

Рассмотрена эффективная методика определения скоростей распространения сейсмических волн и построения глубинно-скоростной модели среды на базе волновой миграции исходных сейсмограмм общего пункта возбуждения (ОПВ). Обсуждены некоторые близкие по физическому подходу существующие технологии для определения физических свойств геосреды по сейсмическим данным.

Ключевые слова: скорость распространения волн, трещиноватость, сейсмическое изображение, дифракторы, сейсмомониторинг, сейсмолокация; обменные, рассеянные, дуплексные волны.

Волновая миграция сейсмограмм – основа современных компьютерных технологий определения физических свойств по данным сейсморазведки МОВ (МОГТ) многократных перекрытий

Ларин Г.В., ООО «Газпром ВНИИГАЗ», г. Москва

Главной задачей промышленной полевой сейсморазведки МОВ (МОГТ) до сих пор является построение структурного плана сейсмических горизонтов и реперов. Для ее решения необходимо не только наличие информации об их конфигурации, получаемой в процессе обработки данных сейсморазведки по методике ОГТ (ОСТ) и построение карт изохрон вдоль них, но и надежное знание о скоростях распространения целевых волн в среде. В настоящей работе рассмотрена технология определения скоростной модели среды (толсто-слоистой модели) распространения волн по первичным данным сейсморазведки, а также приведены примеры успешного изучения свойств и особенностей геологической среды на основе естественных физических подходов детерминистическими методами, использующими принципы волновой миграции сейсмограмм.

Инерция и стереотипы процесса обработки данных в сейсморазведке, достаточно высокие и до сих пор повсеместно используются нарабатанные за 35 лет методики обработки данных ОГТ, улучшающие традиционную для ОГТ горизонтально-слоистую модель среды на базе неплохо зарекомендовавших его модификаций (ЭРО, ПРО, ДМО, MF-мультифокусинг). На практике оказалось, что легче постепенно корректировать первоначальные представления о модели среды, не меняя по существу устоявшийся граф обработки сейсморазведочных данных, чем перейти к смене представления о базовой модели среды, и, как следствие, концепции обработки. Хотя при современных возможностях вычислительной техники физически более естественно и наглядно сразу использовать представление о сложном строении среды, в каждой точке которой свое значение скорости (Рис.1), а обработку сейсмических данных основывать на волновой миграции сейсмограмм общего пункта возбуждения (ОПВ).

Миграция исходных сейсмограмм (глубинная до суммирования) – есть физически естественный и достаточно универсальный способ преобразования волнового поля в изображение среды, а динамический глубинный разрез, полученный на основе корректно выполненной миграции первичных сейсмограмм, несет в себе значительно больше информации для геологов, чем любая модификация временного разреза. Помимо этого, миграция позволяет проводить определение интервальных скоростей для произвольных моделей

Исходные данные	Метод обработки	Скоростные модели	Тип миграции	Результат
ИСХОДНЫЕ СЕЙМОТРАССЫ	МНОВОВЕЛНОВАЯ МИГРАЦИЯ – МИГРАЦИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ НА ОСНОВЕ РЕШЕНИЯ СИСТЕМЫ УРАВНЕНИЙ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ	Получение полного изображения среды, определение в объеме среды модулей упругости (константы Ламе и пр.)	Миграция полного волнового сейсмического поля на основе решения системы уравнений теории упругости	Динамический глубинный разрез 4
	М – ВОЛНОВАЯ МИГРАЦИЯ ИСХОДНЫХ СЕЙМОТРАСС	Анализ скоростей $V(x, y, z)$ с учетом наклонов и кривизн сейсмических лучей, с использованием мощной фокусировки рассеянных волн, с устранением неоднозначности скорости	Волновая миграция исходных сейсмотрасс	Динамический глубинный разрез 3 $M = M_0 \cdot C$ $C = M_0^{-1} \cdot M$
	Ц – ИМИТАЦИЯ ВРЕМЕННЫХ РАЗРЕЗОВ ЦЕНТРОВЫХ ЛУЧЕЙ: ЭРО, ПРО, ДМО...	Анализ скоростей $V(t)$ на базе модели строения среды с учетом наклонов и кривизн сейсмических лучей, неоднозначность «петли»	Миграция временного разреза центральных лучей	Динамический глубинный разрез 2
	МОГТ	Анализ скоростей $V(t)$ на базе простейшей модели среды, неоднозначность «петли»	Миграция временного разреза МОГТ	Динамический глубинный разрез 1

Рис.1. Основные этапы эволюции моделей среды и методов обработки сейсмических данных многократных перекрытий

среды с учетом преломления лучей и для разных типов волн более точно и детально, чем это делается в методах, опирающихся на временные разрезы. Конечно, временные разрезы ПРО, ДМО также возможно использовать (В 80-х годах прошлого столетия Васильевым С.А. (ВНИИГеофизика) была показана связь между миграцией временных разрезов ОГТ (M_0), миграцией исходных сейсмограмм (М) и оператором ПРО: (Ц) $M = M_0 \cdot C$), но при этом результат будет хуже, особенно в случае наличия в среде сильно преломляющих слоев, а также при использовании разных типов волн.

Впервые сейсмические изображения среды на основе сейсмологографических подходов предложил получать Ю.В.Тимошин в начале 60-х годов [1] прошлого века. Им же были реализованы первые промышленные алгоритмы дифракционного преобразования (Д-преобразования) сейсмических записей. Физическое обоснование получающихся результатов Д-преобразования, а также базовые алгоритмические и технологические решения и принципы волновой миграции сейсмических записей были заложены в 70-80-х годах 20-го века С.А.Васильевым [2,3].

Физическое содержание процесса волновой миграции можно представить следующим образом. На модели поверхности наблюдений S искусственно воспроизводят зарегистрированные ранее сейсмические колебания (временной разрез или сейсмограмма ОПВ) в обратной временной последовательности. Полученное таким образом волновое поле начинает удаляться от модели S , в результате чего воссоздается картина поведения фронтов волн, реально существовавших в гео-



логической среде (в обращенном времени). Возникшие волны моделируют процессы возвращения реальных отраженных и рассеянных волн к своим источникам, т.е. к геологическим объектам, и создают изображения последних (Рис. 2).

При сейсмологографическом преобразовании сейсмограмм МОВ дифракционный интеграл рассчитывается для каждой точки среды в момент прихода в эту точку прямой волны из пункта взрыва. Без ограничения общности каждый такой момент можно принять за начало отсчета $t=0$. Поэтому результаты стандартной миграции временных разрезов (суммотрасс) ОГТ на основе интеграла Кирхгофа обобщаются на случай дифракционного преобразования отдельных сейсмограмм МОВ с той лишь разницей, что можно улучшить отношение сигнал/помеха за счет использования системы многократных перекрытий, если просуммировать изображения, полученные с отдельных сейсмограмм МОВ (сопряженное Д-преобразование). Именно за счет использования системы многократных перекрытий и появляется основная возможность не только увеличения отношения сигнал/помеха, но и определения физически реальных скоростных характеристик среды, а также решения ряда других задач. Принципиальная технологическая схема миграции на обобщенной плоскости $(t, tv, (Z), X)$ представлена на рис. 3.

Технология определения скорости распространения сейсмических волн на основе волновой миграции, реализованная автором совместно с В.В. Поповым [4,5], решает следующую двуденную задачу. По данным сейсмических наблюдений методом многократных перекрытий МОГТ (МОГТ-3D) - сейсмограммы общего пункта взрыва (ОПВ):

- (1) определить толсто-слоистую глубинно-скоростную модель среды, т.е. получить разрез $v(x,z)$, или $v(x,tv)$ пластовых (интервальных) скоростей распространения продольных волн;
- (2) используя полученную скоростную модель, получить сейсмическое изображение среды путем глубинной миграции до суммирования.

Выполняется решение волнового уравнения для приходящих из нижнего полупространства волн методом Кирхгофа с перебором заранее заданного числа скоростных функций. На основании естественного физического критерия – тождественности изображения рассматриваемой вертикали среды $X=X_{\text{ан}}$ по рассчитанным вертикальным сейсмограммам выбирается такая скоростная функция, при которой на всех удалениях амплитуда изображаемого сигнала синфазна, что соответствует максимуму на энергетическом спектре. Получают реальные (максимально приближенные к реальным) значения скоростей распространения целевых (отраженных) волн.

При стандартном способе решения проводится обработка синтетических сейсмограмм по методике ОГТ и осуществляется скоростной анализ эффективных скоростей суммирования по ОГТ, которые в общем случае не равны значениям реальных скоростей волн в среде и являются формальными параметрами. Далее проводится пересчет скоростей ОГТ в интервальные скорости по эмпирической формуле Урупова-Дикса. Именно трудности широкого применения глубинной миграции до суммирования, особенно в сложных сейсмогеологиче-

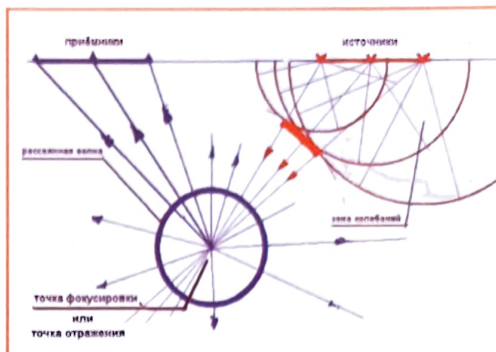


Рис. 2. Принципиальная физическая схема распространения волн, в сейсморазведке метода отраженных волн многократных перекрытий

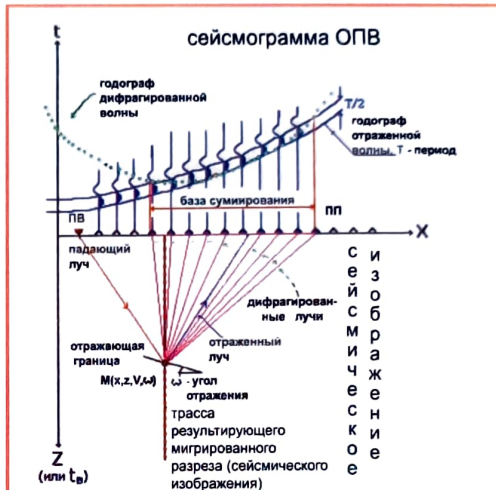


Рис. 3. Технологическая схема миграции сейсмических данных, точка $M(x, z, V, \omega)$ – точка, в которой строится сейсмическое изображение.

ских условиях связаны с использованием некорректных скоростей, полученных на основе стандартных методик. Временные разрезы более устойчивы к погрешностям скорости, чем мигрированные разрезы и оперируют с эффективными скоростями. Это с одной стороны хорошо, но с другой стороны снижает точность определения скоростей, а значит и снижает точность структурных построений. Миграционный (волновой) подход намного более чувствителен к малейшим искажениям скоростей – что и является залогом

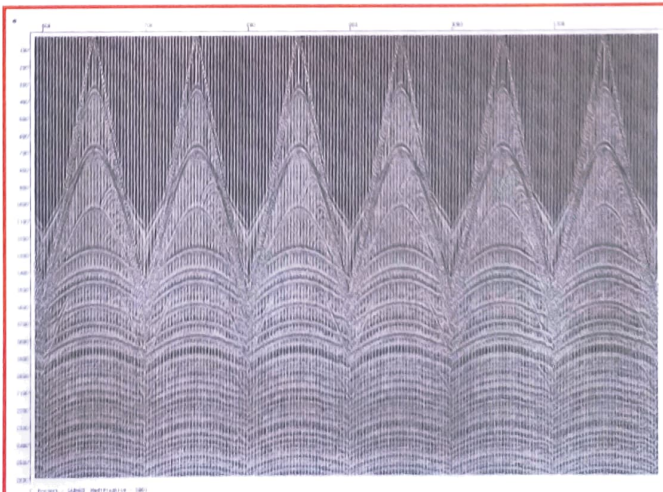


Рис. 4. Исходные синтетические сейсмограммы ОПВ



КАЧЕСТВО, КАЧЕСТВО, КАЧЕСТВО ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Номер слоя (сверху вниз)	1	2	3	4	5	6	7	8	Табл. 1
Заданная $V_{пл}$ м/с	1900	2300	5165	5650	4400	6200	5600	6100	9
Полученная $V_{пл}$ м/с	1920	2318	5150	5500	4600	6100	5800	6000	4200
									4400

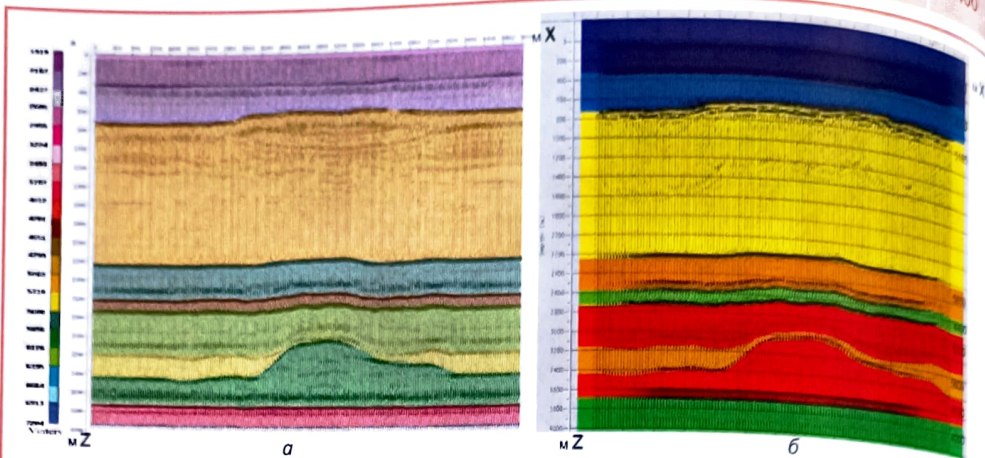


Рис.5. Сейсмическое изображение (результат глубинной миграции до суммирования), с совмещенной в цветокодированном виде скоростной моделью среды (а) в сопоставлении с первоначально заданной глубинно-скоростной моделью (б)

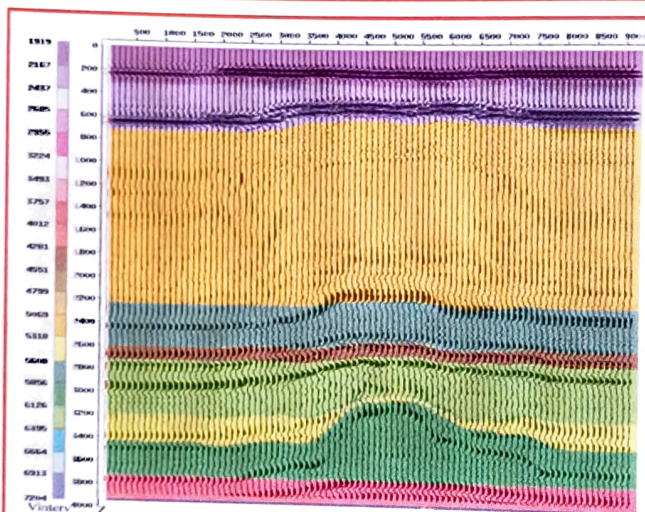


Рис.6. Сейсмическое изображение (временной разрез ОГТ), полученное по стандартной методике ОГТ при задании реальной глубинно-скоростной модели среды.

эффективности рассматриваемой технологии.

Эффективность промышленной реализации способа построения скоростной модели среды покажем на следующей математической модели. Синтетические сейсмограммы, (рис.4) были смоделированы на основе нульфазового импульса Рикера с преобладающей частотой 40 Гц. Шаг дискретизации составлял 2 мс, длина записи – 2600 мс, шаг между пунктами взрыва (ПВ) – 100м., шаг между пунктами приема (ПП) – 50 м, в центрально-симметричной расстановке 121 канал, интервал удалений -3000 м +3000м. Длина сейсмического профиля 9200 м ($X_{нач}=0$, $X_{кон}=9200$ м), всего 92 сейсмограммы ОПВ.

Сейсмическое изображение (результат глубинной миграции до суммирования) с совмещенной в цветокодированном виде скоростной моделью (рис.5а) в сопоставлении с первоначально задан-

ной глубинно-скоростной моделью (рис.5б), для которой рассчитывались синтетические сейсмограммы, демонстрируют хорошее качество (табл.1) полученных результатов, в сравнении с рис.6, где наблюдается рассогласование сейсмических границ и пластов скоростной модели. Следует отметить, что данный результат (рас.5а) был получен без привлечения каких-либо дополнительных данных, кроме исходных сейсмограмм.

На рис.7 показаны результаты обработки полевых материалов (глубинно скоростная модель с совмещением сейсмического изображения миграции до суммирования), полученных на одном из нефтяных месторождений в Поволжье. Залежи нефти в башкирско-каширских отложениях имеют небольшие размеры, тип залежи пластовый, сводовый [6]. В результате миграции и построения ГСМ на глубинном разрезе в нефтеносном интервале

(пк 5000 – 6300) проявились особенности строения и понижение скорости миграции, а также намечились новые перспективные объекты, которые не удалось выделить на ВР ОГТ.

Пакет программ, реализующий данную технологию, адаптирован к сейсмическим обрабатывающим системам FNE (СЦС-5) и включает также программу миграции временных разрезов ОГТ. Характерной чертой рассмотренной технологии является использование единых физических подходов и общих алгоритмов как для определения скоростной модели среды, так и для сейсмической миграции (после и до суммирования, в том числе глубинной). Причем технология открыта, в том смысле, что позволяет включить дополнительные варианты миграции, ориентированные на другие типы волн (дуплексные, обменные и др.), кото-



рые в обычном представлении являются волнами помехами, а также развить технологию применительно к данным 3D сейсморазведки.

Сейсмические технологии, использующие волновую миграцию до суммирования при решении задач нефтегазовой геологии

Использование других типов волн для волновой миграции расширяет возможности исследования земных недр. Так приведенная технология определения скоростей распространения монотипных волн на основе волновой миграции успешно адаптируется к обменным волнам и позволяет получить дополнительную информацию о распределении скоростей поперечных волн (прежде всего, потому что использует самый «покладистый» из способов решения краевой задачи для волнового уравнения – интеграл Кирхгофа). При этом в миграционный алгоритм скоростного анализа включаются разные распределения скоростей для нисходящих Р-волн и восходящих S-волн [7]. Совместная информация о продольных и поперечных волнах уже дает знания о дополнительном физическом параметре среды – распределении коэффициентов Ламе.

Методика миграции дуплексных волн, которые

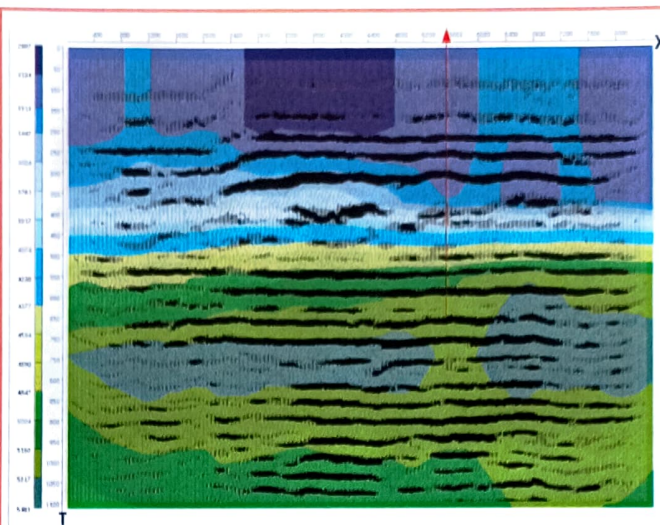


Рис 7. Глубинно скоростная модель, совмещенная с сейсмическим изображением (глубинная миграция до суммирования), полученным на одном из нефтяных месторождений в Поволжье

в обычной сейсморазведке являются волнами-помехами, может обеспечить высокоточное картирование зон трещиноватости и надежное выделение субвертикальных границ. Такие геологические объекты обычно недостаточно освещены существующими стандартными системами наблюдений МОВ-ОГТ для их выделения на основе стандартной глубинной миграции до суммирования. На рисунке 8 представлен полученный по техноло-

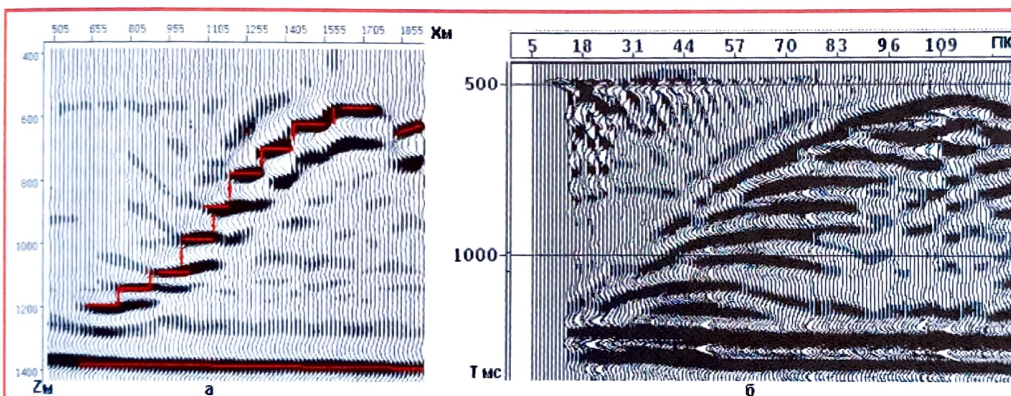


Рис. 8. Сейсмическое изображение части куполообразной структуры (а - миграция до суммирования), составленная из горизонтальных и вертикальных элементов (красные штрихи). Субвертикальные элементы на глубинах ниже 800 м отсутствуют на изображении. (б) - временной разрез ОГТ

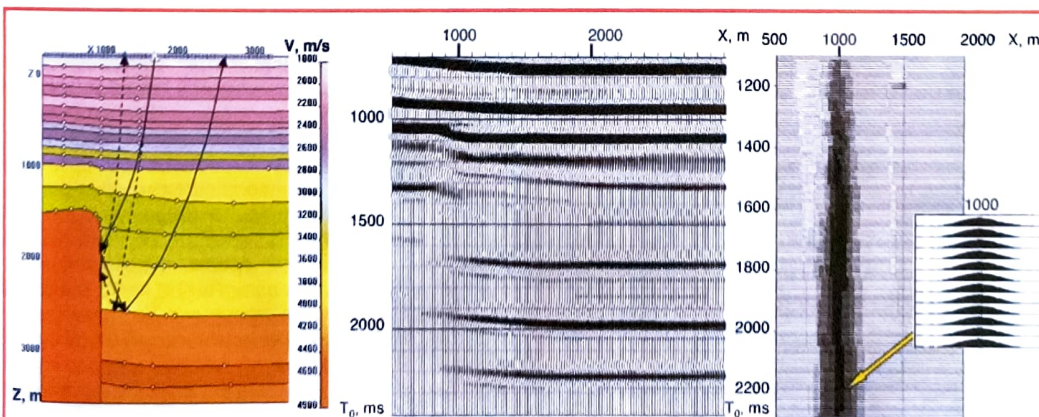


Рис. 9. Модель с вертикальной границей соляного купола и ее изображение на стандартном разрезе глубинной миграции до суммирования (60-градусный алгоритм) и миграции с учетом дуплексных волн, настроенных на изображение субвертикальных границ в диапазоне углов 90 ± 30 град.

КАЧЕСТВО, КАЧЕСТВО, КАЧЕСТВО ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

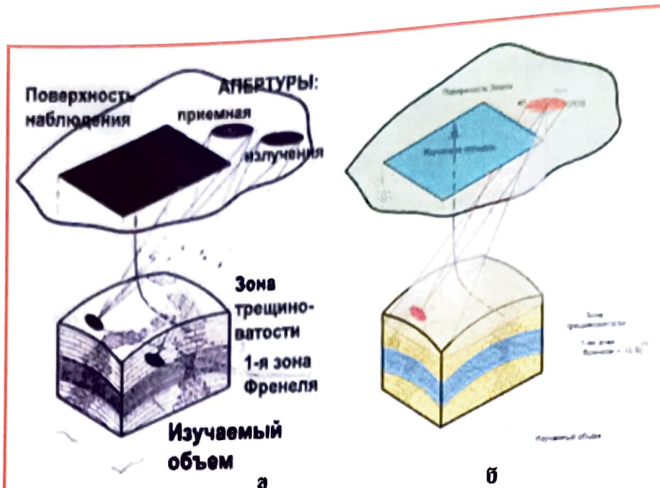


Рис.10. Принципиальные схемы сейсмолокации бокового обзора и сейсмолокации очагов эмиссии

гии глубинной миграции до суммирования фрагмент сейсмического изображения куполообразной структуры (использовались данные физического моделирования: плоская 2D-модель в виде купола, составленного из набора упорядоченных и неупорядоченных среднемасштабных элементов, подошву которого, образует горизонтальная граница), составленной из горизонтальных и субвертикальных площадок, на котором наблюдается исчезновение прорисовки субвертикальных элементов с увеличением глубины. На глубинах более 800 метров их изображение вовсе отсутствует, т.к. отраженные от них волны не используются в построении изображения, что связано с малыми размерами приемной базы (апертуры).

Для реализации миграции дуплексных волн также используется алгоритм миграции, основанный на интеграле Кирхгофа, только расчет лучей осуществляется в соответствии с распространением дуплексных волн (Рис.9). Глубинная миграция дуплексных волн использует ту же глубинно-скоростную модель, что и обычная глубинная миграция, но дополнительно требует задания базовой границы, которая порождает дуплексные волны и, как правило, является подошвой исследуемого интервала. Аналогично, с помощью миграции на дуплексных волнах можно успешно картировать субвертикальные зоны трещиноватости. [8,9]

Важным критерием наличия зон трещиноватости в геосреде является присутствие в наблюдаемом сейсмическом поле рассеянных волн, образуемых большим количеством дифракторов-трещин. Выделяя рассеянную составляющую волнового поля, можно изучать объемное распределение зон трещиноватости в геологическом разре-

зе. Рассеянные волны слабее отраженных волн по плотности потока энергии в пределах от сотен раз до как показано на практических материалах [10,11], зоны рассеивания удается выделять на базе столь слабых сигналов, организовав на дневной поверхности площадные системы приема (и возбуждения) с диаметром 1-2 км.

Физической основой метода сейсмической локализации бокового обзора (СЛБО), разработанного в ГНЦ РФ ВНИИГеоисистем является выделение рассеянных волн в искусственно возбужденном сейсмическом волновом поле. Рассеянные волны образуются, в основном, на ансамбле трещин и энергия рассеянных волн определяется интенсивностью трещиноватости (количеством трещин) в объеме, где формируются эти волны.

Сейсмическая эмиссия свойственна всем горным породам, находящимся в естественном залегании. При этом возникновение упругих волн связано с раскрытием и схлопыванием полостей. Постоянно возникающая сейсмическая эмиссия обусловлена постоянно протекающими процессами энерго- и массопереноса в геологической среде. При сейсмолокации очагов эмиссии (СЛОЭ) для бокового обзора нижнего полупространства используется принцип пассивного локализатора. На рис. 10 представлены схема сейсмолокации бокового обзора, использованная для мониторинга пространственно-временного изменения трещиноватости, а также схема СЛОЭ, которая отличается лишь отсутствием излучателей.

По физическому смыслу, в сейсмолокации для каждой точки среды устраивают такие взаимные задержки взрывов, что суммарная прямая волна, как показано на рис. 2, фокусируется в заданной точке среды. Затем осуществляют миграцию суммарной сейсмограммы в эту точку. Эту процедуру повторяют для каждой последующей точки среды. При этом улучшается выделение отражателей и рассеивателей за счёт мощной фокусировки прямой волны. Рис. 2 показывает, что сейсмолокация точно совпадает с миграцией по Кирхгофу. При этом для исключения влияния отраженных волн суммирование производится не по всей апертуре годографа дифракции, а лишь по ее части вне «зон касания» годографа отраженных и годографа дифрагированных волн (на рис. 3 – за пределами области, обозначенной как «база суммирования»).

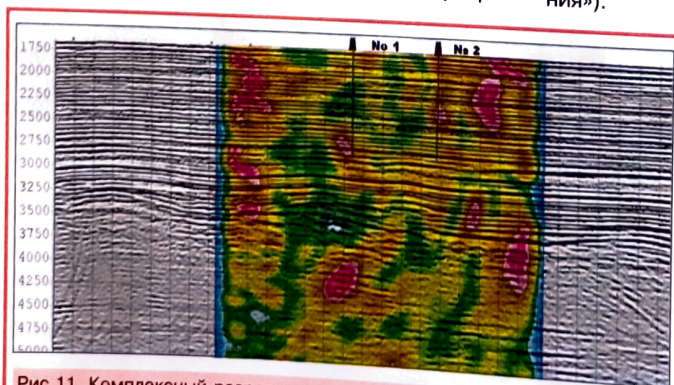


Рис.11. Комплексный разрез поля отраженных (МОГТ 2D) и рассеянных волн. Метод фокусирующего преобразования (СЛБО). Тюменская область. Совмещенный разрез по данным МОГТ и СЛБО

Для выделения и локализации в разрезе месторождения акустически неоднородных зон различной природы [10] используется технология фокусирующего преобразования, позволяющая формировать поля, несущие информацию преимущественно о рассеивающих свойствах среды, фактически, как было показано выше, основанная на обычной миграции до суммирования по Кирхгофу с суммированием сигналов по части годографа вне «зон касания». Такая информация представляется в виде разрезов полей энергии рассеянных волн, которые на этапе интерпретации используются для выделения диз-

юнктивов, приуроченных к зонам дезинтеграции среды. Для повышения надежности интерпретации применяются комбинированные разрезы, представляющие собой комплексные изображения для поля отраженных и рассеянных волн. Один из разрезов представлен на рис.11.

По данным СЛБО было отмечено, что в непосредственной близости от скв. 1 (с притоком нефти ~2 т/сут) находится зона аномально высокой открытой трещиноватости. На основе этой информации в скв. 1 выполнен гидроразрыв пласта, который «связал» эту скважину с зоной интенсивной трещиноватости. В результате получен высокий приток нефти ~ 80 т/сут. [<http://www.geosys.ru/index.php/ru/slbo.html>]

Метод обработки и интерпретации стандартных сейсморазведочных данных, получивший название метода престоковой миграции до суммирования CSP (CSP - Common Scattering Point - общая рассеивающая точка. Технология разработана в Югорском НИИ информационных технологий, совместно с ООО «Антел-нефть» Г.Н.Ерохиным), также основан на принципе построения сейсмического изображения на основе суммирования рассеянных волн. Метод позволяет прогнозировать резервуары с трещинно-каверновым коллектором по выделенным из полного волнового поля рассеянными волнам. Он реализует строгое решение обратной задачи разделения полного волнового поля на отраженную и рассеянную компоненты.

Метод CSP позволяет получать временные разрезы и кубы дифракторов, (Рис.12) содержащие изображение только рассеивающих элементов среды (CSP-дифракторы) и временные разрезы (кубы) рефлекторов без этих рассеивающих элементов (стандартная миграция до суммирования).

Очевидно, что принцип фокусировки волн применим и для определения пластовой скорости и координат забоя скважины (пеленгации) в условиях вертикального сейсмического профилирования в процессе бурения (ВСП ПБ) по годографу прямых волн, источником которых является работающее буровое долото, и которые регистрируются сейсмоприемниками на дневной поверхности (фактически решается задача обнаружения сейсмическим источником, в роли которого выступает бур) [12]. При правильно заданной скорости прямая волна фокусируется в действительном источнике колебаний. В случае отличия скорости преобразования от истинной, по мере возрастания погрешности скорости в ту или иную сторону фокусировка изображения забоя все более разрушается.

Следовательно, задача определения координат забоя и скорости слоя, в котором он находится,

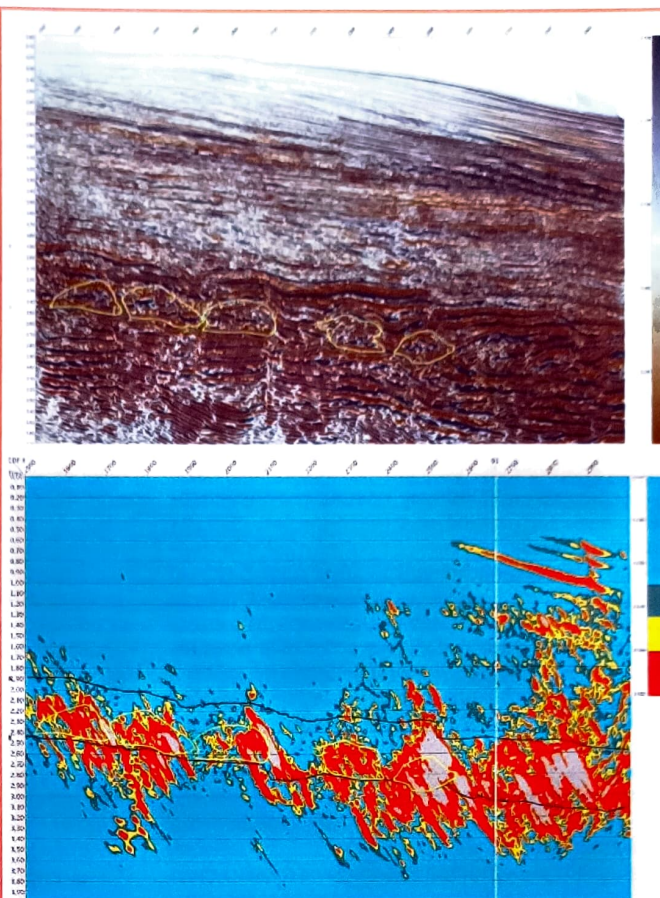


Рис.12. Временной ОГТ и разрез дифракторов (прогноз рифовых резервуаров)

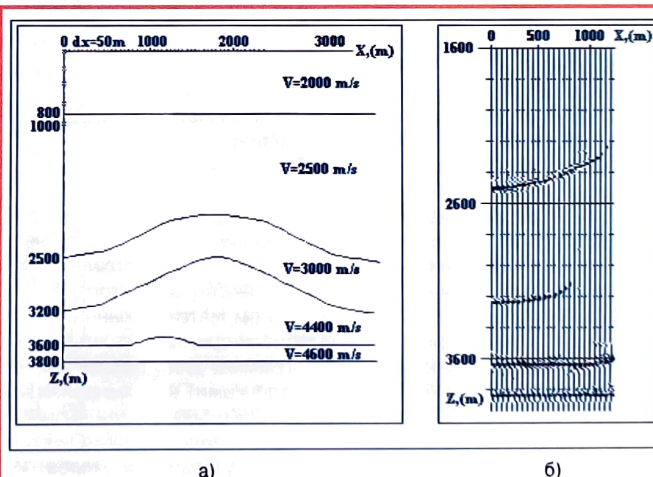


Рис. 13. Модель среды и изображение, полученное с помощью программы миграции скважинных наблюдений

ся, состоит в анализе энергии сигналов вдоль годографов прямой волны при различных скоростях. Расчет энергии производится для точек некоторой выделенной области среды, в которой предположительно находится забой. Вместо энергии сигнала можно также вычислять энергетическое соотношение сигнал / помеха.

Точка с координатами (x_0, y_0, z_0) , для которой значение энергии при некоторой заданной скорости V_0 принимает максимальное значение, определяет положение забоя скважины, а значение V_0 - скорость - слоя, в котором он находится.

Таким образом, описанный подход позволяет

определять не только координаты ствола скважины, но и скоростные параметры среды. Причем скорость волны в некотором слое многократно проверяется и уточняется при прохождении скважиной этого слоя. При этом нет необходимости в ручном пикировании времен первых вступлений на сейсмограммах ВСП ПБ, как это делается в известном алгоритме определения координат. Кроме того, предлагаемый алгоритм позволяет перейти от горизонтально-слоистой модели среды к модели с произвольными криволинейными границами.

Естественно, для того, чтобы определять координаты работающего долота и скорость распространения волны в некотором слое, географ прямой волны нужно рассчитывать, учитывая преломление лучей на вышележащих границах, т.е. необходимо знать строение той части среды, которая расположена выше области, в которой ведется исследование. Поэтому процедуру определения указанных параметров (пеленгации) следует последовательно сочетать с процедурой трехмерной послойной сейсмической миграции с целью определения конфигурации сейсмических границ, расположенных в околоскважинном пространстве.

Технология такого подхода состоит в следующем: сначала определяются координаты забоя и скорость первого слоя, когда скважина проходит этот слой. Далее, зафиксировав скорость первого слоя и зная траекторию ствола скважины в нем, проводится миграционное преобразование для определения подошвы первого слоя. Затем, когда забой вошел во второй слой, задавая кровлю этого слоя (подошву первого) и скорость в первом, определяют координаты забоя при его движении по второму слою и его скоростные характеристики. Далее с помощью 3D-миграции с учетом преломления на подошве первого слоя при заданных скоростях в обоих слоях определяется подошва второго слоя. Таким образом, траектория скважины и параметры каждого последующего слоя определяются с учетом строения вышележащей области среды.

Что касается алгоритма 3D-миграции, то, как отмечалось выше, наиболее оптимальным является алгоритм, основанный на использовании дифракционного интеграла Кирхгофа. В отличие от стандартного его применения, когда источники возбуждения расположены на дневной поверхности, здесь нужно предусмотреть их расположение на некоторых определенных глубинах.

Результат опробования программ пеленгации и миграции данных ВСП ПБ на модельном материале представлен на рис. 12. Для модели среды (рис. 12 а) были рассчитаны сейсмограммы для пяти положений забоя (показаны звездочками) в вертикальной скважине (на глубинах 0, 250, 500, 750 и 1000 м) и 48 сейсмоприемников, расположенных вдоль профиля с расстоянием между ними 50 м. По этим сейсмограммам с помощью программы пеленгации были получены точные координаты забоя, а затем, с помощью программы миграции, восстановлена (в интервале глубин 1600-3600 м) освещенная часть среды.

В настоящее время увеличение информативности сейсморазведки, за счет улучшения аппаратных средств, увеличения мерности пространства (от 2D к 3D и 4D) и возможности регистрации полного волнового поля требуют от геофизики пользоваться более адекватными - максимально приближенными к реальности - представлениями о среде и в итоге переходить к новым генеральным моделям. В частности, применительно к проблемам получения сейсмических изображений среды и миграции, которые основаны преимущественно

на решении волнового уравнения, назрел переход к решению системы уравнений теории упругости, тем более что суперкомпьютеры для сейсморазведки становятся все более доступными.

Литература:

1. Тимошин Ю.В. Импульсная сейсмическая голография. - М., Недра, 1978.
2. Васильев С.А. Некоторые вопросы теории продолжения волнового поля в сторону источника. // Изв. АН СССР, Сер. Физика Земли, 1973, №3, с. 35-47.
3. Васильев С.А. Дифракционное преобразование как миграция на основе решения волнового уравнения с измененными входными сейсмодатасами. // Прикладная геофизика, вып. 104. М., 1982, с. 18-27.
4. Ларин Г.В., Попов В.В. Определение скоростей на основе послойного миграционного преобразования. // Геология нефти и газа, 1998, №11, М. С. 37-44.
5. Ларин Г.В., Попов В.В. Технология построения глубинно-скоростной модели среды на основе послойной миграции до суммирования // Тезисы международной конференции SEG. - М.: 2003.
6. Попов В.В., Ларин Г.В., Кузин А.М. Высокопроизводительная технология получения глубинно-скоростной модели среды на основе послойной миграции до суммирования - необходимый инструмент в интерпретации сейсмических данных. // Приборы и системы разведочной геофизики, Саратов, 2004, № 3. С. 20-23.
7. Жуков А.П., Коротков И.П., Нурмухамедов Т.В., Кузнецов В.М., Попов В.В. Разработка программного обеспечения для 2D-миграции до суммирования и скоростного анализа для монотипных и обменных волн на основе применения интеграла Кирхгофа // Приборы и системы разведочной геофизики, Саратов, 2009, № 4. С. 14-17.
8. Мармалевский Н.Я., Горняк З.В., Роганов Ю.В., Мерсий В.В., Костюкевич А.С. Миграция дуплексных волн, применяемая для получения сейсмических изображений субвертикальных границ. // Международная геофизическая конференция и выставка "Геофизика XXI века - прорыв в будущее", 1-4 сентября 2003. Москва, Россия. - OS3
9. I.Khromova, B.Link, N.Marmalevskiy. Comparison of seismic-based methods for fracture permeability prediction. // First Break, 29, January 2011. - 37-44.
10. О.Л.Кузнецов, Ю.А.Курьянов, Р.Ф.Муслимов, И.С.Файзуллин, Р.С.Хисамов, И.А.Чиркин. Пространственно-временное изменение трещиноватости в геосреде по результатам наблюдений методом 4-d слбо. // Геоинформатика-2000, №3
11. 11. Харахинов В.В., Нестеров В.Н., Соколов Е.П., Шленкин С.И.. Новые данные о геологическом строении Курумбинского месторождения Юрубчено-Тохомской зоны нефтегазоаккумуляции. // Геология нефти и газа, 2000, №5.
12. Попов В.В., Ларин Г.В. Способ определения положения забоя скважины в процессе бурения. // Тезисы конференции «Актуальные проблемы состояния и развития нефтегазового комплекса России», М. 1999. С. 50-51.