмической съемки, которая уже была проведена. В этих вариантах осуществления будут использовать фактическую геометрию съемки, развернутую во время съемки. Этот способ также может быть использован для оценки глубины исследования предлагаемой съемки. В таких вариантах осуществления с целью определения наилучшей глубины исследования полноволновой инверсии для изучаемой подземной области могут использовать несколько предлагаемых геометрий съемки.

[0053] Второе отличие состоит в том, что моделируемые сейсмические сигналы, которые используют в прямом моделировании (в блоке 210) будут рассчитаны на получение низкочастотных сейсмических данных. Специалистам в данной области техники будет понятно, что сейсмическая съемка или ее прямое моделирование обычно будут включать в себя получение сейсмических данных в некотором диапазоне частот. Например, в одном варианте осуществления используют диапазон частот, охватывающий три октавы вплоть до представляющих интерес частот, которые позволяют различать структуры в геологической среде с разрешающей способностью в десятки метров. Специалистам в

данной области техники также будет понятно, что прямое моделирование является трудоемким с точки зрения вычислений, и ограничение прямого моделирования низкочастотными сейсмическими данными ускорит процедуру прямого моделирования. Способ, раскрываемый в настоящем документе, работает с низкочастотными сейсмическими данными, и поэтому сейсмические сигналы, используемые в прямом моделировании (в блоке 210), могут быть соответственно рассчитаны на снижение суммарных вычислительных затрат на прямое моделирование (в блоке 210).

[0054] В рамках настоящего раскрытия термин «низкая частота», как правило, означает 2 Гц – 6 Гц. Теоретически заявленный способ может использовать частоты ниже 2 Гц. Однако в силу признанных геофизических ограничений и аппаратурных проблем сейсмические источники в полевых условиях редко работают на частотах ниже 2 Гц. Заявленный способ может использовать частоты выше 6 Гц, но оценка глубины исследования полноволновой инверсии ограничена этой частотой, и чем выше частота, тем, как правило, меньше оценка глубины исследования полноволновой инверсии.

[0055] Следовательно, могут существовать необычные обстоятельства, при которых «низкая частота» модельных сейсмических данных выходит за диапазон 2 Гц – 6 Гц. Например, может быть известно, что конкретные сейсмические данные не содержат помех, поэтому могут быть использованы частоты ниже 2 Гц. Таким же образом технология может развиваться до такой степени, что в полевых условиях будут легко достижимы частоты ниже 2 Гц. Либо могут изучать малую глубину исследования полноволновой инверсии, в этом случае могут использовать частоты выше 6 Гц. Однако предполагается, что в большинстве вариантов осуществления будут использованы «низкие частоты» в диапазоне от 2 Гц – 6 Гц.

[0056] В любом случае, в контексте "низких частот" термин "приблизительно" означает, что численное количественное определение находится в пределах погрешности, допустимой в отрасли. Например, широко известно, что по различным причинам во время съемки могут изменяться настройки аппаратуры и измерения. Таким образом, частота «приблизительно 2 Гц» включает в себя частоты не точно равные 2.0 Гц, а частоты, которые несколько отличаются в пределах допустимой погрешности. Таким же образом частотный диапазон приблизительно 2 Гц – 6 Гц может включать в себя частоты, выходящие за пределы диапазона 2.0 Гц – 6.0 Гц, при условии, что они находятся в пределах допустимой погрешности. Что представляют собой «пределы допустимой погрешности» будет зависеть от обстоятельств, которые очевидны специалистам в данной области техники, понимающим преимущества от настоящего раскрытия.

[0057] Заявленный способ не зависит от типа моделируемых источников и сигналов, которые они передают. Моделируемые источники могут быть импульсными источниками, свип-источниками или источниками другого типа, известными в данной области техники. Специалистам в данной области техники, понимающим преимущества от настоящего раскрытия, будет также очевидно, что каждый из этих типов моделируемых источников будет генерировать свой тип сигнала. Заявленный способ может применяться с каждым из них.

[0058] На фиг. 1 способ 100 продолжают выполнением (в блоке 220) обратной временной миграции по низкочастотным сейсмическим данным, полученным путем прямого моделирования (в блоке 210). Цель этой обратной временной миграции состоит в получении (в блоке 220) некоторого количества сейсмограмм изображения с большими углами раскрытия. Обратная временная миграция сама по себе широко известна в данной области техники в отличие от ее применения в данном случае. Предполагается, что в вариантах осуществления заявленного способа будут применяться технические решения обратной временной миграции, которые неодинаковы для больших углов раскрытия и остальных углов. Одно из таких технических решений описано в опубликованном патенте США 2014/0293744, который называется «Зеркальный фильтр (SF) и сейсмическая миграция с частичным изображением в направлении падения (DOP)», поданном 31 марта 2014 года от имени изобретателя Qie Zhang и принадлежащем тому же правообладателю.

[0059] В контексте настоящего описания изобретения «большие углы раскрытия» означают углы, которые больше или равны приблизительно 160° . Как показано на фиг. 4, обычно они включают в себя то, что в данной области техники называют «ныряющими волнами» 400 и энергией 410 обратного рассеяния. Ныряющие волны 400 представляют собой те волны, не отражающиеся, а преломляющиеся на поверхности 420 земли, где происходит регистрация. Изменения сейсмической скорости, характеризующей подземную толщу 430 горных пород, постепенно изменяют направление распространения энергии и перенаправляют ее траекторию не вниз, а вверх. Угол раскрытия вдоль пути ныряющих волн равен 180° . Энергия 410 обратного рассеяния является результатом отражения от отражающей поверхности 440 в подземной толще горных пород 430. Угол раскрытия вдоль пути волны 410 обратного рассеяния имеет величину 180° .

[0060] В данном контексте «приблизительно» означает, что точное измерение того, что составляет «большой угол раскрытия» может до некоторой степени изменяться в зависимости от точности алгоритма обратной временной миграции. В этом случае можно ослабить требования до значений $\geq 160^\circ$, чтобы включить значительное количество энергии, которая близка к этому углу, хотя и не совсем равна тому, что желательно. Таким

образом, в некоторых вариантах осуществления требования могут быть ослаблены с тем, чтобы охватить эту энергию. Специалисты в данной области техники понимающие преимущества настоящего раскрытия, при реализации заявленного способа легко смогут составить собственное мнение на этот счет.

[0061] Как отмечено выше, предполагается, что в большинстве вариантов осуществления будут применять технические решения обратной временной миграции (RTM), которые будут различать и отбирать сейсмограммы с большими углами раскрытия. Обратная временная миграция представляет собой пример миграции на основе волнового поля, где волновые поля генерируют и используют для формирования сейсмического изображения путем прямого моделирования волнового поля (или волнового поля источника), выполняют обратное распространение набора зарегистрированных сейсмических данных при помощи той же программы прямого моделирования (волновое поле приемника), и применяют условие получения изображения, например, взаимная корреляция при нулевой задержке между волновыми полями источника и приемника. Способы миграции на основе волнового поля, как правило, считают желательными для подземной области, имеющей сложное геологическое строение и содержащей геологические структуры с крутым падением. И хотя обратная временная миграция более затратна, чем лучевая миграция, она дает более точное сейсмическое изображение.

[0062] На фиг. 2 показано, что далее способ 200 продолжает суммирование (в блоке 230) сейсмограмм изображения с большими углами раскрытия для получения изображения освещенности ныряющей волны. Заметим, что изображение освещенности ныряющей волны содержит не только ныряющие волны, но также и энергию обратного рассеяния, чьи углы раскрытия составляют $\geq 160^\circ$, как описано выше. Само по себе суммирование широко известно в данной области техники в отличие от его применения в данном контексте. Оно включает в себя суммирование сейсмограмм для генерирования изображения освещенности ныряющей волны.

[0063] Способ 200 затем завершается оценкой (в блоке 240) глубины исследования (DOI) полноволновой инверсии по изображению освещенности ныряющей волны. Обычно это включает в себя визуализацию изображения освещенности ныряющей волны для визуального исследования. Специалистам в данной области техники будет понятно, что глубина исследования представляет собой не число, а скорее зависимость. Как правило, пользователю требуется оценить достаточно ли глубина исследования полноволновой инверсии для изучения интересующей области в геологической среде. Специалисты в данной области техники, понимающие преимущества настоящего раскрытия, смогут найти ответ на этот вопрос путем визуального исследования изображения освещенности

ныряющей волны. Однако в некоторых вариантах осуществления может быть выбрано осуществление этой стадии при помощи компьютерной технологии.

[0064] Точнее, в этом конкретном варианте осуществления получают данные прямого моделирования с частотами менее 6 Гц и рассчитывают изображение обратной временной миграции (RTM) только по части угловых сейсмограмм с большими углами раскрытия $\geq 160^\circ$. То есть, этот вариант осуществления включает в себя только данные обратной временной миграции, которые удовлетворяют условию изображения углов раскрытия, близких к условию изображения ныряющих волн. (Заметим, что это будет включать в себя не только ныряющие волны, но и некоторую энергию обратного рассеяния, как описано выше.) Он различает эти большие углы путем вычисления угловых сейсмограмм в обратной временной миграции при помощи технического решения оптического потока, которое описано в вышеупомянутом опубликованном патенте США 2014/0293744. Для выбранной геометрии съемки соответствующую сумму этих низкочастотных угловых сейсмограмм с большими углами называют изображением освещенности ныряющей волны (DWI), которое почти соответствует глубине исследования полноволновой инверсии для этой же геометрии съемки.

[0065] По существу в данном варианте осуществления предусмотрен трехстадийный способ получения изображения освещенности ныряющей волны, что показано на фиг. 2. Он начинается с прямого моделирования (в блоке 210) по гладкой скоростной модели для получения низкочастотных (2-6 Гц) данных, таких как показаны на фиг. 6. Далее (в блоке 220) следует запуск низкочастотной обратной временной миграции (2-6 Гц), включая вычисление угловых сейсмограмм при помощи технического решения оптического потока, описанного выше. На фиг. 7 представлена графическая визуализация угловых сейсмограмм, полученных путем обратной временной миграции низкочастотных данных в этом варианте осуществления и показанных на фиг. 6. Затем (в блоке 230) получают сумму части угловых сейсмограмм, имеющих большие углы раскрытия. Эта сумма представляет собой изображение освещенности ныряющей волны, которое почти соответствует глубине исследования полноволновой инверсии для выбранной геометрии съемки. На фиг. 8А - 8С представлена графическая визуализация изображений освещенностей ныряющей волны, которые получены из угловых сейсмограмм с большими углами, показанных на фиг. 7, для максимальных удалений 8 км, 12 км и 15 км, соответственно.

[0066] На фиг. 1 показано, что после получения (в блоке 105) изображения освещенности ныряющей волны способ 100 продолжает усечение инверсии ранее полученного (в блоке 110) изображения освещенности ныряющей волны. Несмотря на то,

что изображение освещенности ныряющей волны неизвестно в данной области техники, и инверсия, и усечение изображения, такого как изображение освещенности ныряющей волны, известны в других контекстах. Усечение изображения можно также описать как пороговую фильтрацию с выбранным значением амплитуды. Технические решения инверсии и усечения легко применимы к изображению освещенности ныряющей волны, и можно задействовать любое из таких подходящих технических решений. В представленном варианте осуществления инвертированное изображение освещенности ныряющей волны усечено до значений между 1 и 0.

[0067] После этого выполняют полноволновую инверсию со взвешиванием (в блоке 115). Полноволновая инверсия со взвешиванием включает в себя взвешивание градиента полноволновой инверсии (в блоке 115a) на усеченную инверсию изображения освещенности ныряющей волны. В представленном варианте осуществления это делают путем умножения — градиент полноволновой инверсии умножают на усеченное инвертированное изображение освещенности ныряющей волны. Процедура усечения ограничивает инвертированное изображение освещенности ныряющей волны до части, относящейся к глубине исследования.

[0068] Инверсия и усечение (в блоке 110) дает «вес», с которым итерация полноволновой инверсии может быть предобусловлена для выбранной геометрии исходного изображения освещенности ныряющей волны. В частности, предобуславливают именно градиент полноволновой инверсии (в блоке 115a), и таким образом взвешивание градиента полноволновой инверсии (в блоке 115a) предобуславливает полноволновую инверсию в целом. Поскольку усеченное инвертированное изображение получают из изображения освещенности ныряющей волны, и поскольку это изображение освещенности ныряющей волны зависит от выбранной геометрии, полноволновую инверсию предобуславливают выбранной геометрией.

[0069] Как описано выше, эффект взвешивания градиента полноволновой инверсии (в блоке 115 a) заключается в ограничении объема информации, доступной для полноволновой инверсии. На фиг. 9 показан один конкретный вариант осуществления изображения объема освещенности ныряющей волны. Более темные области 900 указывают на участки в пределах глубины исследования, а более светлые области 905 указывают на области за пределами глубины исследования. На фиг. 10 представлен предобусловленный градиент полноволновой инверсии 1000, который получен по объему освещенности ныряющей волны, показанному на фиг. 9. Область 1005 в градиенте полноволновой инверсии содержит информацию, полезную для полноволновой инверсии. Область 1010 не содержит информации и не полезна для полноволновой инверсии.

[0070] Таким образом, при выполнении полноволновой инверсии (в блоке 115b) со взвешенным градиентом, необходимо выполнять полноволновую инверсию только в тех частях модели, которые соответствуют области 1005 во взвешенном градиенте. В свою очередь это экономит вычислительные ресурсы за счет обновления только часть модели. Однако та часть модели, которую обновляют, представляет собой ту часть модели, которая относится к областям, к которым применяли большие веса в пределах глубины исследования, то есть к областям, представляющим наибольший интерес.

[0071] Затем по желанию выполняют итерации взвешенной полноволновой инверсии (в блоке 115). Однако в каждой итерации инверсию освещенности ныряющей волны усекают с применением различных значений так, что в результате получают усеченную инверсию изображения освещенности ныряющей волны, которая содержит информацию в глубинных частях модели. Поэтому взвешенный градиент полноволновой инверсии в каждой итерации содержит больше информации для обновления модели на большие глубины. Каждая итерация постепенно обновляет всё более глубинные, менее освещенные части скоростной модели. Эти области модели находятся в пределах глубины исследования и, таким образом, сильнее освещены, поэтому обновляются и уточняются в большей степени, чем те области, которые освещены слабее.

[0072] Таким образом, в представленном варианте осуществления описанное техническое решение по существу можно рассматривать как четырехстадийную итеративную процедуру. Сперва для выбранной геометрии съемки получают объем изображения освещенности ныряющей волны. Затем выполняют усечение инверсии объема освещенности ныряющей волны до значений между 1 и 0, при этом большие значения представляют более сильную освещенность ныряющей волны. После этого выполняют полноволновую инверсию полевых данных, полученных при помощи той же геометрии съемки, которую использовали для вычисления объема освещенности ныряющей волны, умножение градиента полноволновой инверсии на этот взвешенный объем с тем, чтобы выделить модель для обновления в пределах сильно освещенной части скоростной модели. Затем усечение и полноволновую инверсию со взвешиванием повторяют столько раз, сколько требуется, изменяя значения усечения с тем, чтобы полноволновая инверсия выполняла обновления всё глубже, в менее освещенных частях скоростной модели.

[0073] Эффективность описанного технического решения можно продемонстрировать на фиг. 11А – 11В. На фиг. 11А показаны обновления возмущения теста «шахматной доски» при помощи традиционного графа полноволновой инверсии, демонстрирующие два среза объема изображения. На фиг. 11В показано модифицированное возмущение теста «шахматной доски» с применением градиента

полноволновой инверсии, предобусловленного освещенностью ныряющей волны согласно техническому решению, раскрываемому в настоящем документе, причем представлены те же два среза объема изображения. Специалисты в данной области техники, знающие как читать эти изображения, увидят, что обновленное возмущение теста шахматной доски на фиг. 11В значительно лучше, чем было на фиг. 11А.

[0074] Таким образом, описанное в настоящем документе техническое решение улучшает использование и эффективность вычислительных ресурсов путем взвешивания полноволновой инверсии с целью его предобусловливания для выбранной геометрии съемки. Это взвешивание приводит к тому, что полноволновую инверсию фокусируют на областях подземной толщи горных пород, сильнее всего освещенных во время съемки, при помощи ограничения начальных итераций такими областями, а в последующих итерациях ее распространяют на область с более слабым освещением. Примечательно, что области с наиболее сильным освещением во время съемки выигрывают от полного числа итераций, так что в результате взвешивания не происходит существенного ухудшения качества конечного результата. Действительно, как показано на фиг. 11А - 11В описанное техническое решение, по крайней мере по некоторым критериям, дает лучший результат.

[0075] Другие варианты осуществления настоящего изобретения будут понятны специалистам в данной области техники при рассмотрении раскрытого в настоящем документе описания изобретения и практического использования изобретения. Предполагается, что описание изобретения и примеры будут рассматриваться только в качестве иллюстрации, а истинное существо и объем изобретения приведены в следующей формуле изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ для применения в сейсморазведке, который предусматривает:
 - получение изображения освещенности ныряющей волны для подземной области по набору сейсмических данных, характеризующих подземную область, при помощи выбранной геометрии съемки;
 - усечение инверсии изображения освещенности ныряющей волны до некоторого диапазона значений;
 - выполнение взвешенной полноволновой инверсии, в том числе:
 - взвешивание градиента полноволновой инверсии при помощи усеченной инверсии изображения освещенности ныряющей волны; и
 - выполнение полноволновой инверсии с применением взвешенного градиента.
2. Способ по п. 1, в котором получение изображения освещенности ныряющей волны предусматривает извлечение существующего изображения освещенности ныряющей волны из хранилища.
3. Способ по п. 1, в котором получение изображения освещенности ныряющей волны предусматривает:
 - прямое моделирование в модели свойств геологической среды подземной области с целью создания набора синтетических низкочастотных сейсмических данных, причем модель свойств геологической среды создают из данных, характеризующих эту подземную область;
 - выполнение обратной временной миграции на низкочастотных сейсмических данных для получения некоторого количества сейсмограмм с большими углами раскрытия; и
 - суммирование сейсмограмм для получения изображения освещенности ныряющей волны.
4. Способ по п. 3, в котором модель свойств геологической среды представляет собой гладкую модель свойств геологической среды.
5. Способ по п. 3, в котором низкочастотные сейсмические данные собирают путем выполнения съемки на частотах в диапазоне приблизительно 2 Гц – 6 Гц.
6. Способ по п. 3, в котором к углам с большим раскрытием относят углы, которые больше, чем приблизительно 160° .
7. Способ по п. 3, в котором модель свойств геологической среды содержит скоростную модель.

8. Способ по п. 3, в котором модель свойств геологической среды получают из набора сейсмических данных.

9. Способ по п.1, дополнительно включающий в себе усечение и взвешивание полноволновой инверсии при помощи второго диапазона значений.

10. Способ по п. 1, в котором усечение инверсии изображения освещенности ныряющей волны до диапазона значений предусматривает усечение инверсии изображения освещенности ныряющей волны до диапазона значений между 0 и 1.

11. Способ по п. 1, в котором выполнение взвешенной полноволновой инверсии включает в себя выполнение взвешенной полноволновой инверсии по сейсмическим данным, полученным для подземной области при помощи выбранной геометрии съемки.

12. Способ по п. 1, в котором выполнение взвешенной полноволновой инверсии предусматривает выполнение взвешенной полноволновой инверсии по сейсмическим данным, полученным для подземной области при помощи выбранной геометрии съемки.

13. Способ для применения в сейсморазведке, который предусматривает:
объективную количественную оценку глубины исследования в подземной области для выбранной геометрии съемки;

обновление модели свойств геологической среды для подземной области до объективно количественно оцененной глубины исследования, в том числе:

 взвешивание градиента полноволновой инверсии на объективно оцененную глубину исследования; и

 выполнение взвешенной полноволновой инверсии с применением градиента взвешенной полноволновой инверсии на модели свойств геологической среды с применением сейсмических данных, характеризующих эту подземную область и полученных при помощи выбранной геометрии съемки; и

 итеративное выполнение последующих взвешенных полноволновых инверсий при помощи по-разному взвешенных градиентов полноволновой инверсии с целью обновления модели свойств геологической среды до глубин, превышающих глубину исследования.

14. Способ по п. 13, в котором получение изображения освещенности ныряющей волны предусматривает:

 прямое моделирование в модели свойств геологической среды подземной области с целью создания набора синтетических низкочастотных сейсмических данных, причем модель свойств геологической среды создают из данных, характеризующих эту подземную область;

выполнение обратной временной миграции на низкочастотных сейсмических данных с целью получения некоторого количества сейсмограмм с большими углами раскрытия; и

суммирование сейсмограмм для получения изображения освещенности ныряющей волны.

15. Способ п. 14, в котором модель свойств геологической среды представляет собой гладкую модель свойств геологической среды.

16. Способ по п. 14, в котором низкочастотные сейсмические данные получают путем выполнения съемки на частотах в диапазоне приблизительно 2 Гц – 6 Гц.

17. Способ по п. 14, в котором к углам с большим раскрытием относят углы, которые больше, чем приблизительно 160° .

18. Способ для использования в сейсморазведке, который предусматривает:
получение данной геометрии съемки;
предобусловливание полноволновой инверсии по модели свойств геологической среды подземной области при помощи данной геометрии съемки; и
выполнение предобусловленной полноволновой инверсии на модели геологической среды.

19. Способ по п. 18, в котором предобусловливание полноволновой инверсии предусматривает:

объективную количественную оценку глубины исследования для модели свойств геологической среды с применением выбранной геометрии съемки; и

взвешивание градиента полноволновой инверсии на объективно оцененную глубину исследования.

20. Способ по п. 19, в котором взвешивание градиента полноволновой инверсии предусматривает:

получение изображения освещенности ныряющей волны для подземной области по набору сейсмических данных, характеризующих подземную область при помощи данной геометрии съемки;

усечение инверсии изображения освещенности ныряющей волны до некоторого диапазона значений; и

взвешивание этого градиента полноволновой инверсии при помощи усеченной инверсией изображения освещенности ныряющей волны.

21. Способ для применения в сейсморазведке, который предусматривает:

получение изображения освещенности ныряющей волны для подземной области по набору сейсмических данных, характеризующих подземную область, при помощи выбранной геометрии съемки;

усечение инверсии изображения освещенности ныряющей волны до некоторого диапазона значений;

выполнение взвешенной полноволновой инверсии, в том числе:

взвешивание градиента полноволновой инверсии при помощи усеченной инверсии изображения освещенности ныряющей волны; и

выполнение полноволновой инверсии с применением взвешенного градиента.

22. Способ по п. 21, в котором получение изображения освещенности ныряющей волны предусматривает:

прямое моделирование в модели свойств геологической среды подземной области с целью создания набора синтетических низкочастотных сейсмических данных, причем модель свойств геологической среды создают из данных, характеризующих эту подземную область;

выполнение обратной временной миграции по низкочастотным сейсмическим данным с целью получения некоторого количества сейсмограмм с большими углами раскрытия; и

суммирование сейсмограмм с целью получения изображения освещенности ныряющей волны.

23. Способ по п. 22, в котором модель свойств геологической среды представляет собой гладкую модель свойств геологической среды.

24. Способ по п. 22, в котором низкочастотные сейсмические данные получают путем выполнения съемки на частотах в диапазоне приблизительно 2 Гц – 6 Гц.

25. Способ по п. 22, в котором к углам с большим раскрытием относят углы, которые больше, чем приблизительно 160° .

26. Способ по п. 21, в котором усечение инверсии изображения освещенности ныряющей волны до диапазона значений предусматривает усечение инверсии изображения освещенности ныряющей волны до диапазона значений между 0 и 1.

27. Устройство, содержащее:

хранилище;

канал передачи информации;

процессор, взаимодействующий с хранилищем по каналу передачи информации;

набор сейсмических данных, который находится в хранилище, сейсмические данные, характеризующие подземную область и полученные при помощи выбранной геометрии съемки;

программную компоненту, которая находится в хранилище; при исполнении ее процессором она осуществляет способ для применения в сейсморазведке, который предусматривает:

получение изображения освещенности ныряющей волны для подземной области по набору сейсмических данных;

усечение инверсии изображения освещенности ныряющей волны до некоторого диапазона значений;

выполнение взвешенной полноволновой инверсии, в том числе:

взвешивание градиента полноволновой инверсии при помощи усеченной инверсии изображения освещенности ныряющей волны; и

выполнение полноволновой инверсии с применением взвешенного градиента.

28. Устройство по п. 27, в котором получение изображения освещенности ныряющей волны предусматривает:

прямое моделирование в модели свойств геологической среды подземной области с целью создания набора синтетических низкочастотных сейсмических данных, причем модель свойств геологической среды создают из данных, характеризующих эту подземную область;

выполнение обратной временной миграции по низкочастотным сейсмическим данным с целью получения некоторого количества сейсмограмм с большими углами раскрытия; и

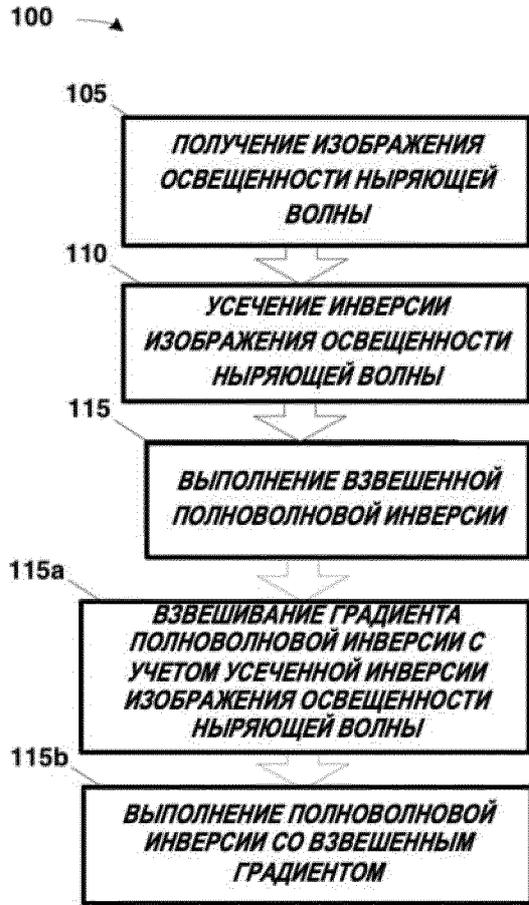
суммирование сейсмограмм с целью получения изображения освещенности ныряющей волны.

29. Устройство по п. 28, в котором модель свойств геологической среды представляет собой модель свойств геологической среды.

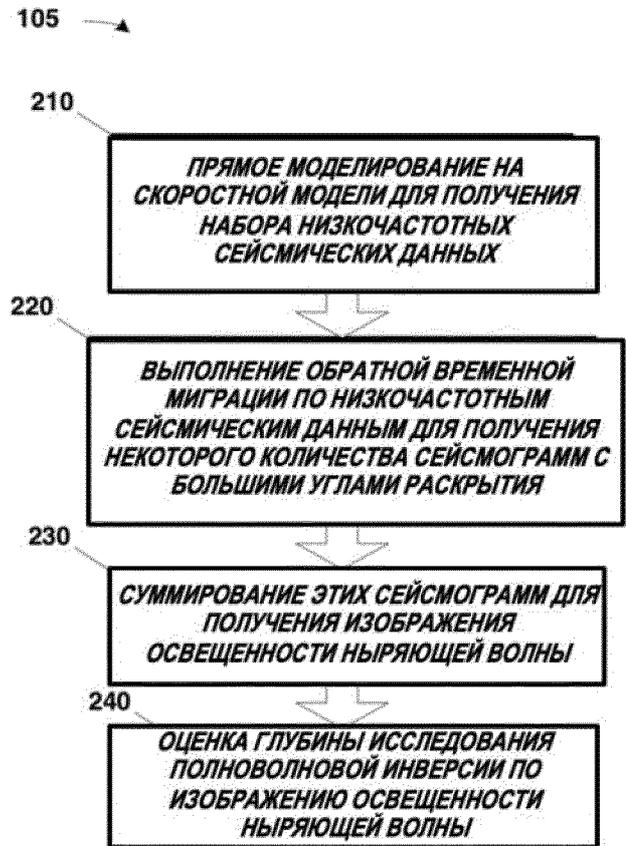
30. Устройство по п. 28, в котором низкочастотные сейсмические данные получают путем выполнения съемки на частотах в диапазоне приблизительно 2 Гц – 6 Гц.

31. Устройство по п. 28, в котором к углам с большим раскрытием относят углы, которые больше, чем приблизительно 160° .

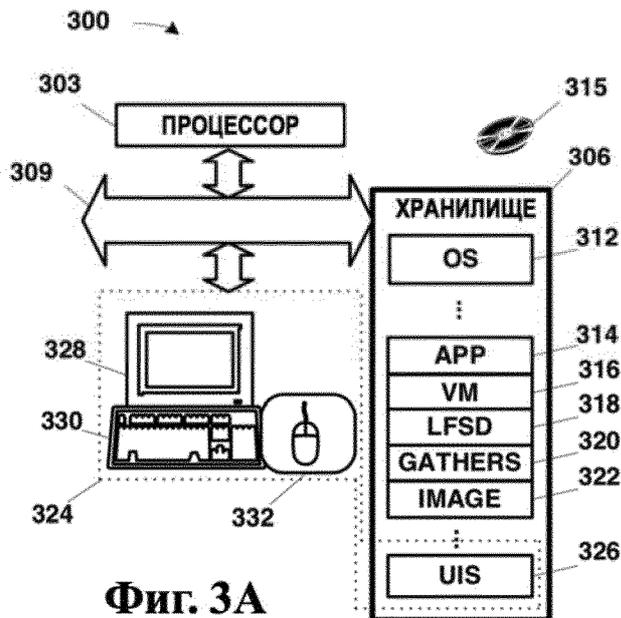
32. Устройство по п. 27, в котором усечение инверсии изображения освещенности ныряющей волны до диапазона значений предусматривает усечение инверсии изображения освещенности ныряющей волны до диапазона значений между 0 и 1.



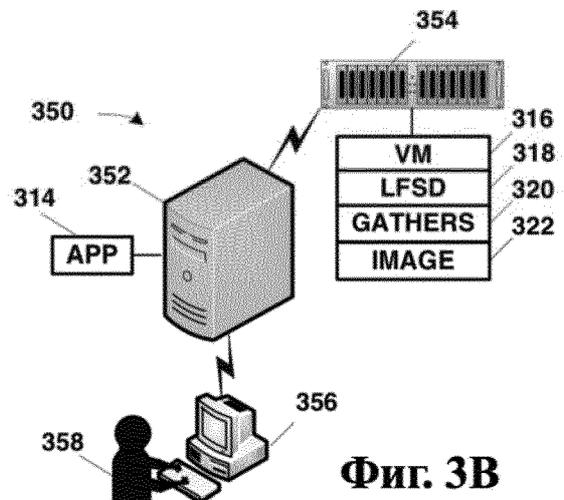
Фиг. 1



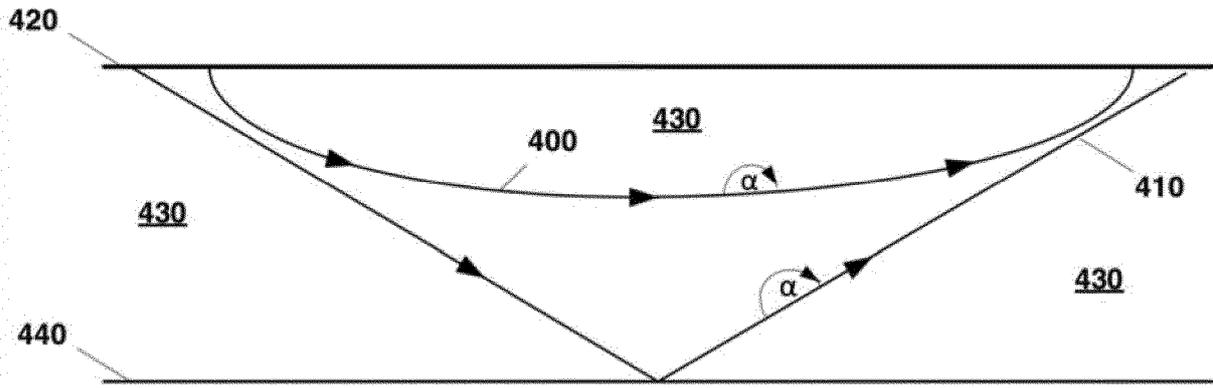
Фиг. 2



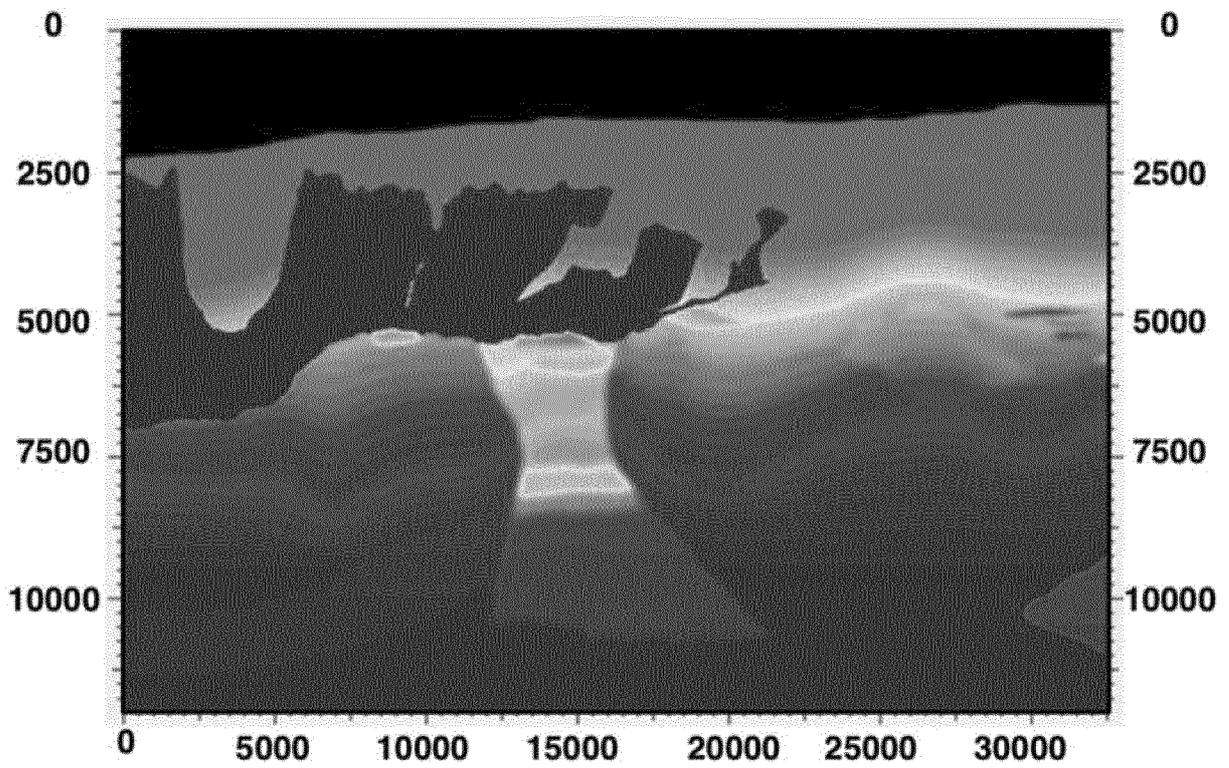
Фиг. 3А



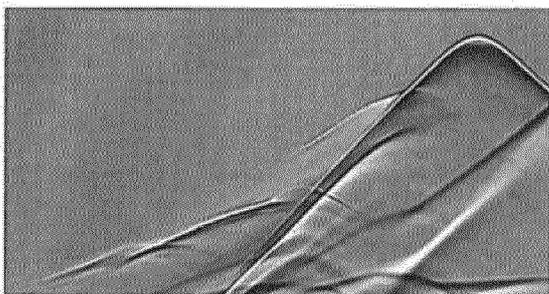
Фиг. 3В



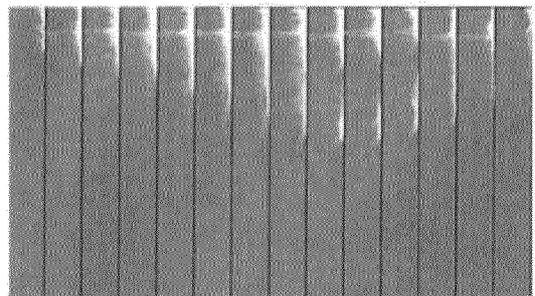
Фиг. 4



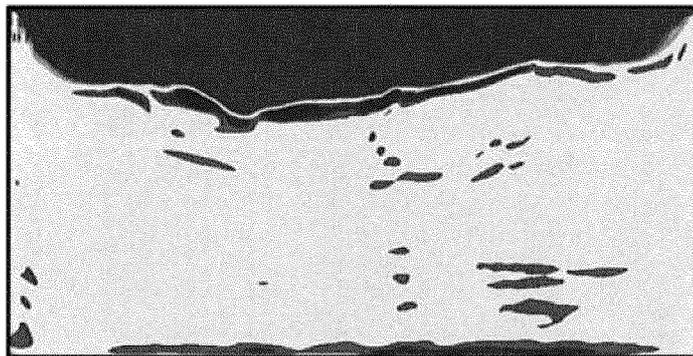
Фиг. 5



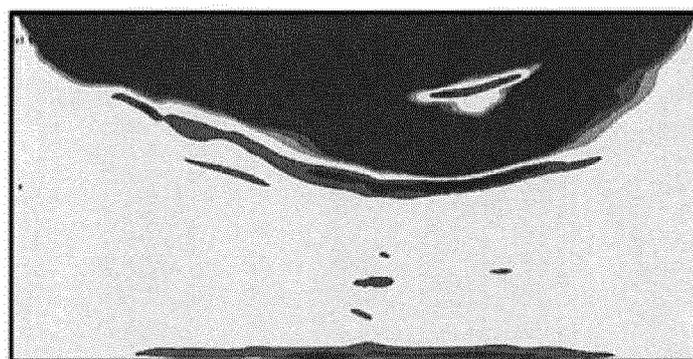
Фиг. 6



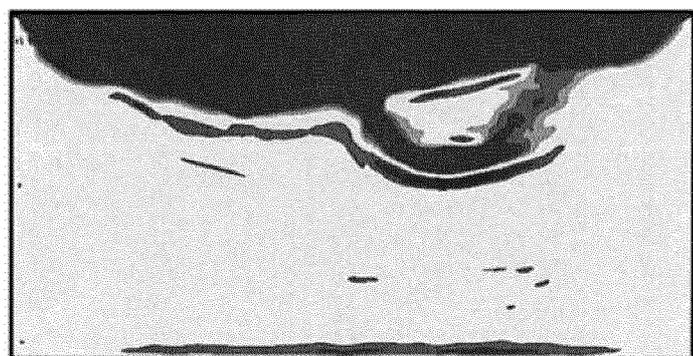
Фиг. 7



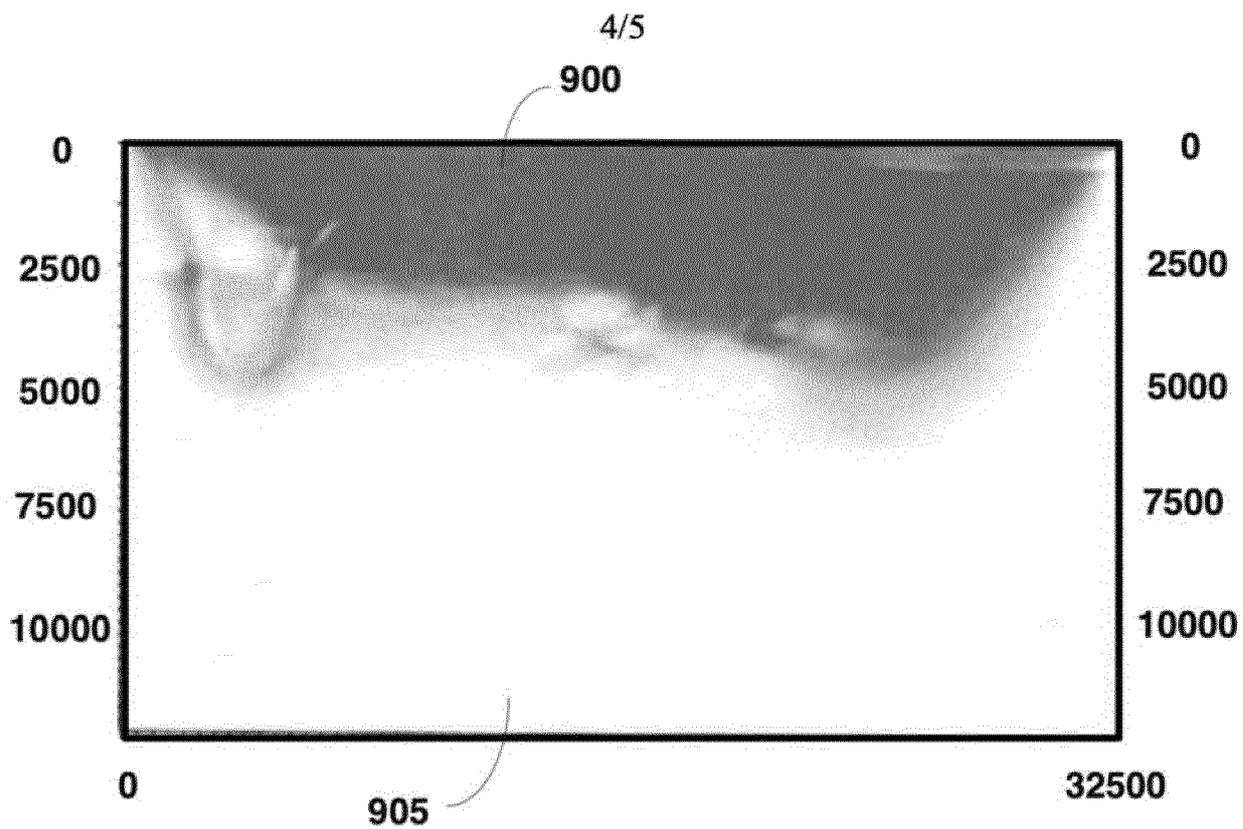
Фиг. 8А



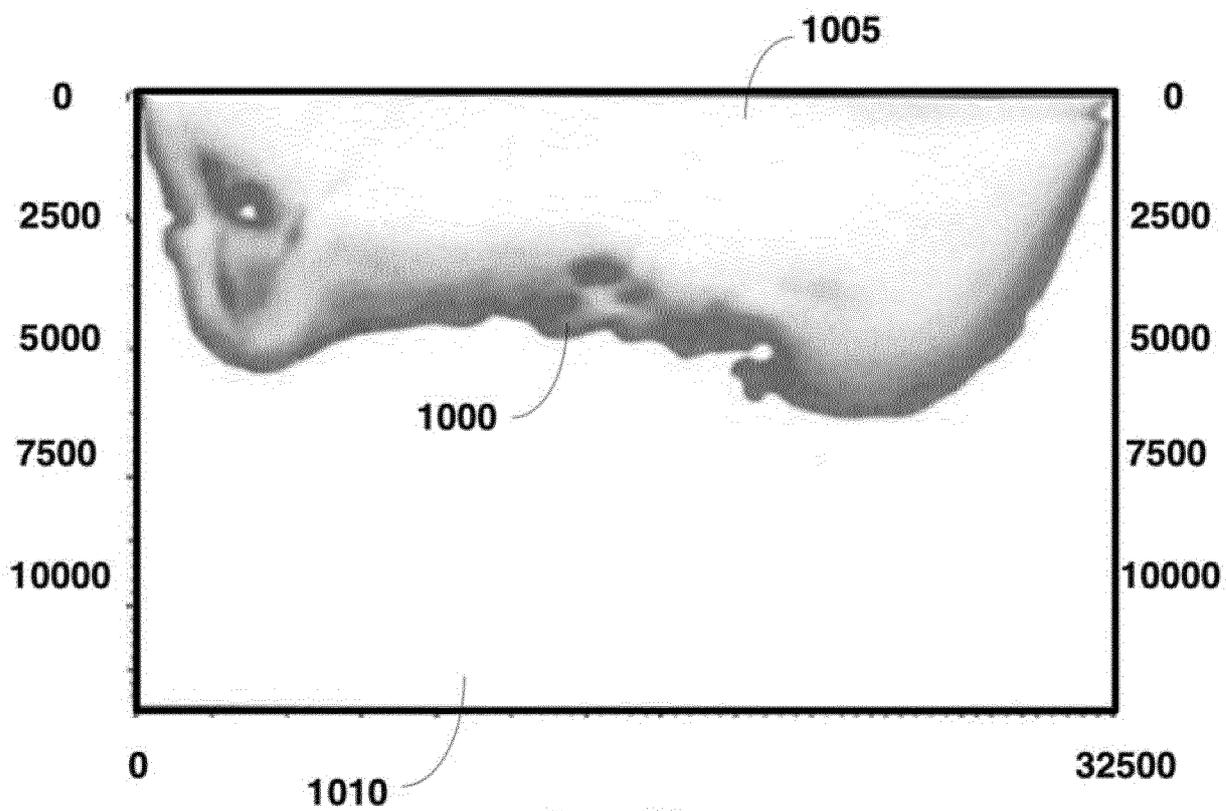
Фиг. 8В



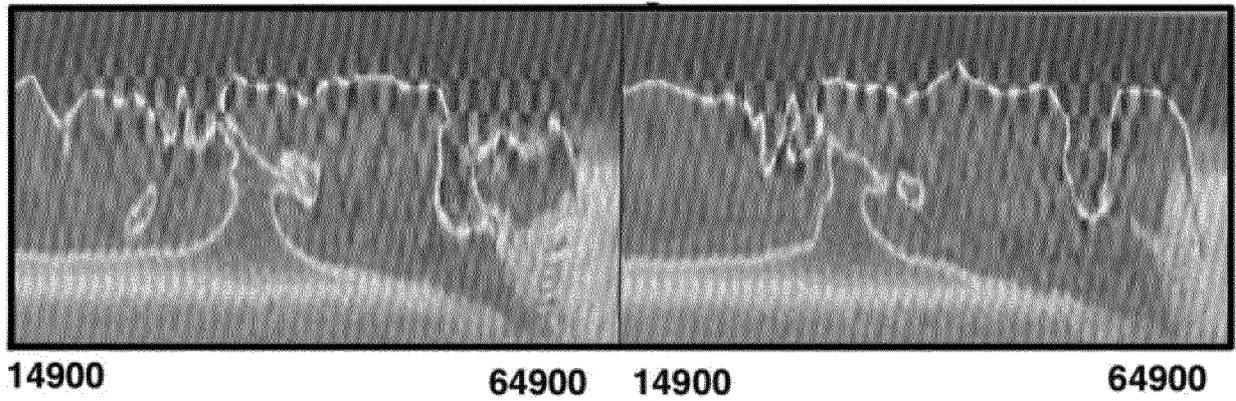
Фиг. 8С



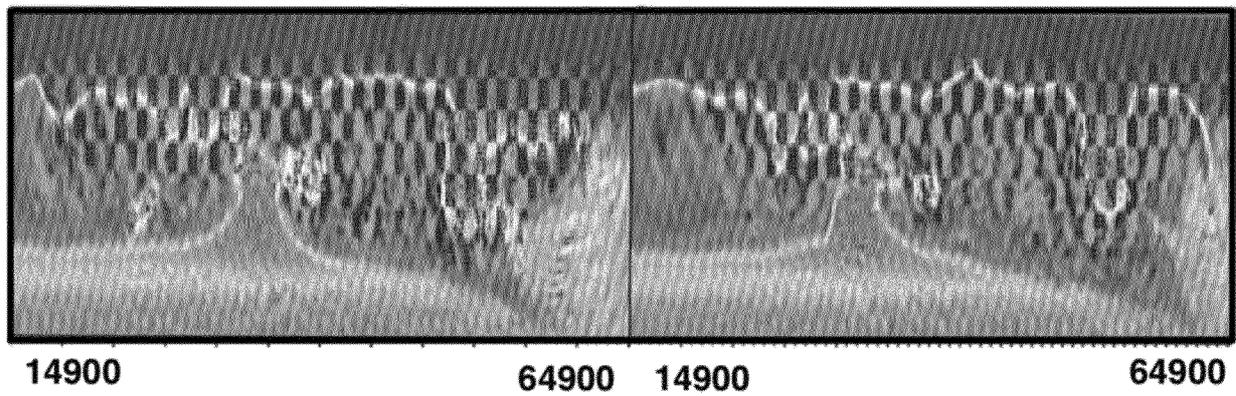
ФИГ. 9



ФИГ. 10



Фиг. 11А
(Уровень техники)



Фиг. 11В