

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИЗУЧЕНИЯ ГЕТЕРОГЕННЫХ СРЕД ЗЕМНОЙ
КОРЫ ПО ДИНАМИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ ЛОКАЛЬНЫХ ВОЛНОВЫХ
ПАКЕТОВ: ПО ДАННЫМ ПРОФИЛЬНЫХ ГЛУБИННЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ
НАБЛЮДЕНИЙ МОВ-ОГТ

тема диссертации и автореферата по ВАК РФ 05.13.18

Гошко, Елена Юрьевна
кандидат технических наук
2006

Специальность ВАК РФ 05.13.18
Количество страниц в диссертации 136

Оглавление диссертации

Введение.

Глава 1. Физические и математические основы сейсмических исследований строения земной коры.

§ 1.1. Физические предпосылки существующей модели сейсмических данных и физическая сущность используемых параметров.

§ 1.2. Функция упругой энергии в случае плоских волн.

§ 1.3. Распространение волн в поглощающей среде.

§ 1.4. Классификация проблем рассеяния.

Глава 2. Обратная задача в сейсмике отраженных волн.

§ 2.1. Суммирование в методе общей глубинной точки (ОГТ).

§ 2.2. Сверхглубинная модификация метода ОГТ.

§ 2.3. Математическое решение обратной задачи сейсмике на отраженных волнах в случае их нормального падения на однородную изотропную среду.

§ 2.4. Коэффициенты отражения и преломления (прохождения) продольной волны на границе двух сред.

§ 2.5. Преобразование данных в современном процессе динамической обработки сейсмического разреза ОГТ.

Глава 3. Алгоритмическое обеспечение исследования гетерогенных сред земной коры по динамическим характеристикам локальных волновых пакетов.

§ 3.1. Гетерогенность земной коры и ее отображение на сверхглубинном сейсмическом разрезе МОВ-ОГТ.

§ 3.2. Алгоритм вычисления локальной формы волнового пакета на разрезе

§ 3.3. Процедуры моделирования сейсмического разреза ОГТ и модельное тестирование алгоритма вычисления формы локальных волновых пакетов.

Глава 4. Вычислительный программный комплекс «StreamSDS» и результаты его практического использования.

§ 4.1. Вычислительная технология «StreamSDS» диагностики зон затухания энергии отраженных волн по разрезам ОГТ на опорных профилях.

§ 4.2. Специализированный программный комплекс «StreamSDS».

Руководство пользователя.

§ 4.3. Реализация технологии StreamSDS на материалах глубинных сейсмических разрезов ОГТ опорных профилей 2-ДВ и 3-СБ.

§ 4.4. Сейсмоакустический разрез как материал для исследования физических и геометрических свойств неоднородных объектов.

§ 4.5. Библиотека физических и геометрических атрибутов сейсмоакустического разреза.

§ 4.6. Расчет полей физических и геометрических атрибутов сейсмоакустических разрезов по опорным профилям 2-ДВ и 3-СБ.

Введение диссертации (часть автореферата) на тему «Вычислительная технология изучения гетерогенных сред земной коры по динамическим характеристикам локальных волновых пакетов: по данным профильных глубинных сейсмических наблюдений МОВ-ОГТ»

Бурное развитие средств вычислительной техники и связанных с ней информационных технологий обеспечивает рост эффективности современной производственной базы геофизических исследований. Сейсмические методы исследования имеют преимущество перед другими геофизическими методами по детальности и достоверности, получаемой при их использовании, информации о структуре слоев земной коры. Открытие большинства нефтяных и газовых месторождений на суше и в морских акваториях стало возможным благодаря высокой эффективности сейсморазведки. Роль вычислительной техники и информационных технологий в сейсмических исследованиях трудно переоценить учитывая, что уже во второй половине прошлого столетия объемы обрабатываемых сейсмических данных оценивались астрономическими числами [Алексеев А.С., Цибульчик Г.М., 4.]. Полевые сейсморазведочные работы относятся к категории дорогостоящих, полученные в их результате данные являются уникальными, т.к. полностью воспроизвести сейсморазведочный эксперимент не представляется возможным и, кроме того, объем производимых при обработке сейсморазведочной информации вычислительных работ весьма велик. В этой связи важно иметь объективные оценки качества и строгие формулировки физико-математического и геологического содержания полученных результатов. При этом следует иметь в виду, что факты обнаружения месторождений могут быть результатом случайного успеха, за счет большой статистики и высокой территориальной плотности изыскательских работ. Таким образом, важна оценка достоверности геологической интерпретации полученных результатов и факта открытия месторождений как строгого следствия адекватности наших геологических знаний об исследуемом регионе и верности нашей физико-математической модели сейсмических процессов. Необходимость отмеченных оценок определяется сегодняшними тенденциями рассматривать информационно-вычислительные технологии, разрабатываемые и эксплуатируемые в различных областях человеческой деятельности, как наиболее естественное средство накопления знаний и дальнейшего уточнения математических моделей изучаемых объектов и явлений.

Физико-математической основой решения сейсмических задач и формулировки их математических моделей является идея о взаимно однозначном соответствии между внутренним механическим строением среды (Земли) и режимом колебаний ее поверхности при заданных источниках зондирующего сигнала. Эта идея реализуется в законе, записываемом в форме системы дифференциальных уравнений динамической теории упругости - уравнений Ламе. Модели образуются постановкой задач для указанных уравнений и производных от них в различных ситуациях достаточно типичных, чтобы составить определенный класс.

Результатами сейсморазведочных работ и обобщающими геологическими исследованиями последних лет доказана принципиальная возможность открытия промышленных углеводородных (УВ) скоплений на больших глубинах (более 4-5 км), в том числе значительных по запасам [34]. Дальнейшая задача прогноза и поисков глубоководных залежей УВ зависит от степени изученности условий и факторов формирования и размещения таких объектов. В этой связи проблема выявления особенностей строения земной коры, тектонических обстановок в ее глубоких частях, влияющих на формирование залежей углеводородов на больших глубинах, приобретает особую актуальность.

В настоящее время происходит активное вовлечение в сейсморазведочные работы глубоких горизонтов земной коры со сложным геологическим строением. Соответственно

этому усложняются алгоритмы обработки и растет ее объем. В среднем методы обработки требуют выполнения около 105 операций; имеется тенденция к росту годового объема информации в десятки раз за каждые пять лет [Алексеев А.С., Цибульчик Г.М., 4]. В последнее время главными операциями в сейсморазведке стали: цифровая фильтрация, спектральный, спектрально-временной, энергетический анализ, автоматическое выделение и прослеживание формы сигналов.

Ведущее место как по информативности, так и по уровню промышленного внедрения в комплексе геофизических методов сохраняет сейсморазведка. Необходимо подчеркнуть, что в рамках существующих теоретических представлений, вследствие сложности математического аппарата, не все задачи могут быть удовлетворительно решены. Разработка более совершенного теоретического аппарата, которая уже успешно ведется, безусловно, позволит обосновать новые модификации сейсмических исследований, способные решать более тонкие задачи фундаментального и прикладного характера. К таким модификациям следует, в частности, отнести интенсивно развивающиеся направления в сейсмике - сейсмическую томографию (точнее ее кинематическую составляющую, как наиболее разработанную [20, 21]) и развиваемый в данной диссертации подход, основанный на исследовании динамических характеристик волновых пакетов. Динамический анализ в сейсмике стал возможным благодаря повсеместному использованию мощных интерференционных систем наблюдений, обеспечивающих эффективное накопление полезной информации, широкому внедрению цифровой регистрирующей аппаратуры и современных ЭВМ с развитым программным и методическим обеспечением обработки и интерпретации сейсмических данных.

До недавнего времени сейсмические исследования, направленные на изучение глобальных границ раздела в земной коре, проводились в основном методом ГСЗ с использованием разреженных систем наблюдений. Однако, начиная с середины 80-х годов, в мировой практике для изучения глубинных границ в земной коре стали использоваться наблюдения отраженных волн в области, близкой к источнику возбуждения, с привлечением технологии МОВ-ОГТ - близвертикальные отражения. Сейсмический разрез, полученный этим методом, основан на многократном (порядка 100) суммировании записей от различных сейсмоприемников, позволяющим значительно усилить соотношение сигнал/помеха. В настоящее время современная регистрирующая аппаратура и методика проведения региональных сейсморазведочных работ и работ по созданию опорных сейсмических профилей ОГТ позволяет регистрировать сейсмические волны, распространяющиеся на глубину, значительно большую, чем протяженность системы наблюдений на поверхности земли. Такой сейсмический разрез назван глубинным разрезом ОГТ. В настоящее время глубинные разрезы ОГТ содержат данные об отражениях в земной коре с временем прихода на ее поверхность, равным 50 и более сек. При этом «плотность» регистрации отражений, то есть кратность суммирования сейсмических трасс настолько высока, что мы можем рассчитывать на информативность, а не случайность отражений в трассе ОГТ даже при большом времени их регистрации.

В настоящее время регистрируются сейсмические наблюдения отраженных волн в земной коре с временем прихода до 50 сек и более. Современные глубинные разрезы ОГТ содержат информацию о строении всей консолидированной коры и верхней части мантии. Исследования последних лет позволили создать методики высокоразрешающей сейсморазведки МОВ-ОГТ, обеспечивающей существенное расширение полосы эффективно используемых частот на динамических разрезах ОГТ, повысить детальность изучения разреза по вертикали, установить тонкие особенности динамики волнового поля. С помощью этих методик осуществляется построение динамического разреза ОГТ, наилучшим образом соответствующего модели среды, возбуждаемой плоскими волнами при нормальном падении, и трансформация его в глубинный динамический разрез с восстановлением истинных соотношений интенсивности отражающих границ.

Полученные в последнее время многочисленные глубинные сейсмические данные показали, что строение консолидированной земной коры, обусловленное неоднородностями различной геологической природы, отличается от горизонтально слоистого. На глубинных разрезах ОГТ не установлено отражающих границ, расположенных ниже 4 - 5 сек и имеющих региональную протяженность. Наблюдаются лишь хаотически расположенные отражающие площадки с длиной, соизмеримой с первой зоной Френеля. Они образуют вертикально и латерально неоднородные зоны насыщения коры отражателями. В этом случае важно выбрать модель, соответствующую выявленному строению геологической среды, и применять адекватные алгоритмы обработки сейсмических данных с целью получения информативных характеристик земной коры.

Новые данные требуют дальнейшего совершенствования математических моделей изучаемых объектов. Сами модели при этом рассматриваются как средство объективного количественного описания объектов и как фактор, формирующий с количественной и качественной стороны меру получаемой об объекте информации.

Общим подходом к обработке глубинных сейсмических данных [Караев, Петров, Кузнецов О. Л., 24 - 28, 32, 48 - 52] в настоящее время является то, что в основу понимания строения глубинных зон закладывается гетерогенная модель земной коры. Гетерогенные среды, в отличие от слоистых, характеризуются размерами неоднородностей, соизмеримыми или меньшими, чем длина волны. При этом возникают дифрагированные и рассеянные волны. В физике упругих колебаний эти волны называют соответственно рассеянным отражением резонансного типа и рассеянным отражением рэлеевского типа, в отличие от зеркального отражения, возникающего в слоистой среде [Кузнецов О.Л., 33].

Идея сейсмической гетерогенности отвечает неоднородному строению коры. Процесс обработки сейсмических данных при этом ориентируется на статистические методы вычисления интегральных характеристик разреза: динамических, энергетических, спектральных. Эти характеристики используются для последующего многофакторного разделения полей сейсмических атрибутов на области однородности.

В сейсмике параметры, характеризующие распространение сейсмических волн, принято разделять на динамические и кинематические. Кинематические параметры связаны с изучением фронтов, лучей, измерением времен распространения волн. К динамическим относятся параметры, характеризующие форму отраженных волн, во всем многообразии аспектов ее рассмотрения. Изучению динамических характеристик сейсмических данных способствует в настоящее время наличие хорошо калиброванных сейсмограмм, предоставляющих данные об отражениях в истинных амплитудах. Именно это обстоятельство делает возможным волновой подход, при котором в качестве исходных данных используются: форма отраженного волнового пакета, время и знак вступления, максимальная амплитуда, спектральные и энергетические характеристики отраженной волны. В связи с этим появилась возможность исследования качественно новых характеристик волновых полей - ускорений, напряжений, деформаций, наклонов. Одним из ключевых способов получения информации о свойствах объектов неоднородной среды является выделение и исследование формы отраженных волновых пакетов (сигналов) на разрезе ОГТ.

Опыт исследований последних лет позволил установить совокупность диагностических признаков - атрибутов сейсмических записей, которые являются количественными характеристиками наблюдаемых волновых полей. К настоящему времени [Chopra S., 70] выделено более 50 сейсмических атрибутов, которые используются при интерпретации получаемых материалов для более полного описания геологических структур, свойств пород и флюидов. В эволюции атрибутов выделено несколько периодов, которые неразрывно связаны с развитием и компьютеризацией сейсморазведки. Период 1980 - 1990 гг. - применение цифровых регистрирующих и обрабатывающих систем привело к использованию динамических характеристик регистрируемых волн и соответствующих атрибутов. Были

разработаны методики разделения разреза на однородные зоны и их количественной оценки, основанные на вычислении как интегральных, осредненных параметров поля и акустических свойств разреза (например, корреляционная методика прямых поисков, способы определения пластовых и интервальных скоростей и оценки вариаций статистических характеристик волновых полей и др.), так и дифференциальных, базирующихся на анализе узкой области волнового поля (например, «яркое пятно», итеративное сейсмогеологическое моделирование локальной зоны нефтегазонасыщения, псевдоакустический каротаж и др. [Авербух А.Г., 1; Михальцев А.В., Мушин И.А., Погожев В.М., 43]).

Период 1990 - 2000 гг. - создание цифровых, объемных изображений и появление целого ряда атрибутов, позволяющих анализировать динамические, спектральные и фазовые особенности волновых полей и находить соответствие между ними и параметрами разреза.

Настоящий период 2000 - 2005 гг. характеризуется значительным увеличением объемов трехмерной сейсморазведки и сверхглубинной сейсморазведки на опорных и региональных профилях, сопровождающимся ростом числа атрибутов, связанных с углубленной характеристикой наблюдаемых волновых полей.

В сложных сейсмогеологических условиях объекты земной коры сильно маскируются влиянием различных глубинных и поверхностных факторов. Поэтому при обработке необходимо применять приемы подавления ложных аномалий, а при интерпретации - решать задачу определения надежности и распознавания природы аномалий. В последние годы созданы методики обработки и анализа волновых полей, позволяющие исключить или ослабить влияние некоторых факторов на оценки кинематических и динамических характеристик отраженных волн (итеративные алгоритмы коррекции динамики поля за счет влияния неоднородностей верхней части разреза, способы исключения влияния кривизны границ на оценки амплитуд волн и др. [Сергеев В.Л., Михальцев А.В., 19, Кондратьев О.К., 31, 32, Гогоненков Г.Н., 58]). Точная оценка кинематических и динамических параметров сейсмического разреза ОГТ является основой для создания достоверной модели строения гетерогенной геологической среды. При этом кинематические параметры в большей степени связаны со структурным взаиморасположением различных областей гетерогенности, а динамические - с изменением вещественного состава, физических свойств и напряженного состояния вещества внутри этих областей. Динамическая обработка разреза ОГТ с восстановлением истинного соотношения амплитуд позволяет перейти к разделению сейсмических разрезов на основе кинематико-динамических параметров.

Среди существующих в настоящее время методик обработки и интерпретации глубинного ОГТ как основные можно выделить следующие.

Комплекс программ OKS (О.К.Кондратьев, [31, 32]) позволяет осуществить интерактивную обработку сложных сейсмических материалов с соблюдением следующих принципов: объектная ориентированность обработки с возможностью получения и проверки разноплановых вариантов разреза и количественной характеристики их достоверности; обеспечение корректности выполняемых процедур при минимальных искажениях полезной части волнового поля и исключении ложной информации путем использования в программах блоков анализа ситуации и принятия логических решений.

Для оценки улучшения качества сейсмических разрезов на разных этапах обработки или сопоставления разрезов при разных способах их получения в комплексе OKS используется количественный параметр когерентности суммарного поля отраженных волн. Этот параметр отображает степень амплитудной выразительности и прослеживаемости оси синфазности отраженных волн. Для отдельных отражающих горизонтов могут быть получены и сопоставлены графики этого параметра.

Путем статистической обработки графиков отдельных интерпретируемых параметров отражений производится автоматическое его осреднение и разделение участков профиля, в пределах которых осредненные данные могут считаться значимо отличными от данных на

соседних участках. Одновременно получают доверительные интервалы определения параметра на каждом таком участке. При строгом решении задач (особенно динамической сейсморазведки) без указания таких доверительных интервалов нельзя судить о степени достоверности результатов такой обработки и их пространственной разрешенности.

Программы комплекса OKS, основанные на идее логических преобразований волновых полей, представляют интерес с точки зрения извлечения и анализа полезной информации при обработке сейсмических данных.

Вначале производится вычисление определенных параметров входного поля данных. Далее задается строгая функциональная связь вычисления коэффициентов оператора от этих параметров, так называемая решающая функция. В логических операторах также вначале вычисляются запрограммированные параметры волнового поля. Затем производится их анализ, и в зависимости от его результатов могут быть приняты различные решения не только в виде расчета значений коэффициентов оператора, но и всего характера его действий. Таким образом, принцип действия логического оператора основан на двойном анализе: вначале самого поля для получения его параметров, а затем анализируют эти параметры для принятия логических решений.

Блок принятия логических решений может быть настроен по-разному для разных задач обработки. Так, например, в пространственном логическом фильтре предусмотрены две возможности вычисления управляющих параметров - оценка вероятности регистрации в данном месте сейсмограммы либо полезного сигнала, либо помехи. Далее возможно различное использование этих параметров. Можно преследовать цель увеличить мощность оператора выделения сигнала в зоне его слабого проявления (с неизбежными большими искажениями динамических характеристик целевых волн), либо наоборот выключить действие оператора в этой области или вообще исключить ее из обработки (не суммировать сомнительные участки записи для сохранения динамики отражений). На этом примере видно, насколько расширяются возможности логических операторов, прежде всего, из-за многовариантности результатов их действия и гибкости управления обработкой цифровых данных.

Понятие действия оператора преобразования волнового поля можно распространить на любую процедуру обработки, и любая их них может сопровождаться самыми различными блоками принятия логических решений. По большому счету, в этих блоках реализуется тот опыт анализа и обработки данных, который накапливается у геофизиков-интерпретаторов в процессе работы с сейсмическим материалом. В этой связи можно рассматривать логические преобразования цифровых данных в качестве первой ступени на пути создания анализирующих и обрабатывающих систем с искусственным интеллектом.

Использование комплекса сейсмических параметров закладывает изначальную основу метрологического обеспечения сейсмической интерпретации. В настоящее время разработаны методики автоматизированного принятия решений о существовании аномалии по комплексу параметров на основе, например, суммы взвешенных вероятностей, наличия аномалий по каждому параметру в отдельности. Однако качество принятого решения в таких методиках во многом определяется точностью задания априорных данных.

В этом смысле представляет интерес использование при интерпретации сейсмических материалов компьютерной технологии КОСКАД 3D [48 - 52], включающей реализацию широкого спектра оригинальных методов обработки геолого-геофизической информации.

Технология КОСКАД 3D находит все большее применение при обработке сейсмической параметризованной информации алгоритмами статистического и спектрально-корреляционного анализа, обнаружения слабых аномалий, распознавания образов и классификации. Применение алгоритмов программного комплекса в обработке данных сейсморазведки стало возможным благодаря появлению высокопроизводительной вычислительной техники.

Адаптации современных статистических алгоритмов технологии КОСКАД 3D в обработке сейсмической информации послужило то, что большинство из них ориентировано на анализ разнородной геолого-геофизической информации, т. е. информации, не зависящей от природы анализируемых полей. Такие сейсмические параметры, как мгновенная амплитуда, частота, когерентность и фаза, хотя и обладают специфическими особенностями, но вполне могут быть предметом анализа методами вероятностно-статистического подхода, реализованными в технологии КОСКАД 3D.

Тренд-анализ и фильтрация геофизических полей занимают важнейшее место в обработке геолого-геофизических данных. С их помощью решаются задачи разложения геофизических полей на составляющие, восстановления формы полезных сигналов, осложненных помехой, обнаружения слабоконтрастных аномалий и др. Несмотря на высокую степень формализации данного направления обработки геофизических данных, его практическая программная реализация встречает существенные затруднения, которые в первую очередь связаны с несоответствием принимаемой математической модели и действительных геолого-геофизических процессов.

Выполнение предпосылок относительно спектрально-корреляционных характеристик полезного сигнала и осложняющих его помех является необходимым требованием для корректного решения конкретной задачи посредством фильтрации геофизического поля, а их невыполнение ставит под сомнение полученные теоретические выводы, снижает качество обработки и нередко приводит к ошибочным конечным результатам.

Наиболее распространенным предположением относительно свойств наблюдаемых геополей при построении линейных оптимальных фильтров является предположение о стационарности спектрально-корреляционных характеристик полезного сигнала и помехи. Реально наблюдаемые геополя, в том числе данные 2D- и 3В-сейсморазведки, довольно редко удовлетворяют этому жесткому требованию. Таким образом, применение линейных оптимальных фильтров не всегда приводит к качественным конечным результатам без предварительной обработки исходной информации.

Рассматриваемые адаптивные фильтры позволяют учитывать изменение спектрально-корреляционных характеристик геополя непосредственно в процессе фильтрации и корректно обрабатывать нестационарные по спектрально-корреляционным характеристикам геополя, которыми отличаются практически все геофизические наблюдения.

Классификация полей сейсмических параметров по амплитуде и градиентным характеристикам позволяет осуществить процедуру дискретизации значений этих характеристик, т. е. спроецировать множество значений практически непрерывных величин на конечное число наиболее вероятных значений. Это позволяет выделить различные в смысле вектора среднего классы, однородные области и подчеркнуть существующие между ними границы. Каждая из однородных по нескольким признакам область может быть связана с определенными геологическим объектом, однородным по петрофизическим характеристикам.

Настоящее исследование посвящено созданию специальных приемов обработки глубинных сейсмических данных по региональным и опорным профилям, позволяющих изучать динамические свойства волновых полей, вычисляемые в рамках в рамках характерного размера локальных неоднородностей гетерогенной среды. Динамические характеристики неоднородных объектов являются более чувствительными параметрами в гетерогенных средах, чем кинематические. Кинематические параметры определяются расстоянием и скоростью распространения волн в среде и используются, в основном, для определения скоростной характеристики толщ пород и пространственного положения изучаемых объектов. Значения динамических параметров упругих волн зависят от неоднородности элементарного объема геосреды, где формируется упругая или акустическая волна. Важным является также и характер неоднородности, к числу которых можно отнести неравномерное распределение слоистости,

трещиноватости, пористости, насыщенности и т.п. Именно для определения этих свойств гетерогенной среды используются динамические параметры.

Важно заметить, что отраженные, дифрагированные и рассеянные волны дают общее интерференционное волновое поле на сейсмическом разрезе МОВ-ОГТ. Поэтому в последнее время разрабатываются методы обработки, позволяющие фокусироваться на разных его компонентах.

Например, красноярскими геофизиками развивается способ сейсмической разведки объектов, рассеивающих упругие волны, включающий возбуждение сейсмического сигнала, регистрацию сейсмического поля и обработку данных, направленную на выделение отраженных и рассеянных волн с помощью моделирования волнового поля от ожидаемых объектов рассеяния [Кочнев В.А., Поляков В.С., 33]. В данном способе с помощью моделирования подбираются такие параметры обработки сейсмических данных, которые позволяют наилучшим образом выделить рассеивающие объекты. Известно, что отраженные, дифрагированные и рассеянные волны, формирующиеся на границах неоднородных объектов в земной коре, дают общее интерференционное поле отраженных волн. В указанном выше способе на основе гипотезы о расположении ожидаемых объектов рассеяния проводят направленное выделение как отраженных, так и рассеянных волн путем моделирования волнового поля. Контроль результата и уточнение модели производится по обобщенным зависимостям амплитуд спектров сейсмических трасс от времени и частоты. Аномалии спектров сейсмических трасс используют как настройку для выделения объектов, рассеивающих упругие волны.

К недостаткам данного технического решения следует отнести то, что корректировка и уточнение модели строения геологической среды в указанном способе производится на основании изучения амплитудного спектра всей сейсмической трассы в целом. Это не позволяет изучать и сравнивать индивидуальные спектральные характеристики отдельных геологических объектов. К ограничениям рассматриваемого способа можно отнести и то, что при выполнении интерпретации полученных аномалий спектров сейсмических трасс требуется наличие независимых скважинных данных и других априорных геологических и промысловые данные.

Известен также способ обработки сейсмических данных, позволяющий добиться улучшения количественной оценки и визуализации отражения от тонкого пласта и других боковых нарушений сплошности горной породы, основанный на выявлении специальных эффектов в амплитудных спектрах участков сейсмических трасс, заключающих в себе указанные геологические объекты [Патрика Г.А., Гридлей Д.М., 48]. Авторами этого способа замечено, что отражение от тонкого пласта имеет характерную форму выражения в частотной области. Его амплитудно-частотный спектр содержит периодическую последовательность отметок (всплесков), отстоящих друг от друга на расстояние, обратно пропорциональное «временной толщине» тонкого пласта. Это характерное выражение используется для отслеживания отражений тонкого пласта, а также для оценки его толщины и протяженности.

Способ включает в себя получение отображения набора сейсмических трасс, распределённых по заданному объёму земли, выбор интересующей части указанного объема, преобразование выбранных фрагментов сейсмических трасс с использованием дискретного ортонормального преобразования (например, Фурье, Уолша), которое даёт множество коэффициентов преобразования (вычисление амплитудного и фазового спектров фрагментов трасс). Полученные коэффициенты ортонормального преобразования организуют в куб настройки, который используют для идентификации и локализации углеводородов. Известно, что амплитудный спектр всей сейсмической трассы близок к спектру импульса источника возбуждения упругих волн, вследствие случайного характера последовательности отражений, возникающей в геологической среде. Однако спектры, вычисленные для более коротких фрагментов сейсмических трасс, уже не являются стационарными в указанном выше смысле и

в них отражены свойства геологической среды, заключенной в пределах изучаемого фрагмента. Тонкий пласт действует как фильтр в частотной области и вносит собственный вклад в спектр импульса источника возбуждения: возникают узкие полосы ослабленных частот, имеющие характерный внешний вид, а расстояние между ними равно обратной «временной толщине» тонкого пласта. Таким образом, ослабленные частоты в амплитудном спектре используются в изобретении-прототипе для идентификации отражения от тонкого пласта и для измерения его толщины. Достижением известного способа является переход к спектральному анализу целевого участка сейсмической трассы, а не всей трассы в целом. Это позволяет добиться большей детальности при изучении свойств конкретных геологических объектов. Авторам рассматриваемого способа удалось выявить и использовать для идентификации спектральный образ тонкого пласта и близких к нему ситуаций выклинивания, бокового нарушения сплошности горной породы. Однако, геологические объекты чрезвычайно многообразны и столь же многообразны их проявления в амплитудных и фазовых спектрах. Способ - прототип направлен главным образом на улучшение количественной оценки и на настройку визуализации для обнаружения эффектов от тонкого сейсмического пласта и других малых геологических объектов: линз, областей выклинивания пластов, боковых нарушений сплошности пород, являющиеся актуальными при поиске и локализации неантиклинальных ловушек углеводородов в осадочных толщах, что ограничивает область его применения.

К недостаткам рассмотренного выше способа можно отнести также то, что фрагмент трассы, анализируемый в данном изобретении, нельзя рассматривать в качестве индивидуального отражения, сформированного на отдельном отражающем объекте геологической среды. Соответственно спектры, вычисленные по фрагментам сейсмических трасс, не являются характеристикой индивидуальных отражающих свойств отдельного объекта геологической среды, содержащегося в пределах изучаемого фрагмента сейсмических трасс.

Вследствие указанных выше особенностей рассмотренный способ является недостаточно эффективным и информативным при обработке и интерпретации глубинных сейсмических данных в условиях сложных гетерогенных сред земной коры и верхней мантии.

Задачей настоящей работы является повышение информативности результатов обработки глубинных сейсмических данных при исследовании сложных гетерогенных сред земной коры и верхней мантии и повышение, таким образом, эффективности проведения сейсморазведочных работ.

Проведенные в настоящей работе исследования направлены на создание технологии получения динамических, в частности, спектральных и энергетических характеристик сейсмических волн на основе получения и последующего использования локальной формы волнового пакета. Под локальным волновым пакетом автор понимает неразделимую интерференцию отраженных, дифрагированных, рассеянных волн, формирующуюся на неоднородном объекте земной коры, имеющую начало и конец на сейсмической трассе и обладающую устойчивой (повторяющейся) формой для данного объекта.

Разработанный автором специализированный программный комплекс StreamSDS [Гошко Е.Ю., 13 - 15] позволяет исследовать один из наиболее важных динамических эффектов с точки зрения прогноза месторождений полезных ископаемых в условиях сложных гетерогенных типов сред, мало различающихся по скоростям, - поглощение энергии отраженных волн, проявляющееся в нелинейности коэффициента затухания амплитуд отраженных волн в области средних и высоких частот. Эта характеристика гетерогенной среды связана с важными параметрами прогноза полезных ископаемых на больших глубинах: повышенной трещиноватостью, разломами и разрушениями, а также заполнением порового пространства флюидами различного происхождения.

Глубинные разрезы ОГТ по опорным и региональным профилям содержат наиболее полную информацию о строении и состоянии пород в глубоко залегающих зонах земной коры и мантии. В настоящее время изучение глубинного строения Восточной территории России для

развития ее минерально-сырьевой базы стало приоритетной задачей Министерства Природных Ресурсов Российской Федерации. С 1994 г. и по настоящее время в России создается государственная сеть опорных геофизических профилей для обеспечения широкого круга недропользователей информацией о строении недр. В настоящее время автор данной работы принимает участие в глубинных исследованиях, проводящихся на опорных профилях: 1-СБ, 3-СБ, 2-ДВ. В диссертации представлены результаты развития автором алгоритмов и вычислительных технологий обработки и интерпретации глубинных сейсмических разрезов в условиях гетерогенных сред земной коры.

Применение предложенной вычислительной технологии на материалах опорных сейсмических профилей ОГТ дало результаты, хорошо согласующиеся с прежними представлениями о строении исследуемых территорий, но и добавило новые, интересные с геологической точки зрения, данные о строении земной коры [Гошко Е.Ю., 16 - 18, Мигурский А.В., Гошко Е.Ю., 38 -40].

Основные результаты диссертационной работы

1. Разработан алгоритм вычисления локальной формы отраженного волнового пакета по данным профильных глубинных сейсмических наблюдений МОВ-ОГТ. Он позволяет изучать изменяющуюся форму сейсмического отражения в сложных гетерогенных средах.

2. Проведено численное исследование алгоритма выделения формы сейсмического импульса на основе компьютерного моделирования волновых образов геологических сред с помощью синтетического разреза ОГТ. Применение алгоритма выделения локальных волновых пакетов на синтетическом разрезе ОГТ позволило восстановить заданную форму сейсмических импульсов и их частотные характеристики. Исследована устойчивость алгоритма, показано, что достаточно около ста суммирований в пределах окна вычислений для получения стабильной формы локального отражения.

3. Разработана методика изучения динамических (спектральных, энергетических) характеристик локальных волновых пакетов в условиях сложных гетерогенных сред земной коры.

4. Создан вычислительный программный комплекс StreamSDS, позволяющий: создавать и визуализировать матрицу локальных волновых пакетов, вычисленную на глубинном разрезе ОГТ с помощью вышеназванного алгоритма, позволяющую анализировать динамические характеристики отражений от локальных неоднородностей среды; формировать куб амплитудных спектров локальных волновых пакетов в пространстве трех переменных: временной и латеральной координат сейсмического профиля и частоты (t , x , f); получать и визуализировать двумерные срезы спектрального куба по любой из вышеперечисленных координат: t , x , f для анализа и разделения глубинных сейсмических данных на области, однородные по спектральным и энергетическим характеристикам локальных волновых пакетов, отраженных от неоднородностей геологической среды; диагностировать зоны затухания энергии отраженных волн на основе исследования срезов спектрального куба по частоте, позволяющего обнаружить эффекты, связанные с поглощением высоких частот, рассеянием и другими потерями энергии при прохождении сейсмического импульса в неоднородной толще пород.

5. Разработанное автором алгоритмическое и компьютерное обеспечение для исследования динамических параметров отраженных волн было внедрено во ФГУП «СНИИГГиМС» в соответствии с Актом о внедрении (см. Приложение 1). Вычислительный комплекс StreamSDS был применен для обработки и интерпретации материалов по опорным сейсмическим профилям Восточной Сибири и Дальнего Востока в рамках выполнения договоров ФГУП «СНИИГГиМС» с Министерством Природных ресурсов, Агентством по недропользованию РФ: опорному профилю 2-ДВ (г. Магадан - мыс Эммытаген), 2000 погонных километров, длительность регистрации наблюдений 25 сек; расчески к профилю 3-СБ «Алтай-Северная Земля», 300 погонных километров, длительность регистрации наблюдений 24 сек;

рассечки к опорному профилю 1-СБ «Батолит», 50 пог. км, длительность регистрации наблюдений 18 сек.

Полученные в результате применения вычислительного комплекса StreamSDS новые варианты изображения консолидированной земной коры позволили уточнить физические и геометрические параметры гетерогенной среды, а, следовательно, повысить обоснованность и достоверность созданных геолого-геофизических и геолого-тектонических моделей глубинного строения указанных территорий.

Заключение

Актуальной задачей динамического анализа отраженных волн в сейсморазведке является разработка численных алгоритмов диагностики нелинейных особенностей волновых полей, которые не могут быть объяснены с прежних позиций линейной теории упругости. В частности, большое практическое значение имеет задача выявления эффектов поглощения отраженных волн, параметры которого зависят от частоты.

Численные расчеты, проведенные с помощью описанного алгоритма и разработанного на его основе специализированного вычислительного комплекса StreamSDS на фрагменте опорного сейсмического профиля ОГТ, показывают адекватные (с точки зрения геологической интерпретации) результаты. Предлагаемый алгоритм, его программная реализация, методика анализа и интерпретации амплитудных полей высокочастотной части спектра отраженного сейсмического сигнала являются новым инструментом исследования нелинейных эффектов поглощения высоких частот, связанных со свойствами среды. Особенно это актуально в глубинных зонах, не доступных бурению.

Применение специализированного вычислительного комплекса StreamSDS позволяет достоверно выявлять зоны повышенного затухания отраженных сейсмических волн, имеющие высокую информативную и прогнозную значимость при глубинных сейсмических исследованиях.

Получаемая данным методом характеристика гетерогенной среды связана с важными параметрами прогноза полезных ископаемых: повышенной трещиноватостью, разломами и разрушениями, а также заполнением порового пространства флюидами различного происхождения. Перечисленные свойства среды влияют на размещение и локализацию рудных полей, как правило приуроченных к зонам разломов, зонам повышенной трещиноватости пород, интрузивным образованиям и пр. Результатами геологоразведочных работ последних лет доказана принципиальная возможность открытия промышленных углеводородных скоплений на больших глубинах. Дальнейшая задача прогноза и поисков глубокозалегающих залежей зависит от степени изученности условий и факторов формирования и размещения таких объектов. Выявление особенностей строения земной коры, тектонических обстановок в ее глубоких частях, влияющих на формирование залежей углеводородов на больших глубинах, приобретает особую актуальность.

Исследование сейсмоакустического разреза, получаемого в системе РеапакРД [Рудницкая Д.И., 2], с помощью сейсмоакустических атрибутов значительно увеличивает обоснованность и достоверность геолого-геофизических моделей изучаемых сред земной коры. Программы блока ATTRIBUTES [Гошко Е.Ю., 15] были успешно применены для вычисления физических и геометрических характеристик сейсмоакустических разрезов по геотраверсам 2-ДВ и 3-СБ.

Список литературы диссертационного исследования

1. Авербух А.Г. Изучение состава и свойств пород при сейсморазведке. - М.: Недра, 1982, - 232 с.
2. Авторское свидетельство № 990128 «свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ». Рудницкая Д.И., Горячев Д.Н., Корнилов М.В., Гошко Е.Ю. и др. - Регистрация 12.03.99 г.
3. Аки К., Ричарде П. Количественная сейсмология. Т. 1, 2. М.: Мир, 1983.

4. Алексеев А.С., Цибульчик Г.М. Математические модели сейсморазведки. В сб. «Актуальные проблемы вычислительной математики и математического моделирования» Отв. ред. Алексеев А.С. Новосибирск: Наука, 1985 г., с. 91-108.
5. Алексеев А.С. О проблемах развития информационно-вычислительных технологий в геологоразведке. Доклады научно-практической конференции «Инновационные технологии для нефтегазового комплекса», г. Новосибирск, 2005 г.
6. Берзон И.С., Епинатьева А.М., Парийская Г'.Н., Стародубровская
7. С.П. Динамические характеристики сейсмических волн в реальных средах.122
8. Изд. АН СССР, Москва, 1962.
9. Биезайс Я.Я., Рудницкая Д.И., Романов Н.Я, 2000 Строение земной коры в районе Мирнинского кимберлитового поля по данным СГ-ОГТ: Геофизика, №1, 40-42.
10. Васильев В.П., Рудницкая Д.И., Сагайдачная О.М., Горячев Д.Н. Результаты интерпретации данных СГ-ОГТ методами системы РЕАПАК. Геофизика, № 3, 1999. 10-13.
11. Ведерников Г.В., Ермолаева Г.М., Петров А.В., Поздняков В.А., Рудницкая Д.И., Сергеев В.Л. Экспертная обработка материалов СГ-ОГТ. -Геофизика, № 5, 2003 г.
12. Гошко Е.Ю., Зеркаль С.М. Алгоритмическое обеспечение исследования гетерогенных сред земной коры по динамическим характеристикам локальных волновых пакетов. Вестник НГУ, Том 4, Выпуск 1, Серия: Информационные технологии, 2006 г.
13. Гошко Е.Ю., Рудницкая Д.И., Сагайдачная О.М., Сальников А.С.
14. Гутаров А.П., Жданович В.В., Михальцев А.В., Потапов О.А. Возможности и ограничения динамической обработки сейсморазведочных данных. М., 1985, 45 е., - Разведочная геофизика: Обзор ВНИИ экон. Минер. Сырья и геологоразвед. Работ. (ВИЭМС)
15. Зеркаль С.М. Определение непрозрачных зон в Земле методом компьютерной томографии в кинематической постановке. ДАН СССР. 1991. Т. 317, №2, с. 330-333.
16. Зеркаль С.М. Численное решение обратной трехмерной кинематической задачи сейсмологии в линеаризованной постановке. Геология и геофизика. 1988. № 11, с. 126- 133.
17. Жерняк Г. Ф., Сергеев В. Л. и др. Система высокоразрешающей обработки, анализа и моделирования сейсмических данных: Геофизика, спецвыпуск Сибнефтегеофизика, 2001, с. 53 -55.
18. Караев Н. А., Анисимов А. А., Кашкевич В. И., Травинская Т. К. Сейсмическая гетерогенность земной коры и ее отображение в поле рассеянных волн: Геофизика, 2,1998, с. 29-39.
19. Караев Н. А., Скотт Смитсон, 1995, Многокомпонентные сейсмические исследования в районе Кольской сверхглубокой скважины: Геофизика, 1, 1995.32 -40.
20. Караев Н.А., Лебедин П.А. Сейсмическая гетерогенность земной коры и модель волнового поля. Исследование литосферы в работах Петербургских геофизиков. СПб.: ВИРГ - «Рудгеофизика», ВНИИОкеанология, 2003 г.
21. Козлов Е.А., Гогоненков Г.Н., Лернер Б.Я. и др. Цифровая обработка сейсмических данных. - М.: Недра, 1973, - 312 с.
22. Кондратьев И.К., Киселев Ю.А., Ковригина Е.И., Крылов Д.Н.
23. Оценка точности и разрешающей способности используемых на практике способов решения обратной динамической задачи сейсморазведки. Региональная и морская геофизика: Обзор ВИЭМС. - М., 1990.
24. Кондратьев О. К. Идеология и средства обработки сейсмических материалов: Геофизика, 5, 1998, с. 3 -11.
25. Кондратьев О. К., Говорова Л. А., Гуляева М. М., Скоростная параметризация земной коры по отраженным волнам: Глубинное строение и геодинамика Южного Урала. Проект "Уралсейс" Спецгеофизика: Тверь, 2001, с. 62-70
26. Кочнев В.А., Поляков В.С. и др, патент РФ № 2 248 014, G 01 V 1/00, Красноярск, 2004 г.

27. Кузнецов О.Л., Чиркин И.А., Курьянов Ю.А. и др. Сейсмоакусти-ка пористых и трещиноватых геологических сред. Экспериментальные исследования. В трех томах. - М.: Государственный научный центр РФ -ВНИИГеосистем, 2004.
28. Кунин Н.Я., Иогансон Л.И. Геофизическая характеристика и строение земной коры Западной Сибири. М.: ИФЗ АН СССР. 1984. 218 с.
29. Кунин Н.Я., Шейх-Заде Э.Р. Исследования литосферы докритическими отраженными волнами. М.: Наука, 1993.
30. Максимов С.П., М.И. Лоджевская, Р.Г. Самвелов, Б.А. Соловьев, Б.Д. Гончарешко. Геологические условия нефтегазоносности на больших глубинах. Международный геологический конгресс, XXVIII сессия. Докл.сов. геологов. -М., 1988.
31. Мигурский А.В., Гошко Е.Ю. «Сейсмогеологическая модель земной коры по геотраверсу Уралсейс». Монография: «Результаты исследований по международной программе «Уралсейс». Тверь, 2002 г.
32. Михальцев А.В., Вилкова Э.С., Давыдова Л.Н. и др. Влияние не-однородностей верхней части разреза на оценки амплитуд отраженных волн. Прикладная геофизика, вып. 105. М.: Недра, 1982, с. 19-33.
33. Михальцев А.В., Киричек М.А., Петухов А.В. Прямое прогнозирование месторождений нефти и газа с применением комплекса геофизических и геохимических методов. Доклады геологического конгресса в Москве, Секция «Геофизика», Т. 8, М.: Наука, 1984, с. 134-153.
34. Михальцев А.В., Мушин И.А., Погожев В.М. Алгоритмы и графыцифровой обработки амплитуд отражений в структурно-формационной сейсморазведке. Прикладная геофизика, 1980, вып. 97, с. 24-44.
35. Мячкин В. И., 1978, Процессы подготовки землетрясений: Наука.
36. Никитин А. А., 1979, Статистические методы выделения геофизических аномалий: МЛ, Недра.
37. Павленкова Н.И. Развитие представлений о сейсмических моделях земной коры. Геофизика, № 4, 1996, с. 11-18.
38. Патрика Г.А., Гриддей Д.М. (США, БП Корпорейшн Норт Америка инк.), патент РФ № 2 187 828, G 01 V 1/30, 1998 г
39. Петров А. В., 1996, Адаптивная фильтрация геополей: Геоинформатика,
40. Петров А. В., 1996, Методы адаптивной фильтрации и многомерного дисперсионного анализа в компьютерной технологии КОСКАД 3D: Автореферат диссертации на соискание ученой степени
41. Петров А. В., Никитин А. А. Классификация комплексных геополей на однородные области. Геология и разведка. Изв. вузов, № 3, 1999
42. Поздняков В. А., Ледяев А. И., 2001, Программная реализация сейсмологографического фокусирующего преобразования в ProMAX: Новые технологии в геофизике: Уфа, МинэнергоРФ 247-248.
43. Поздняков В. А., Сафонов Д. В., Чеверда В. А., 2000, Оптимизация параметров фокусирующих преобразований с использованием численного моделирования: Геология и геофизика, 41, 6, 930-938.
44. Применение цифровой сейсморазведки для прямых поисков нефтегазовых залежей/ А.Г.Авербух, В.А.Гельфанд, Г.Н.Гогоненков и др. Обзор. М.:ВИЭМС, 1979. - 69с.
45. Пузырев Н.Н. Методы и объекты сейсмических исследований (введение в общую сейсмологию). Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГМ, 1997 г.
46. Результаты интерпретации данных СГ-ОГТ методами системы РЕАПАК / В. П. Васильев, Д. И. Рудницкая, О. М. Сагайдачная, Д. Н. Горячев // Геофизика. М.: ГЕРС, 1999. - № 3.
47. Рудницкая Д.И., Биезайс Я.Я., Гошко Е.Ю. «Применение системы 130

48. Рудницкая Д.И., Корнилов М.В., Гошко Е.Ю. «Опыт использования системы РЕАПАК при изучении месторождений нефти и газа в Западной Сибири». Научно-технический журнал ЕАГО, Геофизика, 1996 г., № 3, с. 19-24.
49. Скрипий А.А., Структура глубинного оползания Южного Урала по данным «Уралсейс-95»: Тезисы совещания «Современные проблемы шарьяжно-надвиговой тектоники»: Уфа. 1997
50. Соборнов К.О., 1996, Структурные сегменты уральского пояса надвигов и его нефтегазоносность: Геология нефти и газа, 3.
51. Солодилов Л. Н., Попова О. Г., Коновалов Ю. Ф., Кухмазов С. У., Минина Н. А., Кадурина Л. С., 1999, Возможность мониторинга состояния земной коры с использованием далеких землетрясений: Разведка и охрана недр, 11, 51-53.
52. Страхов В. Н., 1989, К новой парадигме сейсмологии: Природа, 12, 4-9. Кондратьев О. К., 2000, Новая парадигма прогноза землетрясений: Наука в России, 4, 45-51.
53. Суворов В. Д. Глубинные сейсмические исследования в Якутской кимберлитовой провинции. Новосибирск: Наука, 1993.
54. Янг Р. П., Хилл Дж. Дж. Статистический анализ спектров сейсмических записей с целью определения свойств горных пород. В сб.: Анализ и выделение сейсмических сигналов. - М.: Мир, 1986.
55. Benin R., Oncken O., Knapp J. H., Perez-Estaun A., Hismatulin T., Yunusov N., Lipilin A., 1996, Orogenic evolution of the Ural Mountains: results from an integrated seismic experiment: Science, 274/5285, 220-221.
56. Berzin R., Oncken O., Knapp J.H., Perez-Estaun A., Hismatulin T., Yunusov N., Lipilin A., 1996, Orogenic evolution of the Ural Mountains: results from an integrated seismic experiment: Science, 274/5285, pp. 220—221.
57. Carbonell R., Perez-Estaun A., Gallar J., Dia J., Kashubin S., Mechie J., Stadtlander R., Schulze A., Knapp J.H., Morozov A., 1996, Crustal root beneath the Urals: wide-angle seismic evidence: Science, 274/5285, pp. 222—224.
58. Carbonell R., Perez-Estaun A., Gallar J., Dia J., Kashubin S., Mechie J., Stadtlander R., Schulze A., Knapp J. H., Morozov A., 1996, Crustal root beneath the Urals: wide-angle seismic evidence: Science, 274/5285, 222-224.
59. Chorpa S., Marfurt K.J. Seismic attributes: A historical perspective. Geophysics, Vol. 70, № 5, 2005.
60. Hurich C. A., 1996, Statistical description of seismic reflection wave-fields: a step towards quantitative interpretation of deep seismic reflection profiles: Geophys.J.Int, 125, pp. 719-728.
61. Knopoff L.Q. Review of Geophysics, 2, 625-660, 1964
62. Solomon S.C. Seismic-wave attenuation and partial melting in the upper mantle of North America. Journal of Geophysical Research. 1972, 78, 6044-6059.
63. Spenser T.W. The method of generalized reflection and transmission coefficient. Geophysics, 25, 625-641, 1960.