

*На правах рукописи*

**СМИРНОВ МАКСИМ ЮРЬЕВИЧ**



**ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ МИГРАЦИОННЫЕ  
ПРОЦЕДУРЫ КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ  
ИНФОРМАТИВНОСТИ СЕЙСМИЧЕСКИХ РАЗРЕЗОВ В ЗОНАХ  
КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ**

Специальность 25.00.10 – геофизика, геофизические методы  
поисков полезных ископаемых

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

Тюмень - 2004

Работа выполнена в Департаменте научно-исследовательских работ ОАО «Тюменнефтегеофизика»

Научные руководители: доктор геолого-минералогических наук,  
профессор В.И.Кузнецов

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук,  
профессор Р.М.Бембель  
кандидат физико-математических наук, доцент  
В.М.Вингалов

Ведущая организация: ТО СургутНИПИнефть

Защита состоится «24» июня 2004 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета Д 212.273.05 в Тюменском государственном нефтегазовом университете по адресу: 625000, г.Тюмень, ул. Володарского, 56, IV корпус, ТюмГНГУ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ТюмГНГУ.

Отзывы, заверенные печатью учреждения, в одном экземпляре просим направлять по адресу: 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38, Тюменский государственный нефтегазовый университет, ученому секретарю диссертационного совета.

Автореферат разослан «21» мая 2004 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
доктор геолого-минералогических  
наук, профессор



А.А.Дорошенко

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

**Актуальность проблемы.** Поиски и разведка сложных ловушек углеводородов в изверженных и метаморфизованных отложениях фундамента Западной Сибири остается острой и пока слабо разработанным направлением нефтегазовой геологии. Природа, структура и нефтеперспективность сложных фрактальных геологических объектов, приуроченных к верхней части доюрских отложений и часто называемых очагами линейной коры выветривания, представляет собой одну из наиболее актуальных проблем в нефтегазовой геологии. Данная работа представляет научную разработку, направленную на повышение информативности сейсмических разрезов в зонах линейной коры выветривания. На примере Северо-Даниловского нефтяного месторождения показаны пути решения данной проблемы с помощью объектно-ориентированной миграционной процедуры.

Процедура миграции данных сейсморазведки (как до, так и после суммирования) в течение последних нескольких десятилетий остается одним из наиболее актуальных направлений развития современной геофизики. Активный рост интереса к этой проблеме возник в конце 1960-х – начале 1970-х годов и был связан с бурным развитием возможностей вычислительной техники и повсеместным внедрением в производство цифровой обработки. Это сделало возможным применение на практике различных дорогостоящих в вычислительном плане процедур. На тот момент основные задачи, решаемые с помощью процедур миграции, были связаны с учетом сейсмического сноса и корректным суммированием дифрагированных волн. В основном это давало возможность выполнять структурные построения, то есть правильно решать кинематическую задачу.

В дальнейшем было показано, что применение процедуры миграции до суммирования позволяет получить изображение среды с сохранением «истинной» динамической картины. Появилась серия методов, реализующих процедуру миграции и учитывающих изменение динамических параметров волн, связанное с их распространением в среде. Применение процедур миграции с сохранением истинных амплитуд, дало возможность получения изображений строения среды с распределением амплитуд пропорционально коэффициентам отражения, которые необходимы для корректного выполнения последующего динамического

анализа. Это сделало процедуру миграции до суммирования неотъемлемой частью динамического анализа данных сейсморазведки.

В 1980-х годах процедура миграции стала успешно использоваться для итеративного уточнения скоростной модели. В совокупности с томографическими методами решения обратной задачи, процедура миграции на сегодняшний день составляет основу ряда программных комплексов, нацеленных на построение скоростных моделей среды.

В последнее время все больше возрастают требования к детальности сейсмических исследований. Одним из путей достижения этой цели является применение так называемых объектно-ориентированных миграционных преобразований. Одно из наиболее перспективных направлений их применения – построение изображений дифрагирующих/рассеивающих объектов, в том числе расположенных вблизи регулярных отражающих границ.

Более того, объектно-ориентированные миграционные преобразования позволяют не только построить изображения рассеивающих объектов, но и оценить энергию образованных на них рассеянных волн. Поскольку энергия рассеянных волн напрямую определяется количеством трещин в среде, такое использование объектно-ориентированных преобразований позволяет качественно определить степень трещиноватости в точках исследуемого пространства.

Оценка степени трещиноватости среды, даже на качественном уровне, имеет большое значение при освоении и разработке залежей нефти и газа. Актуальность этой задачи возрастает для месторождений в доюрских отложениях Западной Сибири, поскольку успешность бурения добывающих скважин для таких месторождений во многом определяется положением этих скважин относительно зон с повышенной степенью трещиноватости.

Несмотря на такое пристальное внимание к данной проблеме, до сих пор остаются слабо освещенными вопросы подбора параметров объектно-ориентированных миграционных процедур для построения изображения различных геологических объектов. Ряд промышленных реализаций процедуры миграции до сих пор не имеет достаточного набора варьируемых параметров для гибкого использования этого мощного инструмента геофизика. А объектно-ориентированные миграционные

преобразования еще не нашли своей реализации ни в одной промышленной системе обработки сейсмических данных.

**Целью данной работы** является:

- Обоснование возможности использования объектно-ориентированных миграционных преобразований для повышения информативности сейсмических разрезов и дифференцирования исследуемой среды по степени трещиноватости для коры выветривания Северо-Даниловского месторождения.
- Анализ и систематизация задач, решаемых с помощью процедур миграции и фокусирующих преобразований (построение отражающих и дифрагирующих/рассеивающих объектов, скоростной анализ, оценка степени трещиноватости среды).
- Описание ряда методов получения сейсмических разрезов (глубинная и временная миграции до суммирования, фокусирующее преобразование сейсмических данных, сейсмический локатор бокового обзора и т.д.) в рамках одной математической постановки.
- Выявление взаимосвязи параметров объектно-ориентированных миграционных процедур с разрешающей способностью при построении сейсмических изображений различных геологических объектов и картировании зон повышенной трещиноватости.

Для достижения данной цели в процессе выполнения работы были решены следующие **основные задачи**:

- Выполнен анализ и проведена систематизация задач, решаемых с помощью процедур миграции (построение отражающих и дифрагирующих/рассеивающих объектов, скоростной анализ, оценка степени трещиноватости среды).
- В рамках одной математической постановки был описан ряд методов построения сейсмических разрезов (глубинная и временная миграции до суммирования, фокусирующее преобразование сейсмических данных, сейсмический локатор бокового обзора и т.д.).
- Выявлена взаимосвязь параметров объектно-ориентированных миграционных процедур с разрешающей способностью при построении сейсмических изображений различных геологических объектов и картировании зон повышенной трещиноватости.

- Проведен анализ артефактов процедуры миграции и предложены способы их подавления.
- Выполнена серия сравнительных численных экспериментов с синтетическими и реальными данными для обоснования целесообразности использования данного подхода при обработке сейсмических данных (на основании выполненных расчетов продемонстрирована эффективность предложенных подходов для решения соответствующих геологических задач).

**Научная новизна.**

- Предложены подходы к подавлению артефактов миграции для систем наблюдения с низкой и/или неравномерной кратностью.
- Разработана методика выявления нефтеперспективных ловушек в коре выветривания, связанных с повышенной трещиноватостью горных пород.
- Разработаны новые подходы выбора параметров объектно-ориентированных миграционных процедур для выделения в сейсмическом разрезе целевых геологических объектов (наклоненные определенным образом отражающие границы, зоны выклинивания, зоны разломов, зоны повышенной трещиноватости и т.д.)

**Практическая ценность.** Применение предложенного подхода подавления артефактов миграции, связанных с размазыванием энергии вдоль изохрон времен пробега для систем наблюдения с малой, или неравномерной кратностью, позволяет существенно увеличивать соотношение сигнал/помеха на финальных мигрированных изображениях, повышая тем самым точность геологической интерпретации.

Использование объектно-ориентированных миграционных преобразований обеспечивает повышение детальности изображения объектов, являющихся традиционно сложными для методики ОГТ (например, доюрское основание). Их применение для качественной дифференциации исследуемой среды по степени трещиноватости горных пород является эффективной и недорогой методикой, используемой для стандартных сейсмических данных многократного перекрытия. Локализация объектов с повышенной степенью трещиноватости в доюрском основании Западной Сибири, дает ключ к поиску месторождений с гигантскими запасами нефти и газа.

Все предложенные в работе подходы и методы нашли свое практическое применение в производственных работах ОАО «Тюменнефтегеофизика».

**Фактический материал.** Для изучения различных аспектов предлагаемых подходов, в работе используются синтетические двумерные волновые поля, рассчитанные с помощью конечно-разностного подхода.

Для демонстрации методик подавления артефактов миграции и уточнения референтной скоростной модели, наряду с синтетическими, были использованы реальные данные ВСП с серии скважин Западной Сибири.

Эффективность применения объектно-ориентированных миграционных преобразований при построении сейсмических разрезов продемонстрирована на серии реальных сейсмических материалов, полученных на Рогожниковской площади Западной Сибири и в штате Асам (Индия). Предварительная обработка сейсмических данных выполнена в обрабатывающей системе ProMAX 1998.6.

Для решения задачи картирования зон повышенной трещиноватости доюрского основания объектно-ориентированное миграционное преобразование было применено к данным профильных наблюдений, полученным методом МОГТ на Северо-Даниловском месторождении Западной Сибири. При анализе полученных результатов были привлечены скважинные данные, включающие в себя данные ВСП, ГИС, результаты испытания скважин на наличие продукта в коре выветривания. Кроме того, использованы данные о тектоническом строении района работ и о составе пород. На основании привлеченных данных проведен анализ процессов формирования вторичных коллекторов в доюрском основании. Выявлены достоверные зависимости между результатами применения объектно-ориентированного миграционного преобразования и результатами испытания коры выветривания на наличие продукта.

**Апробация работы и публикации.** Результаты данной работы неоднократно докладывались на различных российских и международных конференциях, наиболее значимыми из которых являются: 2-ой семинар по технологии решения обратных задач «Сейсморазведка в реальных амплитудах» (18-20 февраля 2001 г., Карлсруе, Германия); 63 ежегодная конференция и выставка Европейской ассоциации геологов и инженеров (EAGE) (11-15 июня 2001 г., Амстердам, Нидерланды); международная

геофизическая конференция и выставка «Геофизика XXI века – прорыв в будущее» (1-4 сентября 2003 г., Москва); международная научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов «Геофизика 2003» (1-4 октября 2003 г., Санкт-Петербург); российско-европейский семинар «Разработка нефтяных месторождений на поздней стадии эксплуатации» (21-22 апреля 2004 г., Тюмень). По теме диссертации автором опубликовано 9 работ.

Производственная апробация предлагаемого подхода выполнена в ОАО «Тюменнефтегеофизика». Часть выполненных работ вошла в производственные отчеты ОАО «Тюменнефтегеофизика».

**Структура и объем работы.** Диссертация изложена на 145 страницах, включая 65 рисунков, 5 таблиц и список использованной литературы из 120 наименований, состоит из введения, пяти глав и заключения.

**Личный вклад автора.** Теоретическая часть представленной работы выполнена в Лаборатории динамических проблем сейсморазведки в Институте геофизики СО РАН (г.Новосибирск). Далее выполнение работы было продолжено в Департаменте научно-исследовательских работ ОАО «Тюменнефтегеофизика» (г.Тюмень) в тесном сотрудничестве с сотрудниками Института геофизики СО РАН (г.Новосибирск) и специалистами ЗАО «Красноярскгеофизика» (г.Красноярск) и Института новых нефтегазовых технологий РАН (г.Москва). Как и любое фундаментальное исследование, настоящая диссертационная работа не существовала бы без коллективного труда. Изложенные материалы, посвященные теории миграционных и фокусирующих преобразований, практическим аспектам их реализации, а также методические разработки и результаты их применения на конкретных нефтегазоперспективных объектах, были получены в рамках производственных и научных работ, в которых автор принимал участие. Тем не менее, все основные результаты получены автором самостоятельно, либо при его непосредственном участии.

Автор выражает глубокую благодарность и особую признательность своим научным руководителям: доктору геолого-минералогических наук В.И.Кузнецову, доктору физико-математических наук К.Д. Клем-Муссатову и кандидату физико-математических наук В.А.Чеверде, а также доктору физико-математических наук, академику РАН С.В.Гольдину.

Автор благодарен кандидату технических наук В.З.Кокшарову и кандидату геолого-минералогических наук В.А.Позднякову за ценные советы, замечания и постоянное внимание, а также генеральному директору ОАО «Тюменнефтегеофизика» кандидату технических наук, академику РАЕН Ю.А.Курьянову за поддержку.

Автор выражает признательность И.А.Чиркину, А.Д.Боровых, В.И.Ибраеву, В.В.Стеклёневу, В.П.Торгашову, А.Н.Кычкину, А.А.Карташову, Г.В.Волкову, Н.А.Волковой, М.С.Черняевой и Е.А.Букариновой за сотрудничество, поддержку и помощь в работе. Автор благодарит соавторов и коллег, участвовавших в проведении работ и внедрении положений диссертации, а также Р.М. Бембеля и В.М.Вингалова, за то что они взяли на себя труд оппонировать данную работу.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во введении показана актуальность работы, сформулированы цель и основные задачи исследования, защищаемые положения, научная новизна и практическая значимость работы.

### **Глава 1. Современное состояние миграционных преобразований**

В главе дано подробное описание истории развития теории миграционных процедур. Проведен анализ современного состояния проблемы с учетом работ зарубежных геофизиков. В главе введены основные понятия и определения, смысл которых показан на простом примере.

Процедура миграции являлась одним из основных инструментов геофизика-интерпретатора, по крайней мере, с 1940-х годов. Одной из первых работ, в которой было дано теоретическое обоснование процедуры миграции, является работа Хагедорна 1954 года. При наличии в среде криволинейных отражающих границ может возникать значительное несоответствие между конечными сейсмическими разрезами, полученными по методу ОГТ и реальным геологическим строением среды. Это несоответствие, как правило, вызвано разницей горизонтальных координат точки образования отраженной волны на границе и точки ее наблюдения на земной поверхности, которая называется сейсмическим сносом. Долгое время основная цель применения процедуры миграции заключалась именно в учете сейсмического сноса.

Несмотря на то, что первая промышленная реализация процедуры миграции появилась более тридцати лет назад, тематика миграционных преобразований до сих пор остается одной из наиболее актуальных в разведочной геофизике. Необходимость применения процедуры миграции продемонстрирована даже для районов с субгоризонтальным залеганием отражающих горизонтов. В связи с непрерывным ростом быстродействия вычислительных систем и требований к точности геологической интерпретации по сейсмическим данным, процедура миграции не только после, но и до суммирования становится обязательным пунктом стандартного графа обработки большинства сервисных геофизических компаний. Без выполнения миграции до суммирования невозможен корректный последующий динамический анализ.

Сегодня, когда основные нефтегазоперспективные объекты уже достаточно хорошо изучены - перед геофизиками встают все более тонкие задачи, возрастает требовательность к точности обработки и геологической интерпретации данных сейсморазведки, более остро встают вопросы скоростного анализа. Основной проблемой современной геологической разведки на нефть и газ является существенная мозаичность месторождений углеводородов. Для их поиска и разведки недостаточно современного аппарата обработки и интерпретации, разработанного в рамках толстослойной модели строения земли.

В связи с этим, одним из наиболее актуальных направлений развития миграционных преобразований является картирование зон повышенной трещиноватости геологической, непосредственно связанной с повышенной энергией рассеянных волн. Наряду с активным использованием всей доступной дополнительной информации (в первую очередь скважинных данных и результатов обработки данных стандартного МОГТ), это позволяет решать принципиально новые геологические задачи, дает ключ к поиску новых нефтегазовых месторождений.

## **Глава 2. Математическая постановка задачи**

В данной главе изложена общая математическая постановка задачи, которая выполнена для трехмерной неоднородной изотропной среды. В качестве математической модели образования и распространения волн в среде выбрана начально-краевая задача для волнового уравнения. Обратная задача заключается в определении неизвестной функции скорости по наблюдаемым данным. Дополнительных ограничений на

систему наблюдения не вводится. Сделанные в данной главе выкладки справедливы для любой системы наблюдения. Как правило, в силу большой размерности данной задачи, для ее решения используются итерационные методы (например, метод сопряженных градиентов), для реализации которых необходимо вычисление прямого и сопряженного оператора.

В разделе *Сопряженный оператор* данной главы показана эквивалентность действия сопряженного оператора процедуре миграции до суммирования. Таким образом показано, что процедура миграции является первым шагом при решении обратной задачи – определении функции скорости при минимизации функции невязки, являющейся среднеквадратичным отклонением реально наблюдаемого волнового поля и синтетического, рассчитанного для референтной модели строения среды.

Использование различных математических представлений прямого и сопряженного оператора приводит к появлению различных конструкций процедуры миграции. Если рассматривается полное решение волнового уравнения – получаем процедуры миграции, основанные на волновом уравнении, в частности, конечно-разностные методы. Если используются различные асимптотические представления этого решения, получаем миграцию Кирхгофа,  $D$  – преобразование, фокусирующие преобразования и т.д. Если решение волнового уравнения рассматривается в частотной области, получаем миграцию Столта, миграцию фазового сдвига.

Поскольку различие между реализациями процедуры миграции заключается в использовании различных представлений решения волнового уравнения, точность получаемых изображений строения среды в основном определяется точностью, с которой примененная аппроксимация описывает образование и распространение волн в среде, если опустить дополнительные артефакты, связанные с конечной апертурой источников и приемников. Таким образом, становится очевидно, что наиболее точными являются методы, использующие полное представление решения волнового уравнения и, следовательно, сводящиеся к его конечно-разностному решению. Такие методы используют детальные глубинные интервальные скоростные модели, в них точно учитывается преломление, рассеяние, геометрическое расхождение волн и т.д. Однако они являются и наиболее дорогостоящими в вычислительном плане.

Спектральные методы миграции требуют меньше машинного времени для применения и являются наименее требовательными к вычислительным ресурсам. Но использование приближенных референтных скоростных моделей приводит к возникновению значительных ошибок в случае наличия в среде сильных вертикальных и латеральных градиентов скорости.

Оптимальными для производственного применения на сегодняшний день остаются интегральные процедуры миграции (миграция Кирхгофа, дифракционное преобразование, фокусирующие преобразования). Основным недостатком интегральных методов является необходимость расчета времен пробега волны из точек наблюдения/возбуждения во внутренние точки среды. Это требует больших объемов для хранения информации и может приводить к значительным ошибкам при наличии в среде зон каустик.

Поскольку процедуры миграции до суммирования математически эквивалентны, вопросы подбора основных параметров (параметры системы наблюдения, угловые и пространственные апертуры, выносы, и т.д.) являются общими. Несмотря на то, что значения данных параметров полностью определяются параметрами целевых геологических объектов, данному вопросу уделяется очень мало внимания. Существует мнение, что чем избыточнее миграционное суммирование, тем точнее получаемые изображения. Однако на практике такой подход приводит к:

- уменьшению вертикальной и латеральной разрешенности, так как оператор суммирования работает как низкочастотный фильтр.
- усилению влияния артефактов миграции,
- изменению относительной интенсивности изображения горизонтов, находящихся в различных глубинных/временных диапазонах (при использовании постоянных параметров для применения процедуры миграции).

### **Глава 3. Снижение влияния артефактов миграции на примере данных вертикального сейсмического профилирования**

Артефакты миграции, связанные с размазыванием энергии наблюдаемых отраженных волн вдоль изохрон отраженных/рассеянных волн, являются основной проблемой эффективного применения процедуры миграции до суммирования. На сегодняшний день залогом подавления артефактов миграции является избыточность системы наблюдения.

Несинфазное суммирование волн вне отражающих и рассеивающих объектов, приводит к практически полному исчезновению их влияния. Тем не менее, для систем с низкой и/или неравномерной кратностью наблюдения вопрос снижения влияния артефактов миграции остается нерешенным. Кроме того, этот вопрос актуален при применении фокусирующих преобразований в силу значительно более низкой энергии рассеянных волн по сравнению с отраженными волнами.

В данной главе предлагается два подхода для эффективного подавления артефактов процедуры миграции. Поскольку наиболее остро вопрос подавления артефактов миграции возникает при обработке данных вертикального сейсмического профилирования (ВСП), принципы подходов описаны на примере данных ВСП с выносными источниками.

Стандартные наблюдения по методу ВСП состоят в регистрации волнового поля, порожденного источником сейсмических волн, расположенным на дневной поверхности, приемниками, находящимися в скважине. Как правило, один из источников помещается вблизи устья скважины, а несколько выносных источников располагаются по разным направлениям от устья скважины на расстоянии примерно от 400 до 1000 м. Использование выносных источников, расположенных по разным азимутам по отношению к скважинам открывает принципиальную возможность изучения трехмерного строения околоскважинного пространства.

Преимуществом данных ВСП перед поверхностными наблюдениями является возможность получения более точной референтной модели для обработки. Ее можно получить по данным от источников, расположенных вблизи устья скважины. Однако при получении референтной модели могут возникать существенные ошибки, которые в дальнейшем могут приводить к ошибкам определения положения отражающих объектов. Эти ошибки связаны с тем, что сейсмические лучи, по которым распространяются волны от источника, расположенного вблизи устья скважины, освещают только узкую область прискважинного пространства. В случае наличия в среде резких латеральных изменений скорости возникнут ошибки в референтной модели строения среды. В данной работе для уточнения референтной модели используется динамический подход к обращению невязок времен пробега волн в среде. В качестве входных данных используются сейсмограммы, полученные для выносных источников. В

разделе *Динамический подход к обращению временных невязок* описана данная методика и приведены примеры, демонстрирующие ее эффективность.

В основе предложенных в данной главе подходов к подавлению артефактов миграции лежит использование априорной информации о расположении отражающих границ в изучаемой среде.

Первый подход в качестве такой информации использует положение отражающих границ вдоль ствола скважины, которое при обработке данных ВСП известно с высокой точностью. Действительно, так как мы изучаем околоскважинное пространство, расположение границ в нем примерно задается их расположением вдоль ствола скважины. Конечно, при удалении от скважины эти границы могут наклоняться, могут претерпевать разрывы и т.д. Однако, примерное их расположение нам известно. А значит можно определить примерное положение областей формирования зарегистрированных отраженных волн и именно в этих областях выполнять процедуру миграции. Естественно, что для этого необходимо провести трассировку лучей в околоскважинном пространстве, приуроченных к конкретным отражающим горизонтам. Такая трассировка проводится с использованием лучевого метода.

Вторая методика подавления артефактов миграции более универсальна, может быть использована для произвольной системы наблюдения и не требует точного знания положения отражающих границ. Для успешного построения изображения предлагается использовать тот факт, что изохроны отражения касаются отражающей границы в точке образования отраженной волны и никогда не пересекают ее. При построении мигрированного изображения делается априорное предположение об угле наклона отражающей границы и соответственно ограничивается вклад энергии отраженной волны. Если построить ряд изображений, соответствующих различным углам наклона границы, то изображение, соответствующее реальному положению границы будет иметь максимальную глубину и амплитуду. Таким образом можно построить точную геологическую модель строения околоскважинного пространства и получить изображение строения среды полностью свободное от влияния артефактов миграции.

Несмотря на то, что оба подхода предложены для скважинной системы наблюдения (данные ВСП), они легко могут быть обобщены для

применения для произвольных систем наблюдения. Причина использования данных ВСП заключается в том, что для них влияние артефактов процедуры миграции существенно выше, чем для данных многократного перекрытия.

#### **Глава 4. Объектно-ориентированные миграционные процедуры**

Любая процедура миграции, если понимать ее в самом общем смысле как перенос отсчетов с каждой из трасс во внутренние точки изучаемого разреза, основывается на допущении о представлении среды в виде суперпозиции двух компонент:

- плавно меняющейся референтной скоростной модели (вмещающей среды), не порождающей сколько-нибудь интенсивных отражений;
- резко меняющейся локальной составляющей, не влияющей на время распространения сигнала и вызывающей интенсивные отраженные/рассеянные волны, возвращающиеся к свободной поверхности.

Взаимодействие падающей волны с такой средой может быть классифицировано следующим образом:

- регулярное отражение – возвращение энергии падающей волны к свободной поверхности, обусловленное наличием регулярной границы раздела, при этом каждый падающий луч порождает два луча - отраженный и преломленный, направление которых определяется законом Снеллиуса, а амплитуды волн в точке отражения/преломления вычисляются как для плоских волн на плоской границе раздела;

- дифракция – взаимодействие падающего волнового поля с точками излома (сингулярными точками) регулярной границы; в соответствии с геометрической теорией дифракции; при этом возникает семейство «дифрагированных» лучей, заполняющих некоторый конус с вершиной в сингулярной точке; амплитуда дифрагированных волн определяется геометрией и акустическими свойствами среды в некоторой окрестности сингулярной точки;

- рассеяние – реализуется при падении волны на локальную неоднородность, размер которой существенно меньше доминирующей длины волны, при этом для уединенного включения возникает рассеянная сферическая волна с центром внутри включения, для ансамбля неоднородностей направленность рассеянной волны определяется статистическими свойствами распределения неоднородностей.

Как правило, интенсивность регулярных отраженных волн существенно превышает интенсивность дифрагированных и рассеянных волн. Поэтому, если дифрагирующий/рассеивающий объект находится вблизи регулярной отражающей границы, его волновое изображение, построенное с помощью стандартных процедур (например, миграции до или после суммирования), оказывается полностью перекрытым изображением регулярной границы. В этом случае для построения изображений дифрагирующих/рассеивающих объектов, находящихся вблизи контрастных регулярных границ раздела, необходимо привлечение специальных приемов и даже специальным образом устроенных систем возбуждения и регистрации сейсмических данных. Как правило, дифрагирующие/рассеивающие объекты обусловлены наличием субсейсмической структуры разреза (трещины, каверны, зоны разуплотнения, малоамплитудные сбросы и др.), поэтому их отображение на сейсмических разрезах существенно повышает разрешенность и информативность последних.

Использование специальным образом устроенных систем возбуждения и регистрации, а также специальные подходы к обработке наблюденного волнового поля, позволяют разделить поле отраженных и рассеянных волн. В этом случае удастся строить изображения рассеивающих объектов, свободные от влияния отраженных волн. Поскольку интенсивность таких изображений напрямую будет определяться количеством трещин в среде (степенью трещиноватости), анализ энергии таких изображений позволяет на качественном уровне судить о степени трещиноватости изучаемой геологической среды. Кроме того, в случае успешного разделения поля отраженных и рассеянных волн, снимается проблема артефактов миграции, поскольку кинематические свойства рассеянных волн полностью согласуются с принципами, заложенными в процедуре миграции (суммирование энергии вдоль годографов волн, рассеянных на точечных объектах).

При изучении геологических объектов со сложным строением (резкое латеральное изменение свойств, крутопадающие границы раздела) объектно-ориентированное использование процедуры миграции позволяет выделить на мигрированном изображении интересующие элементы разреза, настроить процедуру миграции на выделение субгоризонтальных или наклоненных определенным образом объектов.

Разделение полей отраженных и рассеянных волн, на этапе обработки, и выделение на сейсмическом разрезе объектов с определенной геометрией строения выполняется за счет выбора специальных параметров при реализации миграционной процедуры. Поскольку построение различных по свойствам геологических объектов выполняется в рамках одного подхода (миграционных процедур), в данной главе вводится понятие объектно-ориентированных миграционных процедур. Реализация объектно-ориентированной миграционной процедуры может быть различной. В данной главе для этого предлагается использование интерференционной фокусирующей системы.

Таким образом, исходя из классического подхода к построению изображений на основе миграции до суммирования, удастся разработать чрезвычайно гибкий инструмент, который может быть применен для решения широкого круга задач, связанных с детализацией сейсмического разреза. Прежде всего, конечно же, это возможность существенного повышения информативности и разрешенности изображения за счет надежного выделения дифрагирующих/рассеивающих объектов, в том числе и располагающихся в непосредственной близости от интенсивных отражающих горизонтов. С помощью анализа селективных изображений, полученных для разного значения величины сейсмического сноса, удастся «рассмотреть» с разных сторон отдельные составляющие сейсмического разреза, сконцентрировавшись на наиболее интересных из них. При использовании профильных систем наблюдения многократного перекрытия такие изображения можно строить вдоль всего профиля, отслеживая на них проявление рассеивающих объектов с одинаковыми геометрическими свойствами.

Необходимо подчеркнуть, что до настоящего времени остается неисследованным вопрос о корректном выборе весов, обеспечивающих построение изображений рассеивающих объектов в истинных амплитудах. Связано это с тем, что такие веса существенным образом зависят от геометрии и взаимного расположения выбранных скользящих систем возбуждения и регистрации. Выбирая различные их конфигурации, мы будем получать различные по интенсивности изображения одних и тех же объектов в силу изменяющихся условий освещенности. Тем не менее, данный подход позволяет на качественном уровне разделять геологическую среду по степени трещиноватости горных пород.

## **Глава 5. Оценка нефтеперспективных ловушек в доюрских отложениях на Северо-Даниловском месторождении**

Совместное использование высокоразрешающих сейсмических разрезов МОГТ и результатов применения объектно-ориентированных миграционных процедур для этих же разрезов находит успешное применение при поиске и разведке нефтеперспективных ловушек в доюрских локальных очагах линейной коры выветривания. В основном это связано с увеличением детальности и информативности сейсмических разрезов за счет восстановления малоразмерных объектов, с определенными геометрическими свойствами, на фоне регулярных отражающих границ. Но наиболее перспективным направлением использования данного подхода является возможность оценки степени трещиноватости горных пород по энергии рассеянных волн. В данной главе приведен пример получения информации о трещиноватости геологической среды по данным МОГТ с использованием объектно-ориентированных миграционных процедур. Показана чрезвычайно надежная корреляция полученных данных с расположением высокодебитных скважин, добывающих нефть из коллекторов, находящихся в коре выветривания. На основании полученных данных дана рекомендация на бурение добывающих скважин и проведение гидроразрыва пласта для ряда уже эксплуатируемых скважин.

В административном отношении Северо-Даниловское месторождение расположено в пределах Советского района Ханты-Мансийского автономного округа Тюменской области в 120 км к северо-западу от г.Урая. Владельцем лицензий является ООО ЛУКОЙЛ Западная Сибирь. Доразведку и промышленную эксплуатацию месторождений осуществляет ТПП «Урайнефтегаз» ООО ЛУКОЙЛ Западная Сибирь. К настоящему моменту, в связи с истощением запасов разведанных и эксплуатируемых нефтяных месторождений осадочных отложений, возрастает интерес к разведке месторождений, приуроченных к породам коры выветривания доюрского основания.

Промышленная нефтеносность коры выветривания доюрского комплекса была доказана в 1984 году скважиной 10158. В 1985 году было открыто Шумшинское нефтяное месторождение, нефтеносность которого связана с пластами группы Т тюменской свиты. В 1985 и 1987 гг. соответственно, месторождения были введены в промышленную

эксплуатацию. На сегодняшний день в пределах исследуемого участка пробурено около 70 поисково-разведочных и 450 эксплуатационных скважин со вскрытием доюрского основания. Керн отобран и изучен более чем в 25 скважинах.

Коллектора доюрского комплекса пород являются сложным, и в то же время очень перспективным объектом поиска и разведки. Среди скважин, по которым имеется информация об испытаниях и добыче, значительная часть является высокодебитной. Дебиты нефти достигают значений более 90 кубометров в сутки.

Основной сложностью разведки коллекторов в коре выветривания является их чрезвычайно локальное распространение, при этом с общей толщиной коры выветривания величина дебитов не связана, разброс дебитов носит характер случайного разброса точек. Скважины, находящиеся друг от друга на расстоянии первых сотен метров, зачастую имеют существенно разный дебит нефти.

Прослеживание отражающих горизонтов, связанных с доюрским комплексом пород, затруднено наличием дизъюнктивных нарушений, диапировых форм и значительной тектонической раздробленностью. Поэтому динамический анализ и прогноз по данным сейсморазведки, на основании имеющихся подходов к обработке и интерпретации не дает существенных результатов, так как только ухудшает пространственную разрешенность.

На сегодняшний день не выявлено зависимостей развития общих и эффективных толщин коры выветривания с современным гипсометрическим положением, а также палеорельефом на конец юрского периода, тогда как эффективная толщина коры выветривания может меняться от 0 до 120 и более метров. Также нет уверенной корреляции свойств коры выветривания с выявленными зонами разломов.

В связи с вышесказанным, прогнозирование зон развития коллекторов, связанных с комплексом доюрских пород, является одной из актуальных и наиболее сложных задач поисковой геофизики.

По данным испытаний нефтеносными в интервале коры выветривания в основном являются верхние 25 метров. Исходя из анализа керна, кровля доюрского комплекса по площади Северо-Даниловского месторождения сложена в основном кислыми породами (гранитами и гранитоидами), средние и основные породы присутствуют эпизодически. То же можно

сказать и обо всей вскрытой и охарактеризованной материалами ГИС части доюрского комплекса в целом.

Коллектора коры выветривания представляют единую гидродинамическую систему с вышележащими терригенными коллекторами юрских отложений, залегающими непосредственно на коре выветривания, и имеют единый водонефтяной контакт. По своим физико-химическим параметрам нефти коры выветривания близки к нефтям верхнеюрских отложений. Этот факт связан с единым источником происхождения углеводородов, содержащихся в коре выветривания и в пластах верхнеюрских отложений. Данный вывод подтверждается существованием гидродинамической связи залежей коры выветривания с коллекторами вышележащих, продуктивных пластов терригенных отложений.

Коллектора коры выветривания имеют сложную поровую структуру. Тип пористости относится к гранулярно-трещинно-кавернозной. На сложную структуру порового пространства и наличие трещин в этих породах указывают керновые сопоставления коэффициентов проницаемости и пористости, представленные в работах по подсчету запасов Северо-Даниловского месторождения. Из этих сопоставлений видно, что при эффективной пористости меньше граничной, многие образцы по значениям проницаемости относятся к коллекторам с высокими фильтрационными свойствами.

На основании проанализированных данных сделаны следующие выводы. Высокодебитные нефтяные коллектора в породах коры выветривания доюрского основания, связаны с развитием зон повышенной трещиноватости. Данные зоны трещиноватости вызваны тектонической активностью и их распространение носит чрезвычайно локализованный характер. В связи с этим использование стандартных подходов к обработке и интерпретации данных сейсморазведки в рамках толстослойной модели строения земли, при поиске месторождений в коре выветривания, крайне неэффективно.

С другой стороны, продемонстрирована высокая результативность использования объектно-ориентированных миграционных процедур для выделения зон с повышенной трещиноватостью при совместном использовании с профильными данными МОГТ. Полученное распределение выделенных зон повышенной трещиноватости

характеризуется высокой корреляцией с результатами испытания скважин на наличие продукта и объемами нефтедобычи.

В целом на Северо-Даниловском нефтяном месторождении даны рекомендации для заложения скважин на выявленных локальных очагах коры выветривания.

### **Заключение**

Методика совместного использования высокоразрешающих сейсмических разрезов МОГТ и объектно-ориентированных миграционных процедур является очень гибким инструментом и при правильном выборе параметров позволяет решать широкий спектр задач, связанных с геологией нефтегазовых месторождений. Наиболее перспективным является использование этих подходов к качественной оценке степени трещиноватости геологической среды и к прогнозу нефтегазоносности. Эффективность данного подхода продемонстрирована на примере коры выветривания доюрского основания Северо-Даниловского месторождения. Распределение выделенных зон трещиноватости имеет высокую корреляцию с данными испытания скважин на наличие продукта.

### Список опубликованных работ по теме диссертации

1. Смирнов М.Ю., Миграция данных вертикального сейсмического профилирования: доклады XXXV МНСК. Геология, Новосибирск, 1997, с.28-37.
2. Смирнов М.Ю., Обратные задачи для данных вертикального сейсмического профилирования с выносом источников, Доклады XXXVII МНСК. Геология, Новосибирск, 1999, с.121-130.
3. Смирнов М.Ю., Кузьмищев Г., Волков Г., Обработка данных вертикального сейсмического профилирования для криволинейных скважин, Доклады XXXVIII МНСК. Геология, Новосибирск, 2000, с. 92-101.
4. Смирнов М.Ю., Миграция данных ВСП с выносными источниками, Материалы работы семинара по «Сейсморазведке в реальных амплитудах», Карсруе, Германия, 2001.
5. Смирнов М.Ю., Кузьмищев Г.В., Миграция данных ВСП с выносными источниками, Расширенные тезисы 63-ей ежегодной конференции EAGE, Amsterdam, Нидерланды, 2001.
6. Курьянов Ю.А., Кокшаров В.З., Чиркин И.А., Смирнов.М.Ю., Трещиноватость геосреды и ее изучение сейсмоакустическими методами, Геофизика, специальный выпуск, 2004, с. 9-16.
7. Гольдин С.В., Смирнов М.Ю., Поздняков В.А., Чеверда В.А., Построение сейсмических изображений в рассеянных волнах как средство детализации разреза, Геофизика, специальный выпуск, 2004, с. 23-29.
8. Смирнов М.Ю., Волков Г.В., Карташов А.А., Кокшаров В.З., Применение математического моделирования для решения прикладных задач сейсморазведки, Геофизика, специальный выпуск, 2004, с. 30-34
9. Волков Г.В., Смирнов М.Ю., Карташов А.А., Волкова Н.А., Использование скважинной сейсморазведки в ОАО «Тюменнефтегеофизика», Геофизика, специальный выпуск, 2004, с. 55-65.

Соискатель:



М.Ю.Смирнов

***Объектно-ориентированные миграционные процедуры как средство  
повышения информативности сейсмических разрезов в зонах коры  
выветривания***

*Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук*

Подписано в печать с оригинал-макета 19.05.2004 г.

Тираж 100 экз. Заказ № 27

ОАО Тюменнефтегеофизика

625023 Тюмень, ул. Республики, 173.

Подписано в печать с оригинал-макета 19.05.2004 г.

Тираж 100 экз. Заказ № 27

ОАО Тюменнефтегеофизика  
625023 Тюмень, ул. Республики, 173.