

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **031663**

(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2019.02.28

(51) Int. Cl. **G01V 99/00** (2009.01)
G01V 1/00 (2006.01)

(21) Номер заявки
201591343

(22) Дата подачи заявки
2014.03.12

(54) СПОСОБ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ГЕОЛОГИИ

(31) 13/804,702

(32) 2013.03.14

(33) US

(43) 2015.11.30

(86) PCT/US2014/024632

(87) WO 2014/159664 2014.10.02

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**БИПИ КОРПОРЕЙШН НОРД
АМЕРИКА ИНК. (US)**

(72) Изобретатель:
Этген Джон (US)

(74) Представитель:
Гизатуллина Е.М. (RU)

(56) US-B2-7043367

US-A1-2012265510

H. roice nelson: "New technologies in exploration Geophysics", 1 January 1983 (1983-01-01), Gulf Publishing Company, Houston, XP002733054, ISBN: 0-87201-321-9, pages 137-157, page 137-157

LERAT O. ET AL.: "Construction of a Stochastic Geological Model Constrained by High-Resolution 3D Seismic Data - Application to the Girassol Field Offshore Angola", SPE INTERNATIONAL OIL AND GAS CONFERENCE AND EXHIBITION, XX, XX, 11 November 2007 (2007-11-11), pages 1-16, XP002568891, the whole document

(57) Один из аспектов настоящего изобретения предусматривает способ построения геологических/стратиграфических моделей Земли с целью математического моделирования явлений, представляющих интерес, таких как распространение сейсмических волн, движение флюидов, моделирование пластов и т.п. В одном из вариантов осуществления настоящего изобретения используются стохастические методы создания моделей свойств материалов, которые обладают требуемыми статистическими свойствами, путем численного моделирования отложения геологических слоев. Описанный способ позволяет создавать модели с множеством параметров материала по результатам численной реализации самых разных геологических процессов.

B1

031663

031663 B1

Область техники, к которой относится настоящее изобретение

Настоящее изобретение относится к общей тематике сейсмических исследований, в частности к способам создания моделей геологической среды, которые используются для моделирования обнаружения сейсмических и прочих сигналов, характеризующих геологическую среду, с целью проведения сейсмического исследования и/или наблюдения.

Предшествующий уровень техники настоящего изобретения

Сейсмическая съемка представляет собой попытку построения изображения или картирования геологической среды путем посылки акустических волн вглубь земли и регистрации "эха", отражающегося от залегающих ниже слоев породы. Источником посылаемых вниз акустических волн могут служить, к примеру, взрывы на поверхности земли или наземные сейсмические вибраторы, а также пневматические излучатели упругих волн, применяемые в морской среде. Во время проведения сейсмической съемки источники акустических волн устанавливаются в различных точках вблизи поверхности земли над геологической структурой, представляющей интерес. Всякий раз при активации такого источника он генерирует сейсмический сигнал, который уходит вниз через толщу земли. "Эхо" такого сигнала затем регистрируется множеством пунктов приема на поверхности. После этого записи с множества пунктов приема сводятся воедино для создания практически непрерывного профиля геологической среды, которая может тянуться на множество миль. При проведении двухмерной (2-D) сейсмической съемки пункты регистрации обычно располагаются вдоль одной линии, тогда как при трехмерной (3-D) сейсмической съемке пункты регистрации распределены по поверхности так, что они образуют сетчатую структуру. Проще говоря, двухмерный сейсмический профиль может пониматься как изображение в разрезе (вертикальное сечение) слоев земли, располагающихся непосредственно под точками регистрации. Трехмерная сейсмическая съемка дает "куб" или трехмерный массив данных, т.е., по меньшей мере, концептуально трехмерное изображение геологической среды, которая располагается непосредственно под площадью съемки. Хотя в действительности, как при двухмерной съемке, так и при трехмерной съемке исследуется некий объем земли, располагающийся под площадью поверхности, охваченной исследованием. И, наконец, четырехмерная (4-D) съемка (или периодические наблюдения) заключается в регистрации данных по одному и тому же участку в разные моменты времени (два раза и более). Очевидно, что при сравнении удачных изображений геологической среды любые наблюдаемые на них изменения (исходя из того, что учитывается несходство формы импульса источника, приемников, регистраторов, уровней шума окружающей среды и т.п.) будут соотноситься с изменениями в геологической среде.

Сейсмическая съемка состоит из большого количества отдельных сейсмических записей или трасс. Цифровые выборки сейсмических трасс обычно поступают с интервалом в 0,002 с (2 миллисекунды или "мс"), хотя также часто используется частота дискретизации в 4 и 1 мс. Обычная длина записи составляет 5-16 с, что соответствует 2500-8000 выборкам с интервалом в 2 мс. Обычно при каждой активации источника сейсмических колебаний регистрируется одна трасса или запись, т.е. каждой активации действующего источника-приемника сейсмических колебаний соответствует одна запись. В некоторых случаях может быть одновременно активировано множество физических источников, но в настоящем документе "источником" будет называться комбинированный сигнал вне зависимости от того, сгенерирован ли он одним источником или множеством физических источников.

При проведении стандартной двухмерной съемки обычно создается несколько десятков тысяч записей, тогда как при трехмерной съемке количество отдельных записей или трасс может достигать многих миллионов.

Особый интерес в контексте настоящей заявки представляет создание и использование при сейсмических исследованиях моделей геологической среды. Уже давно известен способ создания наилучших моделей геологической среды, основанный на интерпретированных сейсмических данных, каротажных кривых и т.п. с последующим сравнением синтетических сейсмических профилей и кубов данных, полученных по данным моделирования, с фактически зарегистрированными сейсмическими данными. Затем, при условии, что синтетические данные соответствуют наблюдаемым данным, подтверждается корректность модели и, таким образом, правильность понимания фактического геологического строения. Синтетические данные, полученные по моделям геологической среды, также могут использоваться для выбора параметров и способов получения сейсмических данных, которые наилучшим образом воспроизводят структуру, смоделированную с помощью модели геологической среды. Однако определение множества физических параметров, которые потенциально могли бы быть включены в такую модель, может оказаться чрезвычайно трудной задачей.

Далее, фактическая геологическая среда обычно содержит некоторое количество крупных комплексов горных пород (отражающих горизонтов) вместе с огромным количеством прочих слоев, обнаружение которых ниже пределов обычной разрешающей способности сейсмической разведки. Все вместе эти тонкие слои могут изменять сейсмический сигнал таким образом, что иногда это сразу заметно, а иногда нет. Создание сейсмических моделей, отображающих такой тип мелкомасштабного геологического строения, обычно требует таких знаний о геологической среде, которые могут быть недоступны до тех пор, пока не будет пробурена скважина, когда сейсмическое моделирование для проведения разведочных работ может оказаться уже ненужным.

В настоящее время большинство моделей физических свойств или выводятся по имеющимся данным, или вычерчиваются вручную или создаются с помощью интерактивных программных средств САПР. Эти способы характеризуются одним из следующих ограничений или обоими такими ограничениями: модели содержат элементы только в масштабе данных, по которым они были выведены; или они содержат только те элементы, которые удобно вычерчивать. В моделях такого типа не содержатся все статистические данные, в полной мере характеризующие реальные геологические слои; проще говоря, они часто чрезмерно упрощены.

Как хорошо известно, в сфере сейсморазведочных работ и обработки сейсмических данных до сих пор существует потребность в системе и способе, который обеспечил бы более эффективное построение моделей геологической среды, используемых при сейсмических исследованиях, и который не имел бы тех недостатков, которые присущи предшествующему уровню техники. Соответственно следует отдавать себе отчет, как это поняли авторы настоящего изобретения, что существует и еще некоторое время будет существовать реальная потребность в способе обработки сейсмических данных, который мог бы решить указанные выше проблемы.

Однако перед тем как приступить к описанию настоящего изобретения, следует отметить и помнить, что описание изобретения, представленное ниже вместе с прилагаемыми чертежами, не следует рассматривать как ограничивающее объем заявленного изобретения представленными или описанными примерами или вариантами его осуществления, поскольку специалисты в данной области техники, которым адресовано настоящее изобретение, способны разработать иные варианты его осуществления в рамках объема прилагаемой формулы изобретения.

Краткое раскрытие настоящего изобретения

Согласно одному из аспектов настоящего изобретения предложена система и способ сейсмического исследования, совершенствующий используемый до настоящего времени метод создания модели геологической среды.

Согласно одному из аспектов настоящего изобретения для численного моделирования отложения геологических слоев и построения модели свойств материала по любой физической шкале, выбранной пользователем, был использован стохастический метод. Этот метод может включать в себя/моделировать широкий спектр геологических процессов с получением самых разнообразных и подробных геологических моделей, которые могут быть использованы при моделировании распространения сейсмических волн или ином моделировании, представляющим интерес.

В одном из вариантов осуществления настоящего изобретения синтетическое моделирование осадконакопления используется для воспроизведения стратиграфического положения пластов. В этом варианте осуществления настоящего изобретения в ходе численного процесса сначала определяются пространственно-временные распределения вероятностей в отношении песчаных и сланцевых отложений (и их смесей или иных геологических образований, в зависимости от положения) на основе доступных данных, таких как сейсмические данные, каротажные кривые и геологические карты, для района заданного типа. Затем программа использует эти распределения вместе с набором "геологических правил" для моделирования отложения слоев, составляя стратиграфический профиль. Одно из типовых правил, например, гласит о том, что новые песчаные впадины могут врезаться в подстилающие слои.

Кроме того, в некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения результаты моделирования содержат мелкие детали по всем шкалам, что делает такие модели полезными для инженеров-промышленников, геологов, литологов и специалистов в других сферах. Далее в некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения может быть выведена морфология различных форм, в том числе, исключительно для примера, схем гидрографической сети (древовидной, параллельной, прямоугольной и пр.) или форм отложений (эоловых, дельтовых, речных и т.п.).

Конечно, в рамках объема настоящего изобретения возможны и иные варианты и формы его осуществления, которые могут быть без труда сформулированы специалистами в данной области техники на основе представленного описания.

Выше в общих чертах были изложены важнейшие признаки раскрытого в настоящей заявке изобретения с тем, чтобы подробное описание, следующее ниже, стало более понятным, а также с тем, чтобы можно было по достоинству оценить вклад авторов настоящего изобретения в совершенствование существующей техники. Настоящее изобретение не ограничено в своем применении деталями конструкции и схемами расположения элементов, упомянутыми в нижеследующем описании или проиллюстрированными на чертежах. Напротив, заявленное изобретение может быть осуществлено и в иных вариантах, а также реализовано на практике самыми разными способами, не обязательно перечисленными в настоящем документе. И, наконец, следует понимать, что фразеология и терминология, используемая в настоящей заявке, служит лишь целям описания, и не должна рассматриваться как носящая ограничительный характер, если в описании четко не указано иное.

Краткое описание фигур

Прочие цели и преимущества настоящего изобретения станут понятными после ознакомления со следующим подробным описанием в привязке к чертежам, где на фиг. 1 проиллюстрирована операционная логика, пригодная для использования с настоящим

изобретением.

На фиг. 2 представлено схематическое изображение каркаса модели, в который добавляется приращениями некоторое количество уровней.

На фиг. 3 показано подробное схематическое изображение страницы.

На фиг. 4 показана общая рабочая среда настоящего изобретения.

На фиг. 5 приведен пример модели, которая может быть создана согласно одному из вариантов осуществления настоящего изобретения.

На фиг. 6 приведен конкретный пример некоторых страниц, которые могут быть соотнесены с главой, где описано дельтовое осадконакопление.

На фиг. 7 проиллюстрирован общий процесс использования моделей согласно настоящему изобретению для выбора параметров сейсмосьемки.

Подробное раскрытие настоящего изобретения

Ниже на чертежах показаны и подробно описаны некоторые конкретные варианты осуществления настоящего изобретения, хотя доступны и иные варианты его реализации в самых разных формах. Однако необходимо понимать, что настоящее описание следует рассматривать лишь в качестве иллюстрации принципов заявленного изобретения и что настоящее изобретение не ограничивается конкретными вариантами его осуществления или алгоритмами, представленными в этом документе.

Варианты осуществления настоящего изобретения

В одном из вариантов осуществления настоящего изобретения синтетическое моделирование осадконакопления используется для воспроизведения стратиграфического положения пласта, результаты которого могут быть впоследствии использованы при исследовании геологической среды на предмет наличия, помимо прочего газа и нефти.

Сначала обратимся к фиг. 4, на которой представлен общий обзор настоящего изобретения и связанной с ним рабочей среды. Как видно, в общем плане сейсмическая разведка (например, морская, наземная, их сочетание и т.п.) обозначается как позиция (410), обычно с учетом конкретной подземной цели или целей. Специалистам в данной области техники понятно, как это работает, в частности, как это работает тогда, когда цель заключается в построении изображения конкретной подземной цели.

В полевых условиях сейсмические данные будут собираться стандартными или нестандартными методами (стадия (420)) путем установки источников и приемников, активации указанных источников и регистрации возвращающихся сейсмических сигналов. В некоторых случаях приемники представляют собой сейсмические косы, которые буксируются за источником акустических волн или судном. В других случаях приемники могут представлять собой донные косы, применяемые вместо буксируемых сеймоприёмных кос или в дополнение к ним. Наземные приемники могут представлять собой проводные или беспроводные геофоны.

Далее, как это традиционно принято, выполняется первоначальная обработка данных с тем, чтобы связать каждую сейсмическую запись с пунктом приема на поверхности земли или в ином месте (стадия (430)). Эта операция может быть выполнена в полевых условиях или в центре обработки данных. В обоих случаях обработка данных будет проводиться с помощью вычислительной системы (450), которая может быть представлена в виде рабочей станции, сервера, центрального устройства, параллельного компьютера, сетевой группы компьютеров или рабочих станций и т.п.

В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения алгоритмы визуализации сейсмических данных, а также алгоритмы, которые реализуют способы, описанные в настоящем документе, будут доступны компьютеру (450), который должен их исполнять. Такие алгоритмы могут считываться с некоторых локальных или удаленных жестких дисков или иных накопителей (позиция (440)). Дополнительные алгоритмы, которые целесообразно использовать при обработке сейсмических данных, будут аналогичным образом поступать в ЦП (450), который может представлять собой любое стандартное или нестандартное программируемое вычислительное устройство или устройства.

Обработанные/визуализированные сейсмические данные и информация, полученные способами, описанными в настоящем документе, могут быть отображены на графическом устройстве, таком как рабочая станция (470) или монитор компьютера, а также представлены в печатном виде (например, распечатанные сейсмические профили), с использованием способов, хорошо известных любому специалисту в данной области техники. Помимо обработанных сейсмических данных, в рамках процесса принятия решения о бурении пользователем могут быть рассмотрены и проанализированы признаки и расшифровки, полученные по результатам сейсмической разведки и/или по результатам сейсмической разведки в сочетании с данными из других источников (например, каротажными кривыми, спутниковыми снимками, данными гравиметрических исследований, данными электромагнитной разведки и т.п.).

Кроме того, что представляет интерес применительно к настоящему изобретению, расшифрованные сейсмические данные часто используются для того, чтобы помочь в построении приближенных моделей геологической среды, которые в некоторых случаях могут оказаться полезными для построения работы моделирующих алгоритмов согласно настоящему изобретению, например, в качестве исходных данных при выборе параметров, которые будут использоваться при разработке модели.

В одном из вариантов осуществления настоящего изобретения результаты применения описывае-

мого способа включают в себя получение усовершенствованных моделей геологической среды, которые могут быть использованы для создания синтетических сейсмических данных, более репрезентативных в сравнении с данными, полученными в полевых условиях, и, таким образом, обеспечивающих лучшее понимание геологической среды. Например, как это показано на фиг. 7, модели (715) геологической среды, предусмотренные настоящим изобретением, могут быть использованы для выбора параметров, необходимых для получения сейсмических данных в полевых условиях, которые дают более качественное изображение геологической среды, чем имеющиеся на данный момент данные. В таком случае модель геологической среды вводится в вычислительную систему (720), где будут рассчитаны синтетические сейсмические данные (725). Синтетические данные моделируются и обрабатываются по схеме, аналогичной той, которая используется для обработки реальных данных, как это показано на фиг. 4. Результатом этого процесса становятся массивы синтетических сейсмических данных, которые могут быть впоследствии использованы для тестирования параметров сейсмостоемкости и проектирования новых методов разведки, которые обеспечивают лучшее построение изображений структуры, имитируемой моделью геологической среды.

Кроме того, модели как таковые могут быть использованы для обеспечения проникновения в сущность явлений, когда целью является прогнозирование и/или мониторинг миграции и добычи нефти (движения флюидов и т.п.) в сложных пластах. Их дальнейшее использование будет понятно любому специалисту в данной области техники.

И, наконец, результаты применения описываемого способа (включая сами модели и рассчитанные по ним величины) могут быть использованы самостоятельно или в сочетании с данными другого типа в рамках процесса разведки (позиция (490)), включая их использование для принятия решения о целесообразности бурения. Кроме того, в некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения модели, выполненные способами, описываемыми в настоящем документе, могут быть использованы для получения расчетных показателей по свойствам пластов и прогнозирования и/или мониторинга объемов добычи с разработанных пластов с использованием методов, хорошо известных любому специалисту в данной области техники. Это может быть особенно полезным там, где страницы содержат информацию о пористости, проницаемости и т.д. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения результаты применения описываемого способа используются для моделирования пластов с использованием методов, хорошо известным любому специалисту в данной области техники.

Теперь вернемся к более подробному описанию изобретения. В одном из вариантов осуществления настоящего изобретения в ходе численного процесса сначала определяются пространственно-временные распределения вероятностей в отношении песков, сланцев (и их смесей) или иных геологических образований, в зависимости от их положения, на основе доступных данных, таких как сейсмические данные, каротажные кривые и геологические карты, для района заданного типа. Затем программа использует эти распределения вместе с набором "геологических правил" для моделирования отложения слоев, составляя стратиграфический профиль. Затем программа использует эти распределения вместе с набором "геологических правил" для моделирования отложения слоев, составляя стратиграфический профиль. Одно из типовых правил, например, гласит о том, что новые песчаные впадины могут врезаться в подстилающие слои.

Как и в исходном примере, на фиг. 5 проиллюстрирована реализация разреза мощностью 900 м, полученного по модели согласно настоящему изобретению. Этот конкретный пример может рассматриваться как вертикальное сечение, проходящее через трехмерную модель геологической среды. Серая шкала отображает плотность: самый темный цвет соответствует чисто песчаным отложениям; самый светлый цвет обозначает чистые сланцы; а промежуточные цвета указывают на песчано-сланцевые отложения. Модель отображается с преувеличением вертикального масштаба над горизонтальным в соотношении 25:1 с тем, чтобы можно было четко видеть фактическую едва различимую латеральную изменчивость разреза по простиранию. Стоит отметить мелкомасштабную геологическую структуру, полученную согласно настоящему изобретению.

В качестве следующего примера фиг. 6А-6D иллюстрируют некоторые сценарии, пригодные для использования в дельтовых условиях осадконакопления. В этом конкретном случае выбраны размеры модели 100 на 150 км. В варианте реализации заявленного изобретения по этому примеру на фиг. 6А показаны русловые условия осадконакопления; фиг. 6В отображает условия осадконакопления для прируслового вала, на фиг. 6С представлены пойменные условия осадконакопления; а фиг. 6D иллюстрирует дельтовый конус выступа. Следует иметь в виду, что при желании эти фигуры могут быть представлены в форме вложений или сведены в одну страницу. На этих фигурах места, окрашенные более светлым цветом, соответствуют областям с более интенсивным выпадением отложений. Определенные страницы определены как эрозионные. В этом случае страница, представленная на фиг. 6А (русловые отложения) будет подвергаться эрозии подстилающие отложения, тогда как остальные страницы будут осаждают материал.

Теперь еще раз вернемся к более подробному описанию изобретения. Согласно варианту осуществления настоящего изобретения, представленному на фиг. 1, описываемый способ (100) начинается с выбора (стадия (103)) общих параметров, относящихся к модели, которая должна быть создана. В эти пара-

метры должны входить, по меньшей мере, размеры модели (например, 5000 на 8000 м по горизонтали), т.е. "каркас" модели далее по тексту. Кроме того, в некоторых вариантах реализации заявленного изобретения предполагается, что в каркас модели будут заноситься отложения, характерные для конкретного геологического разреза под поверхностью земли. Это особенно актуально для тех случаев, когда рассматривается конкретный объект исследования, и желательно получить модель, разработанную согласно настоящему изобретению, которая отражала бы такой объект исследования.

Далее, в некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения может быть задана общая мощность пласта (например, 1000 м). В других случаях может быть задана мощность одного или нескольких слоев в модели, используемая для внесения ограничений в построенную модель (например, мощность преобладающего песчаника может быть ограничена 100 м; при этом мощность остальных слоев может варьироваться). В некоторых случаях в модели может быть предусмотрена точка на поверхности земли, которая соответствует моделируемым геологическим условиям. И, наконец, во многих случаях задается временной отрезок, который может быть использован для управления процессом построения модели, то есть, в некоторых вариациях, что будет подробнее описано ниже, период времени, в течение которого "протекает" процесс построения модели геологической среды может быть определен, скажем в 20 млн лет. Все вышеозначенные параметры или некоторые из них могут быть заданы как часть каркаса модели. Несомненно, возможны и иные вариации (например, определенное фиксированное число стадий/итераций), которые были положительным образом рассмотрены авторами настоящего изобретения.

Далее, в некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения пользователь задает (стадия (105)) одну или несколько "глав", соотношенных с моделью. Каждая из этих глав описывает возможную геологическую конфигурацию модельной поверхности в определенный момент времени. Примеры некоторых глав могут включать в себя "континентальные отложения", "прибрежно-морские отложения" (например, береговые), "глубоководные морские терригенные обломочные отложения", "глубоководные рифогенные отложения" и т.д.

Далее, согласно этому варианту осуществления настоящего изобретения для каждой "главы" будут определены "страницы" (стадия (110)). Таким образом, каждая глава будет включать в себя одну или несколько "страниц"; при этом каждая из указанных страниц будет содержать более подробное описание возможной среды, которая может быть соотношена с этой главой в определенный момент времени. В некоторых вариантах реализации заявленного изобретения каждая страница будет соотношена с пространственно-временными распределениями вероятностей в отношении песчаных, сланцевых и прочих отложений (включая их смеси или сочетания), и может отражать информацию, полученную по каротажным кривым и из иных источников. Рассмотрим, к примеру, главу, отображающую "континентальные отложения". Примерами страниц, пригодными для включения в такую главу, могут быть "речные отложения", "отложения прируслового вала", "пойменные отложения", "эоловые отложения" (например, пустынные/песчаные дюнные отложения), "болотные отложения" и прочие отложения, которые все вместе взятые являются континентальными или наземными, и которые обладают потенциалом накопления осадков с течением времени.

В качестве примера одной из глав разного типа можно привести главу, соотношенную с морскими отложениями. Например, в некоторых вариантах реализации заявленного изобретения могут быть разные главы, описывающие различные вариации морских отложений: глубоководные терригенные обломочные отложения, глубоководные рифогенные отложения, мелкоководные терригенные обломочные/рифогенные отложения и прочие отложения, для каждого из которых предусмотрена своя страница или страницы, более подробно описывающие эту среду. Любой специалист в данной области техники может без труда разработать и иные типы глав/страниц.

Следует также отметить, что в некоторых вариантах реализации настоящего изобретения, что будет подробнее описано ниже, одна или несколько страниц могут включать отложение или эрозию осадочных материалов.

Более того, в некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения может быть выведена морфология форм. Например, страницы, содержащие случайно сгенерированные или сгенерированные пользователем схемы гидрографической сети (древовидную, параллельную, прямоугольную и пр.), могут быть использованы в качестве страниц, модифицированных в некоторых случаях моделями развития впадин, хорошо известными любому специалисту в данной области техники. В других случаях могут быть созданы страницы, отображающие формы отложений (эоловые, дельтовые, речные и пр.) и/или типы эрозионной сети и т.п., также в некоторых случаях по хорошо известным геоморфологическим принципам.

Кроме того, в некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения задаются (стадия (115)) параметры, связанные с каждой из страниц. Для примера рассмотрим страницу, связанную со средой глубоководных морских отложений на шельфе, например, с поверхностью бурового раствора, как это показано на фиг. 2. В некоторых вариантах реализации заявленного изобретения эта страница будет содержать двухмерную сетку значений данных, определяющих относительную скорость отложения осадков или их объем в каждой точке поверхности карты.

Как показано на фиг. 2, в этом примере карта (205) бурового раствора схематически иллюстрирует

(с помощью изопахит (210)) условия осадконакопления с единственным пиком или подъемом рядом с центром. Следует отметить, что сохраненные значения, связанные с этой страницей, могут представлять собой относительные величины (например, приведенные к нулю или единице). В качестве сохраненных значений могут выступать значения скорости отложения осадков (например, футов осадков за каждые 1000 лет) или абсолютной мощности и т.п. Значения на карте (205) иллюстрируют в общих чертах предполагаемое осадконакопление в этой геологической среде за определенный промежуток времени на данной конкретной странице. Карта (205) бурового раствора, представленная исключительно в иллюстративных целях, была построена для отражения того факта, что вблизи центра предполагается повышенное осадконакопление, а ближе к ее внешним границам аккумуляция осадков будет предположительно меньше. Очевидно, что возможны и более сложные схемы. Таким образом, в этом варианте осуществления заявленного изобретения карта (205) бурового раствора может рассматриваться как двумерный массив цифровых данных, которые, по меньшей мере, определяют, какой объем отложенных осадков следует ожидать за определенный период времени в каждой точке модели.

Конечно, настоящее изобретение допускает использование намного более сложных страниц в сравнении с простой картой (205) бурового раствора, в том числе, например, меандрирующих русел (с участками отложений и эрозии), рифогенных структур (которые могут включать определенное сочетание рифообразования с отложением осадков), речных дельт (с изменяемой скоростью отложения осадков, гранулометрическим составом и прочими параметрами, меняющимися в зависимости от расстояния от устья реки) и т.п. Специалистам в данной области техники понятно, что по принципам, определенным в настоящей заявке, можно смоделировать практически любые условия осадконакопления.

На фиг. 3 представлена более подробная схема небольшого участка варианта реализации карты (205) бурового раствора, которая иллюстрирует сетчатый характер ее построения (например, каждое числовое значение может входить в двумерный массив численных данных). К примеру, высота каждого столбика (305) выбрана таким образом, чтобы она отражала скорость отложения осадков в этой точке.

Обратите внимание на то, что в некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения некоторые или все скорости образования отложений в сетке могут иметь нулевое или отрицательное значение; при этом отрицательные значения указывают на эрозию. Нулевое значение указывает на то, что во время следующего временного отрезка/на следующей итерации осадконакопление не предвидится. С другой стороны, отрицательное значение может быть использовано в качестве индикатора того, что имеет место эрозия, и что уровень ранее накопленных осадков может быть уменьшен в зависимости от предусмотренной интенсивности эрозии. В некоторых вариантах реализации заявленного изобретения отрицательные значения можно переводить в "футов эрозии за каждые 100 лет" или иные величины подобного рода. Следует отметить, что такой тип вариации полезен, если выстраиваемая страница включает, скажем, речное русло, где предполагается возникновение эрозии непосредственно в ложе реки, а в окружающей почве могут быть выявлены отложения вследствие периодических наводнений, которые способствуют осаждению илистых осадков. Страница, содержащая, к примеру, более масштабную эрозию, может быть использована для моделирования регионального несогласия - геологического элемента, который присущ многим геологическим условиям.

Следует иметь в виду, что в этом варианте реализации заявленного изобретения и исключительно в иллюстративных целях каждая запись в карту (205) бурового раствора будет представлять собой относительную мощность пласта или скорость отложения осадков. Однако в некоторых случаях для всех точек сетки или некоторых из них могут быть заданы дополнительные параметры. К примеру, пользователь может задать проницаемость, пористость, плотность, скорость и прочие параметры, которые могут быть включены в модель. Для последующего сейсмического моделирования могут оказаться полезными такие параметры, как скорость и плотность. Эти параметры могут быть предусмотрены отдельно для каждой из точек или для всей поверхности в целом. К примеру, в случае с картой (205) бурового раствора, где предполагаются относительно однородные условия осадконакопления, для всех точек может быть задано единое значение скорости и плотности. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения на каждой итерации выбранной странице присваивается (потенциально другое) значение скорости и плотности, выбираемое по случайной схеме. Это может быть отдельное значение, которое применяется ко всей странице, или значения скорости/плотности, определяемые поточечно случайным образом во исполнение заданной формы функции плотности вероятностей, которая сама может изменяться между итерациями.

В одном из вариантов осуществления настоящего изобретения на следующей стадии выбранная страница адаптируется к модели. К примеру, в некоторых вариантах реализации заявленного изобретения это может быть выполнено путем ее подгонки (стадия (120)) к размерам модели. В других случаях местоположение и размеры страницы могут выбираться случайным образом, или же они могут систематически изменяться относительно модели (например, при моделировании меандрирующего речного русла, которое в разные моменты времени может менять свое местоположение/направление течения).

В более общем смысле адаптация по стадии (120) может включать в себя одну из следующих операций или все такие операции: боковое масштабирование, вращение, сдвиг и прочие трансформации. В некоторых случаях страница будет иметь географический "центр" или иную заданную точку, которая

может быть использована для определения ее местоположения относительно центра или иной точки модели. Не обязательно, чтобы страница полностью вписывалась в каркас модели, хотя в большинстве случаев ее размеры, по меньшей мере, соответствуют размерам каркаса.

Таким образом, в продолжение описания примера по фиг. 2, литологический центр страницы (205) может совпадать с центром модели (200) или располагаться в иной точке в пределах или за пределами каркаса модели. Стадия (120) обычно повторяется на каждой итерации (например, в некоторых случаях ранее масштабированная и/или повернутая страница может быть повторно использована на текущей итерации) или всякий раз при выборе новой страницы. Иначе говоря, в самом общем смысле и исключительно для примера, каждая страница потенциально может быть приведена к определенному масштабу и переустановлена на каждой итерации. Это дает возможность, так сказать, с течением времени перемещать центр отложения. В контексте нижеследующего описания термин "адаптировать" будет использоваться для описания любых математических или иных операций, которые готовят страницу к использованию с каркасом конкретной модели.

Далее, в некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения устанавливаются (стадия (125)) правила перехода. Правила перехода определяют вероятность (или правдоподобие) того, что текущая глава изменится при следующей итерации, а также, в случае изменения, в какое альтернативное состояние она перейдет. В целях исключения двусмысленного толкования термина "вероятность" далее по тексту он должен пониматься в более широком смысле, включая в себя фактические статистические вероятности ($0,0 \leq p_{ij} \leq 1,0$), а также другие величины, отражающие то же самое (например, процентные доли). Предположив, к примеру, что существует только два состояния (например, две разные главы), матрица вероятностей перехода, пригодная для использования в рамках настоящего изобретения, будет выглядеть следующим образом.

Матрица вероятностей перехода

	Состояние 1	Состояние 2
Состояние 1	0,99	0,01
Состояние 2	0,01	0,99

Таким образом, вероятность того, что исходная система перейдет из состояния 1 (например, "континентальное" отложение) в состояние 2 (например, "морское" отложение) в промежуток между двумя последовательными итерациями составляет в этом примере 0,01. С другой стороны, в этом примере вероятность того, что между итерациями состояние не изменится, составляет 0,99, как это показано в табл. 1. Ясно, что такой подход может быть распространен на случаи, где количество состояний и/или вероятностей перехода между каждым состоянием превышает два; и в этом случае вероятности p_{ij} (т.е. вероятность перехода из состояния i в состояние j) квадратной матрицы n -го порядка (с n -ым количеством состояний) могут быть включены способами, хорошо известными любому специалисту в данной области техники. Следует отметить, что некоторое количество записей, внесенных в матрицу, может иметь нулевое значение, что может использоваться для индикации невозможности непосредственного перехода из одного конкретного состояния в другое на однократной итерации (например, от глубоководного отложения к эоловому отложению).

Используемые вероятности могут быть получены от пользователя. В некоторых случаях вероятности перехода могут основываться на фактических результатах анализа переходов между состояниями, зафиксированных на каротажных кривых и т.п. В других случаях они могут основываться на опыте пользователя, который может располагать подробными сведениями о геологической среде за исследуемый период времени.

Кроме того, что связано с заданием правил перехода, в некоторых вариантах реализации заявленного изобретения пользователь может ограничить окончательную модель, используя для этого самые разные способы. Например, в некоторых случаях пользователь имеет возможность задать мощность конкретного пласта известняка, которая не должна превышать заданное или минимальное значение и т.п.

Помимо этого, в некоторых случаях пользователь может ввести ограничительное условие, которое заключается в том, что множественные пласты должны соответствовать известным или расчетным характеристикам общей структуры объекта исследования (например, итерация может продолжаться до тех пор, пока модель не будет содержать 1000 футов песчаника, 500 футов сланцев и т.п.). Как это сделать, понятно любому специалисту в данной области техники.

Далее в одном из вариантов осуществления настоящего изобретения устанавливается (стадия (125)) одно или несколько ограничений, касающихся итерационного процесса. В некоторых вариациях такое ограничение может заключаться в общем числе "лет" (псевдовремя), в течение которых разрешено развиваться процессу (например, два миллиона лет с 10000 годами на каждую итерацию). В других случаях может быть задана общая мощность модели, общее количество итераций, максимально допустимое число лет отложения и/или эрозии и т.п. Любой специалист в данной области техники может найти способ, как отменить нижеприведенную итерационную схему.

Кроме того, в этом варианте реализации заявленного изобретения стадия (125) включает в себя вы-

деление и очистка памяти для модели, обнуление счетчиков и т.п., как это обычно делается на современном уровне развития программирования.

Далее в варианте реализации заявленного изобретения по фиг. 1 предусмотрен выбор (стадия (130)) исходной главы и соотнесенных с ней страниц из числа созданных ранее, а также инициализация программных переменных. Конечно, путем выбора означенных позиций пользователь задает первоначальные условия осадконакопления, которые будут применены в модели. Это может быть реализовано методом случайного выбора, как это описано ниже, или, в альтернативном варианте, пользователем; т.е. в некоторых случаях пользователь может знать условия осадконакопления в нижней части модели и начать процесс построения модели, исходя из этих условий.

Кроме того, в некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения шаг итерации может быть выбран пользователем, назначен по умолчанию, задан алгоритмически или определен иным образом. Как будет подробнее описано ниже, в некоторых вариантах реализации заявленного изобретения с помощью итерационной схемы, представленной ниже, модель будет строиться с приращениями на каждой итерации путем добавления определенного количества отложений к текущей топологии модели (или вычитания этой величины в случае эрозии). Поскольку в некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения различные страницы соотносятся со значениями скорости образования осадков, может оказаться необходимым нормировать или иным образом рассчитать предполагаемое количество отложений за время итерации. Так, например, если шаг итерации составляет 10000 лет, то предполагаемое количество отложений за этот промежуток времени необходимо будет рассчитать на основании этой цифры.

Далее, если это еще не было сделано ранее, очевидно потребуется выполнить масштабирование текущей страницы до того, как она будет интегрирована в текущую модель. Как было сказано выше, может потребоваться корректировка горизонтальных размеров, местоположения и ориентации страницы, в зависимости от текущих условий осадконакопления. Кроме того, в некоторых случаях может потребоваться нормирование значений, относящихся к осадконакоплению/эрозии, которые соотносятся с моделью; т.е., поскольку в некоторых вариантах реализации заявленного изобретения сохраненные значения соответствуют значениям скорости образования осадков и/или скорости эрозии, то может возникнуть необходимость в нормировании этих значений с тем, чтобы они соответствовали псевдовременному шагу итерационного процесса, или по каким-либо иным соображениям.

На следующей стадии (135) этого варианта реализации заявленного изобретения в текущую модель будут добавлены или иным образом аккумулярованы в ней или интегрированы в нее или объединены с ней приведенные к определенному масштабу значения, относящиеся к осадконакоплению, которые соотносятся с каждой точкой на странице.

В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения для счетчика времени (или иной итерационной переменной) должен быть задан (стадия (140)) шаг приращения до его проверки по максимальному значению времени, в течение которого может "протекать" итерационный процесс (стадия (145)) согласно решению пользователя. Конечно, как было сказано выше, в некоторых случаях для счетчика времени может быть задан шаг, скажем, в 10000 лет с общим числом лет, в течение которых осуществляется итерационный процесс, равным 20 млн или около того.

Если счетчик итераций достигает максимально допустимого значения (ответвление «Да» в пункте (145) принятия решения), то в одном из вариантов реализации заявленного изобретения модели с накопленными данными будет предписано выдать результат на стадии (160), после чего программа завершит свою работу (стадия (165)); при этом указанная модель будет доступной для последующего использования в сейсмических исследованиях и/или при добыче, что будет подробнее описано ниже.

В альтернативном варианте (т.е. ответвление "Нет" в пункте (145) принятия решения) будет принято решение, должна ли быть выбрана новая глава или нет. Этот выбор следующей главы может быть осуществлен произвольно или детерминировано, как это было описано выше. Если новая глава не задана (ответвление "Нет" в пункте (170) принятия решения), то будет выбрана эта же или другая страница из выбранной на данный момент главы, которая будет адаптирована к каркасу модели (стадия (180)). В некоторых случаях выбор будет осуществляться произвольно, а в других случаях детерминировано, например, когда, как предполагается, имеет место осадочная последовательность напластования, и в этом случае страницы могут быть выбраны в соответствии с конкретной/заданной последовательностью. Например, может случиться так, что для глубоководных отложений (главы) потребуется отрезок в 10 миллионов лет. Таким образом, и в продолжение предыдущего примера, для отрезка в 10 млн лет могут быть предусмотрены две разные страницы, которые соединены вместе или периодически сменяют друг друга, например, глубоководные рифогенные отложения и глубоководные терригенные обломочные отложения. Будут ли эти страницы сменять друг друга в произвольном порядке, меняться детерминировано или они будут объединены (например, где рифогенные отложения занимают лишь часть каркаса модели), зависит от выбора, который может без труда сделать любой специалист в данной области техники.

В альтернативном варианте возможность перехода к другой главе (ответвление "Да" в пункте (170) принятия решения) может носить случайный или детерминированный характер. Если такое изменение носит случайный характер, то в типовой схеме вероятность перехода между главами будет относительно

невысокой с тем, чтобы сохранялась тенденция к тому, чтобы оставаться в одной и той же главе. В обоих случаях, вне зависимости от того, выбрана ли новая глава или сохранилась старая, в этом варианте своего осуществления настоящее изобретение затем выберет и адаптирует страницу из выбранной главы перед обратным переходом к стадии (135).

И, наконец, после завершения построения модели геологической среды с применением способа, предложенного настоящим изобретением, во многих случаях по этой модели создаются синтетические данные с применением методов, хорошо известных любому специалисту в данной области техники. После этого синтетические сейсмические данные будут доступны для использования в целях интерпретации данных сейсмической разведки, как это часто бывает. К примеру, синтетические сейсмические данные могут сравниваться с фактическими сейсмическими данными, полученными в непосредственно близости от района, представляющего интерес, например, где был выбран каркас модели. Это может быть сделано для того, чтобы удостовериться в точности модели (если синтетические данные хорошо согласуются с фактическими данными) или, если синтетические и фактические данные не согласуются друг с другом в полной мере, это может означать, что модель должна быть построена заново с выбором других параметров.

В некоторых случаях полученная в результате модель геологической среды, полученная описываемым способом, будет использована для интерпретации мощности и распространения пластов, представляющих интерес. Модель может быть также использована для обследования мелкомасштабной структуры углеводородного пласта, которая может быть впоследствии использована при моделировании пласта-коллектора с целью прогнозирования добычи и/или управления добычей углеводородов, если в качестве параметров для каждой страницы предусмотрены такие связанные с добычей случайные или заданные величины, как проницаемость, пористость и т.п.

Кроме того, в других случаях полученная в результате модель геологической среды будет использована в качестве исходных данных для процесса сейсмического моделирования. После этого синтетические сейсмические данные, полученные по модели геологической среды, будут использованы для разработки параметров и способов сейсмосьемки, которые обеспечат наилучшее качество сейсмических данных при их регистрации в полевых условиях.

Далее, в некоторых случаях полученная в результате модель геологической среды будет использована для усовершенствования программ сейсморазведочных исследований. Иными словами, хорошо известно, что синтетические сейсмические данные, полученные по моделям, которые, как предполагается, отражают геологическую среду, могут быть использованы для тестирования расчетов и параметров сейсмосьемки до начала проведения сейсмических исследований в полевых условиях. Из-за высокой стоимости сейсмических исследований существует насущная потребность в тестировании проекта запланированного сейсмического исследования на компьютере с тем, чтобы можно было увидеть, насколько хорошо будут отображаться основные горизонты. Ясно, что чем точнее будет модель геологической среды, тем более надежными будут синтетические данные и, таким образом, тем лучше можно будет спроектировать сейсмическое исследование. Короче говоря, более реалистичные модели геологической среды дают возможность разрабатывать такие сейсмические исследования, которые лучше согласуются с конкретным объектом исследования.

В контексте настоящей заявки термин "параметр страницы" используется для обозначения физического свойства, соотнесенного со страницей. Примером такого свойства может выступать скорость отложение осадка. Конкретные значения параметра страницы будут присвоены каждой ячейке или точке сетки на странице. Помимо скорости отложения осадков должны быть включены такие параметры, как скорость P и/или S , параметры анизотропии, плотность, пористость и проницаемость. В некоторых случаях параметр страницы может иметь одно единственное значение по всей странице (например, если вся страница характеризуется одним и тем же постоянным значением скорости отложения осадков), хотя обычно при моделировании геологической среды больший интерес вызывают более сложные страницы, которые включают в себя изменяющиеся значения параметра страницы.

Заключение

В порядке краткого изложения сущности заявленного изобретения можно сказать, что оно было разработано для придания синтетическим сейсмическим данным более реалистичного вида за счет построения более реалистичных моделей. Оно рассчитано на то, чтобы пользователь мог решить конкретную проблему, связанную с геологической средой, а не фокусировать свое внимание на конкретном объекте исследования.

Далее способы, описанные в настоящем документе, позволяют пользователю продвинуться ближе к созданию стратиграфических моделей (в противоположность традиционным структурным моделям), с помощью которых, соответственно, можно выстраивать более совершенные сейсмические модели. Эти модели позволяют пользователю более точно проектировать параметры, необходимые для получения в полевых условиях сейсмических данных высокого качества. Кроме того, рассматриваемый способ позволит пользователю разрабатывать модели с малоамплитудными по разрешению элементами (например, маломощными пластами, трещинами в пластах и т.п.), и исследовать их совокупное влияние на получаемые сейсмические отражения, что дает возможность распознавать схожие элементы по сейсмическим

данным, полученным в полевых условиях.

Кроме того, настоящее изобретение может найти и иные сферы применения помимо генерирования синтетических сейсмических данных улучшенного качества. Например, модели, построенные способами, описанными в настоящей заявке, могут оказаться эффективными для решения задач, связанных с технологией разработки месторождений, таких как пластовое моделирование или управление добычей, и проявлять максимальную эффективность, если частью соотнесенных литологических страниц станут такие параметры, как пористость и проницаемость.

Помимо этого, настоящее изобретение обеспечивает легкость изменения масштаба осадконакопительных районов и пластов разной мощности до разных размеров. Например, за счет внесения соответствующий изменений в описанный способ, обеспечивающих сокращение периода итерации (например, с 10000 до 1000 лет), можно создавать сверхмелкомасштабные модели.

Далее, в некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения статистические данные по полученной модели будут соответствовать статистике по геологической среде, по меньшей мере, с максимальной возможной точностью. Иначе говоря, к примеру, если вероятности переходов были определены по соседней скважине или по иному геологическому разрезу подобного рода, эти вероятности могут быть встроены в процесс построения модели, как это было описано выше.

Разумеется, описанный способ полагается на разработку каталога условий/фаций осадконакопления. Пласты в полученной модели создаются путем стохастического "использования" каталога фаций в соответствии с правилами пользователя, включая вероятности переходов, ограничения в отношении конечного продукта и т.п.

Кроме того, следует отметить, что хотя значения скорости отложения осадков, соотнесенные с определенной страницей, описаны здесь как статические, это сделано исключительно для наглядности при описании вариантов реализации настоящего изобретения. В некоторых вариантах реализации заявленного изобретения значения скорости отложения осадков могут регулироваться в динамическом режиме в зависимости, скажем, от времени по мере итерационного построения модели. Например, допускается, что с течением времени по центру отложения накапливается меньшее количество осадков. В этом случае может оказаться целесообразным уменьшение некоторых или всех значений, относящихся к осадконакоплению, в зависимости от времени (например, 10-процентное уменьшение на каждую итерацию). В других вариациях каждое из значений, относящихся к осадконакоплению, может выбираться случайным образом. Иначе говоря, в некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения каждое значение, относящееся к осадконакоплению, может иметь два связанных с ним параметра: центральное значение и вариабельность значения (например, среднее и среднеквадратическое отклонение). Затем, после выбора страницы, определяются ее значения, относящиеся к осадконакоплению, путем взятия произвольных выборок в каждой точке соответствующего распределения. С использованием распределений, которые могут принимать негативные значения (например, нормальные, равномерные и прочие), каждое значение может потенциально отражать как отложение, так и эрозию (т.е. явление, противоположное отложению).

Кроме того, в некоторых случаях свойства горной породы и/или сейсмические параметры (например, V_p , V_s , плотность, анизотропия, пористость, проницаемость, характер насыщенности пласта, гранулометрический состав и т.д.), предусмотренные для страницы, могут быть или статическими (т.е. постоянными для каждой точки в течение всего процесса построения модели), или динамическими (например, изменяемыми в зависимости от числа итераций). В других случаях эти параметры могут зависеть от значений скорости образования осадков; то есть, к примеру, более высокая плотность соотносится с меньшей скоростью образования осадков.

В контексте настоящего документа термин "отложение" должен пониматься в более широком смысле и включать в себя как отложение осадочных материалов, так и их эрозию (явление, противоположное отложению). Далее, когда используется термин "значение, относящееся к осадконакоплению", он также должен трактоваться в более широком смысле и включать в себя как скорость образования осадков (эрозии), так и абсолютные величины отложения (эрозии).

Кроме того, любая операция по масштабированию, вращению, сдвигу или иной трансформации страницы с тем, чтобы она вписывалась в выстраиваемую модель, называется по тексту "адаптацией" страницы к модели.

Хотя устройство согласно заявленному изобретению было описано и проиллюстрировано в настоящем документе со ссылками на определенные варианты осуществления настоящего изобретения в привязке к прилагаемым чертежам, специалисты в данной области техники могут внести в него различные изменения и дополнения помимо тех, которые были показаны или описаны в настоящей заявке, без отступления от инновационной сущности заявленного изобретения, объем которого определен прилагаемой формулой изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ геофизического исследования района геологического разреза земли, содержащего структурные или стратиграфические признаки, указывающие на наличие, миграцию или скопление углеводо-

родов, включающий в себя следующие стадии:

(a) выбор параметров модели, которые соответствуют исследуемому участку в районе геологического разреза земли;

(b) осуществление доступа к множеству массивов литологических данных; при этом каждый из массивов литологических данных из указанного множества отображает возможные условия осадконакопления исследуемого района геологического разреза земли и содержит два или более значений, относящихся к осадконакоплению;

(c) задание двух или более геологических конфигураций модельной поверхности в определенный момент времени, каждая из которых соотносится с одним или несколькими массивами литологических данных из указанного множества;

(d) задание матрицы вероятностей перехода для определения, по меньшей мере, вероятности перехода от геологической конфигурации, представленной каждой из указанных геологических конфигураций модельной поверхности в определенный момент времени ко всем остальным геологическим конфигурациям, представленным указанными геологическими конфигурациями модельной поверхности в определенный момент времени на основании правил перехода;

(e) выбор одной исходной геологической конфигурации модельной поверхности в определенный момент времени из числа указанной одной или нескольких геологических конфигураций модельной поверхности в определенный момент времени и по меньшей мере одного соотнесенного с ней массива литологических данных;

(f) выбор по меньшей мере одного указанного массива литологических данных, соотнесенного с указанной исходной геологической конфигурацией модельной поверхности в определенный момент времени из числа указанных двух и более геологических конфигураций модельной поверхности в определенный момент времени;

(g) использование двух или более указанных значений, относящихся к осадконакоплению, составляющих указанный массив литологических данных, выбранный из указанного множества массивов литологических данных, включающего в себя по меньшей мере один такой массив литологических данных, соотнесенный с указанной исходной геологической конфигурацией модельной поверхности в определенный момент времени, для вычисления параметра, характеризующего определенное количество отложений в модели геологической среды;

(h) использование, по меньшей мере, указанной матрицы вероятностей перехода для выбора одной из указанных геологических конфигураций модельной поверхности в определенный момент времени, причем указанная выбранная геологическая конфигурация модельной поверхности в определенный момент времени содержит по меньшей мере один указанный массив литологических данных, соотнесенный с этой геологической конфигурацией модельной поверхности в определенный момент времени;

(i) выбор одного массива из числа по меньшей мере одного массива литологических данных, соотнесенного с одной указанной геологической конфигурацией модельной поверхности в определенный момент времени, выбранной из числа указанных двух или более геологических конфигураций модельной поверхности в определенный момент времени;

(j) использование двух или более указанных значений, относящихся к осадконакоплению, составляющих указанный массив литологических данных, выбранный из указанного множества массивов литологических данных, включающего в себя по меньшей мере один такой массив литологических данных, соотнесенный с указанной выбранной геологической конфигурацией модельной поверхности в определенный момент времени, для вычисления параметра, характеризующего дополнительное количество отложений в указанной модели геологической среды;

(k) выполнение, по меньшей мере, стадий (h) и (i) до тех пор, пока не будет выбрано по меньшей мере две разные геологические конфигурации модельной поверхности в определенный момент времени;

(l) создание массива синтетических сейсмических данных на основании полученной модели геологической среды;

(m) проектирование сейсмического исследования в районе геологического разреза земли при использовании указанного массива синтетических сейсмических данных и

(n) разведка залежей углеводородов в районе исследуемого геологического разреза земли при использовании спроектированного сейсмического исследования.

2. Способ геофизического исследования по п.1, в котором каждая из указанной одной или нескольких геологических конфигураций модельной поверхности в определенный момент времени содержит один связанный с ней массив литологических данных из указанного множества массивов литологических данных.

3. Способ геофизического исследования по п.1, в котором указанные два или более значений, относящихся к осадконакоплению, которые составляют по меньшей мере один из массивов литологических данных из указанного множества массивов литологических данных, представляют собой одно и то же значение.

4. Способ геофизического исследования по п.1, в котором указанные два или более значений, относящихся к осадконакоплению, которые составляют по меньшей мере один из массивов литологических

данных из указанного множества массивов литологических данных, включают в себя значение скорости образования осадков.

5. Способ геофизического исследования по п.4, в котором два или более значений, относящихся к осадконакоплению, которые составляют по меньшей мере один из массивов литологических данных из указанного множества массивов литологических данных, дополнительно включают в себя по меньшей мере одно значение параметра, выбранного из группы параметров, включающих в себя скорость сжатия, скорость распространения поперечной волны, один или несколько параметров анизотропии, плотность, пористость и проницаемость.

6. Способ геофизического исследования по п.1, который дополнительно содержит следующие операции:

осуществление доступа к данным сейсмической разведки, которые формируют изображение, по меньшей мере часть района геологического разреза земли;

и сравнение по меньшей мере части указанного массива синтетических сейсмических данных по меньшей мере с частью указанных данных сейсмической разведки для исследования района геологического разреза земли, содержащего структурные или стратиграфические признаки, указывающие на наличие, миграцию или скопление углеводородов.

7. Способ геофизического исследования района геологического разреза земли, содержащего структурные или стратиграфические признаки, указывающие на наличие, миграцию или скопление углеводородов, включающий в себя следующие стадии:

(a) выбор параметров модели, которые соответствуют участку в районе геологического разреза земли;

(b) задание множества геологических конфигураций модельной поверхности в определенный момент времени; при этом каждая геологическая конфигурация модельной поверхности в определенный момент времени из указанного множества геологических конфигураций модельной поверхности в определенный момент времени описывает возможную геологическую конфигурацию исследуемого района геологического разреза земли и соотносится с одним или несколькими массивами литологических данных, а каждый массив литологических данных из указанного множества массивов содержит множество значений, относящихся к осадконакоплению;

(c) задание матрицы вероятностей перехода для определения, по меньшей мере, вероятности перехода между каждой из геологических конфигураций модельной поверхности в определенный момент времени из числа указанного множества геологических конфигураций модельной поверхности в определенный момент времени на основании правил перехода;

(d) на компьютере построение указанной модели, отражающей, по меньшей мере, частично геологические условия в районе геологического разреза земли при использовании указанных выбранных параметров модели, указанной матрицы вероятностей перехода, указанного множества геологических конфигураций модельной поверхности в определенный момент времени и любых массивов литологических данных, соотнесенных с указанным множеством геологических конфигураций модельной поверхности в определенный момент времени, причем указанная модель содержит параметры модели, включающие множество многоуровневых геологических конфигураций модельной поверхности в определенный момент времени, при этом каждый массив литологических данных содержит более подробное описание возможной среды, которая может быть соотнесена с этой геологической конфигурацией модельной поверхности в этот момент времени, а переход между каждой геологической конфигурацией модельной поверхности в определенный момент времени определяется на основе матрицы вероятностей переходов; при этом построение указанной модели на компьютере включает в себя следующие стадии:

(i) выбор одной исходной геологической конфигурации модельной поверхности в определенный момент времени из указанного множества геологических конфигураций модельной поверхности в определенный момент времени и одного или нескольких соотнесенных с ней указанных массивов литологических данных;

(ii) выбор одного массива литологических данных из указанного множества массивов литологических данных, соотнесенного с указанной исходной геологической конфигурацией модельной поверхности в определенный момент времени из указанного множества геологических конфигураций модельной поверхности в определенный момент времени;

(iii) адаптация одного указанного массива литологических данных, выбранного из числа одного или нескольких указанных массивов литологических данных, к указанным выбранным параметрам модели;

(iv) использование по меньшей мере части значений из указанного множества значений, относящихся к осадконакоплению, для вычисления параметра, характеризующего определенное количество отложений в модели;

(v) использование, по меньшей мере, указанной матрицы вероятностей перехода для выбора одной из указанных геологических конфигураций модельной поверхности в определенный момент времени, причем указанная геологическая конфигурация модельной поверхности в определенный момент времени содержит один или нескольких указанных массивов литологических данных, соотнесенных с этой геологической конфигурацией модельной поверхности в определенный момент времени;

(vi) использование, по меньшей мере, указанного множества значений, относящихся к осадконакоплению, составляющих указанный массив литологических данных, выбранный из указанных двух или более массивов литологических данных, соотнесенный с указанной выбранной геологической конфигурацией модельной поверхности в определенный момент времени, для вычисления параметра, характеризующего дополнительное количество отложений в указанной модели; и

(vii) выполнение, по меньшей мере, операций (v) и (vi) до тех пор, пока не будет выбрано по меньшей мере две разные геологические конфигурации модельной поверхности в определенный момент времени для последующего построения указанной модели;

(e) создание массива синтетических сейсмических данных на основании полученной модели геологической среды;

(f) проектирование сейсмического исследования в районе геологического разреза земли при использовании указанного массива синтетических сейсмических данных и

(j) разведка залежей углеводородов в районе исследуемого геологического разреза земли при использовании спроектированного сейсмического исследования использования указанной модели для разведки залежей углеводородов в районе геологического разреза земли.

8. Способ геофизического исследования по п.7, в котором по меньшей мере одна из указанной одной или нескольких геологических конфигураций модельной поверхности в определенный момент времени соотносится с одним массивом литологических данных.

9. Способ геофизической разведки по п.7, в котором по меньшей мере два указанных значения, относящиеся к осадконакоплению, которые составляют по меньшей мере один из указанных массивов литологических данных из числа одного или нескольких таких массивов литологических данных, соотнесенных с указанным множеством геологических конфигураций модельной поверхности в определенный момент времени, являются одним и тем же значением, относящимся к осадконакоплению.

10. Способ геофизического исследования по п.7, в котором стадия (b) включает в себя:

(b1) задание множества геологических конфигураций модельной поверхности в определенный момент времени; при этом каждая геологическая конфигурация модельной поверхности в определенный момент времени из указанного множества соотносится с одним или несколькими массивами литологических данных, каждый из которых содержит множество значений, относящихся к осадконакоплению, и, по меньшей мере, значение одного из параметров, выбранного из группы параметров, включающих в себя скорость сжатия, скорость распространения поперечной волны, один или несколько параметров анизотропии, плотность, пористость и проницаемость.

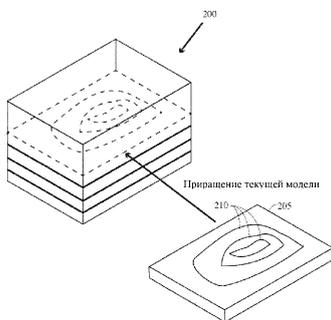
11. Способ геофизического исследования по п.7, который дополнительно содержит следующие операции:

осуществление доступа к данным сейсмической разведки, которые формируют изображение по меньшей мере части района геологического разреза земли; и

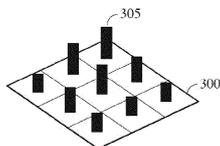
сравнение по меньшей мере части указанного массива синтетических сейсмических данных по меньшей мере с частью указанных данных сейсмической разведки для исследования района геологического разреза земли, содержащего структурные или стратиграфические признаки, указывающие на наличие, миграцию или скопление углеводородов.



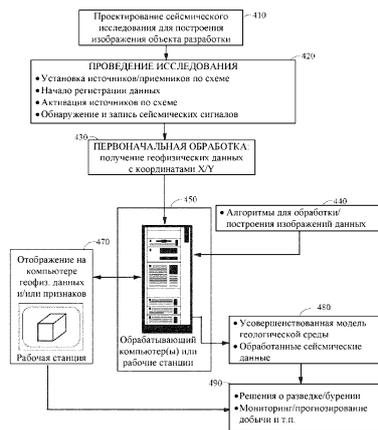
Фиг. 1



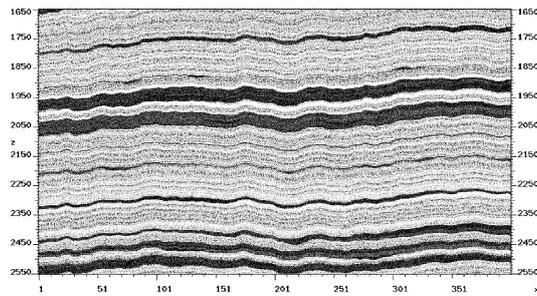
Фиг. 2



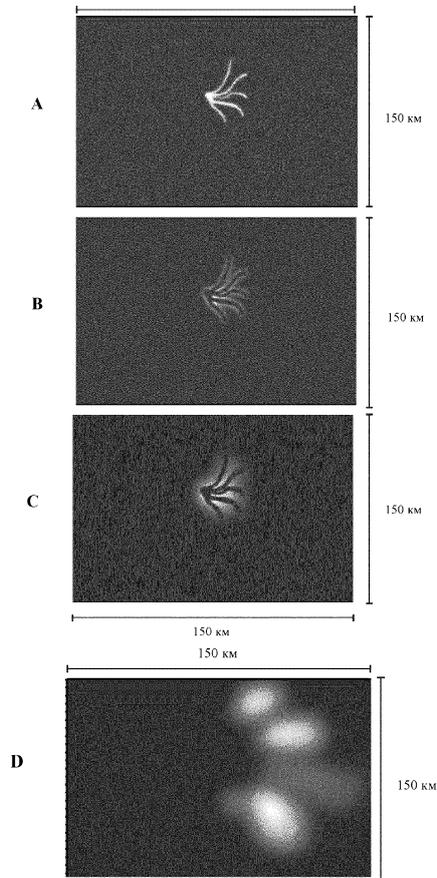
Фиг. 3



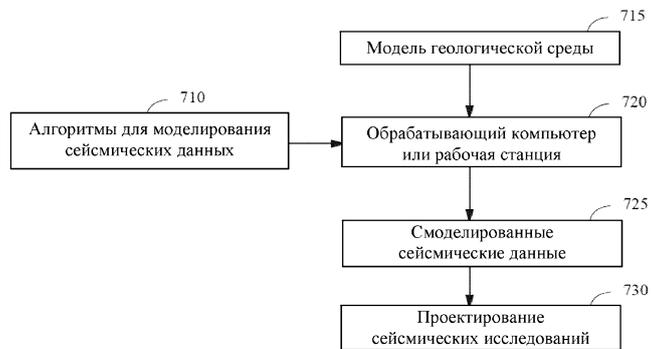
Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6A-D



Фиг. 7