

Сейсмическое изображение и создание скоростной модели, используя суммирование по общей поверхности отражений. Seismic imaging and velocity model building using common reflection surface stack

Ahmed M. Al-Marzoug,¹ Ferhan Y. Ahmed,¹ и Krzysztof K. Sliz¹ отмечают, что оценка при построении скоростной модели является самой трудной, требующей много времени и дискуссионной проблемой в процессе обработки. Обсуждаемое и прилагаемое здесь решение к данным по Ближнему и Среднему Востоку представляет использование метода общей поверхности отражений (CRS).

Процесс выборки скоростей всегда предрасположен к ошибкам выборки, которые могут привести к недостаточно сфокусированному или разрешенному сейсмическому разрезу. Поэтому некоторые исследователи (Hubral, 1999; Jager et al., 2001; Tygel et al., 1997) проверили на опыте данные, полученные по этому методу, чтобы создать автоматическое независимое крупномасштабное модельное изображение с помощью отраженных волн. Другими словами, мы создаем изображение и одновременно оцениваем скоростную модель. Peter Hubral со своими студентами из консорциума Wave Inversion Technology применили метод суммирования, известный как CRS.

Способ общей поверхности отражений является одноэтапным методом для преобразования области, многократно перекрытой сейсмическими данными, в область суммарного разреза нулевых удалений. Этот способ не требует априорного знания макро-скоростной модели, которое требуется при обычной обработке NMO/DMO (нормальное приращение/ кинематическая поправка за угол наклона отражающей границы). CRS фактически создает скоростную модель как одну из характерных особенностей в дополнение к трем геометрическим характеристикам: угол выхода сейсмического луча с нулевым удалением и два радиуса кривизны фронта волны. CRS предполагает, что модель поверхности является известной константой и скорректирована, каковой обычно не является. Поэтому необходимо удалить влияние близповерхностной топографии до применения метода CRS. Невыполнение этой операции может привести к некорректному суммарному разрезу на выходе.

В этой статье мы оцениваем метод CRS по нескольким реальным 2D сейсмограммам. Влияние близповерхностной модели исследуется по примерам синтетических данных. Мы также рассчитываем скоростную модель, используя CRS, и применяем ее как первичную скоростную модель для глубинной миграции до суммирования.

Теория

Оператор суммирования CRS (здесь рассматривается только 2D случай) базируется на трех характеристиках фронта волны: угол выхода сейсмического луча с нулевым удалением и два радиуса кривизны фронта волны, обозначенных R_N и R_{Nip} (нормальная волна и нормальное падение точки волны, соответственно). Применяя метод CRS к синтетическим и фактическим данным Hubral (1999),

Jager et al. (2001), Mann et al. (1999), и Muller (1999) использовали гиперболическое второго порядка разложение в ряд Тейлора (Schleischer et al., 1993), которое задается следующим выражением:

$$t^2(x_m, h) = \left(t_0 + \frac{2 \sin \alpha (x_m - x_0)}{v_0} \right)^2 + \frac{2 t_0 \cos^2 \alpha}{v_0} \left(\frac{(x_m - x_0)^2}{R_N} + \frac{h^2}{R_{Nip}} \right) \quad (1)$$

где t – время отражения вдоль луча, отраженного в окрестности точки R для источника, расположенного на расстоянии x_s , и приемника, расположенного на расстоянии x_r в окрестности x_0 на линии между x_s и x_r ; $h = (x_s - x_r)/2$ – половина удаления; а $x_m = \frac{(x_s + x_r)}{2}$ – средняя точка между источником и приемником. v_0 – скорость вблизи поверхности и предполагается постоянной и известной. Полагая $x_m = x_0$ в уравнении (1), получаем

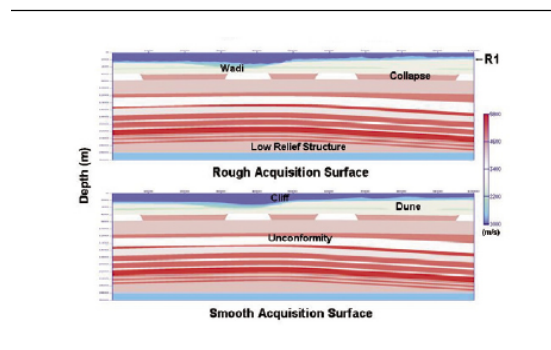


Рисунок 1 Грубая (верхний) и сглаженная (нижний) модели.

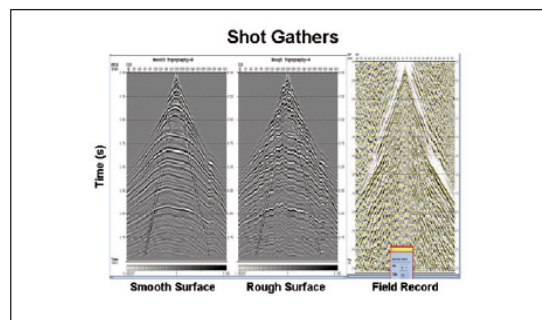


Рисунок 2 Сейсмограммы общей точки взрыва по обеим моделям.

¹ Saudi Aramco, Dhahran, Saudi Arabia.
2008 EAGE www.firstbreak.org

Ближний Восток

$$t^2(h) = t_0^2 + \frac{2t_0 \cos^2 \alpha}{v_0} \frac{h^2}{R_{Nip}} \quad (2)$$

Уравнение (2) является гиперболическим уравнением (Hubral and Krey, 1980), полагая

$$V_{nmo}^2 = \frac{2v_0 R_{Nip}}{t_0 \cos^2 \alpha}. \text{ Полагая } q = \frac{\cos^2 \alpha}{R_{Nip}} \text{ в уравнении (2),}$$

производится ID когерентный анализ по q , который дает значение когерентности вдоль гиперболы, заданной уравнением (2). Этот процесс ведет к тому, что называется автоматическим суммированием CMP (Jager et al., 2001).

При $h=0$ в уравнении (1), уравнение сводится к случаю нулевых удалений:

$$t^2(x_m) = \left(t_0 + \frac{2 \sin \alpha (x_m - x_0)}{v_0} \right)^2 + \frac{2t_0 \cos^2 \alpha}{v_0} \left(\frac{(x_m - x_0)^2}{R_N} \right) \quad (4)$$

Это смещенная гипербола. Уравнение (2) и (4) обеспечивают достоверный способ проанализировать 3D когерентность для уравнения (1), используя три процесса оптимизации ID.

Близповерхностное влияние

Один из недостатков процесса CRS заключается в близповерхностном эффекте. Формула CRS предполагает, что в уравнениях (2) и (3) v_0 известна и постоянна. Чтобы исследовать близповерхностное влияние на результат CRS, по двум моделям были созданы два синтетических примера. Рисунок 1 (верхний) изображает модель с неровным рельефом, где поверхность меняется, а внизу приведена сглаженная версия модели.

Сейсмограмма общей точки взрыва, полученная от двух моделей, приведена на рис. 2. К данным модели с неровным рельефом был применен метод CRS, и это приведено на рис. 3 (верхний). Очевидно, что суммирование CRS имеет много прерывистых и слабых осей синфазности. Вычисленный скоростной разрез, приведенный на рис. 3 (нижний), показывает перерывы в горизонтальных скоростях суммирования. Суммирование CRS по данным сглаженной модели приведено на рис. 4. Сопоставляя рисунки 3 и 4, мы можем отчетливо видеть, горизонтальные суммы на рис. 4 более непрерывные и оси более четкие. Траектории преломленных волн лучше определяются по рис. 4. Скоростная диаграмма на рис. 4 также показывает более выразительное проявление скорости суммирования, чем на рис. 3. Рис. 5 показывает CRS суммирование для модели с неровным рельефом после выверки по эталону. Выверенное по эталону суммирование CRS без сомнения подтверждает его превосходство в отношении непрерывности и резкости изображения, чем суммирование CRS на рис. 3 и 4. Скоростная диаграмма на рис. 5 также демонстрирует более точные функции горизонтальной скорости.

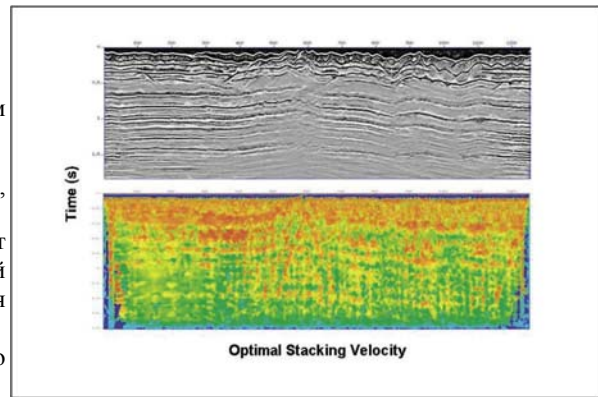
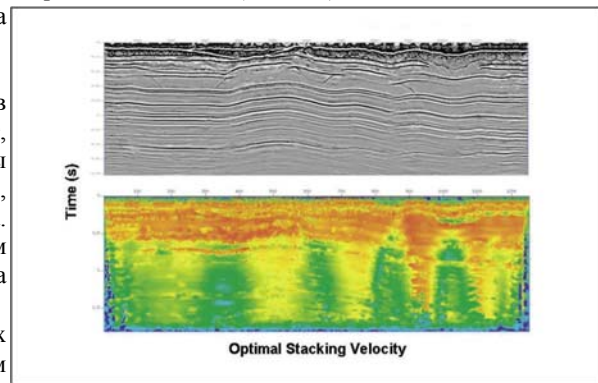


Рисунок 3. CRS суммирование для грубой модели на рис. 1 (верхний) с рассчитанной скоростной моделью (нижний).

Рисунок 4 CRS суммирование для сглаженных топографических данных (верхний) с рассчитанной скоростной моделью (нижний).



Vstk & CRS of Upwardly Datumed Data

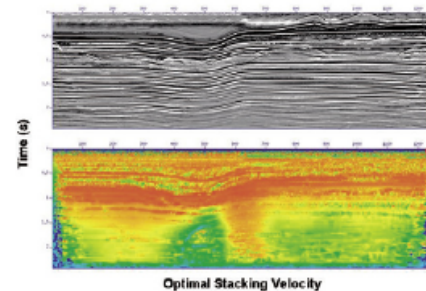


Рисунок 5 Исправленное CRS суммирование (верхний) и рассчитанная скоростная модель.

Пример фактических данных

Мы применили метод CRS к ряду реальных наборов данных, здесь демонстрируются результаты, полученные на двух сейсмических профилях. Как мы описали выше, близповерхностное влияние, устранено перед применением метода CRS, что является важным шагом в CRS обработке.

Разрез (профиль A) на рис. 6 является данными 2D съемки по западной части Аравийского полуострова. Данные были получены в начале 1990 г.г. и составляют 35 км длины и 120 трасс. Массив данных прошел стандартную обработку, такую как статическая поправка (поверхностная и остаточная), сферическое отклонение, поверхностная последовательная деконволюция и выравнивание амплитуд, и сортировка по ОГТ.

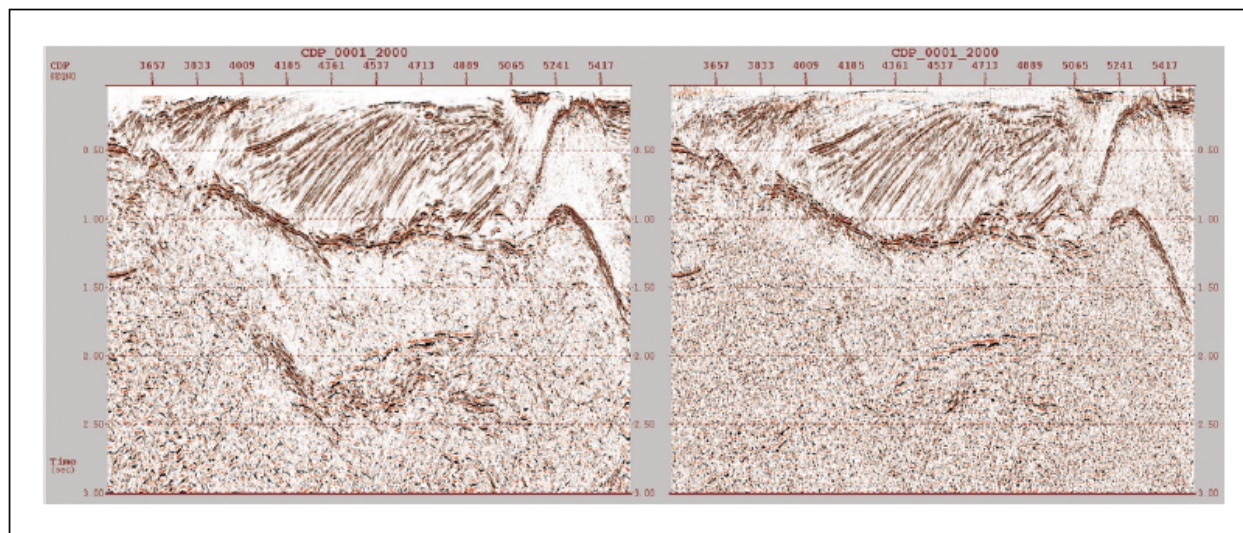


Рисунок 6 (левый) Суммарный разрез CRS. **Рисунок 6** (правый) Традиционный суммарный разрез.

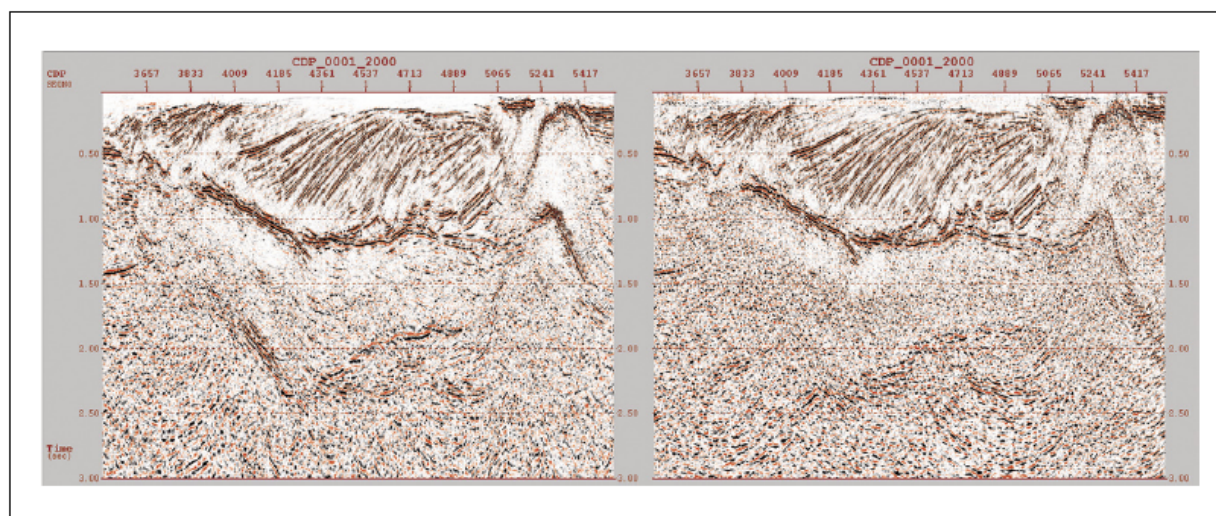


Рисунок 7 (левый) Суммарный разрез CRS (мигрированный).

Рисунок 7 (правый) Традиционный суммарный разрез PSTM.

Суммирование CRS было выполнено без использования каких-либо априорных знаний скоростной модели (скоростной критерий) и результат CRS приведен на рис. 6 (левый) без применения миграции после суммирования. Стандартное суммирование без миграции приведено на рис. 6 (правый). Как можно видеть, существует значительное улучшение изображения при использовании суммирования CRS. Фактически, когда мы пытаемся выполнить CRS, производя выборку скоростей вручную в качестве ориентира (ограничения) (априорной скоростной модели), мы не получаем такой же хороший результат, как

когда мы это делаем без скоростного ориентира. Из-за сложного геологического строения модель пикированных скоростей была не достаточно точной, чтобы представить сложность строения недр.

На рис. 7 мы также сопоставляем результаты временной миграции до суммирования с разрезом, суммированным по CRS после применения процесса миграции после суммирования. Традиционная временная миграция до суммирования потерпела неудачу ввиду сложного геологического строения и латеральной изменчивости скоростей. Разрез, суммированный по CRS, с миграцией после суммирования выглядит намного лучше, особенно для более глубоких отражений.

Произвольный шум был скомпенсирован намного лучше, чем при стандартном суммировании. Это демонстрирует одно из преимуществ CRS в качестве метода удаления шума или фильтрации.

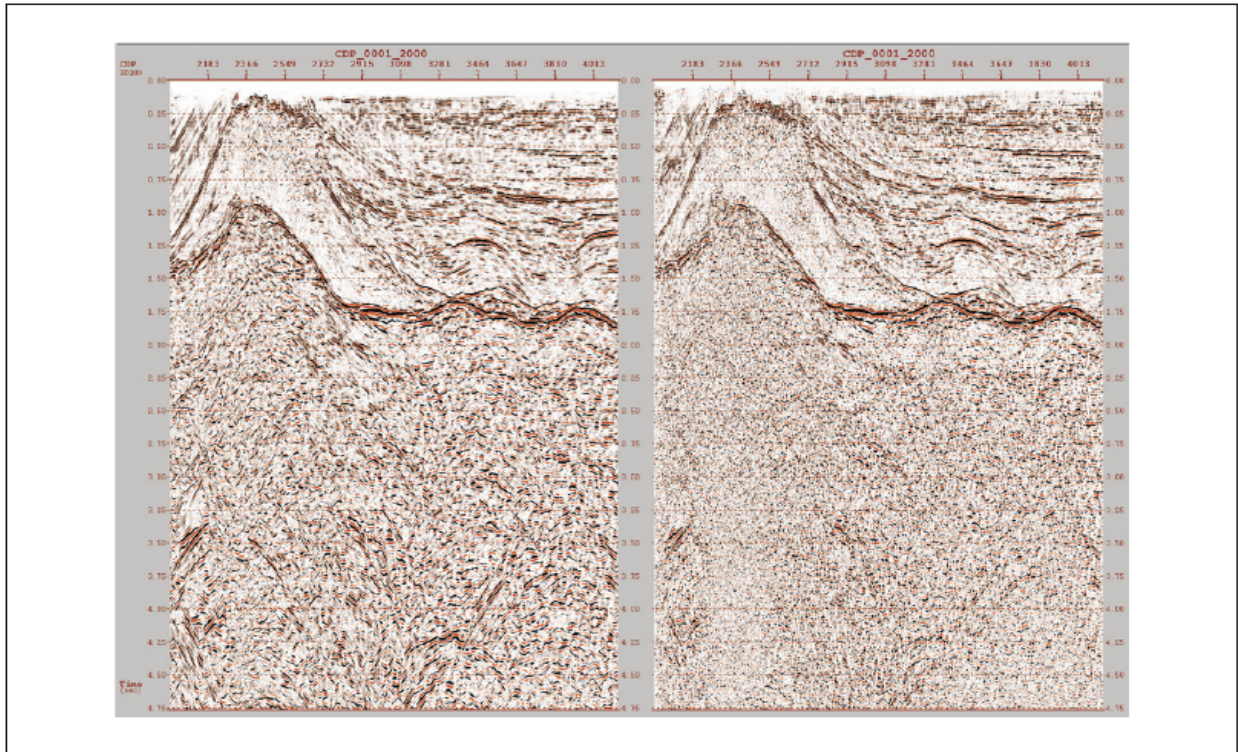


Рисунок 8 (левый) CRS суммирование без учёта скоростей. **Рисунок 8** (правый) Традиционное суммирование.

Отражения на разрезе CRS лучше оконтуриваются с меньшим шумом миграционного преобразования, который выявляется на досуммированной временной миграции. Другой пример (профиль В), полученный в то же самое время, что и профиль А и в том же районе с аналогичной геометрией съемки, приведен на рис. 8.

Сопоставлены суммированный по CRS разрез (рис. 8, левый) и разрез с традиционной обработкой (рис. 8, правый). Снова разрез, суммированный по CRS, выглядит лучше, чем традиционно суммированный в отношении выраженности шума, непрерывности отражений и усиления сигнала.

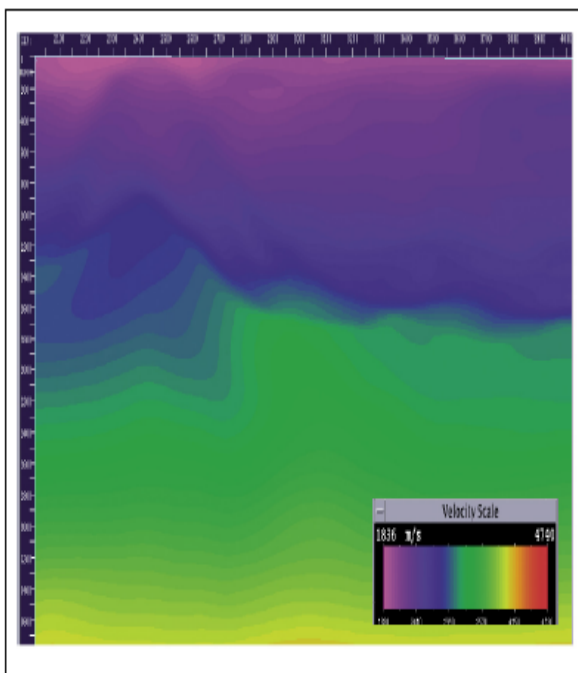


Рисунок 9 CRS RMS скорости – отредактированные и сглаженные.

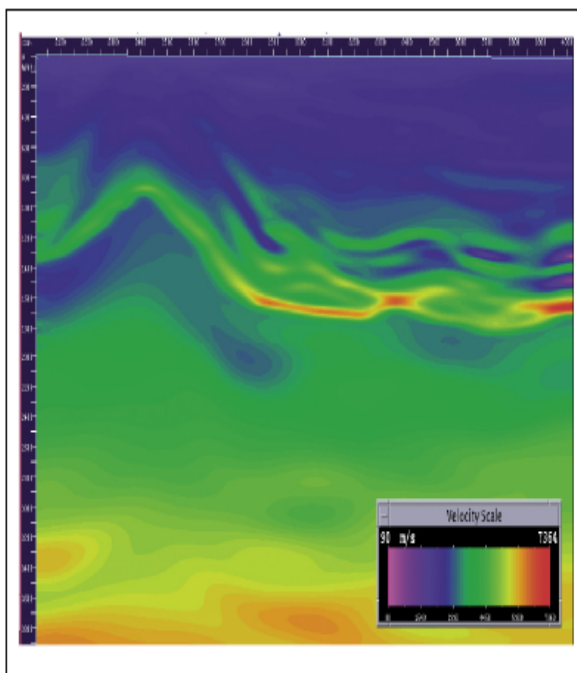


Рисунок 10 CRS характеристика, конвертированная в интервальные скорости.

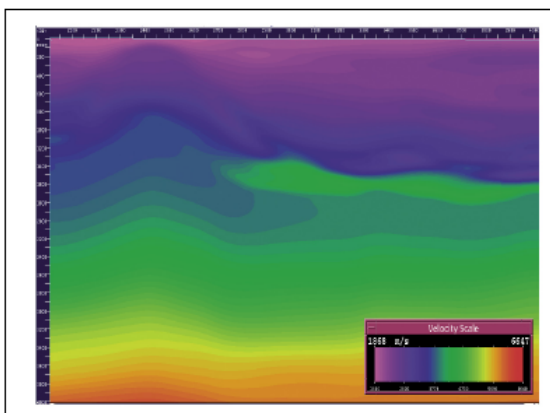


Рисунок 11 Интервальные скорости по сглаженным CRS.

Дополнительно к созданию лучше интерпретируемого суммированного разреза метод CRS выдает сейсмические характеристики, такие как когерентность и характеристики формы колебания. Эти характеристики формы колебания могут быть использованы для вычисления модели скорости суммирования, которая может быть использована как первичная скоростная модель для последующего процесса миграции (см. уравнение 3). Метод CRS основан на оптических принципах, и извлекаемый тип RMS скоростей не может быть непосредственно связан со свойствами пород.

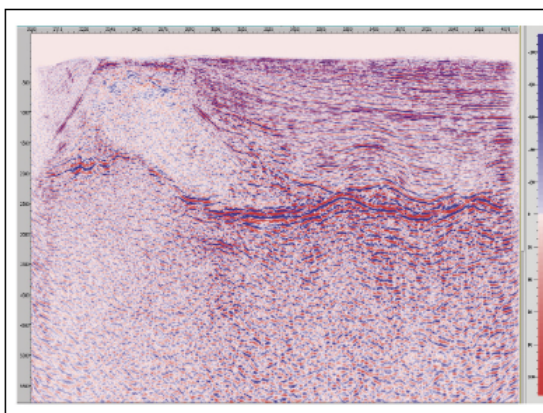


Рисунок 12 PSDM со скоростями, полученными по CRS.

Однако метод CRS управляется данными и учитывает горизонтальную и вертикальную изменчивость скоростей. Рис. 9 изображает RMS скорость, образованную по характеристикам CRS, используя уравнение 3. Эти скорости были конвертированы в интервальные скорости (см. рис. 10) после применения сглаживания и некоторых геологических ограничений в текущем варианте обработки. Сглаженная версия интервальной скорости показана на рис. 11. Образованные интервальные скорости были использованы как первичная скоростная модель в глубинной миграции до суммирования (см. рис. 12) и MVA процессе. В результате было сокращено требуемое число итераций глубинной миграции до суммирования и улучшено окончательное сейсмическое изображение.

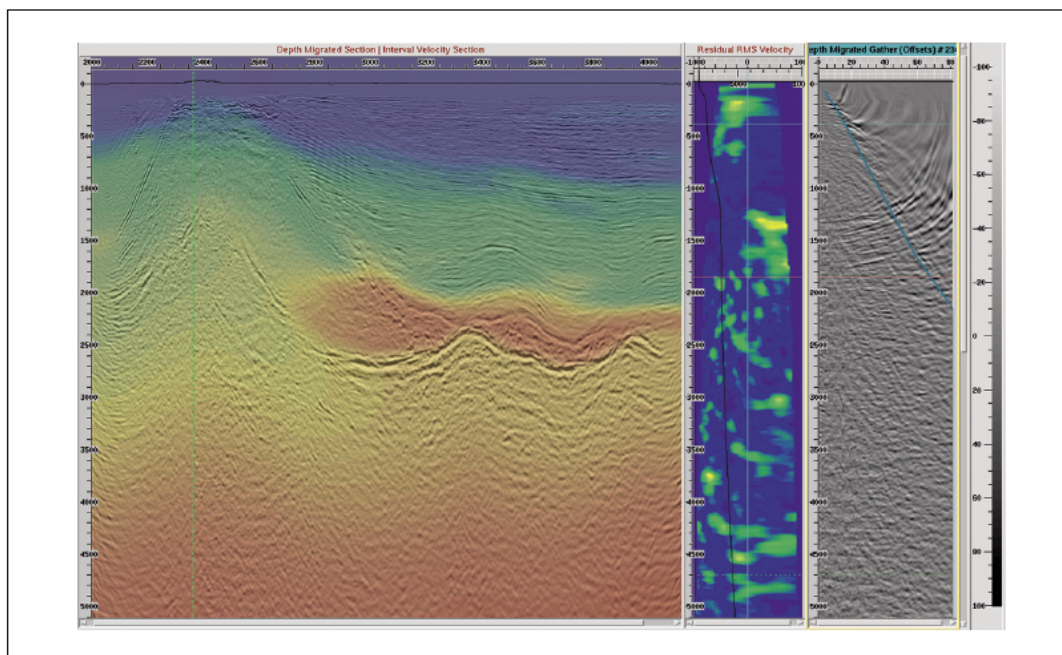


Рисунок 13 CRP сейсмограмма (правый) для положения соляного купола, отмеченного зеленой линией на скоростной модели (левый), и остаточный скоростной спектр (средний) после применения PSDM со скоростями CRS.

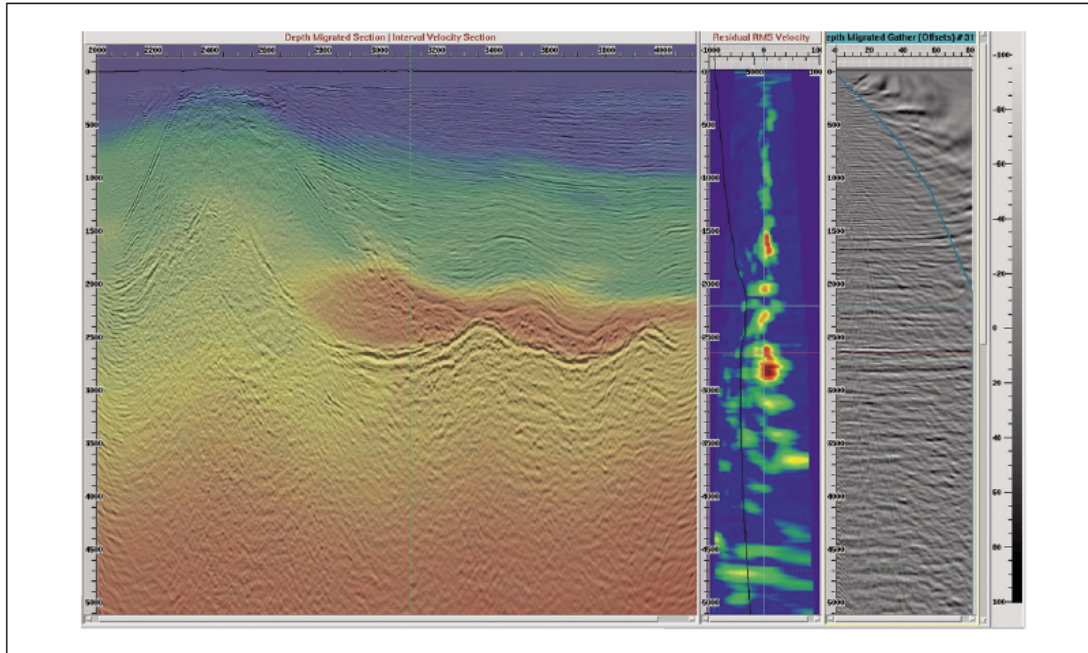


Рисунок 14 CRP сейсмограмма (правый) для локализации, отмеченной зеленой линией на скоростной модели (левый), и остаточный скоростной спектр (средний) после применения PSDM со скоростями CRS.

Рисунки 13 и 14 изображают остаточный скоростной спектр вдоль соответствующих им CRP вместе с двумя различными включениями, а именно, соляной купол и внешний соляной купол, которые показаны зелеными линиями. Как видно из рис. 13 и 14, остаточный скоростной спектр почти нулевой на внешней стороне соляного купола, что указывает на то, что скорости CRS более точные, по сравнению с другими частями разреза.

Выводы

Мы показали на примерах синтетических данных, что приповерхностное влияние должно быть устранено до применения метода CRS. Это необходимо из-за того, что CRS предполагает, что близповерхностная скорость однородна и постоянна. Метод суммирования CRS имеет возможность создать суммированный разрез с существенно улучшенным отношением сигнала к шуму. Это происходит благодаря тому, что поверхности суммирования CRS протягиваются за пределы однократных сейсмограмм CMP. Это предполагает намного большую кратность, которая ведет к лучшему отношению сигнала к шуму и непрерывности рефлектора при суммировании CRS. Погружающиеся слои усиливаются, так как погружение в явной форме входит в подповерхностную модель CRS.

Метод суммирования CRS является независимым от скоростей процессом, управляемым данными. Скоростная модель, рассчитанная по характеристикам формы колебания CRS, после некоторой модификации может быть использована как первичная модель в процессе последовательной миграции для получения более глубинного миграционного изображения в областях со сложным геологическим строением.

Благодарности

Эта работа любезно поддержана компанией Saudi Aramco (Geophysical Technology Team) в Саудовской Аравии. Приносим наши благодарности также консорциуму Wave Inversion Technology (WIT), позволившему нам использовать их программное обеспечение в этой работе. Мы также хотели бы выразить признательность Emmanuelle Juve-Neves и Leon Hu за их ценное сотрудничество.

Литература

- Hubral, P. [1999] Macro-model independent seismic reflection imaging. *Journal of Applied Geophysics* 42(3-4).
- Jagar, R., Mann, J., Hocht, G., and Hubral, P. [2001] Common-reflection-surface stack: Images and attributes. *Geophysics* 66(1), 97-109.
- Mann, J., Jagar, R., Muller, X., Hocht, G., and Hubral, P. [1999] Common-reflection-surface stack - a real example. *Journal of Applied Geophysics*, 42(3), 301-318.
- Schleicher, J., Tygel, M., and Hubral, P. [1993] Parabolic and Hyperbolic paraxial two-point traveltimes in 3D media. *Geophysical Prospecting*, 41(4), 495-514.
- Tygel, M., Muller, X., Hubral, P., and Schleicher, J. [1997] Eigenwave based multiparameter traveltimes expansions. *67th SEG Annual Meeting, Expanded Abstracts*, 1770-1773.