

Применение методики подавления многократных отражений в заливе Габес (Тунис)

Technology for multiple attenuation in the Tunisian Gulf of Gabes

Tony Rebec,* Paradigm Geophysical; Patrick T. Gordon и Joseph Samuels, Atlas Petroleum Exploration Worldwide; и George Marion, Seisborg Geophysical, описывают использование методики подавления помех и многократных отражений с сохранением амплитуд применительно к обработке сейсмических данных участков со сложным строением на примере залива Габес, располагающегося возле берегов Туниса.

Сейсмические исследования проводились в заливе Габес неоднократно (Рис. 1), равно как и неоднократно предпринимались попытки устранения паразитных многократных отражений, создаваемых как твердым морским дном, так и горизонтами, создающими высокоамплитудные отражения, расположенными в разрезе мелководных отложений третичного периода.

Характер структурного строения

Интерпретацию потенциальных структурных и структурно зависимых стратиграфических известняковых ловушек трудно произвести наилучшим образом в отсутствие интерференции энергии многократных отражений. Известные коллекторы находятся в известняковых породах и интервалах песчаника, располагающихся в разрезах верхнеюрских, меловых и нижнетретичных отложений на глубинах 2000-3000 м. Ловушки обнаруженных скоплений представляют собой блоки, ограниченные сбросами, антиклинали с малыми амплитудами, антиклинали с большими амплитудами, приуроченные к взбросам и сдвиговым сбросам, и стратиграфические ловушки (Klett et al 2001) – см. Рис. 2.

Поисковые коллекторы

Основным поисковым объектом в заливе Габес является коллектор Metlaoui (фации El Garia), расположенный в отложениях нижнего эоцена (Иприйский ярус). Фация El Garia представляет собой 90 м нуммулитовых известняков, накопление которых происходило в почти горизонтальных участках, ограниченных сбросами во время общей проградации мелководных морских известняковых отложений по всей площади участка. В качестве коллекторских свойств El Garia можно назвать пористость, значения которой изменяются от 12% до 25% и проницаемость, соответствующие значения которой изменяются от менее 1 мД до более 500 мД. Средние значения пористости и проницаемости составляют соответственно 17% и 40 мД. Отложения El Garia перекрываются большими по мощности отложениями Черихильских глин среднего эоцена (Лютетский ярус) и мергелями. Коммерческие параметры нефти были определены по скважине Ras El Besh #2, расположенной в дальней прибрежной зоне санкционированной разработки г. Сфакс. Продуктивные области El Garia включают месторождение Sidi El Itayem (30 млн баррелей извлекаемой нефти) и месторождение Ashtart (350 млн баррелей извлекаемой нефти) на территории Туниса и месторождение Bougi (800 млн извлекаемой нефти) на территории Ливии.

Вторым по значимости объектом является верхнемеловой (коньяк/турон) коллектор Douleb/Bireno, обнаруженный на месторождении Jawhara-1, расположенном в дальней прибрежной зоне санкционированной разработки г. Сфакс. В пределах Jawhara-1 коллектор Douleb представляет собой отложения выщелоченных оолитовых известняков

мощностью 130 футов (40 м). Значение пористости по данным АК составляет 14-24%. Bireno состоит из доломитовых и песчаных с превосходной (13-24% согласно данным АК) пористостью отложений мощностью 293 футов (90 м). В пределах Jawhara-1

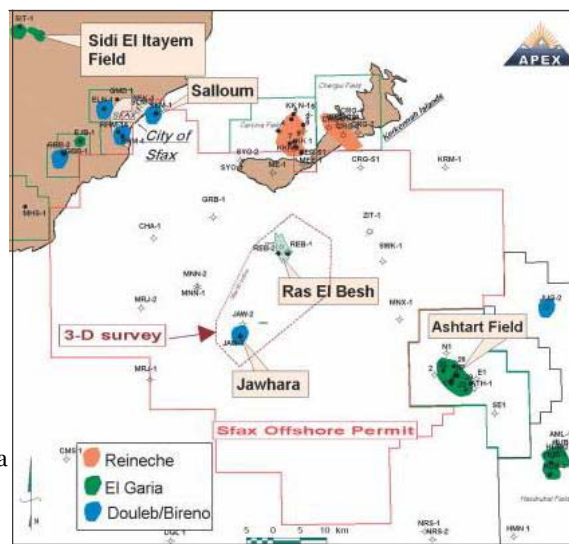


Рис. 1 Расположение 3D съемки месторождений Ras El Besh и Jawhara, охватывающей 350 км² (по Gordon, 2005).

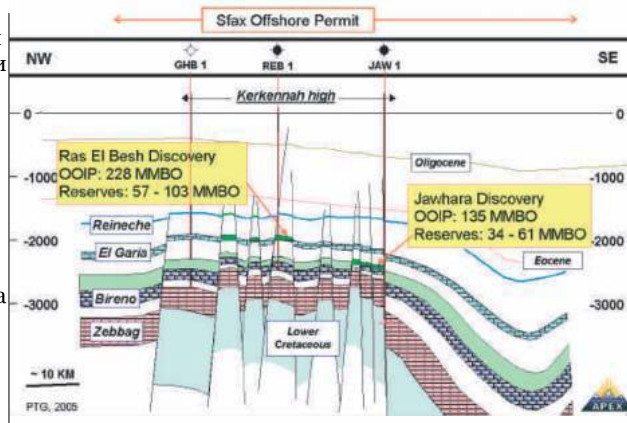


Рис. 2 Профиль СЗ-ЮВ, демонстрирующий структурное расположение месторождений Ras El Besh и Jawhara в отложениях нижнего эоцена и верхнего мела соответственно (по Gordon, 2005).

* E-mail: trebec@paradigmgeo.com

Обработка данных

были определены коммерческие параметры нефти коллектора Douleb/Bireno. По результатам интерпретации коллекторы представляют собой серии обмелевающих снизу вверх последовательностей, содержащих продуктивный интервал, сложенный биокластическими зернистыми известняками, перекрываемыми ангидритами с нодулярной структурой. Продуктивные отложения Douleb-Bireno также наблюдаются в пределах месторождений Gremda, Rhemouga, и El Biban в береговой области города Sfax и месторождения Miskar, располагающегося вне берега к востоку от дальней прибрежной зоне санкционированной разработки г. Сфакс.

Сейсмическая 3D съемка

Atlas Petroleum Exploration Worldwide (APEX), ассоциированный участник Gaither Petroleum, основанный в Хьюстоне, совместно с Eurogas of Calgary приобрел дальнюю прибрежную зону санкционированной разработки г. Сфакс в 2003 г. и последовательно произвел 3D съемку 350 км² (Рис. 1), получив данные высокого качества по месторождениям Ras El Besh и Jawhara. Данные, полученные компанией ЛАРГЕ, представляют собой запись расстановки с тройной морской косой, двойным источником, интервалом записи 2 мс с расчетной кратностью 50, 6.25 м ОГТ и интервалом между профилями 20 м с разносами, достигающими 2730 м. Вдобавок к особенностям методики, потребовавшейся для проведения морской 3D съемки при глубинах 5-60 м, высокая плотность съемки совместно с асимметрией ОГП съемки и различными глубинами – все это требовало особого подхода к обработке. Пожелание оператора получить изображение коллектора в пределах 1.3 - 2.5 секунд и в максимально возможной степени сохранить амплитуды и частоты в формациях с целью дальнейшего проведения анализа сейсмических атрибутов также стало непростой задачей для самых опытных обработчиков Paradigm Geophysical.

Методика подавления шумов с сохранением амплитуд

Несмотря на то, что продуктивные породы представлены известняковыми отложениями, начальные результаты сопоставления амплитуд сейсмических сигналов с данными каротажа показывают, что данные пористости и литологии могут быть получены по данным сейсмике (Chaveste et al., 2004). Таким образом, возникает потребность в методике подавления многократных отражений с сохранением амплитуд.

Методика ПИФ (продвинутая интеллектуальная фильтрация, LIFT [Leading Intelligent Filter Technology]) представляет собой новую запатентованную технологию подавления шумов и многократных отражений с сохранением амплитуд (Choo et al., 2004). Она представляет собой подход, в значительной степени отличающийся от привычно используемых способов подавления шумов. Данный метод был создан с целью подавления шумов любого типа, включая многократные отражения, при одновременном сохранении полноты информации зависимости амплитуды сигнала от удаления в исходных данных. В случае с рассматриваемыми данными это обстоятельство имеет особое значение при проведении обработки с сохранением амплитуд и осмысленного AVO -анализа, включая возможность проведения AVO –анализа на мигрированных до суммирования выборках.

Суть методики ПИФ заключается в моделировании сигнала, восстановления побочного сигнала путем изменения шумовой составляющей и реконструировании модели путем объединения модели сигнала с побочным сигналом адаптивным нелинейным способом – см. граф на Рис. 3. ПИФ удовлетворяет требованиям сохранения амплитуд: она не является процедурой, изменяющей разносы или применяющейся последовательно (трасса за трассой). Подавление шума осуществляется на истинных амплитудах, таким образом, сохраняется амплитудная целостность сигнала до суммирования.

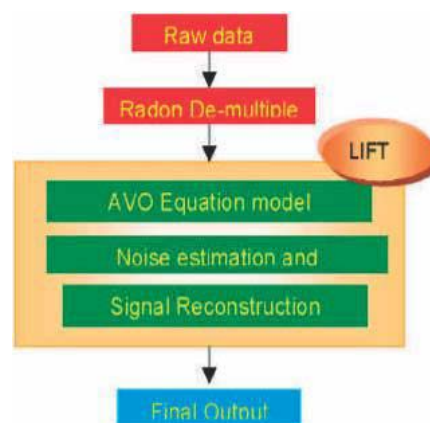


Рис. 3 Граф ПИФ для подавления многократных отражений.

Кроме того, сигнал и шум могут быть смоделированы множеством способов, в зависимости от природы возникшей проблемы.

В случае подавления многократных отражений вначале осуществляется преобразование Радона с целью выделения когерентного шума и улучшения соотношения сигнал/шум. Сигнал затем можно смоделировать множеством способов, например, с помощью уравнения AVO. (В некотором смысле подобный подход к моделированию сигнала основан на предположениях уравнений Zoeppritz: волны плоские и отражение происходит на границе двух полупространств. В соответствии с этими предположениями AVO инверсия по Zoeppritz определит многократные отражения и обменные волны как шумы и при своей реконструкции исключит их. В этом случае моделируется исходный сигнал.) Затем последовательность процедур ПИФ определяет и подавляет энергию многократных отражений в исходных данных адаптивным нелинейным способом. Обнаружено, что использование методики ПИФ применительно к подавлению многократных отражений дает хорошие результаты в случае данных, полученных как в результате наземных, так и в результате морских съемок.

Морские данные Сфакса содержат энергию многократных отражений от твердого неглубокого дна, осложненную контрастными отложениями третичного периода с высоким импедансом, которые создают переслаиваемые многократные отражения. Такая ситуация создает трудности при обработке вследствие малой разницы приращения между первичным и многократными отражениями. Может возникнуть вопрос, сохранится ли при использовании указанной схемы подавления многократных отражений дифракция для дальнейшего проведения миграции до суммирования. Далее наглядно показано, что после применения процедуры ПИФ дифракционные картины по-прежнему присутствуют. Изначально шумы были расположены в верхней части дифракционной энергии, что затрудняло выделение дифракционных картин. Применение последовательности процедур ПИФ позволяет безопасно осуществить подавление энергии многократных отражений от ближних удалений. Это является значительным преимуществом по сравнению с преобразованиями Радона.

Устранение шумов, создаваемых зыбью

Применение к данным ФВЧ выявило относительно сильный шум, создаваемый зыбью, наблюдающийся в отдельных участках съемки в зависимости от состояния моря. Был применен начальный способ устранения шума, создаваемого морской зыбью, воздействующий в виде одноканального процесса и устраняющий большую часть энергии

Обработка данных

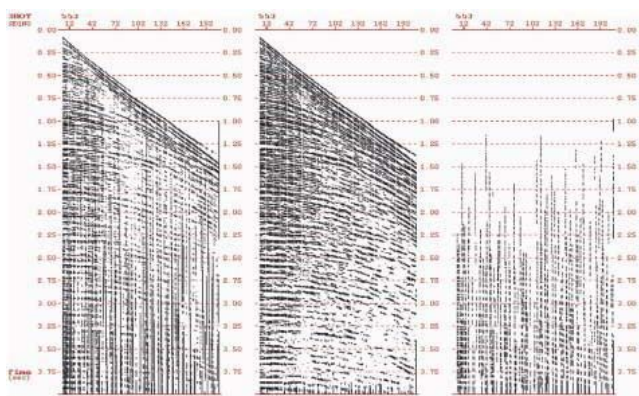


Рис. 4 Записи сейсмического сигнала от ударного источника до и после применения фильтра шума, создаваемого морской зыбью. Справа изображена разность записей.

нарушающего воздействия (Рис. 4). Преимущество такого подхода состоит в том, что каждая трасса исследуется на предмет наличия шума, создаваемого зыбью, независимо от других. Если фильтрация требуется, то из трассы убираются низкие частоты. Если трасса не содержит шума зыби, она сохраняется неизменной. Такой подход сильно отличается от прочих, при которых ко всем трассам применяется фильтр низких частот вне зависимости от его действительной необходимости.

Результаты

После преобразования Радона (Рис. 4) входная для процедуры ПИФ выборка ОГТ (Рис. 5) демонстрирует типично высокую энергию многократных отражений, оставшуюся на ближних удалениях после преобразования Радона. Разница приращений между первичными и многократными отражениями на ближних разностях очень мала ввиду того, что скорости многократных отражений близки к скорости первичного отражения. Вследствие того, что многократные отражения представлены в виде вкраплений в первичных отражениях, с помощью параболического высокоразрешающего преобразования Радона, использующего методику *sparse spike* (Рис. 6)

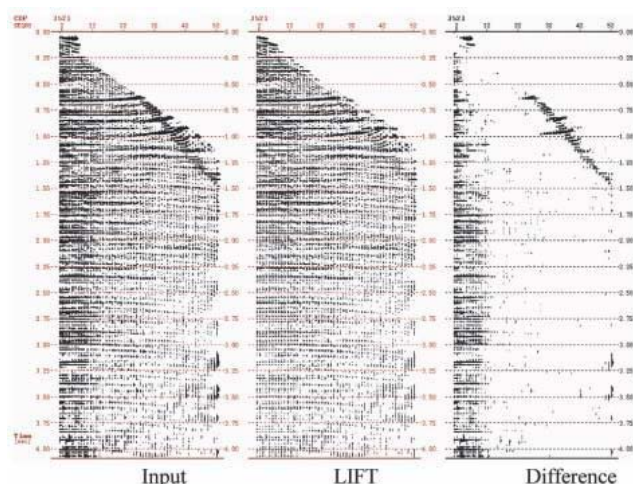


Рис. 5 Входная для ПИФ выборка ОГТ с примененным преобразованием Радона (слева), примененным ПИФ (в центре), разность между входной и полученной на выходе ПИФ выборкой (справа).

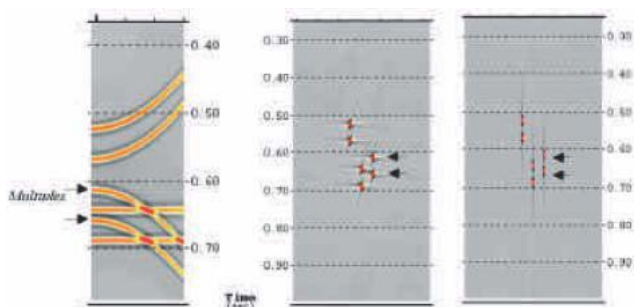


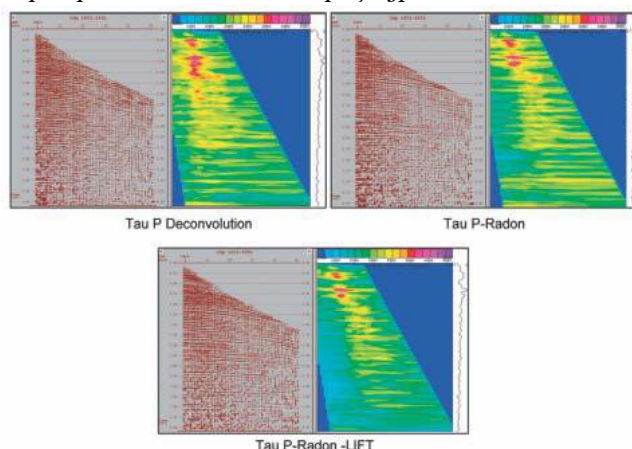
Рисунок 6 тау-пи преобразование синтетической записи (входные данные для преобразования Радона). Слева: Обычное преобразование Радона. Справа: Высокоразрешающее преобразование Радона события t-x более сфокусированы. Стрелками указаны многократные отражения.

не удалось разделить энергию первичного и многократных отражений на ближних разностях вследствие близости этих событий. При таком сложном типе периодичности, вызванной эффектами мелководного распространения в очень близко находящемся морском дне, с помощью деконволюции устранить энергию многократных отражений не удастся. Первичный смоделированный сигнал вычисляется путем использования максимальной разницы приращений на дальних трассах и преобразования Радона, а затем применяя методику ПИФ с целью предсказания сигнала на ближних разностях; полный первичный сигнал реконструируется путем выделения и повторного внесения побочного сигнала. В случае отсутствия подобной методики в рабочем наборе обработчика для устранения энергии многократных отражений потребовался бы мьютинг ближних трасс, уничтожающий информацию об амплитудах на ближних разностях, необходимую для проведения дальнейших процедур инверсии.

Разность между входной выборкой, полученной в результате преобразования Радона, и полученной в результате ПИФ изображена справа на Рис. 5 – она демонстрирует эффективность процедуры ПИФ, устранившей как многократные отражения на ближних разностях, так и некоторых паразитных шумовых эффектов на больших разностях, не обнаруженных преобразованием Радона. Результаты, полученные для этой выборки ОГТ, аналогичны полученным для съемки в целом.

Основное преимущество данной методики можно увидеть на Рис. 7, из которого видно, что по спектру скоростей подобия поле скоростей может быть пропикировано с гораздо большей надежностью. Устранение многократных отражений на ближних разностях приводит к значительной разнице между изображениями подобий, что в свою очередь значительно упрощает задачу

Рис. 7 Выборка ОГТ с последовательно примененными деконволюцией, Тау-Р преобразованием, преобразованием Радона и процедурой ПИФ.



выделения первичного сигнала и небольших отклонений скорости, наблюдаемых в разрезе. Результаты суммирования после преобразования Радона и после ПИФ изображены на рис. 8 и 9 соответственно. Как и ожидалось, разрез, полученный в результате процедуры ПИФ, значительно чище, особенно в участках, где основные многократные отражения возникают в пределах небольших синклиналей или приразломных областей, что повышает целостность интерпретации отражательных горизонтов в пределах исследуемых областей. Еще одно ключевое преимущество устранения энергии многократных отражений на ближних трассах выборок проявляется в отсутствии классических сдвигов при миграции, столь часто наблюдаемых при осуществлении временной миграции до суммирования. Улучшенное подавление многократных отражений также отчетливо проявляется на автокорреляции, показанной на рис. 10 и 11, где показано сохранение частотного диапазона.

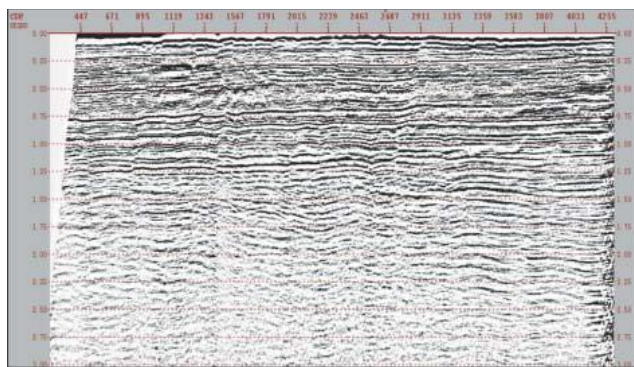


Рис. 8 Предварительный разрез с примененным преобразованием Радона.

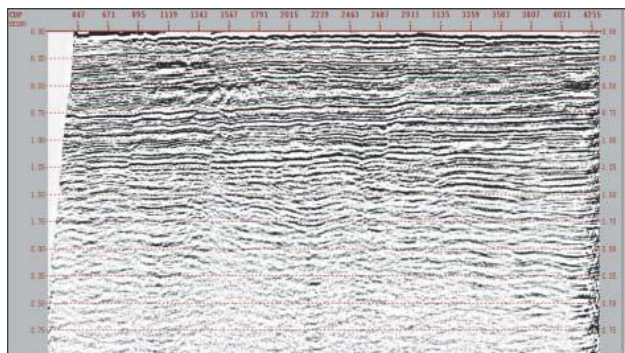


Рис. 9 Предварительный разрез с примененными преобразованием Радона и процедурой ПИФ.

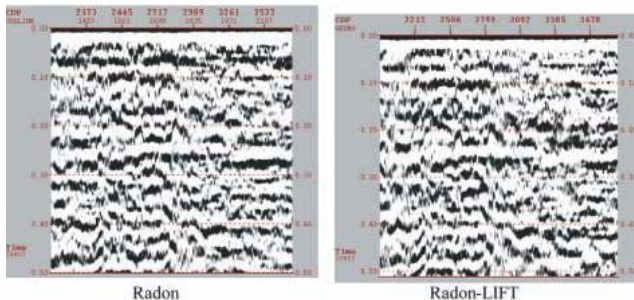


Рисунок 10 Результаты автокорреляции

Хотя значительная часть энергии многократных отражений была устранена, на обоих разрезах суммирования и результатах автокорреляции видны признаки того, что некоторая часть ее осталась. После того, как данные были подвергнуты временной миграции до суммирования и величины остаточных приращений были сведены к минимуму путем применения соответствующего алгоритма Swap, процедура ПИФ была применена повторно и остаточная энергия многократных отражений была устранена.

На Рис. 12 изображены выборки после миграции до суммирования, подвергнутые преобразованию Радона, а также не подвергнутые и подвергнутые впоследствии процедуре ПИФ. Хотя довольно трудно установить, в какой степени была устранена остаточная энергия многократных отражений, меньшая степень размазывания поперек графика отчетливо демонстрирует улучшение.

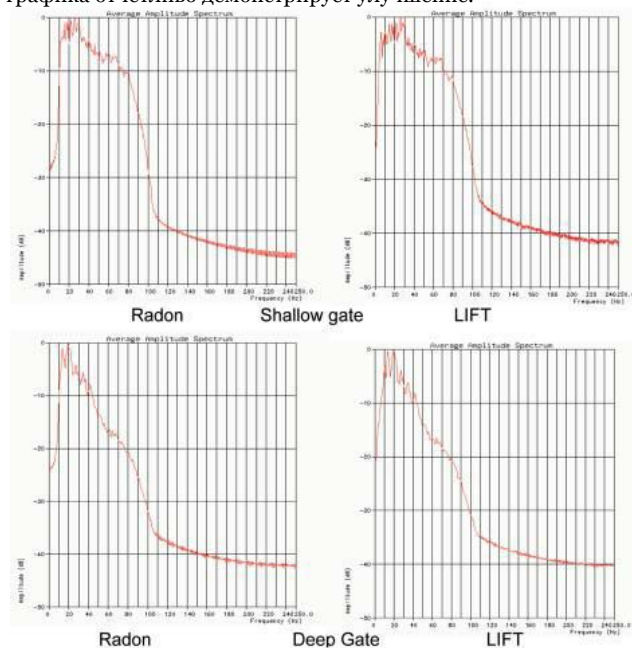


Рисунок 11 Спектр частот.

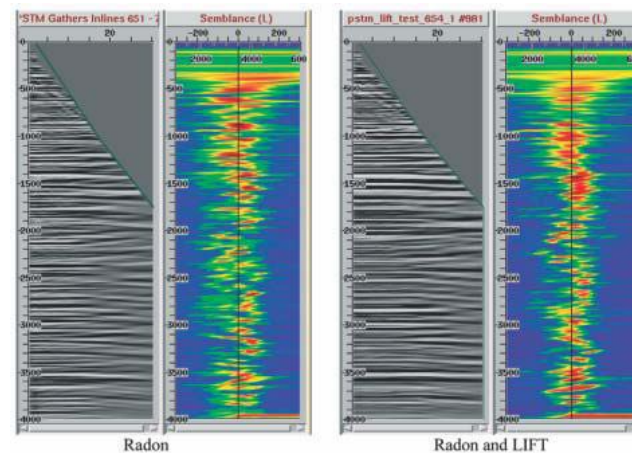


Рис. 12 Выборки миграции до суммирования с примененным преобразованием Радона и ПИФ на мигрированных выборках.

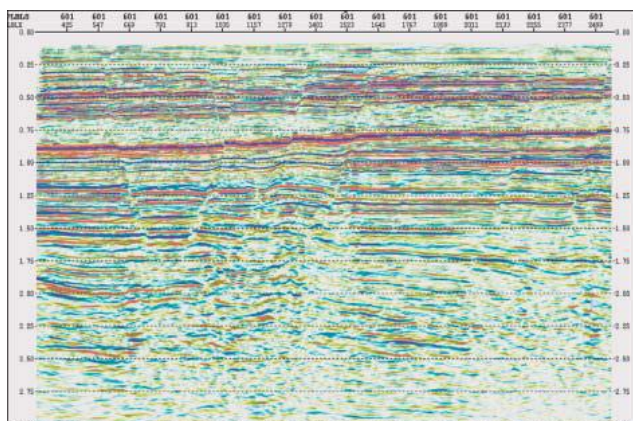


Рис. 13 Разрез 3D, мигрированный до суммирования во временной области с ПИФ, примененным как при препроцессинге, так и после выполнения миграции

На рис. 13 представлены суммированные выборки, подвергшиеся ПИФ, миграции до суммирования и затем ПИФ повторно.

Выводы

Со времени проведения первых морских 2D-сейсмических съемок в начале 1970-х, использующих динамит в качестве источника до съемок наших дней, использующих сложные системы пневмопушек производства APREX, энергия многократных отражений представляла собой значительную проблему при исследовании как залива Габес, зоны прибрежных вод Туниса, так и многих других областей по всему миру. Многократные отражения создаются как неоднородностями морского дна, находящегося на небольшой глубине, так и сильными отражающими границами, относящимися к третичному периоду. В этой статье мы показали, что методика ПИФ эффективно подавляет эти многократные отражения, при этом сохраняя амплитуды сейсмических сигналов для дальнейшего осуществления обращений на основе волновых уравнений упругих и акустических волн для лучшего выделения потенциальных известняковых ловушек УВ. Преимущество такого подхода заключается в возможности применения к набору данных одного и того же метода как до, так и после проведения миграции.

Благодарности

Авторы хотят поблагодарить Eurogas Corporation и партнеров Entreprise Tunisienne D'activities Petrolieres за их продолжительную поддержку и разрешение опубликовать результаты, здесь представленные. Вдобавок мы хотим поблагодарить Gary Lorentz, Jim Wilhite и Bill Shaughnessy из Paradigm Geophysical за их помощь при обработке и консультировании.

Литература

Choo, J. and Sudhakar, V. [2003] LIFT: A new seismic processing technique to LIFT noise and multiples. Expanded Abstracts, CSPG/CSEG Joint National Convention, Calgary. Choo, J., Downton, J., and Dewar, J. [2004] LIFT: A new and Practical Approach to Noise Attenuation. First Break 22, 5. Hunt, L., Cary, P., and Upham, W. [1996] The impact of an improved Radon transform on multiple attenuation. 66th Ann. Internat. Mtg. Soc. of Expl. Geophys., 1535-1538. Sacchi, M.D. and Ulrych, T.J. [1995] High-resolution velocity gathers and offset space reconstruction. Geophysics, 60, 4, 1169-1117. Gordon, Patrick T. [2005] Unpublished internal memo, Atlas Petroleum Exploration, Worldwide.