

## Миграция по разрезам равноудаленных трасс и скоростной анализ. Common-offset migrations and velocity analysis

S.M. Derçowski<sup>1</sup>

Глубинная миграция до суммирования очень чувствительна к ошибкам определения скорости. Это может сделать ее прекрасным инструментом скоростного анализа. Хотя, для извлечения максимальной пользы из чувствительности к скорости мы должны тщательно выбирать алгоритм. Большая часть чувствительности к скорости возникает из-за нормального кинематического сдвига (NMO), т.е. коррекции выравнивания данных, записанных на различных удалениях. Таким образом, есть смысл в контексте скоростного анализа, построить миграцию до суммирования таким образом, чтобы во всей процедуре не применялись бы NMO в соответствии с заранее определенной скоростной моделью. Вместо этого, NMO необходимо рассчитывать после стандартной миграции путем выравнивания гипербол по выборкам ОСТ. К сожалению, строгое применение такого расчетного критерия не дает возможность использовать большую часть стандартных методик миграции, таких как погружение волнового поля, продолжение вниз и обращенная миграция во времени. Она также не позволяет проводить визуализацию по ОПВ интегральными методами. Я не имею в виду, что такие методы построения изображений не могут использоваться для оценки скоростей, а лишь то, что начальная скоростная модель должна быть существенно более точной, чем это требуется, в случае если методика миграции не смешивает данные, записанные на разных удалениях. Например, кинематическая поправка за угол наклона границы сейсмограмм ОПВ (DMO) требует существенно более точных первичных оценок скорости, чем DMO общих удалений.

### Миграция по разрезам равноудаленных трасс и разброс точек отражений

Немигрированные данные страдают от разброса точек отражения, как показано на Рис. 1, даже для постоянной скорости, точка отражения перемещается вверх по восстанию при увеличении удаления. При выполнении DMO, временная или глубинная миграция выполняются над данными общих удалений, это попытка изменить природу сейсмических данных тремя способами. Прежде всего, убирается разброс точек отражения, второе в пределах каждой сейсмограммы ОСТ трансформируется ось времен, и третье улучшается латеральное разрешение. Я не имею в виду три отдельных этапа, это просто три грани одного преобразования.

Основные свойства мигрированных данных общих удалений можно понимать в терминах общей точки отражения, полученной после устранения разброса точек отражения (Рис. 2). Общие точки отражения, содержащиеся в сейсмограмме ОСТ, после миграции по разрезам равноудаленных трасс, определяются лучами, падающими по нормали к границе в случае DMO, воображаемыми лучами для временной миграции и вертикальными лучами для глубинной миграции.

В идеале, DMO мигрирует сейсмические оси синфазности к их пространственно-временному положению при нулевом удалении. После применения DMO общих удалений, и отбрасывания динамических вопросов, каждый разрез общих удалений должен быть эквивалентным разрезу нулевых

удалений.

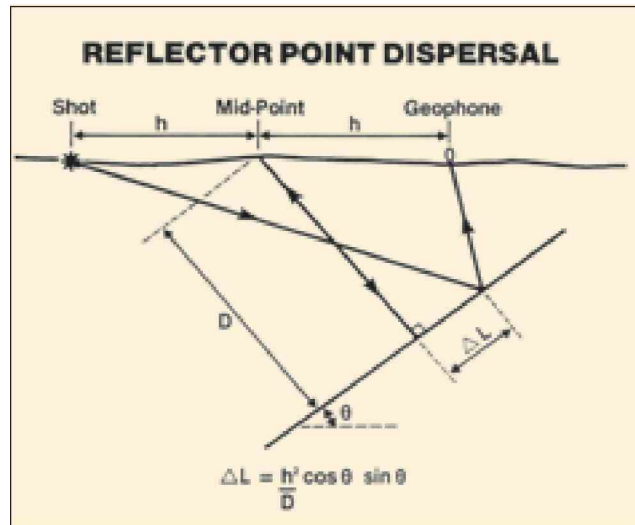


Рисунок 1 Немигрированные данные страдают от разброса точки отражения. Даже при постоянной скорости, точка отражения перемещается по восстанию с увеличением удаления.

То есть, отражения в пределах сейсмограммы общих средних точек будут точками общих отражений, определяемых траекториями лучей при нормальном падении. Однако, после проведения DMO общих удалений, мы всегда убираем начальные NMO. Таким образом, отображение каждой сейсмограммы общих удалений состоит в улучшении латерального разрешения (путем подавления вклада удаления в зону Френеля), перемещении отражения в корректное положение при нулевом удалении в соответствии с его углом падения, и затем приведение его обратно к его исходному удалению путем «выключения» NMO. Это помогает сохранять кинематический сдвиг горизонтальных осей синфазности и поведение амплитуд как функции удалений (AVO) для всех наклонов границы.

Подобным образом, временная миграция преобразует сейсмотрассы таким образом, чтобы временная ось соответствовала времени вдоль единственного воображаемого луча (Hubral 1977). В этом контексте воображаемый луч задается следующим образом: начало луча берется для корректных углов до линии приведения и далее он распространяется вглубь Земли в соответствии с законами Снеллиуса для преломления (Рис. 2b).

Глубинная миграция является самой амбициозной трансформацией в том, что касается ее попытки ввести поправку за искривление луча в покрывающей среде. Если это удастся сделать без неточностей, то время вдоль каждой трассы преобразуется в вертикальное время от общей средней точки на поверхности (Рис. 2c), и общие точки отражения в пределах каждой сейсмограммы ОСТ будут соответствовать ОГТ, определяемым каждым вертикальным лучом. То есть, внутри каждой сейсмограммы ОСТ, оси однократных отражений будут прекрасно выровнены и горизонтальны. Затем эти оси однократных волн станут идеально гиперболическими при «выключенных» NMO.

<sup>1</sup>The British Petroleum Company, Britannic House, Moor Lane, London EC2 9BU, UK.

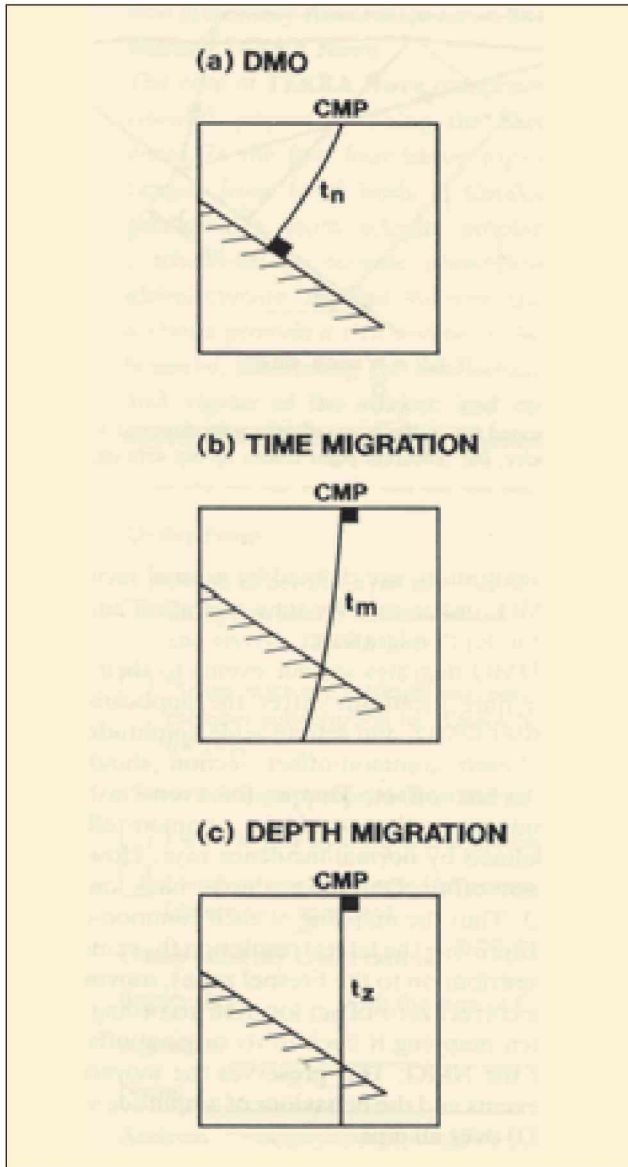


Рисунок 2 Миграция по разрезам равноудаленных трасс убирает разброс общих точек отражения и на сейсмограмме ОСТ после миграции будет прослеживаться тот же набор точек отражений независимо от удалений. (a) После DMO эти точки отражения будут определяться лучом, падающим по нормали. (b) После временной миграции эти точки отражения определяются воображаемыми лучами. (c) После глубинной миграции эти точки отражения лежат вертикально под общей средней точкой.

В действительности, не совсем корректно говорить о 'точках' отражения. После DMO, даже если было устранено смещение точек отражения, энергия все же будет размазана по зонам Френеля, центрированных вокруг соответствующих общих точек отражения. Радиусы этих зон Френеля будут варьировать в прямой зависимости от квадратного корня времени (и как обратная зависимость от квадратного корня средней частоты). В принципе, после как временной, так и глубинной миграции, такие зоны Френеля будут разрушены. Однако даже при превосходной фокусировке будет остаточная эффективная область вокруг общей точки отражения с независимым от времени радиусом, пропорциональным средней частоте (Berkhout 1985). Такие аспекты могут стать важными при AVO анализе в присутствии быстрых латеральных изменений.

С целью объединения глубинной миграции с DMO и

временной миграцией, результат миграции по глубине можно трансформировать 'обратно' во времена пробега, с соответствием с имеющимися интервальными скоростями, и в предположении о вертикальном распространении. Временная и глубинная миграция станет идентичной для постоянной скорости. Более того, в целях обсуждения, я приведу обобщение временной миграции и DMO на среду с переменной скоростью. То есть, DMO будет рассматриваться как попытка построения изображения каждого удаления на времени пробега при нулевом удалении для произвольной перекрывающей толщи, и подобным образом, временная миграция будет рассматриваться как построение изображения для каждого удаления на времени вдоль воображаемого луча (Рис. 2). Естественно для того, чтобы это сделать, как временная миграция, так и DMO потребовали бы задания корректной скоростной модели. Действительно, временная миграция стала бы глубинной миграции, в которой мы не только преобразуем 'обратно' во время, но также обратно искривляем лучи вдоль воображаемого луча в соответствии с предположительной (а значит в общем неверной) скоростной моделью. Это, конечно же, существенно уменьшит чувствительность скорости! Подобным образом, DMO станет эквивалентным глубинной миграции по разрезам равноудаленных трасс, которая выполняется вслед за моделированием нулевых удалений. Но поскольку мы можем напрямую использовать глубинную миграцию, я не верю, что на практике нам надо реализовывать такую 'истинно' временную миграцию и 'истинные DMO алгоритмы'.

### Скоростной анализ

Концептуально, 'истинное' DMO требует задания точных скоростей NMO, если не детальной глубинной модели (Van der Schoot 1989). Однако, использование приблизительных скоростей, за которым следует коррекция за NMO, позволяет нам выполнять скоростной анализ после DMO. Любой скоростной анализ, выполняемый после DMO принципиально определяет скорости суммирования независимые от угла наклона границы для нулевых удалений или времени пробега для нормального падения. Но поскольку каждая отражающая граница даст свой собственный луч падающий по нормали, зависящий от наклона границы, покрывающая толщина, а значит отсчеты скорости, взятые для таких лучей, определяются не единственным образом положением поверхности и временем пробега. При наличии больших вертикальных градиентов скорости и меняющихся углов наклона границы, это может привести к неразрешимым конфликтам при суммировании, даже после DMO.

В случае временной миграции, воображаемый луч определяется единственным образом положением поверхности. Таким образом, если мы выполним временную миграцию по разрезам равноудаленных трасс и затем устраним предполагаемый нормальный кинематический сдвиг, последующий скоростной анализ уже не приведет к конфликту при наличии вертикальных вариаций скорости. Оказывается, что последующий скоростной анализ не особенно чувствителен к начальному выбору скорости миграции. Причиной этой нечувствительности миграции по разрезам равноудаленных трасс к скорости можно понимать в рамках того, что происходит с горизонтальной осью синфазности во времени. В контексте временной миграции, горизонтальная ось синфазности предполагает отсутствие разброса точек отражения. Как следствие, она смещается вертикально вверх в соответствии с офсетом и заданной скоростью миграции (т.е. применяется NMO), затем она

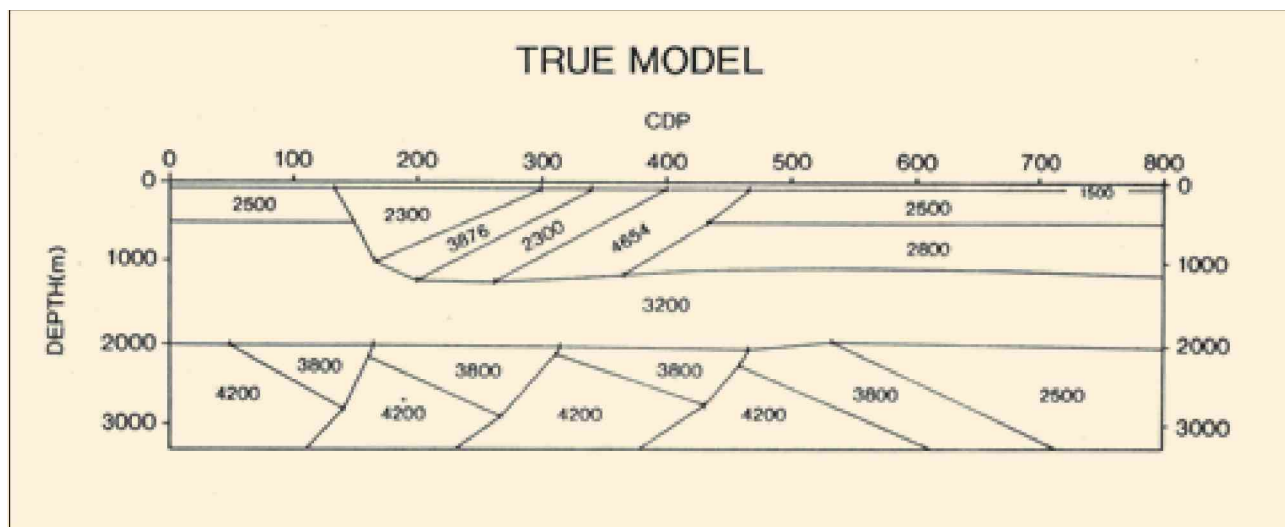


Рисунок 3 Скоростная модель, используемая для генерирования синтетических данных 2D.

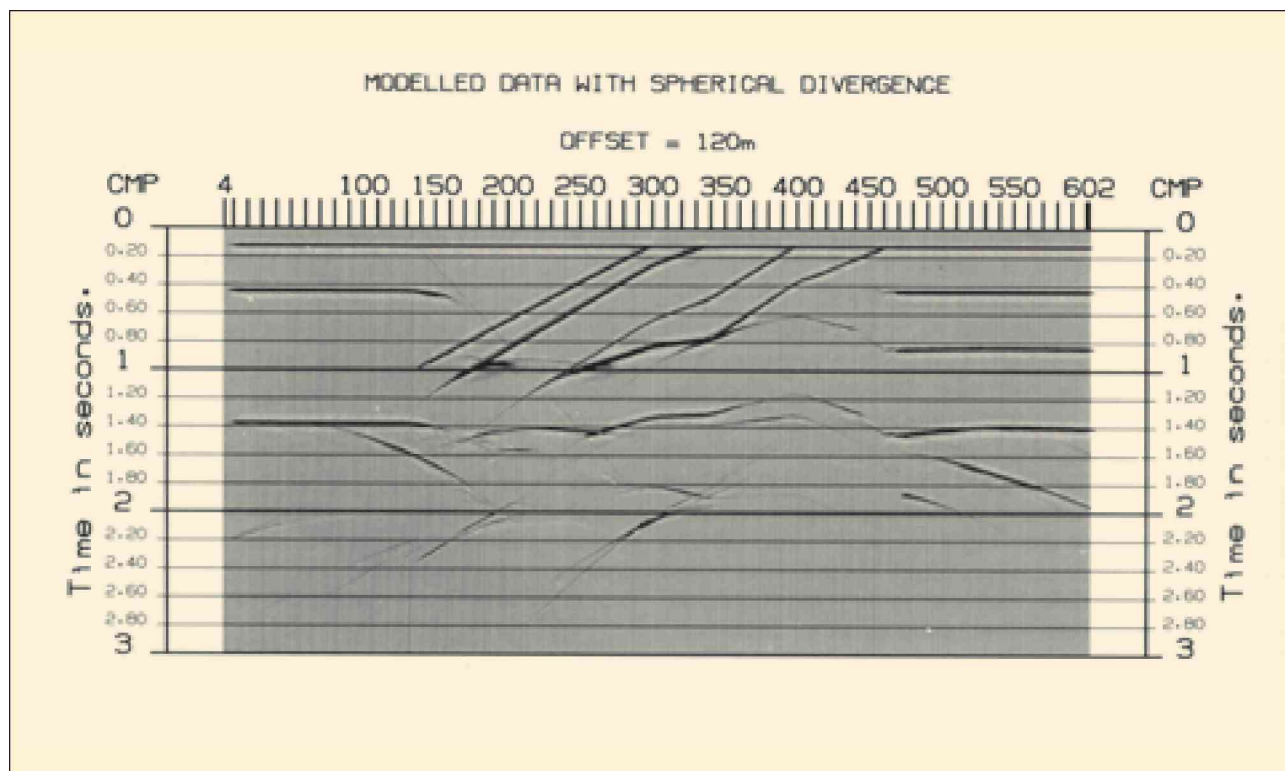


Рисунок 4 Отображение разреза ближних удалений (120 м) по синтетическим данным до суммирования.

мигрируется (т.е. зона Френеля развалится) и, в конце концов, начальное NMO «выключено». Иными словами, для любой оси синфазности с нулевым наклоном границы во времени в пределах каждой сейсмограммы общих удалений, кинематическая поправка, как это видно из последующего скоростного анализа, не меняется при миграции и таким образом, не зависит от скорости миграции. По этой причине, постоянная скорость миграции, равная  $2000 \text{ м с}^{-1}$  хорошо работает во многих областях и имеет преимущества того, что можно использовать алгоритм частота - волновое число (FK) для более быстрых расчетов (Stolt 1978). Применение относительно низких скоростей миграции имеет дополнительное преимущество того, что дает избежать потенциальных потерь

крутых наклонов границы при пере-миграции. Эффективной методикой является применением NMO и DMO, вслед за которыми используется FK миграция нулевых удалений с постоянной скоростью каждого разреза общих удалений куба (2D)/ (3D), и затем устранение NMO. Я считаю, что первой эффективной схемой миграции по разрезам равноудаленных трасс этого типа, в индустрии подряд, была программа Digicon's MOVES.

После скоростного анализа и суммирования, данные, мигрированные во времени можно демигрировать (смоделировать) к нулевым удалениям с использованием начальной постоянной скорости миграции. Отметим, что в этом контексте FK временная миграция до суммирования может рассматриваться как просто

удобная трансформация для устранения конфликтов при суммировании в случае наклонных осей. Однако, кроме улучшения изображений на нулевых удалениях, эта методика также дает поле скоростей миграции (т.е. скорости в понятиях мигрированного времени, вдоль воображаемых лучей) пригодных для точной временной миграции после суммирования. Очень часто улучшение изображения, наблюдаемое при последующей временной миграции, относят непосредственно к этому полю скоростей миграции, а не к улучшению изображения при нулевом удалении.

Использование DMO вслед за временной миграцией по разрезам равноудаленных трасс (нулевых удалений) позволяет нам использовать двух-проходную FK временную миграцию 3D данных до суммирования. Она обходит техническую проблему, при которой, даже для постоянной скорости, двух-этапная 3D временная миграция по разрезам равноудаленных трасс не является точным эквивалентом одно-этапной 3D миграции общих удалений, за исключением случая нулевых удалений (Jakubowicz and Levin 1983). DMO общих удалений для морских данных 3D, с небольшими отклонениями косы от курса, просто заключаются в применении оператора DMO в направлении движения судна к каждому кубу общих удалений. Для более общего случая данных 3D, дела обстоят сложнее поскольку вариации азимута источник-приемник в пределах каждого бина общих удалений необходимо учитывать, но в принципе каждый куб общих удалений можно трансформировать DMO к нулевым удалениям путем использования интегрального оператора.

Концептуально, глубинная миграция до суммирования требует задания точной скоростной модели. Это, особенно верно, если мы хотим скорректировать оси синфазности с помощью

глубинной миграции после суммирования, или если мы хотим предотвратить эффект дефокусировки изображения при использовании алгоритма конечных разностей до суммирования путем 'неправильного суммирования' по удалениям. Однако, для скоростного анализа, в контексте миграции по разрезам равноудаленных трасс, использование приблизительной скоростной модели, за которой следует исключение соответствующего явного нормального кинематического сдвига, позволяет нам выполнять скоростной анализ после глубинной миграции. Явный нормальный кинематический сдвиг – это просто среднеквадратичная скорость (RMS), рассчитанная вертикально по априорной скоростной модели для заданного положения поверхности. Отметим, что эта скорость RMS определяется в терминах вертикального времени пробега через глубинную модель. Действительно, любой скоростной анализ, выполненный после глубинной миграции должен рассматриваться как определение скоростей суммирования для вертикального времени пробега и они напрямую преобразуются в интервальные скорости, необходимые для изменения скоростной модели. Потому, что анализ дает нам как скорость RMS, так и вертикальное время распространения до каждой пикируемой оси синфазности. Одним из способов изучения вопроса почему скорость RMS, измеренная вертикально в априорной скоростной модели, должна быть корректной поправкой NMO, зависимой от модели которую вводят перед скоростным анализом, является рассмотрение того, что происходит при сходимости. При сходимости скоростная модель будет абсолютно точно корректировать негиперболический кинематический сдвиг в любой заданной общей средней точке, приводя оси к горизонтали для всех удалений.

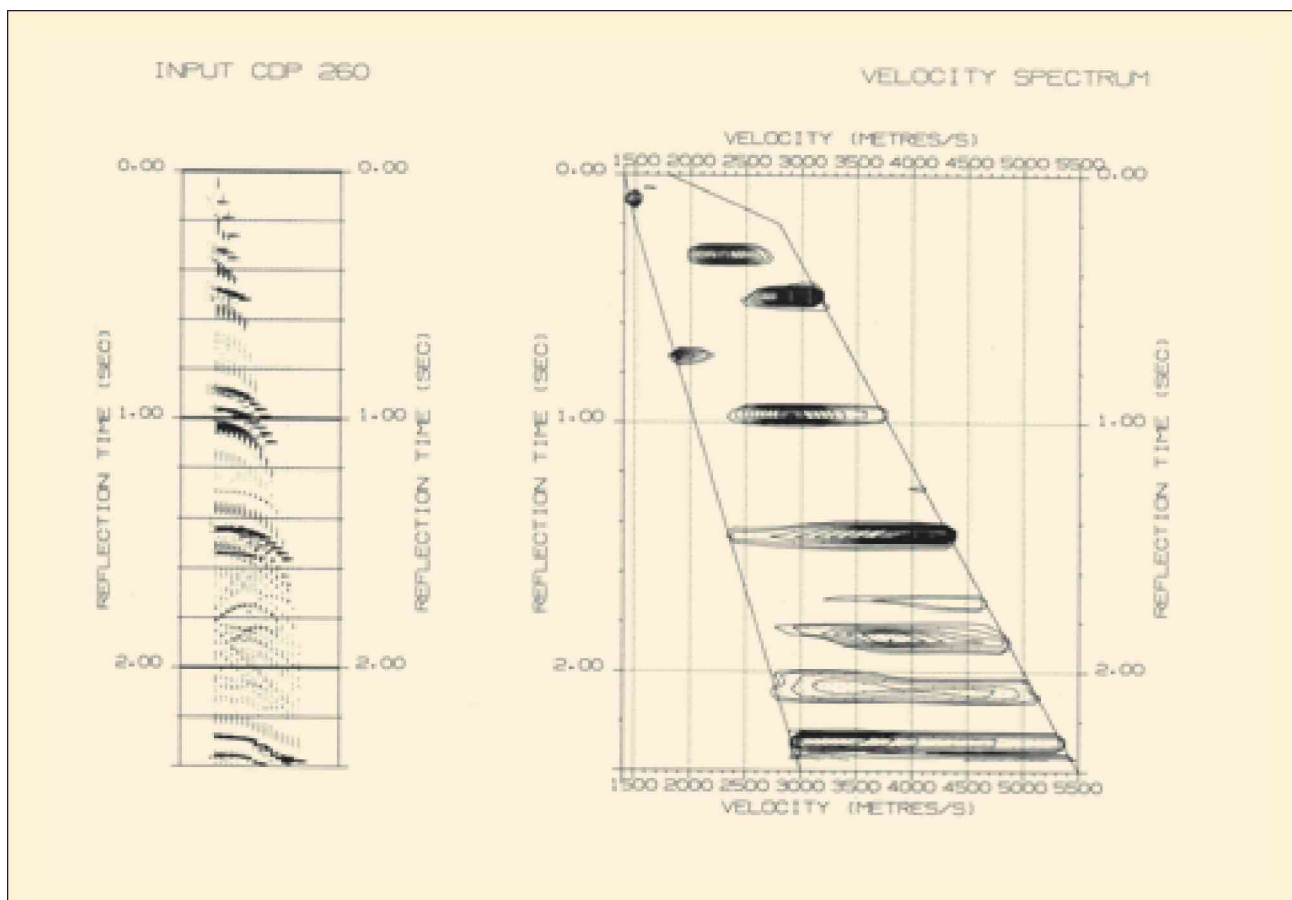


Рисунок 5 Скоростной анализ для OCT 260, выполненный на исходных данных.



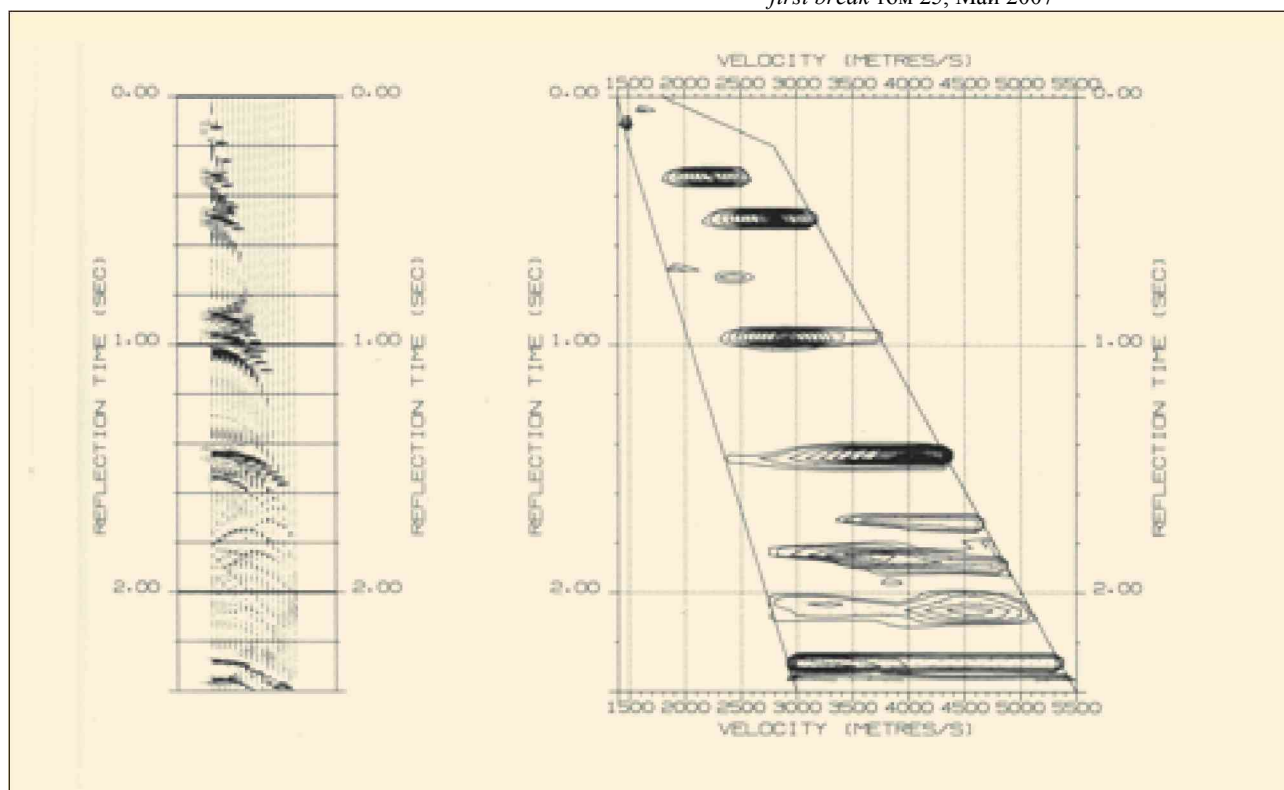


Рисунок 6 Применение скоростного анализа в ОСТ 260, выполненного на данных после DMO.

Исключение NMO в соответствии со скоростью RMS просто подтверждает скоростную модель.

Конечно, нам требуется начальная скоростная модель, и необходимо выполнять скоростной анализ в итеративном цикле при изменении модели скорости после каждой итерации. Оказывается, что начальная скоростная модель не должна быть особенно точной и что модель для постоянной скорости часто дает более быстрое схождение, чем использование чрезмерно сложной недостаточно детальной скоростной модели. Глубинная миграция до суммирования, выполненная с использованием модели постоянной скорости, после всего, эквивалентна временной миграции до суммирования с постоянной скоростью. Хотя такая миграция с постоянной скоростью не сделает негиперболические оси синфазности гиперболическими, однако, она существенно уменьшит разброс точек отражения для малоглубинных наклонных осей. Это поможет получить достаточно детальное разрешение приповерхностных скоростей для получения последующей скоростной модели 'на основе данных', которая в свою очередь начнет коррекцию эффектов преломления в недрах. Важно, чтобы модель строилась в соответствии с данными; в противном случае мы рискуем ухудшить негиперболичность нормального сдвига, а не убрать ее.

### Сохранение структуры средняя точка-удаление

Мы видели, что нам необходимо выполнять миграцию по разрезам равноудаленных трасс с целью сохранения структуры данных «средняя точка-удаление» и таким образом, и таким образом, позволять устранять неявную NMO, зависимость от модели для каждого удаления (Sattlegger et al. 1980). Эта методика даст обработчикам/интерпретаторам кубы данных, подобные полевым данным в сортировке сейсмограмм общих средних точек и к которым можно применить стандартный скоростной анализ и AVO анализ. Интегральные алгоритмы

или алгоритмы 'Кирхгофа', в которых используются точно рассчитанные времена пробега по скоростной модели (Derçgowski 1985; Bleistein 1987; Zhu 1988), могут отображать произвольные выборки трасс в мигрированное изображение и таким образом, являются идеальными для этих целей.

Несмотря на то, что графики скоростей суммирования и веса сумм для интегралов глубинной миграции (функции Грина) требуют дорогого с вычислительной точки зрения трассирования лучей, что делает их неконкурентоспособными в сравнении с глубинной миграцией после суммирования (Gray 1986), в случае использования до суммирования они требуют гораздо меньших расходов. Это объясняется тем, что для всех удалений можно использовать один веер (или конус) восходящих лучей (Derçgowski and Brown 1983). Затраты вычислительных ресурсов также можно сократить путем проектировки миграции с целью получения мигрированных трасс удалений для одного положения ОСТ, используя трассирование лучей в восходящем направлении от глубинных точек по вертикали под этим положением. Возможно мы должны считать такие данные миграции по разрезам равноудаленных трасс 'мигрированными до суммирования данными' а не 'до суммирования мигрированными данными'? Дальнейшими преимуществами 'мигрированных до суммирования данных' является то, что AVO исследования можно выполнять при оптимальном разрешении и с уменьшенными амплитудными искажениями, вызванными искривлениями лучей в покрывающей толще. Действительно, в районах с выраженными AVO-эффектами миграция до суммирования путем продолжения волнового поля может быть неэффективной и дать неудовлетворительное изображение даже при относительно точной скоростной модели. Это происходит из-за того, что нам надо было бы применить полное волновое уравнение упругих волн в попытке скорректировать аномалии AVO.

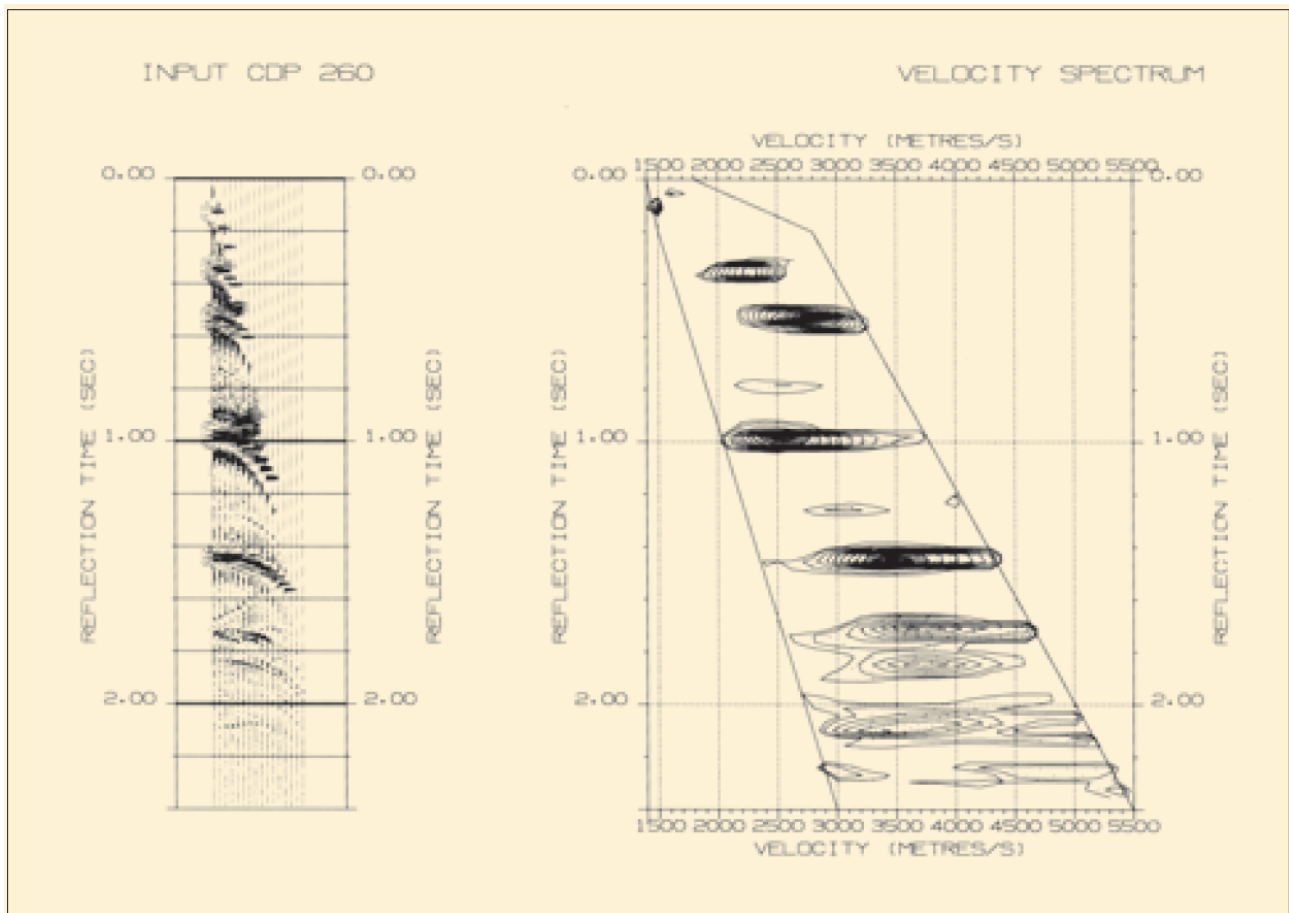


Рисунок 7 Скоростной анализ в ОСТ 260, выполненный на данных мигрированных во времени; поскольку была использована постоянная скорость, равная  $2000 \text{ м с}^{-1}$ , это эквивалентно глубинной миграции до суммирования с той же постоянной скоростью.

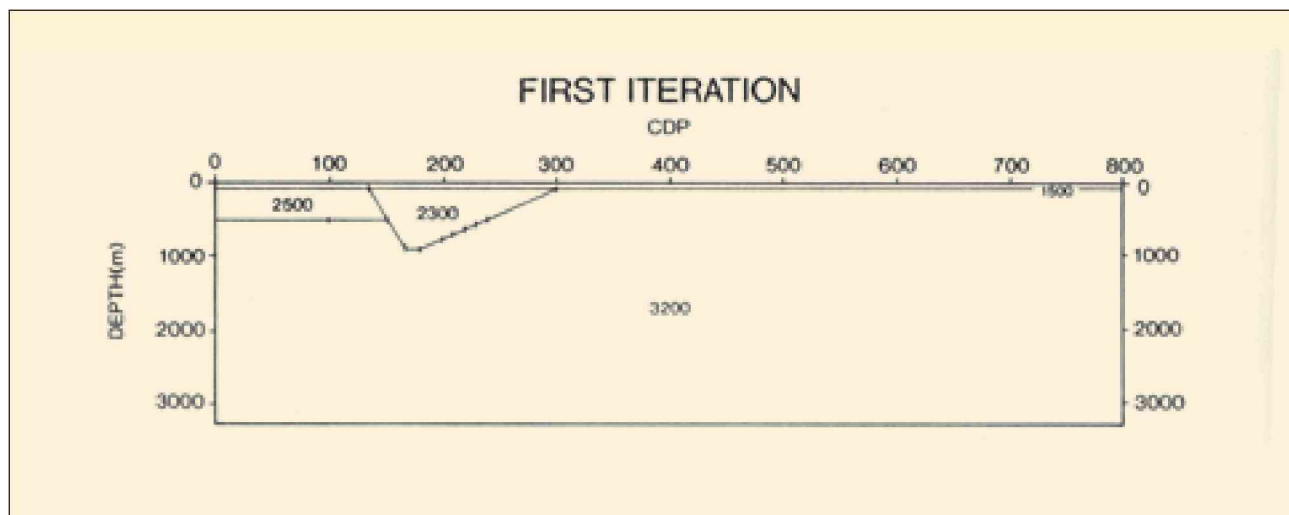


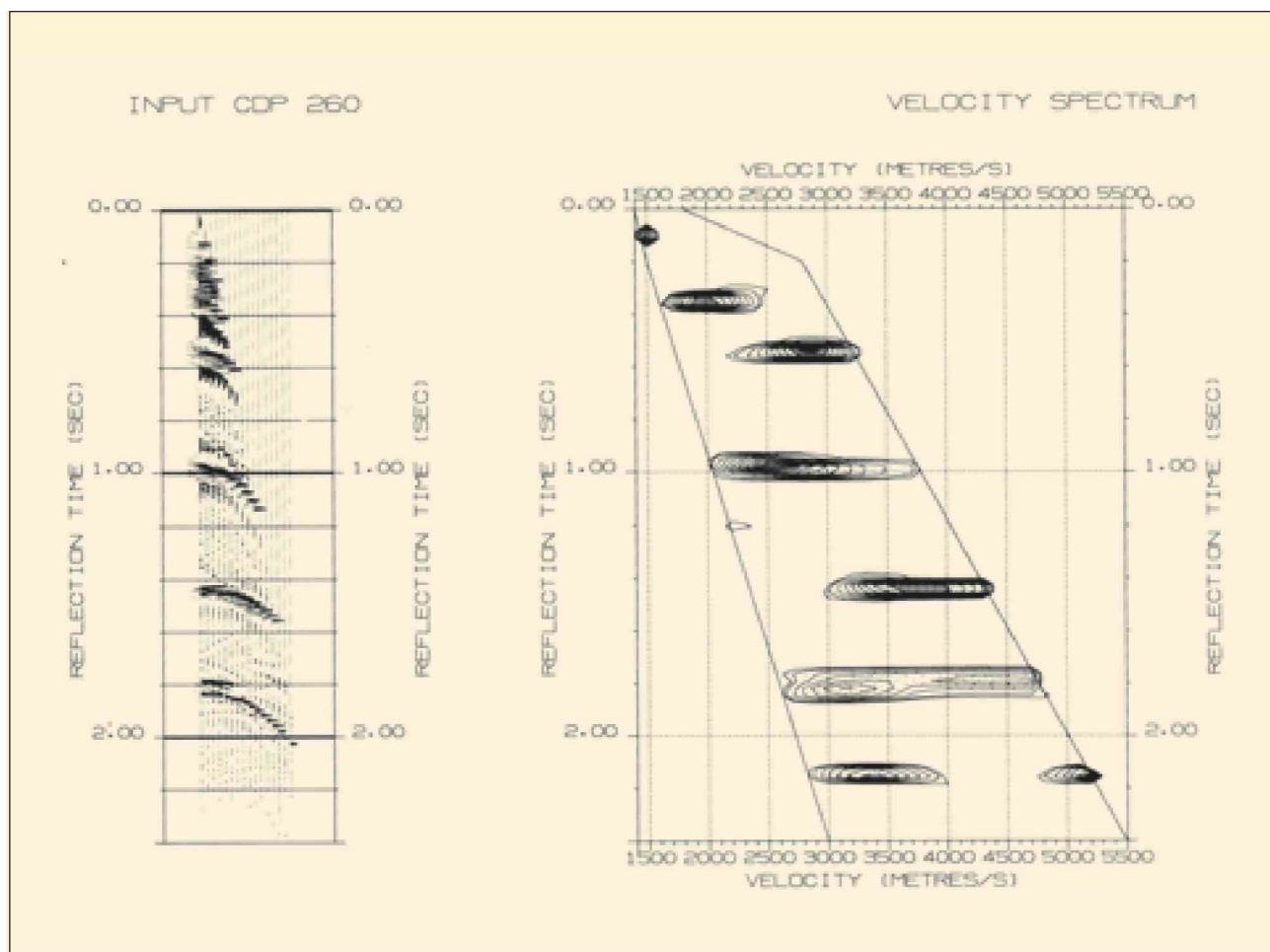
Рисунок 8 Скоростная модель, полученная по скоростному анализу, выполненному на данных после временной миграции (как на рис. 7). Интервальные скорости были получены по формуле Дикса, глубины границ путем прямого преобразования время-глубина в соответствии с интервальными скоростями.

Действительно, нельзя строго утверждать, что нельзя использовать стандартное (конечно-разностное) продолжение волнового поля для построения изображений общих удалений. Это скорее практическое, чем теоретическое ограничение. Для того чтобы выполнить миграцию по разрезам

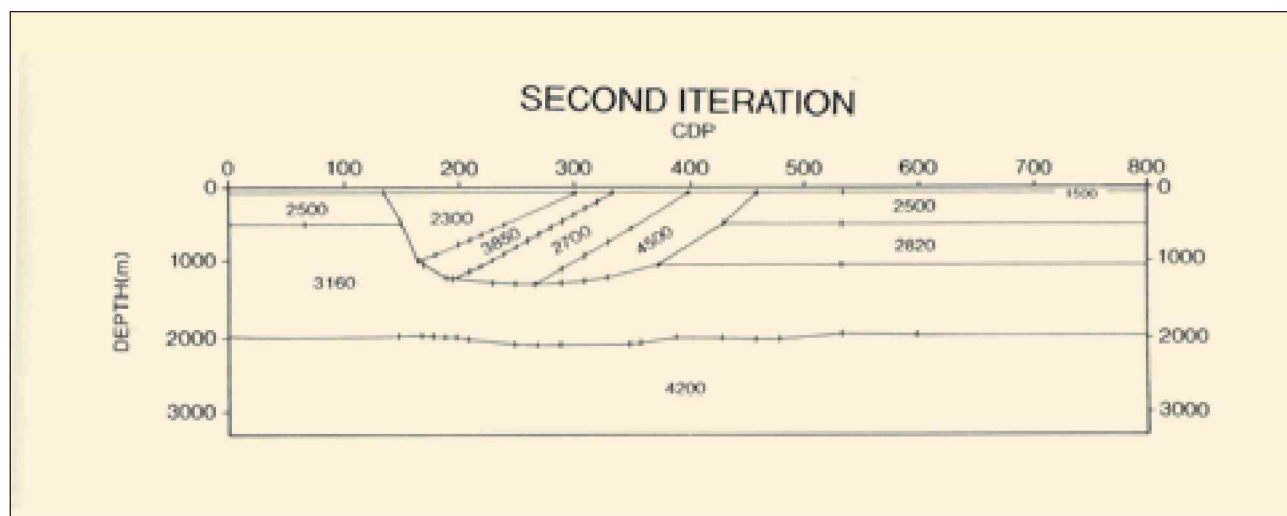
равноудаленных трасс перед выполнением миграции до суммирования с помощью методов конечной разности, нам бы потребовалось обнулить все данные за исключением тех, что требуются для заданного удаления. После миграции до суммирования требуемое изображение общих удалений оказалось бы в положении нулевого удаления.

Затем изображение для нулевых удалений было бы преобразовано к начальным удалениям путем устранения поправки NMO, встроенной в скорости миграции. Но эта процедура повторялась бы для каждого удаления по очереди, и нельзя ограничивать выходные данные единственным положением поверхности.

Также возможно генерировать куб мигрированных данных до суммирования путем миграции записей ОПВ (например, Van der Schoot *et al.* 1989). Однако такая миграция не позволяет производить точное извлечение неявного нормального кинематического сдвига, зависящего от модели, после миграции. Такая миграция записи ОПВ чрезмерно чувствительна к



**Рисунок 9** Скоростной анализ в ОСТ 260, выполненный с данными, мигрированными по глубине с использованием модели скорости, показанной на Рис. 8.



**Рисунок 10** Вторая итерация: модель скорости, полученная из скоростного анализа выполненного по данным после глубинной миграции.

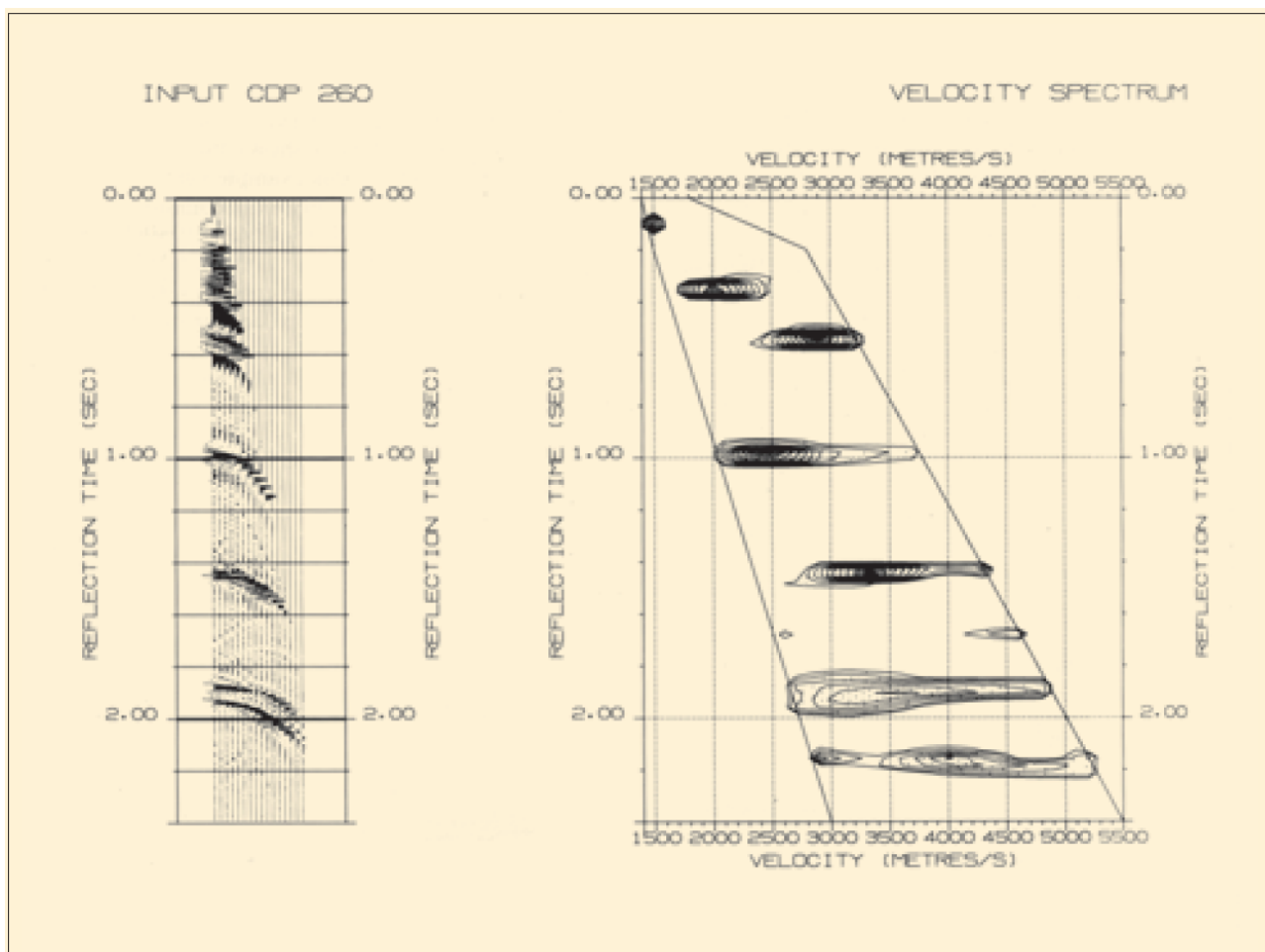


Рисунок 11 Скоростной анализ на ОСТ 260, выполненный по данным после глубинной миграции с использованием детальной скоростной модели, показанной на Рис. 10.

выбранной глубинной модели, и поэтому не особенно пригодна к пост-миграционному скоростному анализу. То же можно сказать и об альтернативном продолжении поля сейсмограмм ОПВ и ОПП вниз (Schultz and Sherwood 1980). Эти методы должны иметь встроенные методики независимого скоростного анализа (Faye and Jeannot 1986), которые, однако, достаточно хорошо работают при отсутствии больших градиентов скорости.

### Пример синтетических данных 2D

Я буду использовать простой пример синтетических данных 2D в качестве иллюстрации использования миграции разрезам равноудаленных трасс. На рисунке 3 показана глубинная модель 2D, которая используется для получения набора синтетических (чисто акустических) данных до суммирования. На рисунке 4 показан соответствующий отклик на ближних удалениях. В этом примере скоростные анализы были выполнены приблизительно на каждой десятой ОСТ, но в явном виде результаты будут показаны только для ОСТ 260. На рисунке 5 изображен стандартный скоростной анализ НМО для ОСТ 260. Эти оси синфазности все страдают от разброса точек отражения и некоторые более глубокие оси синфазности отчетливо негиперболические.

На рисунке 6 та же ОСТ после DMO, и ось времен отображает время при нормальном падении. Из-за большого градиента скорости, разброс точек отражения

будет устранен только для отражений на малой глубине и таким образом, имеются только маленькие отличия по сравнению с Рис. 5: наклонная малоглубинная ось синфазности на 0.5 с имеет заниженную скорость суммирования, более глубокие отражения остаются неясными.

Рисунок 7 – соответствующий скоростной анализ после миграции до суммирования временной/глубинной с использованием постоянной скорости 2000 м/с-1. Поскольку, как и в DMO, мы используем модель с постоянной скоростью, мы могли бы ожидать небольшие отличия между этим результатом и результатом после DMO (Рис. 6). Однако, имеется несколько четких отличий. Физически они возникают из-за того, что временная ось была трансформирована из времени для нормального падения во время пробега вдоль воображаемого луча (который распространяется вертикально вглубь модели Земли с постоянной скоростью). Вследствие этого, оси синфазности мигрированных данных ОСТ не соответствуют предыдущим. В частности, оси синфазности со временем нормального падения около 2.3 с (рис 5 и 6) были мигрированы и исчезли. Время оси на 1.0 с в точности соответствует. Изначально наклонная ось с временем пробега при нормальном падении 1.0 с была удалена при миграции и заменена другой осью с воображаемым лучом на 1.0 с. Однако, если игнорировать такие тонкости, оси на временах около 1.0 и 1.5 с соответствовали бы более низким скоростям



в ось на 1.5 с имела бы лучшее разрешение, но более глубокие оси, конечно же, оставались бы нечеткими. Из-за того, что кинематический сдвиг негиперболичен, преобразование ко времени вдоль воображаемого луча было бы далеко от удовлетворительного для глубинных данных. Однако эта последовательность обработки указала бы на присутствие значительной сложности структуры, чтобы гарантировать, что модель скорости данных глубинной миграции до суммирования будет детальной, и она также снабдила бы нас первой скромной попыткой использования подобной модели скорости (рис. 8).

Введение приповерхностной структуры 'на основе данных' (рис. 18) сделало NMO более гиперболической, и таким образом, это дало более ясный скоростной анализ (рис. 9).

Это означает, что модель перекрывающих пород исправила большую часть эффектов преломления для этой ОСТ (260). В частности, ось синфазности на 1.8 с существенно очистилась. Время пробега, в принципе, преобразовалось к вертикальному времени пробега в Земле. По крайней мере, скоростная модель была бы точная. Такой скоростной анализ, в выбранных ОСТ, дает нам следующую скоростную модель как показано на рис. 10, и последующий скоростной анализ приведен на рис. 11. Несмотря на существенно увеличенную сложность скоростной модели, скоростной анализ в этой ОСТ не сильно отличается от предыдущего.

На рисунке 12 показан скоростной анализ при его сходимости (т.е. использование корректной модели скорости, показанной на рис. 3).

Теперь ось времен соответствует точно вертикальному распространению и оси синфазности гиперболичны при скорости NMO, определяемой скоростью RMS вдоль соответствующей вертикальной 'траектории луча'. Отмечается последовательное улучшение качества данных по мере уточнения модели скорости от модели с постоянной скоростью (рис. 7) до более детальной перекрывающей толщи (рис. 12). В каждом случае, интервальные скорости для обновленной скоростной модели были получены путем непосредственного применения формулы Дикса (1955). Для этого синтетического примера, знание скорости миграции достаточно для точного глубинного преобразования, но это не является верным, в общем. Для точного глубинного преобразования реальных данных, необходима калибровка со скважинными данными и введение коэффициента учета анизотропии. Причиной этого является то, что скорости миграции измеряют скорее горизонтальную компоненту поля скорости, чем вертикальную компоненту.

## Выводы

Скоростной анализ работает лучше в случае гиперболичности кинематического сдвига и построение скоростной модели упрощается, когда ось времен, используемая для скоростного анализа, аппроксимирует вертикальное время пробега. Обе цели можно достичь путем глубинной миграции по разрезам равноудаленных трасс по выбранным ОСТ. В частности, интегральные методы позволяют нам генерировать сейсмограммы ОСТ, полностью мигрированные в глубинной области для стандартного скоростного анализа. Эта методика является

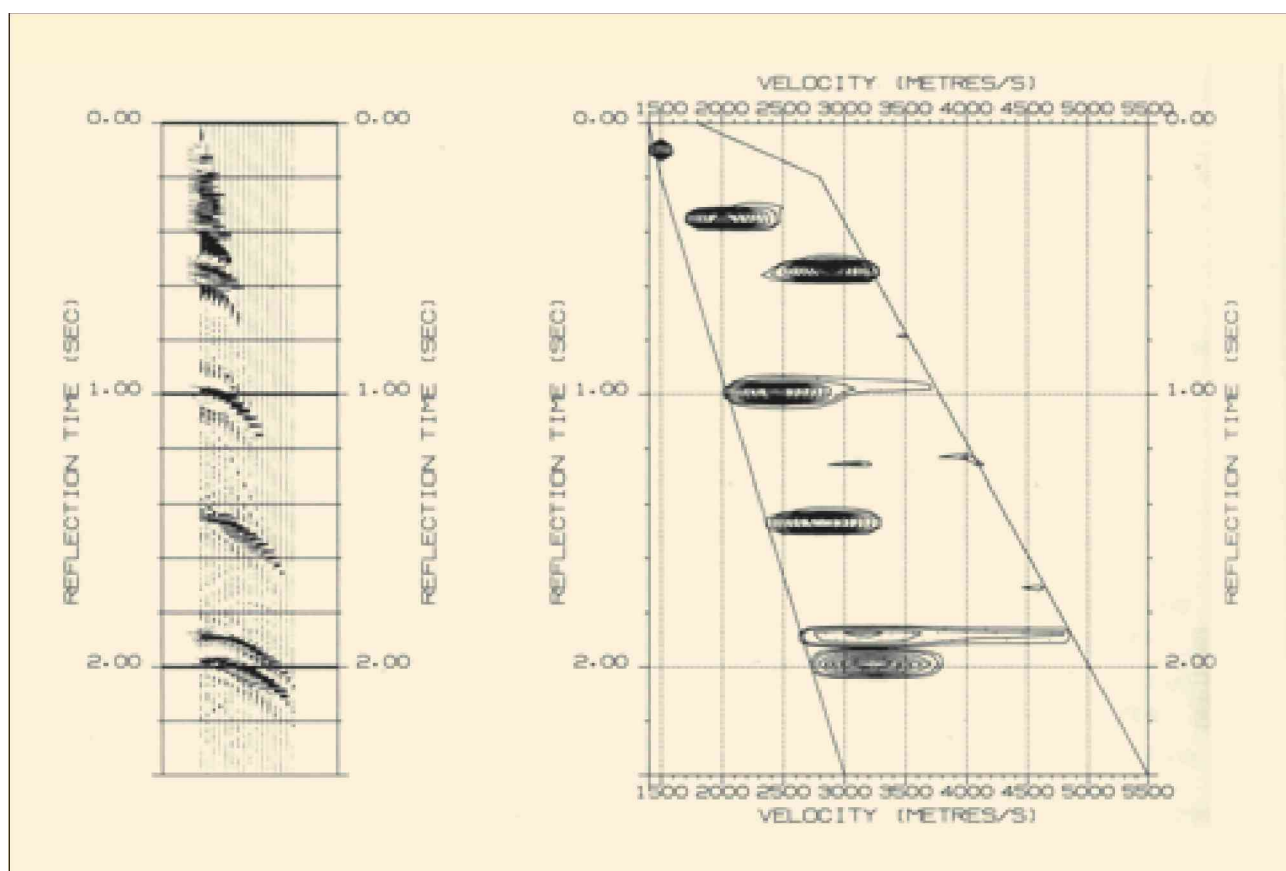


Рисунок 12 Скоростной анализ на ОСТ 260, выполненный с данными после глубинной миграции с использованием корректной скоростной модели, показанной на Рис. 3.

мощным дополнением к методам построения модели путем пересчета волнового поля на новый уровень, фокусировки, трассирования лучей и томографии. Она также влияет на AVO анализ.

### **Благодарности**

Я хотел бы выразить признательность Terry Redshaw за помощь с программным обеспечением и полезные обсуждения, Jane Longbottom, которая сделал первый прототип, и Lynda Hutchins за примеры синтетических данных. Я также хочу выразить благодарность президенту и членам правления British Petroleum Co. за разрешение на публикацию данной работы.

### **Литература**

Berkhout, A.J. 1985. Seismic resolution: a key to detailed geologic information. *World Oil*, December 1985, 47-51.  
Dereęowski, S.M. and Brown S.M. 1983. A theory of acoustic diffractors applied to 2D models. *Geophysical Prospecting* 31, 293-333.  
Dereęowski, S.M. 1985. Prestack depth migration by the 2-D boundary integral method. 55th SEG meeting, Washington DC, Expanded abstracts, 414-417.  
Dix, C.H. 1955. Seismic velocities from surface measurements. *Geophysics* 20, 68-86.  
Faye, J.P. and Jeannot, J.P. 1986. Prestack migration velocities from focusing depth analysis. 56th SEG meeting, Houston, Expanded abstracts, 438-440.

Gray, S.H. 1986. Efficient traveltimes calculations for Kirchhoff migration. *Geophysics* 51, 1685-1688.  
Hubral, P. 1977. Time migration - some ray theoretical aspects. *Geophysical Prospecting* 25, 738-745.  
Jakubowicz, H. and Levin, S. 1983. A simple exact method of 3D migration. *Geophysical Prospecting* 31, 34-56.  
Sattler, J., Stiller, P., Echterhoff, J. and Hentschke, M. 1980. Common offset plane migration. *Geophysical Prospecting* 28, 859-871.  
Schultz, P. and Sherwood, J.W. C. 1980. Depth migration before stack. *Geophysics* 45, 376-393.  
Stolt, R.H. 1978. Migration by Fourier transform. *Geophysics* 43, 23-48.  
Van Der Schoot, A. 1989. Common reflector point stacking: a macro model driven approach to dip moveout. PhD thesis, Delft University of Technology, ISBN 90-9003020-4, N.K.B. Offset bv, Bleiswijk, The Netherlands.  
Van der Schoot, A., Romijn, R., Larson, D.E. and Berkhout, A.J. 1989. Prestack migration of shot record inversion and common depth point stacking: a case study. *First Break* 7, 293-304.  
Zhu, T. 1988. Ray-Kirchhoff migration in inhomogeneous media. *Geophysics* 53, 760-768.