

К вопросу о необходимости применения 3D миграции до суммирования в платформенных условиях

Артемьев А.Е., Гавриков А.Г., Федорчук Р.А., ОАО "Саратовнефтегеофизика", г. Саратов

Достоверность глубинных построений по сейсморазведочным данным, как известно, определяется тремя факторами: качеством прослеживаемости целевых горизонтов, точностью определения скоростной модели среды и корректностью используемого механизма преобразования временного разреза в глубинный. Эти задачи решаются в комплексах программ пластовой миграции до суммирования. Процедура пластовой миграции доказала свою эффективность в сложных сейсмогеологических условиях с криволинейными границами и латеральным изменением скоростей, например в районах развития соляной и диапировой тектоники. В то же время вопрос о необходимости применения пластовой миграции в платформенных условиях остается дискуссионным. Техническая инструкция по сейсморазведке говорит о том, что применение миграции необходимо и в платформенных областях для лучшего выделения разрывных нарушений [7]. Там же отмечено, что процедура миграции способствует выявлению рифовых тел в условиях низкого соотношения сигнал/помеха. В методических рекомендациях по применению пространственной сейсморазведки 3D сказано, что одним из основных требований к обработке данных 3D на разведочном этапе является расчет горизонтальных спектров скоростей по основным отражающим горизонтам и осуществление миграции по исходным записям, поскольку эта процедура существенно уточняет строение участков, осложненных малоамплитудными нарушениями [5].

Существует и другая точка зрения. Например, О.К. Кондратьев считает, что учет миграции необходим только при существенной негоризонтальности сейсмических границ. В противном случае это всего лишь применение одного из видов пространственных операторов выделения полезных сигналов, крайне зависимого, к тому же, от точности используемой скоростной модели среды [4].

Чтобы разобраться в этом вопросе, обратимся к опыту, накопленному в ОАО "Саратовнефтегеофизика" в течение последних нескольких лет. В настоящей работе, речь будет идти в основном о некоторых практических аспектах применения программного комплекса **GeoDepth**, разработанного компанией **Paradigm Geophysical**. Специалистами этой организации неоднократно отмечалась немаловажность применения миграции в относительно простых условиях Западной Сибири, поскольку одновременно с компенсацией сейсмического сноса повышается когерентность отражений, устраняется негиперболичность годографов и возрастает эффективность суммирования по ОГТ [6].

ОАО "Саратовнефтегеофизика" стала первой в Саратовской области организацией, которая произвела опробование и внедрение в производство 3D миграции до суммирования с использованием программного комплекса **GeoDepth** на месторождениях, расположенных в пределах Степновского мегавала, Бузулукской впадины и Жигулевского свода. В сейсмогеологических условиях Саратовской и Самарской областей

предпосылками применения пластовой миграции послужили следующие факторы:

- наличие жесткой криволинейной границы в верхней части разреза;
- чередование высоко и низкоскоростных толщ пород;
- присутствие малоамплитудных тектонических нарушений.

Учет влияния размытой поверхности палеозойских отложений на качество и достоверность данных МОГТ представляет собой большую проблему. Негативное влияние обуславливается совокупностью двух факторов - криволинейностью границы и резким изменением интервальных скоростей на ней. Это возникает из-за того, что поверхность палеозоя разделяет два совершенно разных по свойствам и составу комплекса осадочных пород - низкоскоростные ($V=2000-2500$ м/с) терригенные отложения мезокайнозойского и верхнепермского комплекса и высокоскоростные ($V=4200-5000$ м/с), часто подверженные размыту, карбонаты и ангидриты палеозоя.

Еще одной важной предпосылкой применения пластовой миграции является наличие в разрезе относительно низкоскоростных толщ пород, связанных с терригенными отложениями каменноугольного и девонского возраста. Чередование терригенных и карбонатных толщ пород создает условия для формирования преломляющих сейсмических границ.

Фактически в данных сейсмогеологических условиях миграция без учета преломления лучей не в полной мере позволяет решить поставленную задачу. Другой причиной неполной компенсации сейсмического сноса является несовершенная методика определения скоростей для миграции (как правило, используются параметры скорости, подобранные для суммирования по ОГТ, при этом значения скорости ОГТ изменяют на 15-20%). Отсюда следует необходимость использования процедуры фокусировки волнового поля с послойным построением сверху вниз (с учетом преломления лучей на опорных сейсмических горизонтах) глубинно-скоростной модели геологической среды. Такая фокусировка позволяет получить более точное изображение среды в сложных сейсмогеологических условиях. При этом следует отметить, что только переход к объемной сейсморазведке (площадным наблюдениям) позволяет корректно поставить задачу восстановления рассеянного (т.е. сформировавшегося на дифрагирующих и отражающих неоднородностях среды) поля в точках его возникновения.

Прежде, чем перейти непосредственно к описанию технологии интерпретационной обработки, необходимо кратко рассмотреть основные требования, предъявляемые к исходному сейсмическому материалу для работы с пакетом **GeoDepth**. Для подготовки материала к интерпретации в пакете **GeoDepth** рекомендуется граф обработки, включающий следующие процедуры:

- регулировку усиления с сохранением истинных амплитуд;
- корректирующую фильтрацию по полевому материалу;

- коррекцию кинематических поправок;
- автоматическую коррекцию статических поправок;
- вычитание волн-помех;
- сортировку сейсмотрасс по ОГТ и запись в формате SEG Y-EC.

Такой массив сейсмограмм ОГТ и формируется на выходе "стандартного" графа обработки по комплексу программ **GeovectorPlus** (CGG). Технология интерпретации на базе комплекса программ пластовой миграции включает следующие этапы:

1-й этап - подготовка интерпретационного проекта (базы).

Задаются основные параметры сейсмической записи - шаг дискретизации, длина записи, топографические координаты базовой карты (Base Map).

2-й этап - ввод сейсмического материала (сейсмограмм ОГТ и суммарного временного куба) и данных ГИС по скважинам.

Для формирования на базовой карте правильного положения линий возбуждения и наблюдения используются записанные в этикетки трасс топографические координаты.

3-й этап - корреляция основных отражающих (преломляющих) горизонтов, построение карт времен горизонтов.

4-й этап - скоростной анализ V_p по горизонтальным спектрам пластовых скоростей, построение карт интервальных скоростей.

Скоростной анализ в комплексе программ **GeoDepth** позволяет рассчитывать значения пластовых скоростей на основе анализа простраиваемого годографа отраженных волн с получением горизонтальных спектров пластовых скоростей. При этом используется не гиперболическая аппроксимация годографа ОГТ, а точное решение прямой задачи для преломляющей и фокусирующей среды, поэтому удается весьма существенно повысить качество восстановления и фокусировки сигнала. Пример рассчитанного горизонтального скоростного спектра приведен на рис. 1. Корреляция спектров пластовых скоростей осуществляется по участкам, характеризующимся высоким соотношением сигнал/помеха, с учетом скважинной информации о скоростной характеристике разреза. После корреляции спектров производится построение карт пластовых скоростей.

5-й этап - расчет глубинных горизонтов на основе лучевой миграции, построение карт глубин.

На этом этапе происходит формирование априорной глубинно-скоростной модели среды с учетом преломления лучей на вышележащих горизонтах. В результате лучевой миграции временные карты перестраиваются в глубинную область.

6-й этап - построение априорной 3D

глубинно-скоростной модели среды, увязанной по скважинам.

После расчета карт интервальных скоростей по опорным горизонтам следует формирование глубинно-скоростного куба. Результат трехмерной визуализации глубинно-скоростной модели среды в программе **Volume Viewer** приведен на рис. 2.

7-й этап - 3D пластовая миграция по сейсмограммам ОГТ.

Комплекс **GeoDepth** имеет в своем составе набор программ временной и глубинной миграции до суммирования, реализующих алгоритмы FK и Кирхгофа. Для расчета миграционного преобразования, учитывающего преломление лучей на сейсмических границах, необходимо выполнить

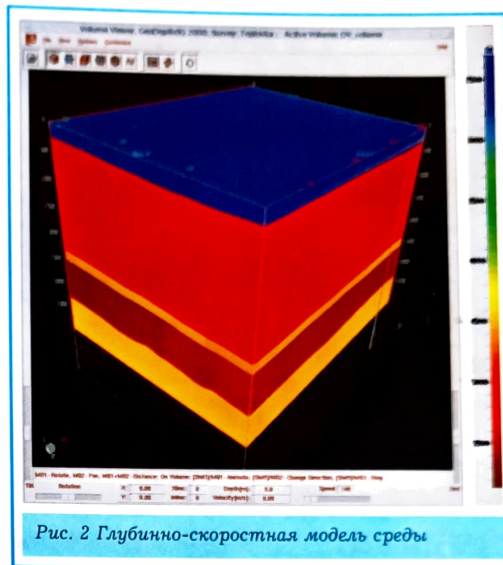


Рис. 2 Глубинно-скоростная модель среды

расчет времен пробега лучей в рамках выбранной глубинно-скоростной модели среды. Существует два алгоритма трассировки лучей. Первый основан на конечно-разностной аппроксимации дифференциального уравнения эйконала, второй использует критерий наименьшего времени, базирующийся на принципе Ферма. В результате экспериментов были установлены незначительные отличия в окончательном результате миграции, при значительном времени первого. Поэтому предпочтение отдается первому алгоритму, основанному на принципе Ферма.

Одним из наиболее важных параметров, варьируя которым геофизик получает возможность влиять на эффективность дифракционного суммирования, является апертура миграции. Апертура преобразования представляет собой область среды, в пределах которой восстанавливается обращенное волновое поле. Неправильный выбор размеров апертуры, резкое ее занижение, приводит к неполному учету сейсмического сноса, неполному устранению петель на волновых фронтах, а также к недостаточной фокусировке дифрагированных волн. При завышении размеров апертуры возрастает уровень нерегулярных волн-помех и шумов преобразования за счет суммирования сигналов, отраженных от соседних границ. В результате тестирования, оптимальными для платформенных условий с небольшими углами наклона геологических границ, на наш взгляд, обычно оказывались значения от 2500 до 4000 м в X,Y направлении и около 2000 м - глубина набора максимальной апертуры.

Известно, что временные разрезы, мигрированные с помощью преобразования Кирхгофа,

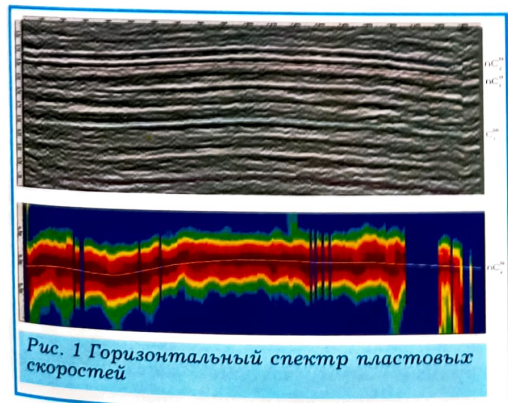


Рис. 1 Горизонтальный спектр пластовых скоростей

ИНСТРУМЕНТАРИЙ ГЕОФИЗИКА-ИНТЕРПРЕТАТОРА ОБМЕН ОПЫТОМ

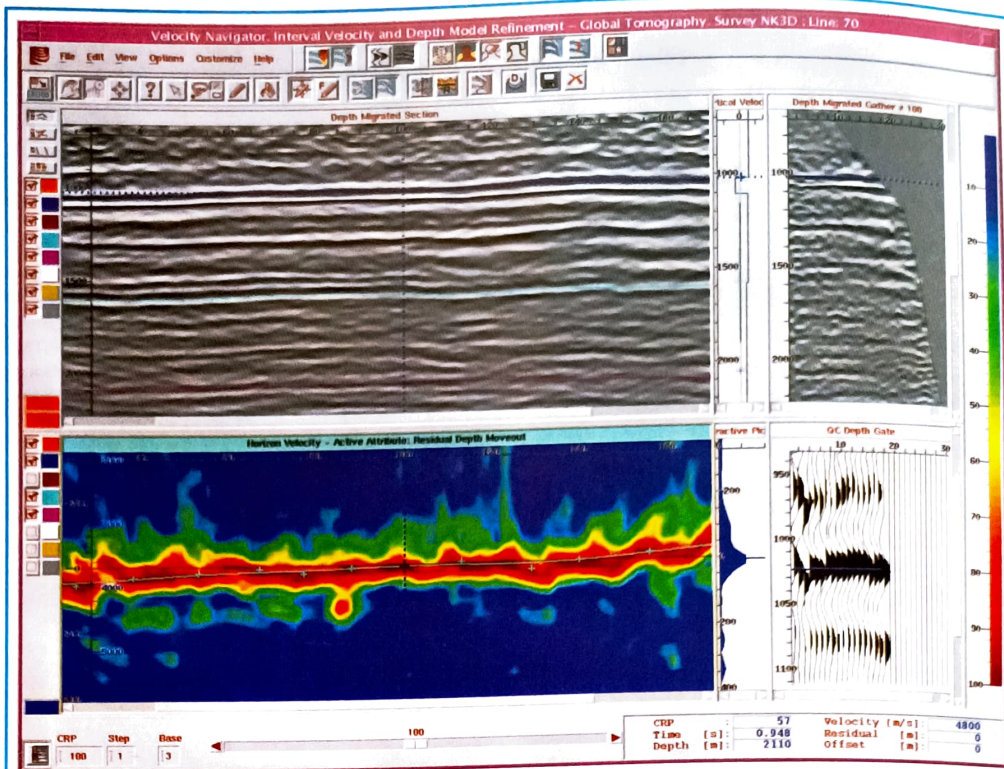


Рис. 3 Анализ остаточной кривизны годографов в глубинной области

отличаются в среднем более высоким уровнем миграционных шумов, чем результаты конечно-разностной или частотной миграции. Возможно, что причиной этого являются ошибки выбора величины апертуры или весов миграции, которые в преобразовании Кирхгофа задаются произвольно, тогда как в конечно-разностной и частотной миграции размер апертуры совпадает с длиной профиля, а веса не выбираются [3]. В **GeoDepth** миграционные веса рассчитываются автоматически в зависимости от геометрии съемки и выбранной апертуры. Выбор весовых коэффициентов призван свести к минимуму негативные явления, связанные с ошибками в выборе величины базы суммирования и заменой непрерывного интеграла дискретной суммой [8]. К принципиальным недостаткам комплекса **GeoDepth** следует отнести отсутствие алгоритмов конечно-разностной миграции. В платформенных условиях, при сложном скоростном разрезе покрывающей толщи и небольших углах наклона целевых отражающих горизонтов, конечно-разностная миграция будет иметь преимущество перед миграцией Кирхгофа.

Кроме Paradigm Geophysical, больших успехов в разработке программного обеспечения пластовой миграции до суммирования достигла французская компания CGG. Среди разработок CGG, кроме аналогичного **GeoDepth** пакета **GeoVista**, реализующего миграцию Кирхгофа, следует отметить пакет **WaveVista**, в котором реализован алгоритм конечно-разностной миграции до суммирования. По информации, представленной CGG, в результате миграции, выполненной в пакете **WaveVista**, получаются разрезы, характеризующиеся значительно более низким уровнем шумов преобразования и эффектов типа "улыбок" миграции. Интересно, что ограничение на угол наклона отражающих границ составляет не 45° , как в классическом

алгоритме Дж. Ф. Клаербоута, а 70° . Компания CGG предлагает кластерное решение проблемы значительных затрат машинного времени на миграцию методом конечных разностей.

Возвращаясь к миграции в пакете **GeoDepth**, отметим, что программные продукты CGG получили значительно меньшее распространение в регионах РФ, по сравнению с продукцией Paradigm Geophysical.

8-й этап - уточнение глубинно-скоростной модели на основе анализа остаточной кривизны годографа ОГТ в глубинной области.

Остаточный скоростной анализ проводится по

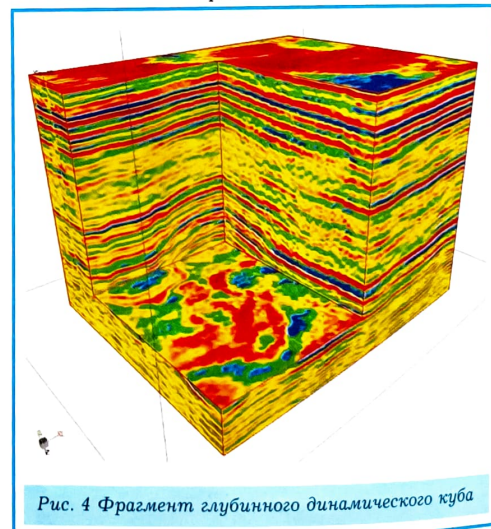


Рис. 4 Фрагмент глубинного динамического куба

глубинным сейсмограммам после пластовой миграции. Если имеет место остаточная кривизна годографов на глубинных сейсмограммах, то остаточный скоростной анализ, реализованный в программе **Velocity Navigator**, дает возможность определить ошибки в априорной скоростной

модели. В результате анализа вычисляются скоростные спектры, позволяющие оценить оптимальные значения добавочных кинематических поправок. Пример остаточного горизонтального спектра по горизонту nC_1^{**} приведен на рис. 3. В правой верхней части этого рисунка изображена глубинная сейсмограмма, полученная в результате пластовой миграции. На ней практически отсутствует остаточная кривизна годографов, что является надежным критерием корректности построения глубинно-скоростной модели среды. На остаточном скоростном спектре этой ОГТ соответствует четкий максимум на нулевой линии. Отсутствие остаточной кривизны годографов является принципиально важным моментом при последующем изучении амплитуд в зависимости от удаления (AVO-анализ) [1, 2]. По результатам корреляции скоростных спектров формируется объем добавочных скоростных поправок. После этого производится суммирование глубинных сейсмограмм ОГТ с учетом указанных скоростных поправок. Фрагмент глубинного динамического куба, полученного на одном из месторождений, приведен на рис. 4.

В случае, когда гиперболическая модель не является адекватной, применяется другой метод уточнения скоростной модели - томография. При томографии модифицируются как глубины, так и скорости для всех горизонтов. В сложных условиях томография иногда позволяет получить более точные результаты, но по затратам машинного времени эта процедура сопоставима с миграцией.

9-й этап - "пост-миграционная" обработка глубинно-динамического куба.

Как правило, при миграции происходит некоторое понижение разрешенности записи. Для повышения разрешенности записи и выравнивания частотного спектра на заключительном этапе выполняется "пост-миграционная" обработка. Глубинно-динамический куб переводится во временную область, где выполняется процедура корректирующей фильтрации. Для устранения миграционных шумов в комплексе **GeoDepth** предусмотрено два типа фильтров (stretch filter, strength filter), которые, однако, не позволяют получить желаемого эффекта. Для устранения "улыбок" миграции применяется многоканальная пространственная фильтрация в частотно-волночисловой области или проекционная фильтрация в программном комплексе **GeovectorPlus** (CGG).

Описанная технология пластовой миграции до суммирования может быть схематично изображена в виде графа обработки с использованием комплекса программ **GeoDepth**, показанного на рис. 5.

Эффективность трехмерной пластовой миграции в сравнении со стандартной обработкой иллюстрируется рис. 6. Из сравнения видно, что динамическая выраженность и прослеживаемость основных отражающих горизонтов на временном разрезе после пластовой миграции существенно выше, чем на разрезе после стандартной обработки. Попробуем количественно оценить степень увеличения соотношения сигнал/помеха за счет использования миграционного суммирования. Если обозначить через S кратность суммирования по ОГТ, через N размер в трассах апертуры миграции, то степень подавления помех по сравнению с их уровнем на исходных сейсмограммах изменяется от $\sqrt{S}$ - для высокоскоростных волн-помех до $\sqrt{N \cdot S}$ - для низкоскоростных и нерегулярных помех [8]. При обычной кратности 36 и выбираемой апертуре 150 трасс, степень подавления составит от 6 - для высокоскоростных до 73 - для низкоскоростных и



Рис. 5 Граф обработки с использованием комплекса программ **GeoDepth**

нерегулярных волн-помех.

Что касается разрывных нарушений, то регуляризация записи после миграции по исходным сейсмограммам, в определенной степени выполняет селекцию сбросов, подчеркивая крупные и "затушеванная" в какой-то степени малоамплитудные нарушения.

Кроме структурной интерпретации, выполняемой по результатам пластовой миграции, в комплексе **GeoDepth**, мигрированные сейсмограммы и суммарный куб являются основой для дальнейшей динамической интерпретации (AVO-анализ, стратиграфическая инверсия).

Обобщение опыта ОАО "Саратовнефтегеофизика", полученного в результате обработки сейсмических данных на более чем 10 место-

ИНСТРУМЕНТАРИЙ ГЕОФИЗИКА-ИНТЕРПРЕТАТОРА ОБЪЕМН О ПЫТОМ

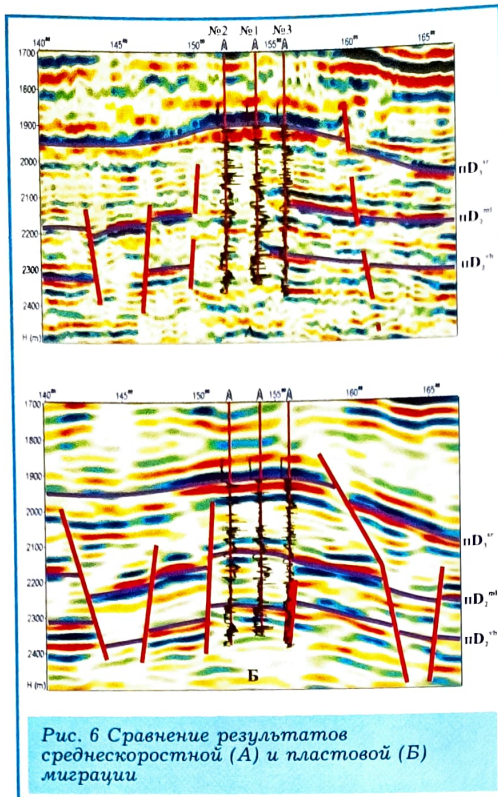


Рис. 6 Сравнение результатов
среднескоростной (А) и пластовой (Б)
миграции

рождениях, дает возможность говорить о целесообразности применения процедуры глубинной миграции до суммирования в платфор-

менных условиях. Использование технологии 3D миграции позволило существенно прирастить разведанные запасы углеводородного сырья.

Литература

1. Баранский Н.Л., Старобинец М.Е., Королев Е.К. и др. Миграция и AVO: соседство или марьяж. // Геофизика, №2, 2000. С. 22-26.
2. Иноземцев А.Н., Колесов С.В., Баранский Н.Л. и др. Перспективы перехода к высокоразрешающей сейсморазведке для прогноза зон скопления углеводородов. // Геофизика, №6, 2001. С. 16-21.
3. Козлов Е.А. Миграционные преобразования. -М.: Недра, 1986. 242с.
4. Кондратьев О.К. Ответ на открытое письмо и еще раз о кризисе геофизической науки. // Геофизика, №5, 2002. С. 72-76.
5. Методические рекомендации по применению пространственной сейсморазведки 3D на разных этапах геологоразведочных работ на нефть и газ. М.: ОАО "Центральная геофизическая экспедиция", 2000. 35 с. Ответственный исполнитель начальник отдела 103/14 к.т.н. Левянт В.Б.
6. Птецов С.Н. Преимущества новых технологий интегрированной обработки и интерпретации данных сейсморазведки и ГИС. // Геофизика, №3, 2002. С. 50-53.
7. Техническая инструкция по наземной сейсморазведке при проведении работ на нефть и газ. -М.: МПР РФ, МТиЭ РФ, 1999. -147с.
8. Тимошин Ю.В., Бирдус С.А., Мерский В.В. Сейсмическая голография сложнопостроенных сред. М.: Недра, 1989. 255с.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ИСТОЧНИК

ГЕОТОН

**УСПЕХИ НАШИХ ПАРТНЁРОВ
ЭТО НАШИ УСПЕХИ**

ГЕОТОН