

Новый подход к общей площадке отражения и глубинному картированию: месторождение Tembungo, Sabah, Малайзия

New approach to common reflection surface and depth imaging: Tembungo Field, Sabah, Malaysia

Ahmad Riza Ghazali*

Введение

Область месторождения Tembungo расположена порядка 100 км от берега на акватории Sabah, в восточной Малайзии (Рисунок 1). Геологически, она представляет собой смятую антиклинальную структуру с интенсивным разломообразованием. Целью разведки является глубинный турбидитный комплекс в миоценовой системе конуса выноса прислонового бассейна. Поле скоростей покрывающих пород сильно осложнено присутствием приповерхностных рифовых карбонатов, выходами газа и сложными разломами. Эти осложнения приводят к сильному рассеянию энергии, низкому соотношению сигнал-шум (S/N) и высокому уровню кратных, что ведет к значительному ухудшению качества сейсмического изображения на месторождении и на всей области. Обработка, включая использование глубинной миграции до суммирования (PreSDM) с целью извлечения адекватного для этих условий сигнала, было преисполнено трудностей.

Коммерческая значимость месторождения Tembungo было основной целью поиска путей решения проблем улучшения изображения. Новый подход, который мы придумали и приняли оказался успешным. Подход заключается в обработке данных используя технологию Общей Поверхности Отражения (CRS), за которой идет глубинная миграция после суммирования (PostSDM) для которой скоростная модель была получена в процедуре глубинной миграции до суммирования (PreSDM). Термин 'про-скорость' будет использоваться в настоящей работе специально для обозначения параметра, полученного в результате сейсмической обработки в качестве 'скорости' потому что это параметр моделирования, который может существенно отличаться от истинной скорости распространения волн в среде (Al-Chalabi, 1994).

В отличие от традиционного PreSDM, целью которого является улучшение изображения толщи, наша процедура исключительно использовалась в целях получения оптимальной модели про-скорости PostSDM. Возможно, это наиболее значимая 'инновация' настоящей работы. Она движима тем, что CRS в большей степени восприимчива к процедурам после суммирования, чем до суммирования. На Рисунке 2 показан общий поток обработки.

CRS уже доказала свою эффективность в увеличении соотношения S/N. Методика CRS была введена Mtiller (1998) в качестве потокового метода симулирования нулевых удалений. В последствии Hubral (1999) отточил методику и разработал стратегию макромоделирования, на основе принципа независимого изображения. Методика использует более крупные поверхности суммирования, чем это требуется для одного положения ОСТ как при традиционном суммировании. Этот подход улучшает

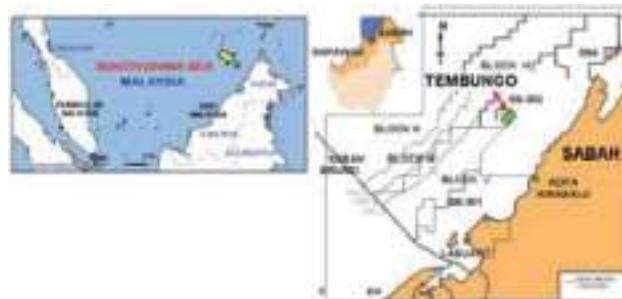


Рисунок 1 Участок месторождения Tembungo, на акватории Sabah, Малайзия.

значения угла выхода и приближение кривизны волнового фронта, и использует информацию о сейсмическом поле волн и времени распространения волн. Расчет параметров основан на оценке времени распространения второго порядка, в котором рассматривается глобальный многомерный максимум функции когерентности.

Мы использовали процедуру, полученную в работе Jager (1999) для оценки времени пробега суммарного разреза CRS и Jager et al. (2001), где ведется оптимизация эффективного оператора CRS (Уравнение 1). Поиск этого оператора не требует модель входной скорости за исключением скорости у поверхности, V_0 , которая преобразует временные падения в пространственные. Приближение времен пробега CRS, t , определяется временем пробега при нормальном падении, t_0 , центральной ОСТ как по оффсету (половине), h , так и по расстоянию между бинами ОСТ, Δx , углом выхода луча, α , кривизной волнового фронта точки нормального падения, R_{NIP} , и излучающими отражателями, R_N ,

$$t^2 = \left(t_0 + \frac{2 \sin \alpha}{v_0} \Delta x \right)^2 + \frac{2 t_0 \cos^2 \alpha}{v_0} \left(\frac{\Delta x^2}{R_N} + \frac{h^2}{R_{NIP}} \right) \quad (1)$$

Новый интегральный подход

Данные, используемые в этом проекте, получены во время морской сейсмический съемки 3D с двумя источниками и одной косой. Навигация и углы отклонения косы от курса проверялись с целью минимизации азимутальных вариаций. Предварительная обработка осуществлялась с использованием стандартного графа, такого как бинирование по ОСТ и Радон. Затем данные ютили выведены в виде сейсмограмм 3D ОСТ. Затем эти сейсмограммы были поданы на вход двух отдельных процедур: (1) построение модели про-скорости 3D PreSDM (2) обработка CRS. Как уже упоминалось, метод CRS был выбран в комбинации с глубинным картированием, благодаря эффективности CRS при повышении уровня сигнал-шум.

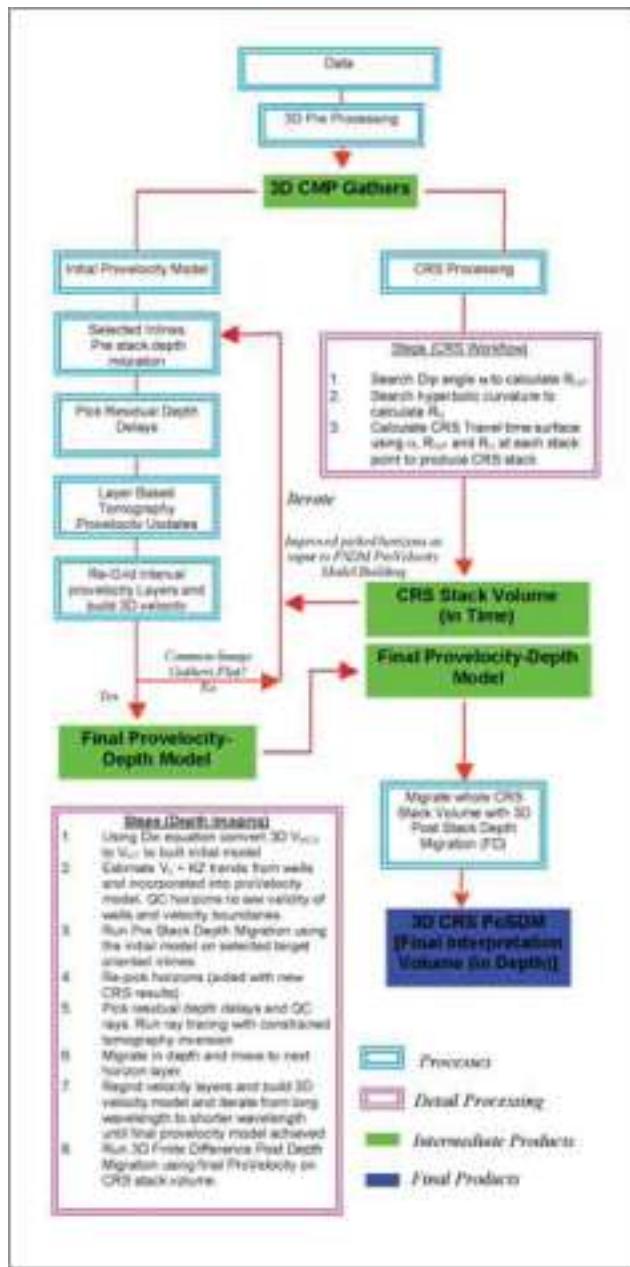


Рисунок 2 Поток обработки CRS PostSDM, используемый в проекте.

Комбинация CRS и глубинного построения изображений помогло улучшить изображение и скорректировать латеральные ошибки определения местоположения.

Обработка метода общей поверхности отражений

Обработка CRS включала последовательный поиск трех параметров CRS α , R_{NP} и R_N . Процесс начался с поиска угла падения, α , в режиме одной сейсмограммы ОСТ. При задании $\Delta x = 0$, уравнение суммирования CRS (1) преобразовалось к уравнению NMO, где про-скорость суммирования NMO (сейсмограмма максимальной когерентности), V_{mcs} , задается как функция угла α , и кривизны R_{NP} . Таким образом, поиск параметра далее сократился до автоматического поиска про-скорости. Оценочные кривые суммирования верны только для одной ОСТ, и не распространяются на соседние ОСТ, (т.к. $\Delta x = 0$). Для ускорения процедуры CRS, поле про-скоростей V_{mcs} использовалось в качестве

управляющей функции.

Поиск второго параметра CRS, (R_{NP}), выполнялся в сейсмограммах ОСТ. Она строилась с использованием поля про-скоростей V_{mcs} (полученного на предыдущем этапе) в качестве руководящей. Сейсмограмма ОСТ представляет собой аппроксимацию разреза нулевых удалений и путем приравнивания оффсета нулю ($h = 0$), уравнение суммирования CRS (1) приводится к зависимости от смещения Δx в области ОСТ, с линейными и квадратичными членами. Локальный угол падения оценивался при максимуме когерентности, при измерении меры когерентности для заданного диапазона падений, таким образом, находят R_{NP} .

Поиск третьего параметра CRS (R_N) также выполняется в режиме сейсмограмм ОСТ. Снова были выбраны нулевые удаления ($h=0$), что приводит к соответствующему сокращению членов уравнения (1). Однако, в отличие от R_{NP} и его поиска, в этом поиске теперь использовалась полная зависимость от смещения Δx в области ОСТ, т.е. зависимость как от линейных так и квадратичных членов. Это определило криволинейное гиперболическое вступление на данных нулевых удалений, при этом падение известно из предыдущего этапа. Локальную кривизну и связанный с ней параметр R_N нельзя оценить при максимуме когерентности, при измерении когерентности для диапазона значений R_N .

В результате трех этапов поиска, мы получили локальную оценку набора параметров (α , R_{NP} , R_N) для каждой точки (X, T) по сейсмограмме нулевых удалений, что дало нам возможность построения локально оптимизированного разреза CRS.

Построение модели про-скоростей посредством методики глубинного картирования

Глубинные построение имеют очевидные преимущества над построениями во временной области в плане возможности достижения более эффективного латерального позиционирования волн, по сравнению с временными построениями, которые страдают от эффектов 'воображаемых лучей'. Однако, успех картирования в глубинной области (глубинная миграция после и до суммирования) зависит от эффективности используемой модели про-скоростей.

На этапе PreSDM, построение модели про-скоростей в большей степени зависило от томографии слоев, которая является частью итеративного цикла (Рисунок 2). Низкое соотношение сигнал/помеха в области работ представляла собой большую проблему как для PreSDM так и для томографии из-за трудности определения границ между слоями в этих условиях. CRS вносит значительный вклад в преодоление этой проблемы: CRS обладает более крупной поверхностью суммирования, что дает возможность осуществлять лучшую временную интерпретацию в процессе построения модели.

Исходная модель про-скорости строилась на основе оценки интервальной скорости, полученной по данным про-скорости V_{mcs} на основе решения уравнения Дикса (1955). Вслед за этим было выполнено вертикальное и латеральное сглаживание в целях стабилизации полученного поля про-скоростей. В добавок, ввиду необходимости определения правильного взаимоположения опорных (проинтерпретированных) горизонтов и основных разрывов скоростей и про-скоростей, были использованы скважинные данные (Рисунок 3) для контроля качества этого соответствия и внесения необходимых корректировок.

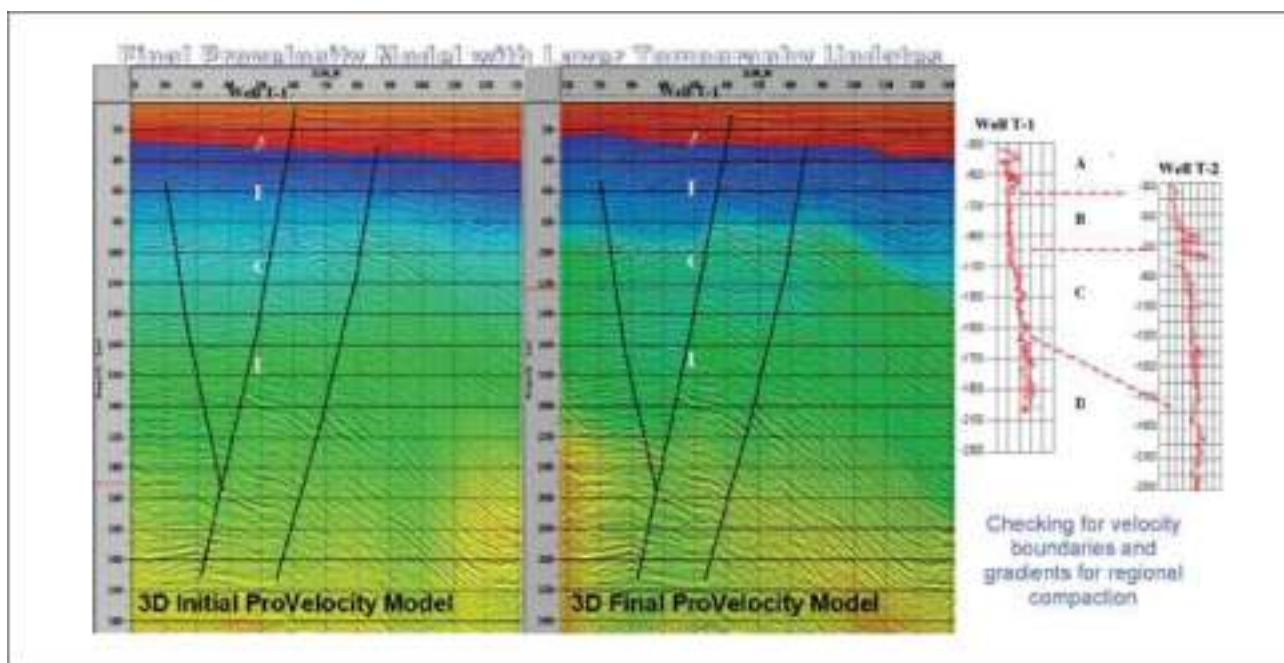


Рисунок 3 Основные скоростные данные для слоев (A, B, C, и D в скважине T-1 и T-2) были сравнены с моделью про-скорости на соответствие и целостность. Окончательная модель про-скорости после третьей корректировки томографии (сейсмический разрез справа) сравнивается с исходной моделью (слева) в мест положения скважины T-1.

Сетка модели изначально выбиралась 300 x 300 x 20 м, а позже перед определением времени пробега, произведена передискретизация на сетку 100 x 100 x 20м. Все данные были мигрированы с использованием исходной модели про-скорости и выведены на сетке 600 м x 600 м. Выходные сейсмограммы общего мнимого источника (CIP) затем были преобразованы во временную область, перед преобразованием обратно в глубины сейсмограммы были профильтрованы, был произведен мьютинг.

В общем как только была построена модель про-скорости, был запущен блок PreSDM во взаимодействии с коррекцией томографии. Сейсмограммы CIP были проверены на гладкость. На каждом этапе коррекции томографии, были протестированы такие переменные как длина волн, затухание, и весовые коэффициенты для обеспечения получения корректного решения. Было использовано три прогона коррекции томографии CIP, в результате постепенно шкала длин волн решения сокращалась с 2.6 км до 1.3 км и в заключении до 600 м. Для финального варианта шаг дискретизации был уменьшен до 200 м. Для стабилизации результатов инверсии кинематической томографии была использована инверсия с ограничениями. Инверсия легко могла дать пульсации и нереальную скоростную модель. С каждым решением, мы сокращали остаточное приращение времени. Контроль качества выполнялся на каждом этапе для того, чтобы величина корректировки была статистически действенной. Любые остаточные задержки по глубине были пропикированы и поданы в цикл корректировки томографической инверсии. Обновленные значения про-скорости, полученные по томографии затем были опять включены в исходную модель про-скоростей. Разность обновленных скоростей (результат томографической инверсии) и исходной модели про-скорости были тщательно проанализированы. Любые нереалистичные отклонения скорости были устранены и сглажены. При каждой итерации, анализируемые данные были тщательно отбракованы для исключения кратных и шума. Далее при

получении модели про-скорости, включающей окончательные исправления, куб 3D CRS был мигрирован с 3D PostSDM (используя алгоритм конечных разностей). Используя технологии куба когерентности, суммарный куб PostSDM был проверен на качество и соответствие.

Результаты

Основные усилия в построении изображений были сконцентрированы на зоне низкого разрешения в центре месторождения Tembungo. Результаты построения изображения в области глубин - разрез CRS имеет гораздо более высокое качество в центральной зоне структуры по сравнению с предыдущими изображениями PostSDM (построенными до применения настоящей методики) как показано на временном срезе (рисунок 4). Комбинация CRS с подходом моделирования скорости, принятым в настоящей работе, внес значительный вклад в увеличение соотношения сигнал-шум, улучшение прослеживаемости отражающей границы, и определении разломов.

В более малоглубинной части района, изображения CRS отличаются увеличенным соотношением сигнал-шум вдоль отражающих границ, не добавляя структурной информации к тому, что уже было видно в предыдущем PostSDM. Это различие в соотношении сигнал/шум было полезно интерпретатору с целью выделения тонких структурных особенностей, таких как выпинивания в сторону перекрывающих отражающих границ (рисунок 5). Одним недостатком и частично нежелательным эффектом применения отображения CRS было то, что оно очень сильно подавило шум вдоль отражающих границ на бортах а также на низкоамплитудных отражениях, делая размытыми высокочастотные стратиграфические особенности с ненадежной информацией по амплитудам.

Всюду в более глубоких частях, методика приводит к значительному увеличению разрешения и прослеживаемости

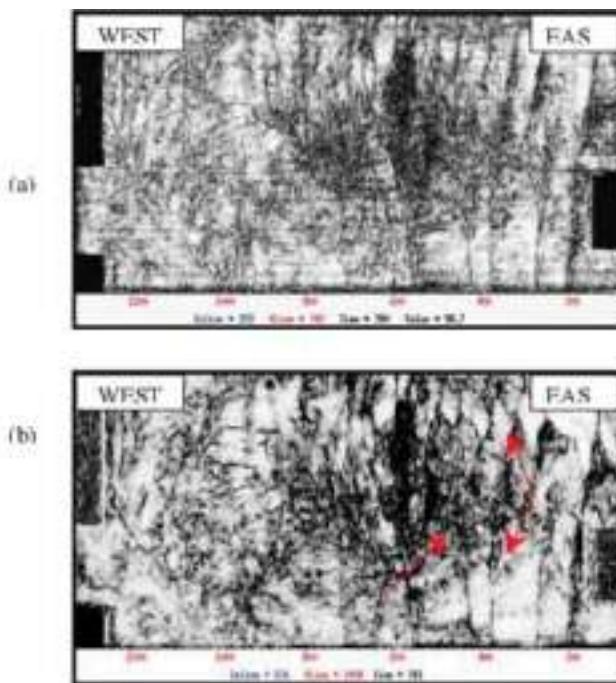


Рисунок 4 Временной срез на 780 мс, отражающий разницу между (a) предыдущим PostSDM и (b) CRS PostSDM.

отражений центральной антиклинали и ее бортов, которые на предыдущих изображениях PostSDM сильно осложнены шумом. В отличие от малоглубинного участка, комбинация CRS и методики глубинного отображения дало значительную дополнительную структурную информацию в областях с низким качеством данных, большей частью расположенных в более глубоком участке (Рисунок 6). Более того, эта комбинация увеличила разрешение отражений типа подошвенного прилегания на

протяженной отражающей границе основания. Общая протяженность отражений становится более четкой, тогда как разрывы и дребезг (шум) сильно подавляется.

Несмотря на выполнение поиска падения и кривизны только по отдельным инлайнам, на разрезе CRS есть улучшения как в направлении инлайна, так и направлении кросслайна. Можно добиться еще большего улучшения путем одновременного поиска 3D в направлениях инлайна и кросслайна. По сравнению с результатами по кросслайну, инлайны характеризуются большим увеличением отношения сигнал-шум, который может быть вызван тем, что поиск параметров выполнялся в направлении инлайна. В настоящей работе, мы также оценивали результаты PreSDM по сравнению с CRS PostSDM чтобы узнать, может ли эта новая методика внести существенный вклад по сравнению с PreSDM. Пример, приведенный здесь, показывает направление кросслайна (Рисунок 7). Обе процедуры миграции (PostSDM и PreSDM) были выполнены с помощью использования одинаковых методов конечной разности с одной и той же моделью пропорции и обращенной во временную область (сохраняя параметры миграции теми же). Глубинные разрезы, обращенные во временную область из PreSDM и CRS PostSDM демонстрируют существенное увеличение разрешения. На обоих изображениях видна большая прослеживаемость в верхней части центральной зоны. На более глубинном участке, разрез CRS PostSDM характеризуется большей прослеживаемостью, структурным разрешением и разрешением сигнала на протяжении всей зоны, особенно в глубокой части.

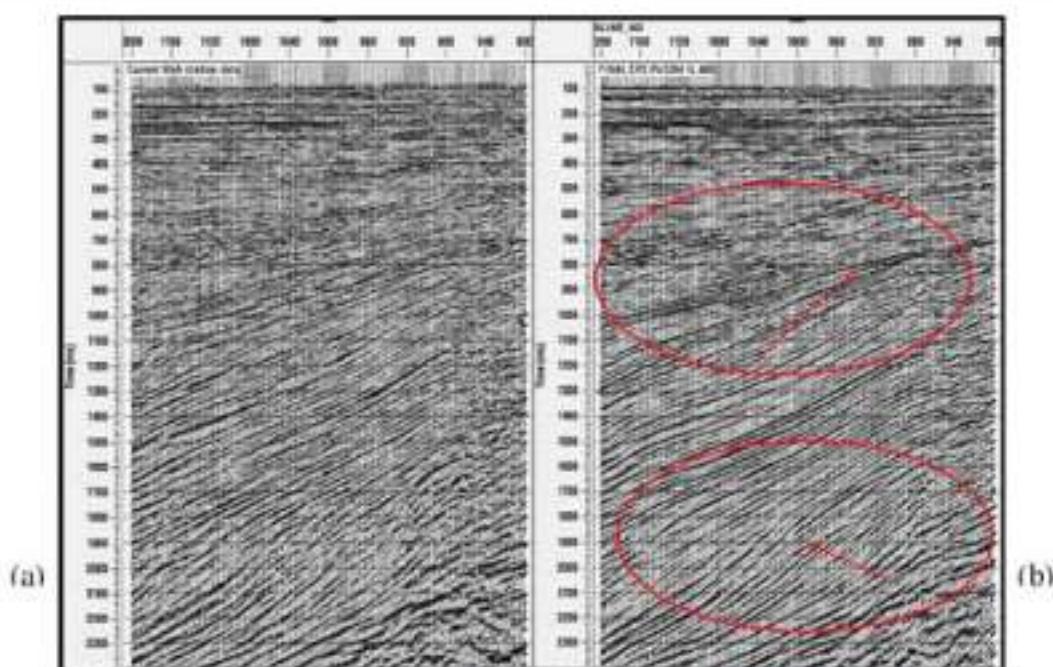


Рисунок 5 (a) Предыдущее PostSDM и (b) CRS PostSDM. На разрезе CRS PostSDM можно видеть значительное улучшение (справа) по сравнению с предыдущим изображением. Особенности подошвенного налегания легко заметны внутри красных кружков.

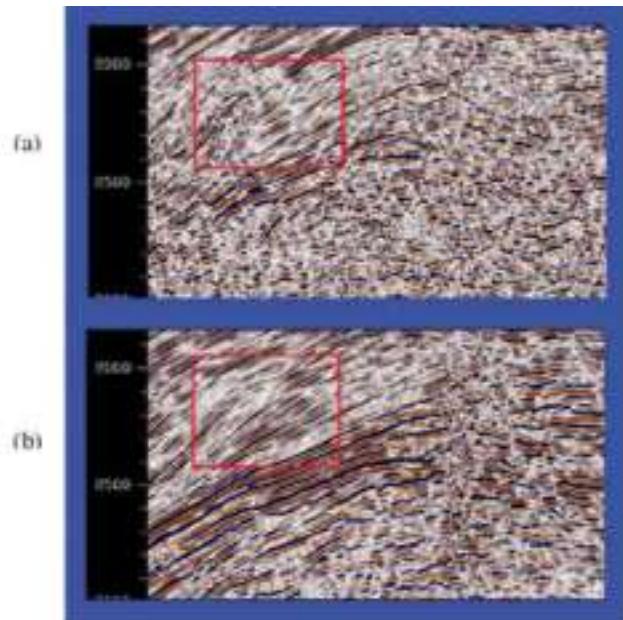


Рисунок 6 (a) Предыдущий PostSDM и (b) CRS PostSDM на котором границы более непрерывные и шум значительно подавлен по сравнению с предыдущим изображением.

Заключительные примечания

Метод, представленный в данной работе, демонстрирует потенциал построения изображений CRS

в сочетании с методикой глубинных изображений. Сравнение CRS PostSDM с предыдущей методикой PostSDM и PreSDM раскрывает преимущества использования этого нового подхода. Мы также показали, что эта новая методика имеет большие возможности в структурном картировании по сравнению с PreSDM. Окончательные результаты отображений свидетельствуют об улучшении общего разрешения, прослеживания разломов, улучшении прослеживаемости и подавлении шума. Так, новый подход оказал себя в улучшенном представлении таких стратиграфических особенностей как участки перерыва и едва заметные зоны подошвенного налегания. Продолжения разломов легко выделяются и более четкие, а крупные и мелкие блоки разломов ясно видны и легко пикируются. Улучшается прослеживание высокоамплитудных когерентных отражений, общий уровень сигнал-шум существенно вырос.

Новый подход улучшает структурную интерпретацию, увеличивая уровень надежности благодаря лучшей прослеживаемости отражений. Суммирование сегментированного когерентного отражения вдоль общей поверхности отражений увеличивает сигнал/шум, особенно в очень шумной среде. Это улучшает процедуры автоматического прослеживания и поиска атрибутов когерентности при выполнении сейсмической интерпретации.

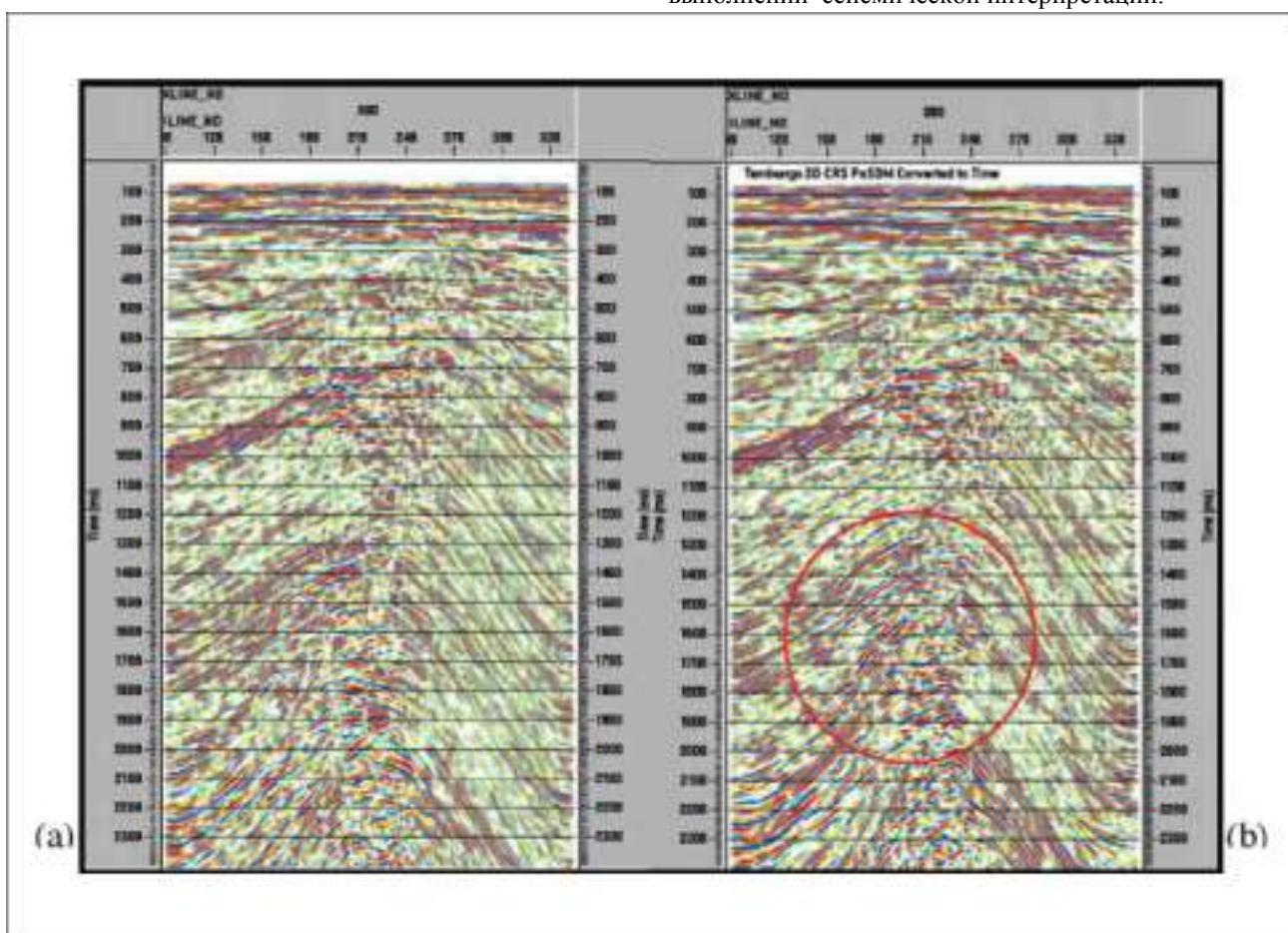


Рисунок 7 (a) Результатом PreSDM и (b) CRS PostSDM в направлении кроссслайн. На разрезе CRS PostSDM видны некоторые улучшения в малоглубинной части, тогда как глубинные отражения имеют даже более четкое изображение (показано красным кружком). 49

Однако, на момент проведения работ по проекту, алгоритм не поддерживал сохранение истинных амплитуд. Таким образом, стратиграфический и атрибутный анализ должны проводиться с осторожностью. CRS вызвал дисперсию остаточных точек отражения, что привело к размазыванию окончаний горизонтов и уменьшило латеральное разрешение.

Дальнейшие ограничения в процедуре CRS проявляются в том, что апертуру CRS нельзя контролировать, поскольку она не может варьировать в пространстве и времени. Это означает, что в зоне с хорошим соотношением сигнал/шум нельзя использовать меньшую апертуру CRS. Это приводит к получению монотонного разреза без едва уловимых вариаций. Полный оператор 3D CRS для массового применения еще требуется разработать. Будем надеяться, что в нем будет учтен одновременный поиск параметров 3D в направлении инлайна и кросслайна.

Благодарности

Автор хотел бы выразить благодарность Petroliam Nasional Berhad, Малайзия (Petronas), национальной нефтяной и газовой компании Малайзии, Peronas Carigali (разведочной службе Petronas), и Petronas Research & Scientific Services, Малайзия за предоставление разрешения на публикацию этой работы. Я также хотел выразить признательность Nor Azhar Ibrahim, M Firdaus A Halim и Dimyati Mohamed (PETRONAS Research) за их

вклад в проект, Dr J. Pruessmann (TEEC) за его поддержку и Dr M. Al-Chalabi за комментарии к этой работе.

Литература

Al-Chalabi, M. [1994] Seismic velocity - a critique. *First Break*, 12, 589-596.

Dix, C. H. [1955] Seismic velocities from surface measurements. *Geophysics*, 20, 68-86.

Hubral, P., Hoecht, G., and Jaeger, R. [1999] Seismic illumination. *The Leading Edge*, 1268-1299.

Hubral, P. [1999] Macro model independent seismic reflection imaging (Special issue on Karlsruhe Workshop of macro model independent seismic reflection imaging). *J. Appl. Geoph.* 42 (Nos. 3, 4).

Jager, R. [1999] *The Common Reflection Surface Stack - Introduction and Application*. MS Thesis, Karlsruhe University, Germany.

Jager, R., Mann, J., Hoecht, G., and Hubral, P. [2001] Common-reflection-surface stack: Image and attributes. *Geophysics*, 66, 1, 97-109.

Miiller, T. [1998] Common Reflection Surface Stack vs. NMO/STACK and NMO/DMO/STACK. 60th *EAGE Meeting*, Extended Abstracts, Session 1-2.