

Широкоазимутальное изображение и анализ азимутальной скорости, использующий досуммированную миграцию элемента вектора смещения. Wide azimuth imaging and azimuthal velocity analysis using offset vector tile prestack migration

Alexander Calvert,^{1*} Edward Jenner,¹ Robert Jefferson,¹ Robert Bloor,¹ Nicola Adams,² Rosemarie Ramkhelawan² и Chris St. Clair³ установили условия для применения бинирования (сортировка по общей площадке) вектора смещения ко многим современным широкоазимутальным съемкам. Они заключают, что метод является естественным дополнением к методу подбора поверхности по анализу азимутальной анизотропии и совместное использование дает возможность провести эффективный постсуммированный анализ по скоростной анизотропии, обеспечивающий проникновение в сущность напряжения и приповерхностного образования трещин.

Промышленность требует увеличения числа азимутальных исследований. В условиях присутствия рыхлых пород, таких как в Мексиканском заливе, реально улучшить яркость и визуализацию затухающих или стратиграфически сложных объектов (например, Michell et al., 2007). В плотных породах присутствие существенной анизотропии азимутальной скорости может реально снизить качество широкоазимутальных съемок, если она не учитывается (Williams and Jenner, 2001). Если анизотропия измеряется и вводится поправка, результатом является не только улучшенное изображение, но также ценная информация, связанная с характеристикой структуры и напряжения перекрывающихся пород и резервуара. Знание плотностей структуры и ориентаций трещиноватости в плотных породах, когда структуры являются доминантными источниками пористости и проницаемости, может позволить определить позиционирование скважины и эксплуатационные качества. Понимание ориентации основного напряжения может также позволить более эффективное планирование и предсказание скважинной трещиноватости.

Традиционные методики обработки сигнала часто смаывают или игнорируют эту азимутальную информацию, и она обычно теряется при постсуммированной или досуммированной миграции смещения. Все больше внимания уделяется сохранению и использованию этой информации через визуализацию, которая дает мигрированные азимутальные параметры для интерпретации. В этой статье мы делаем обзор опыта сохранения полевых данных, измерения и коррекции по эффектам азимутальной скорости с визуализацией досуммированного вектора смещения.

Анизотропия измеренной азимутальной скорости

Присутствие анизотропии азимутальной скорости приводит к эллиптической вариации измеренной скорости NMO с изменением азимута (Grechka and Tsvankin, 1998). Когда анизотропия обусловлена единственным набором вытянутых вертикальных трещин, направление быстрого нормального приращения скорости (NMO) ориентируется вдоль простирания трещины, а направление медленного приращения скорости – перпендикулярно простиранию трещины. В настоящее время в индустрии используется много методов для анализа азимутальных скоростей. Они разделяются на три большие категории:

- *Разбиение на секторы* (e.g., Lynn, 2007). Анализ скорости NMO выполняется независимо по подсистемам разбитых на секторы мигрированных азимутальных данных, а затем азимутально варьирующие эллиптические скорости приспособляются (подгоняются) к этим скоростям. Lynn (2007) предположил, что метод разбиения на секторы может испытывать проблемы с вопросом точности, связанные с неустойчивостью анализа независимых скоростей и ограниченными участками данных, имеющихся в распоряжении для подбора скоростей. Чтобы получить приемлемые изображения, планирование участков съемки часто требует разбиения на секторы больших размеров (60°, 45° или 30°), обеспечивающие несколько участков скоростей для эллиптического подбора.
- *Сканирование* (e.g., Sicking et al., 2007). Возмущения азимутальной скорости по изотропной или VTI фоновой модели сканируются по двумерной сети тестовых параметров (например, устойчивая ориентация и % анизотропии). Этот подход представляет интерес, когда применяется вместе с азимутально анизотропной миграцией, но требует вычисления интенсивности сканируемой миграции и процесса последовательного снятия влияния вышележащих слоёв с обязательным обменом между точностью и временем вычисления/стоимостью.
- *Поверхностный подбор* (e.g., Jenner et al., 2001). Азимутальный эллипс NMO одновременно приспособляется (подгоняется) к измеренным временам пробега, как функции смещения и азимута. Ценная особенность метода поверхностного подбора заключается в том, что он не требует данных, которые имеют особое распределение, поскольку интервал смещения/азимута достаточно дискретизирован, чтобы ограничить анизотропию скоростей.

Измеренные эллиптические скорости NMO могут быть конвертированы с интервальными параметрами, используя обобщенное выражение уравнения Dix (Grechka et al., 1999). Попытка определить интервальные параметры как функцию азимута непосредственно по снятым скоростям NMO, используя обычно принятое преобразование Dix, приведет к

¹ ION Geophysical, GXT Imaging Solutions, 225 E. 16th Ave., Suite 1200, Denver, CO 80439 USA.

² BP America, 501 Westlake Park Blvd., Houston, Texas 77079, USA.

³ VGS Seismic, Suite 306, 1117-1st Street SW, Calgary AB, T2R 0T9, Canada.

*Corresponding author, Email: Alex.Calvert@iongeo.com.

Обработка данных

некорректному результату, за исключением случая, когда анизотропия слабая или достаточно благоприятна, чтобы измерить скорости поблизости от интересующих направлений целевого интервала.

Методы разбиения на секторы и сканирования исторически применялись к данным миграции, в то время как методы поверхностного подбора преимущественно применялись к немигрированным данным. Ни один из этих методов по существу не ограничен в каждом из этих массивов. Хотя поверхностный подбор применялся к мигрированным данным (Karrius, 2006), он более широко использовался для домиграционного анализа, необходимого для слабо изогнутой и нерегулярной планировки многих наземных съемок, что делает их непригодными для метода разбиения на секторы, использующего досуммированную миграцию. Так как плотности съемки продолжают расти, они становятся более годными для досуммированной миграции и постмиграционного анализа. Когда это возможно, анализ азимутальных скоростей после миграции является более предпочтительным, так как наклон структуры может потенциально вносить систематическую ошибку в немигрированные данные, приводя к искажениям, которые могут быть трудными для того, чтобы отличить их от анизотропии.

Обзор метода распределения векторов смещения (OVT)

Идея использования вектора смещения общих глубинных площадок была предложена почти одновременно и независимо Vermeer (e.g., 2002) под названием разбиение на ячейки вектора смещения (OVT) и Cary (1999) под названием общий вектор смещения (COV). До недавнего времени метод использовался ограниченно, возможно, в связи с ограниченным наличием пригодных для него съемок и ограниченным объемом азимутальной информации. Метод состоит из определения вектора смещения общих глубинных площадок (в отличие от стандартного скалярного смещения общих глубинных площадок) с двумя компонентами вектора смещения, направленными вдоль координатных осей CMP (общая глубинная точка). Для некоторых стандартных расстановок направления смещения вектора могут выбираться таким образом, что каждый бин определяет единственный однократный кубик, заполненный трассами одинакового смещения и азимута.

Чтобы понять, как выбираются эти размеры общей глубинной площадки (бина), полезно рассмотреть ортогональную наземную съемку, как совокупность однократных изогнутых подмножеств, каждая из которых получено по паре линий источник-приемник (рис. 1a и 1b). Эти подмножества часто упоминаются как «поперечная расстановка». Трассы по соседним CMP в пределах поперечной расстановки имеют сходные смещения и азимуты (рис. 1c и 1d). Выбор трасс, которые попадают в пределы диапазона смещения вдоль и поперек линии, определяет прямоугольную «ячейку» CMP. Если диапазоны этих векторов смещения выбраны так, что ширина ячейки, перпендикулярная к линиям взрыва совпадает с расстоянием между линиями взрыва, а длина ячейки, перпендикулярная линии приемников, совпадает с расстоянием между линиями приемников, аналогичная «ячейка» по соседней поперечной расстановке будет располагаться вслед за исходной ячейкой без пробела или перекрытия (рис. 1e). Если точка взрыва и точка приемника и расстояния между ними регулярны, все ячейки, собранные по всем поперечным расстановкам, так совмещены, что результаты съемки будут в объеме однократных данных с аналогичными смещениями и азимутами (рис. 1f).

Выделение соответствующих диапазонов вектора смещения, которые образуют площадку с необходимыми размерами, лучше всего объясняется начальным этапом 2D съемки.

Рассмотрим 2D съемку с пунктами взрыва, расположенными через каждые ΔS в статическом пространстве регулярно расположенных приемников. Общие глубинные точки по пункту взрыва, расположенному на $x=0$, зарегистрированные приемниками, расположенными $0 \leq x < 2\Delta S$, попадут в диапазон $0 \leq x < \Delta S$. Общие глубинные точки от следующего пункта взрыва, расположенного на $x=\Delta S$ по тому же самому диапазону смещений, располагаются на $\Delta S \leq x < 2\Delta S$. Они лежат рядом с общими глубинными точками по предыдущему пункту взрыва без пробела и перекрытия. Это относительное расположение общей глубинной точки будет истинным для всех последующих пунктов взрыва, расположенных на $n\Delta S$. Отобранные данные с диапазоном смещения, равным двойному расстоянию между пунктами взрыва, комплектуют подсистему единичных изогнутых данных без пробелов в перекрытии CMP. Это является стандартным методом для двумерных данных смещения общей глубинной площадки для получения профилей единичных изогнутых «общих» смещений (возможно, «сходные» смещения могут быть более точными). Чтобы перейти к 3D, если пункты взрыва имеют те же самые координаты x , но теперь произвольно расположены в направлении оси y , поскольку они должны быть для линии взрыва, ортогональной линии приемников, общие глубинные

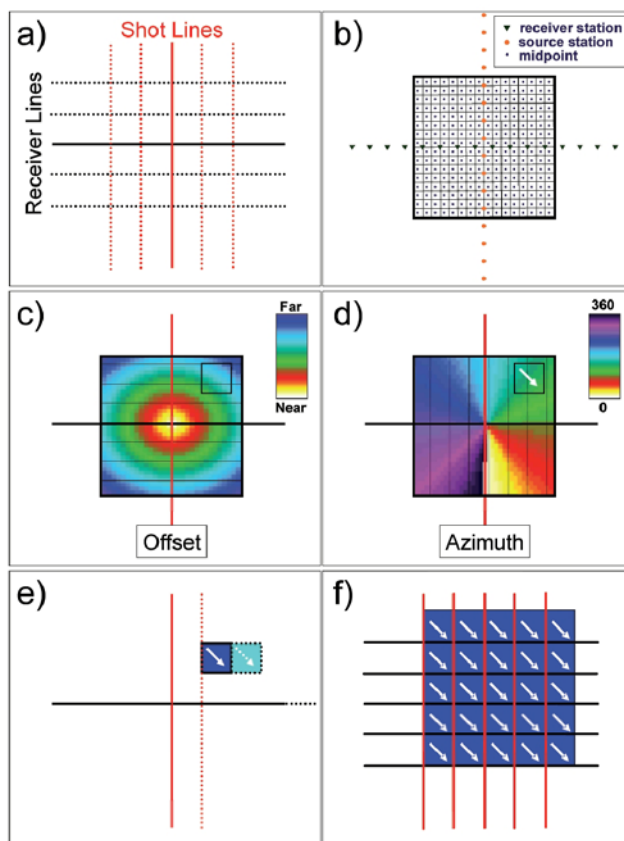


Рис. 1 Ортогональная наземная съемка может быть рассмотрена как сумма подсъемок, полученных каждой поперечной расстановкой (пара профилей источник-приемник) (a). Общие глубинные точки по хорошо установленной поперечной расстановке заполняют сеть единичного изгиба (b). Смещения пропорционально возрастают в направлении от пересечения линий источник-приемник. Прямоугольная «ячейка» общей глубинной точки имеет аналогичные смещения (c) и азимуты (d). Если выбран размер ячейки, который совпадает с расстоянием по линии между источниками и приемниками, одна и та же ячейка поперечной расстановки, связанная с соседней линией взрыва (точечная линия голубого цвета), ляжет, примыкая к первой ячейке (e). Сбор всей ячеек по всем поперечным расстановкам создаст покрытие всей области съемки с данными единичного сгиба, которые имеют аналогичные смещения и азимуты (f).

точки имеют еще x-координаты, поэтому оптимальный диапазон вектора смещения, параллельного линии приемника, равняется удвоенному интервалу между пунктами взрыва. Аналогично, соответствующий диапазон для вектора смещения, параллельного линии пунктов взрыва, равен удвоенному интервалу между приемниками.

Хотя метод OVT первоначально осмыслен по ортогональной схеме съемки, он может быть распространен на схемы съемки, которые проявляют 2D периодичность вдоль осей сети CMP (например, косые системы). Для неортогональных систем требуемые диапазоны вектора смещения не будут равны удвоенному расстоянию по перпендикуляру между линиями пунктов взрыва и приемников, а будут равны удвоенному периоду повторения геометрии вдоль осей сети CMP. Ячейки, определенные векторами смещения, при неортогональной системе не могут быть прямоугольными. Например, ячейки для косой системы будут параллелограммами, но также составляющими мозаику.

В общих словах, метод OVT является естественным распространением биннинга, использованного для двумерных съемок, на трехмерные съемки. Он использует декартову систему координат для вектора смещений, находящегося приблизительно на одной линии с CMP сетью съемки. Традиционное разбиение на секторы пытается использовать полярную систему координат для смещения и азимута при определении общей глубинной площадки, которая, по сути, не может приспособить двумерную периодичность большинства систем наземных съемок (рис. 2). Такие схемы биннинга в полярных координатах будут неизбежно создавать пустоты и/или перекрытия, требуя тщательной компенсации изогнутости, чтобы минимизировать миграционные искажения, и потенциально уменьшают качество параметров. См. Vermeer (2002) для более детального рассмотрения теории и применения поперечной расстановки и разбиения на ячейки вектора.

Анализ азимутальной скорости после OVT миграции

Монтаж сейсмических трасс CIP, созданный по методу OVT досуммированной временной миграции (PreSTM), полностью отличается от традиционного монтажа сейсмических трасс смещения. При монтаже сейсмических трасс по методу OVT скалярные смещения дискретизированы нелинейно и часто дублируются, поскольку они не могут быть обработаны или проанализированы методами, которые предполагают постоянный интервал смещения. Это также может быть причиной, почему отрасль исторически предпочитает разбитые на секторы миграции. Разбитые на секторы миграции обычно параметризуются, чтобы создать монтаж сейсмических трасс с регулярным интервалом смещений в пределах секторов, давая возможность применить методы анализа смещения скорости в каждом секторе. К счастью метод поверхностного подбора, разработанный для того, чтобы работать с произвольными распределениями смещения/азимута в немигрированных данных, непосредственно применим к схеме биннинга OVT. Может быть использована аналогичная последовательность деятельности для домиграционного анализа, но незначительное смещение центра OVT и азимута теперь определяет геометрию каждой трассы.

В попытке понять по азимутальным параметрам практическое различие между миграцией с разбиением на секторы и миграцией OVT оба миграционных метода были применены к съемке с соответствующей плотностью в Канаде (210 м интервал между приемниками, 240 м интервал между пунктами взрыва при угле перегиба 45°). За

Обработка данных

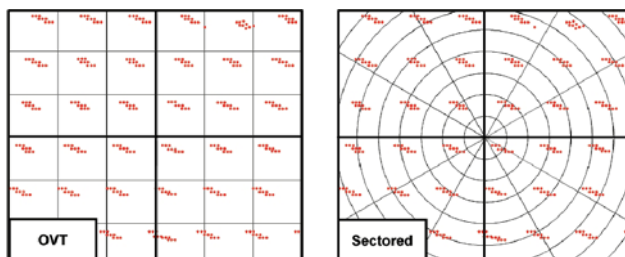


Рис. 2 Положения векторов смещения (красные точки) трасс по девяти примыкающим общим глубинным точкам изображены по косоугольной съемке в Канаде, иллюстрирующие естественную двумерную периодичность выбранного вектора смещения. Метод биннинга OVT (слева) естественно приспособляет распределение данных, непохожее на схему биннинга с разбиением на секторы (справа).

исключением нескольких пробелов в покрытии пунктами взрыва съемка по косоугольной системе на относительно плоской структуре является регулярной с данными превосходного качества. Рис. 3 показывает различие быстрых и медленных нормальных приращений (NMO) скоростей, полученных по поверхностному подбору при методе разбиения на секторы и по методу OVT PreSTMs.

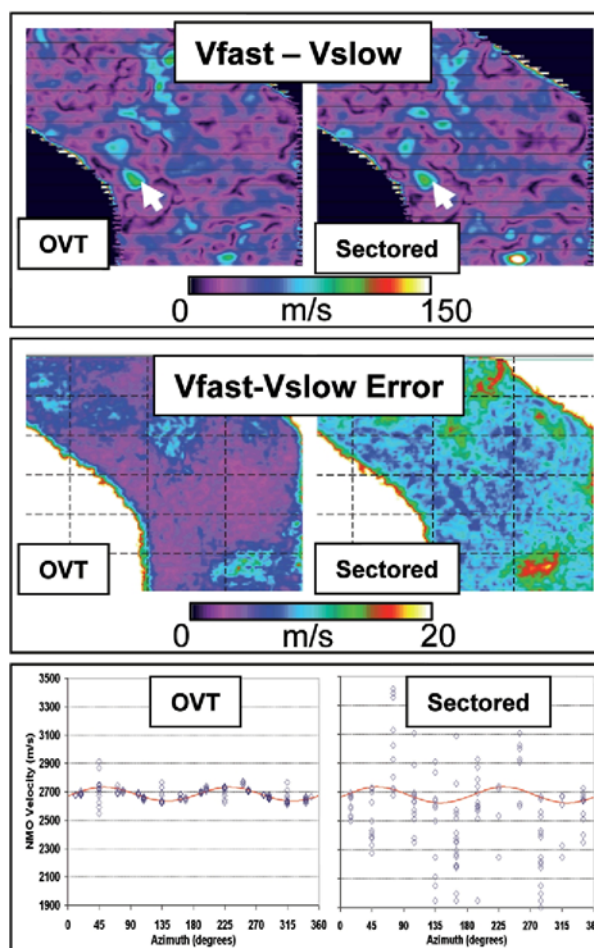


Рис. 3 Результаты быстрого скоростной и медленной скоростной анизотропии (вверху) и соответствующая оценка погрешности (в центре) по постмиграционному поверхностному подбору OVT (слева) и разбиению на секторы PreSTMs (справа). Хотя и похожий, результат OVT лучше ограничен. Скорость совпадает с данными при высоком уровне анизотропии (вверху, белая стрелка), предполагается присутствие меньшего миграционного шума в результате OVT (внизу).

Обработка данных

Оба метода идентифицируют аналогичные аномалии первого порядка, но также содержат тонкие различия. Важно подчеркнуть, что, поскольку был использован поверхностный подбор, чтобы получить оба результата, это является сопоставлением только влияния различий миграции. Мы предполагаем, что применение метода разбиения на секторы, описанного выше, включающего независимый анализ скоростей в секторах, должно привести к более значительным различиям. Оценка несоответствия и типичной погрешности, которая рассчитывается по обоим распределениям данных, означает, что результат OVT существенно более ограничен. Исследование совпадения скорости с данными подтверждает увеличенную дисперсию результата метода разбиения на секторы. Как показано на рис. 2, миграция с разбиением на секторы имеет много положений CIP, которые не содержат трассу перед миграцией. В течение миграции эти положения заполняются колеблющимися данными по близлежащим трассам, приводя к неуловимым временным ошибкам даже для плоских отражений. Предполагается, что эти наблюдения верны в целом, но различия могут быть уменьшены при увеличении плотности съемки.

Включение азимутальной анизотропии в миграцию

Как только определены азимутальные скорости, данные могут быть вновь мигрированы относительно модели и проведен расчет времен пробега, который включает эффекты азимутальной анизотропии (Karpius, 2006). Эти азимутальные времена пробега вычисляются, используя соответствующую скорость для источника, чтобы отобразить точку, и отображение точки, чтобы получить азимуты. Рис. 4 показывает сортированные сейсмограммы с азимутом (0-180°) с применением того же графа к другим массивам данным, полученным в Wyoming, USA. Несколько отображенных отражений, использующих модель PreSTM анизотропных скоростей, ограничивают постоянную изменчивость по времени с азимутом, который может быть откорректирован по азимутальным RMO, полученным с использованием поверхностного подбора. Азимутальные RMO частично исправили сейсмограммы, но осталось несколько азимутальных остаточных приращений времени пробега волны. Однако, когда данные вновь мигрированы, используя то же азимутально анизотропное поле скоростей, которое было использовано для азимутального RMO, результативные сейсмограммы стали лучше, чем результат RMO. Этот результат был неожиданным. Наше объяснение и надежда состоят в том, что введение азимутальных эффектов в

миграцию приводит к слабому улучшению относительного позиционирования широко азимутальных досуммированных отображений, давая в результате сейсмограммы, которые более точно представляют относительное время и амплитуду отражений, как функцию смещения и азимута.

Несколько практических аспектов

Метод OVT в основе предполагает регулярную геометрию съемки с согласованно размещенными параллельными линиями пунктов взрыва и приемников. Практически помехи или запреты часто требуют значительных отклонений от этого идеала. Мы обнаружили, что метод OVT поразительно устойчив даже в присутствии значительных, но нерегулярно меняющихся рассредоточенных препятствий съемки. В этих условиях необходимо предпринять дополнительные шаги, чтобы ввести поправку за изгибные вариации и удалить обширные домиграционные пробелы, которые заполняются миграционными колебаниями. Последовательные или пропорционально увеличивающиеся различия в интервалах являются проблемой. Эта ситуация будет, вероятно, чаще возникать при попытке проведения одновременно двух или более съемок с различными интервалами и ориентациями. Эти съемки не могут быть отображены, используя единственный набор параметров OVT. Съемка либо требует отдельного отображения различных параметров OVT, либо какого-либо типа регуляризации, которая применяется для преобразования съемки к обычной сети данных. Упрощенческий подход состоит в том, чтобы сделать это перехватыванием трассы или обработкой трассы, но более высокая пространственная регуляризация и интерполяция (например, Liu and Saachi, 2004) являются лучшим решением.

Даже если съемка очень регулярная, интервалы и соответствующие диапазоны вектора смещения могут быть настолько большими, что, используя стандартную схему OVT биннинга, описанную выше, можно создать только несколько однозначно определяемых скалярных смещений для скоростного анализа. Важно понять, что, хотя ячейка должна быть определенного размера, не существует ограничения на абсолютное размещение ячейки. Оно может определить перекрытие или произвольную укладку ячеек, чтобы расширить диапазон имеющихся смещений или даже собрать по отдельному азимуту, представляющему интерес.

Первая ступень к оцениванию пригодности съемки для азимутального анализа, использующего OVT миграцию, состоит в том, чтобы определить ничтожно малый изгиб для смещений менее чем, или равных глубине, представляющей интерес. Поскольку азимутальный анализ NMO обычно ограничивается приблизительно этим диапазоном смещения, где разность времени вступления является приблизительно гиперболической, то является ориентировочно количеством отдельных не перекрывающихся ячеек, имеющихся в распоряжении для анализа. Количество ячеек, требуемых для того, чтобы получить устойчивый результат, будет зависеть от качества данных. 30-40 отдельных ячеек могут обеспечить обоснованный статистический результат для инверсии отражения времен пробега при трех параметрах анизотропной скорости, но мы продолжаем все больше и больше исследовать неплотные съемки, чтобы понять, где практически лежат эти пределы.

Сейсмограммы поперечной расстановки и размеры OVT также предлагают благоприятный случай для улучшения и регуляризации данных до миграции. Обе подсети данных, отсортированные вдоль и поперек профиля, образуют трехмерные

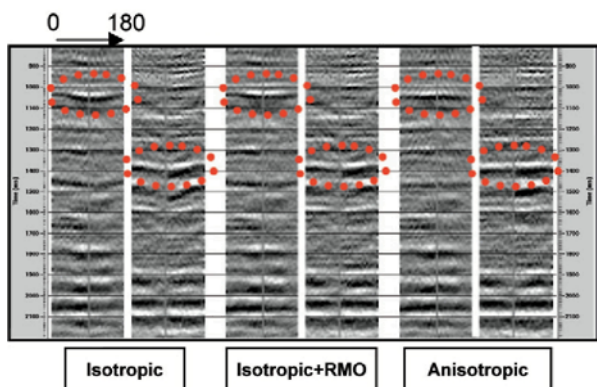


Рис. 4 Пример пары азимутальных сортированных сейсмограмм (0-180 градусов) по изотропному OVT PreSTM (слева), OVT PreSTM + азимутальный RMO (в середине) и OVT PreSTM, использующего те же азимутальные скорости, что и для азимутального RMO (справа). Устойчивое направление приблизительно меридиональное. Отметим слабое последующее сглаживание сейсмограммы при учете азимутальных скоростей в PreSTM.

Обработка данных

объемы с сопредельными общими глубинными точками, выбирающими подповерхность с аналогичными смещениями и азимутами. Пропорционально увеличивающиеся вариации в смещении и азимуте в сейсмограмме поперечной расстановки делают их областью, пригодной для применения трехмерных алгоритмов, таких как F-Kх-Ку для ослабления когерентного шума или FXУ деконволюции для уменьшения некогерентного шума. Доказано, что FXУ также очень эффективен для уменьшения некогерентного шума в массивах OVT. Даже если полный массив данных является широкоазимутальным, приводя к предположению, что требуется 5D интерполяция для досуммированной интерполяции, может быть эффективной более низкая пространственная интерполяция, если данные отсортированы по поперечной расстановке или размерам OVT. Отсутствие станций приводит к потере одной линии или участка линии общих глубинных точек в этих областях, таким образом, каждая простая двумерная интерполяция может быть вполне эффективной. Размеры OVT также предполагают дополнительный благоприятный случай, когда присутствуют большие пробелы в приобретенных данных. Поскольку взаимосвязь источник-приемник является редко плохим (с неудовлетворительными характеристиками) предположением для данных Р-волн, трассы могут быть разделены между аналогичными ячейками, чтобы заполнить пробелы. Если съемка частично неблагоприятна, мы обнаружили, что она полезна для суммирования трасс по аналогичным ячейкам после того, как применено NMO к расчетной ячейке смещения.

Приведенные примеры взяты из выполненных в прибрежной зоне проектов досуммированной визуализации, где азимутальная анизотропия может быть значительной. Также доказано, что метод OVT очень эффективен для изотропного глубинного отображения и построения скоростной модели для широко азимутальных морских съемок с буксируемой косой (например, Mitchell et al., 2007). Области постоянных исследований включают распространение все в возрастающей степени методик, описанных в этой статье, на нерегулярные съемки и более перспективные операционные среды визуализации.

Выводы

Метод OVT и метод поперечной расстановки предлагают в наши дни много благоприятных возможностей для современных широко азимутальных съемок. Метод PreSTM, использующий биннинг вектора смещения, предоставляет данные, удовлетворяющие требованиям азимутального анализа, когда используется в сочетании с поверхностным подбором. Полученные в результате характеристики лучше ограничены, чем таковые, полученные методом разбиения на секторы. Результаты азимутального анализа могут быть

использованы для последующей миграции, включающей азимутальную анизотропию в вычислениях времен пробега, что может дать дополнительное улучшение качества сейсмограмм суммирования. Метод OVT эффективен для большего разнообразия геометрий съемок, чем, вероятно, раньше думали. Программы сортировки в методах OVT и поперечной расстановки также предлагают много благоприятных возможностей для улучшения и регуляризации данных до миграции.

Благодарности

Авторы хотели бы поблагодарить BP America и VGS Seismic за разрешение продемонстрировать эти данные, Craig Cooper at BP за их постоянную поддержку нашей работы и многих сотрудников GX Technology, которые помогли в этой работе, и сотрудников, связанных с программным обеспечением. Мы также благодарим Gijs Vermeer за информативные дискуссии и рекомендации, а также за его предложения по улучшению статьи.

Литература

- Cary, P.W. [1999] Common-offset-vector gathers: an alternative to cross-spreads for wide-azimuth 3-D surveys. *69th SEG Annual Meeting*, 18, 1496-1499, Expanded Abstracts.
- Grechka, V. and Tsvankin, I. [1998] 3-D description of normal moveout in anisotropic inhomogeneous media. *Geophysics*, 63, 1079-1092.
- Grechka, V., Tsvankin, I. and Cohen, J. K. [1999] Generalized Dix equation and analytic treatment of normal-moveout velocity for anisotropic media. *Geophysical Prospecting*, 47, 117-148.
- Jenner, E., Williams, M. and Davis, T. [2001] A new method for azimuthal velocity analysis and application to a 3D survey, Weyburn field, Saskatchewan, Canada. *71st SEG Annual Meeting*, 20, 102-105, Expanded Abstracts.
- Kappius, R. [2006] Prestack time migration with azimuthal velocity anisotropy. In Grechka, V., Helbig, K. and Pšenčík, I. (Eds) *The Eleventh International Workshop on Seismic Anisotropy (11WSA)*. *Geophysics*, 71, 13JF.
- Liu, B. and Sacchi, M.D. [2004] Minimum weighted norm interpolation of seismic records. *Geophysics* 69, 1560-1568.
- Lynn, W. [2007] Uncertainty implications in azimuthal velocity analysis. *77th SEG Annual Meeting*, 26, 84-87, Expanded Abstracts.
- Mitchell, S., Sharp, J. and Chergotis, D. [2007] Dual-azimuth versus wide-azimuth technology as applied in subsalt imaging of Mad Dog Field - a case study. *The Leading Edge*, 26, 470-478.
- Sicking, C., Nelan, S. and McLain, W. [2007] 3D azimuthal imaging. *77th SEG Annual Meeting*, 26, 2364-2367, Expanded Abstracts.
- Vermeer, G. J. O. [2002] *3-D seismic survey design*. SEG, USA.
- Williams, M. and Jenner, E. [2001] How important is the effect of azimuthal anisotropy in 3-D seismic data? Enhancing data quality and extending potential of the 3-D interpretation. *71st SEG Annual Meeting*, 20, 126-129, Expanded Abstracts.