

Много-дисциплинарные науки о Земле

Новые идеи интеграции скважинных материалов и данных ВСП в обработку сейсмических данных

New concepts for borehole and VSP data integration in seismic data processing

Rick Walia и Ken Brandt, CGG Canada Services; Rob Duthie, VSFusion/Baker Atlas; Roger Whittaker и Emmanuel Malterre, First Calgary Petroleum; и Peter Bell, RPS Hydrosearch, приводят пример из Алжира для иллюстрации преимуществ интегрирования скважинных материалов и данных ВСП в обработку сложных сейсмических данных.

Месторождение Berkine в Алжире представляет собой исключительную сложность для съемки, обработки и интерпретации сейсмических данных. В основном, это вызвано поверхностными условиями и малоглубинной частью разреза, точнее, наличием песчаных дюн до 2 км толщиной до 250 м высотой верхней части разреза. Также осложняет дело и нескольких слоев с высокой скоростью/плотностью в первых 500 м разреза, что вызывает проблемы со статикой и кратными волнами. Следовательно, обработка сейсмических данных столкнулась со сложностями в терминах статики, шума (случайный, линейный, кратные волны и пробелы в съемке) и также скоростного анализа. Все это несло губительное воздействие на чистоту структурной и стратиграфической интерпретации 2D и 3D сейсмических данных. В этой статье предложено несколько путей интеграции скважинных данных для лучшего осознания этих проблем и возможных решений.

Обработка данных

Месторождение Berkine в восточном Алжире относится к одному из самых значительных месторождений углеводородов в Северной Африке. В этой статье мы в основном фокусируемся на обсуждении важных блоков Ledjmet 405 и 406 месторождения Berkine, запасы которых оцениваются в 5 триллионов ft^3 газа и 5 миллиардов баррелей нефтяного эквивалента (рис. 1).

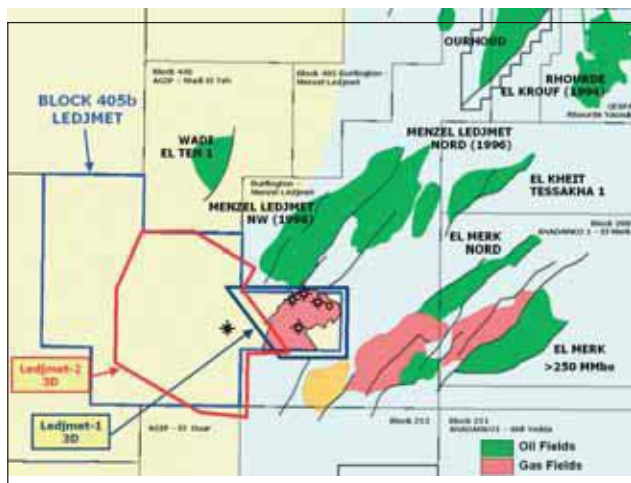


Рисунок 1 Залежи нефтегазового месторождения Berkine – более 5 млрд. баррелей нефти открыто к настоящему моменту.

Источником бедствия для обработки в терминах статики, кратных волн и низкого отношения сигнал/шум являются несколько слоев соли, ангидрита, карбонатов и эвапоритов с рыхлым песком верхнеюрского возраста в верхней части разреза.

Две 3D сейсмические съемки Vibroseis с параллельной геометрией и кратностью 100 были проведены для детального картирования. Такая геометрия наблюдений обеспечила гораздо лучшее распределение выносов для точек ОГТ (50-5000 м). Также это ведет к эффективному подавлению шума, улучшенному скоростному анализу и повышению отношению сигнал/шум и устойчивости полной миграции Кирхгофа до суммирования. Типичная исходная сейсмограмма ОГТ до и после подавления шума и поверхностно-согласованной коррекции амплитуд показана на рис. 2.

Роль скважинных данных в решении задач коррекции статики

Из рис. 2 видно, что ошибок в пикировании первых вступлений, обычное решение проблем статики, основанное на рефракции, ошибочно. Это было первым вызовом для

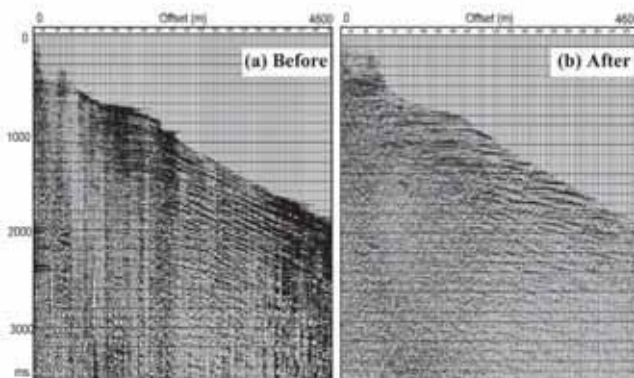


Рисунок 2 (а) Типичная сейсмограмма ОГТ из куба

Ledjmet. Основными трудностями для поверхностно-согласованной обработки с сохранением амплитуд стали низкое отношение сигнал/шум из-за случайного шума, поверхностных волн, поверхностного шума, неполнократных волн и рефракции, вызванных высокоскоростными слоями песчаника, известняка и ангидрита. (b) Сейсмограмма ОГТ после подавления случайного и линейного шума точках взрыва и на удалениях, многоканальной медианной фильтрации в определенных частотных диапазонах.

Много-дисциплинарные науки о Земле

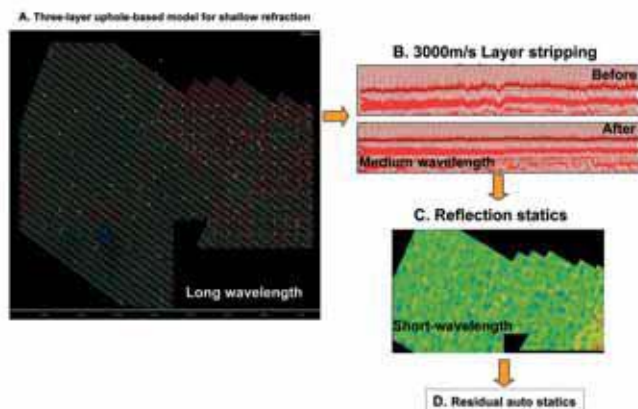


Рисунок 3 Комбинирование процесса последовательного снятия влияния вышележащих слоёв, основанного на модели, и статических поправок в данные МОВ привело к устойчивому решению проблем со статикой. Желтые точки (А) обозначают скважины микросейсмокаротажа, и красные точки обозначают разведочные скважины.

включения скважинных данных в процесс обработки. Мы посвятили несколько недель экспериментам для поиска наилучшего возможного способа борьбы со статикой из-за топографии с дюнами, рыхлых/мокрых приповерхностных песчаных слоев и более глубоких высокоскоростных горизонтально-неоднородных тонких слоев. В результате был получен четырехшаговый рабочий поток, как показано на рис. 3. Согласно рекомендациям по этому рабочему потоку было пробурено сотни малоглубинных (~100 м) и несколько глубоких (~300 м) скважин для микросейсмокаротажа. Была построена точная 3D модель верхней части разреза с использованием данных микросейсмокаротажа и ГИС.

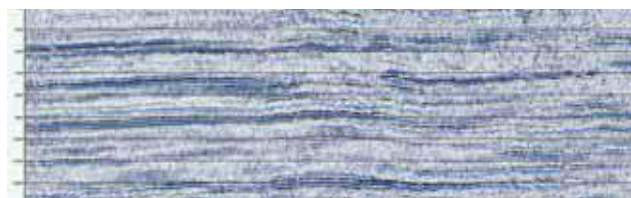


Figure 4A Временной разрез после применения модельной и статик на основе МППВ.

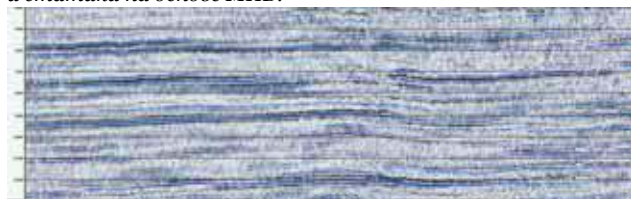


Figure 4B Временной разрез после применения модельной и статик на основе МОВ.

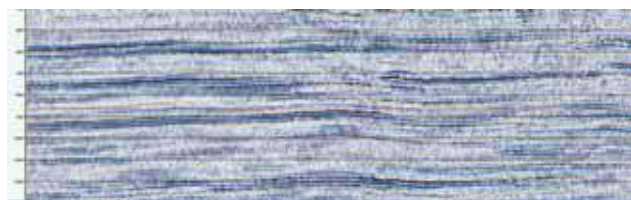


Figure 4C Временной разрез после применения модельной и статик на основе МОВ и остаточной статик.

Это позволило посчитать статические аномалии из-за малоглубинных песчаных слоев. Применение длиннопериодных статических поправок позволило точно проследить первые вступления от глубоких слоев со скоростями ~2000 м/с и ~3000 м/с на модельной глубине ~100 м и ~320 м ниже уровня поверхности земли соответственно. На втором шаге рабочего потока была посчитана и применена статика на основе МПВ для этой модели. На этом шаге мы учли средне- и длиннопериодную статистику. На третьем шаге был применен специальный алгоритм, основанный на отраженных волнах, который использует известные малоглубинные отражения как основу для расчета остаточной среднепериодной статистики. Он был применен успешно после трех проходов коррекции остаточной статистики (рис. 4). После каждого прохода пикировка скоростей уточнялась и частотный диапазон расширялся для достижения лучшей разрешенности. Окончательные временные разрезы сравниваются на рис. 5.

Высокоразрешенное ВСП

Несмотря на то, что приемлемое решение для статик было получено из рабочего потока, описанного выше, прослеживание горизонтально-неоднородных высокоскоростных слоев с кровлей на 500 м и их окончательное картирование очень важно для дальнейшего уточнения статик для уверенной структурной интерпретации. Работа продолжается. Тем не менее, был получен успешный опыт по съемке высокоразрешенного ВСП (ВР-ВСП), и теперь в каждой разведочной скважине проводится высокочастотное ВСП. Целью было получить точное значение скорости по глубине для низко- и высокоскоростных чтобы построить точную модель верхней части разреза и прокалибровать статистику по сейсмике.

После нескольких экспериментов и пробных съемок, ВР-ВСП было проведено с интервалом 2 м на глубинах от 100 до 500 м с помощью одного вибратора на выносе 15 м от устья скважины. Свип-сигнал был от 6 до 120 Гц. ВР-ВСП (до 110 Гц) было проведено с полным пакетом ГИС. Сходство между синтетикой, ВР-ВСП и сейсмическими данными превосходно. Низко- и высокоскоростные слои были прослежены очень хорошо (рис. 6). Результаты этого эксперимента были очень обнадеживающими для планирования ВР-ВСП и малоглубинных ГИС в нескольких пунктах и включения их в обработку сейсмических данных.

Роль скважинных данных в пикировании скорости

К сожалению правда то, что самый важный шаг в обработке сейсмических данных, пикирование скоростей, проводится без знаний об истинной скорости горных пород, которая нам известна из таких скважинных данных, как ультразвуковой каротаж, контрольный сейсмокаротаж и ВСП. Аргументы, что сейсмические скорости подбираются для спрямления годографов, верны, если отражения четко видны и быстрая проверка может гарантировать точное спрямление. Сейсмограмма ОГТ на рис. 2 четко иллюстрирует, что такая практика пикирования скоростей может не иметь силы, так как даже различие скоростей в 1% приводит к разным суммированным временным разрезам (рис 7). Значит, тем более необходимо использовать скважинные данные для

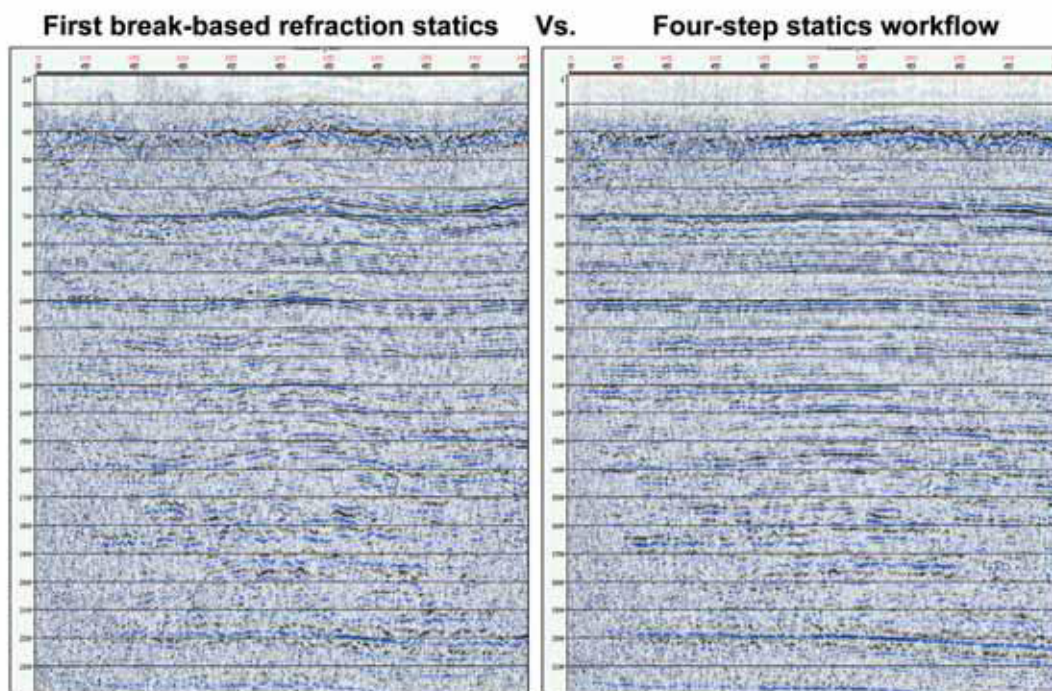


Рисунок 5 Сравнение конечных суммированных разрезов со статикой по первым вступлениям с четырехшаговым рабочим потоком, который представляет собой комбинацию статик на основе МПВ по данным сейсмокаротажа, статик на основе МПВ с процессом последовательного снятия влияния вышележащих слоев после ввода статик на основе МОВ и автостатики.

получения интервальных скоростей, которые можно без труда конвертировать в скорости суммирования, тем самым обеспечивая бесценную основу для пикирования скоростей (рис. 8). Предпочтительней, чтобы эта информация поступала из ВСП, так как это будет лучше соответствовать сейсмическим скоростям из-за похожего частотного диапазона наблюдений по сравнению со скоростями по акустическому каротажу. На рис. 8 четко видно, что слабые изменения в пикировании скоростей для совпадения со скважинными данными, могут не только

обеспечить лучшее качество временных разрезов, но и также придать сейсмическим скоростям по скважинным данным больше геологического смысла.

Роль данных ВСП при выделении кратных волн

Как обсуждалось выше, наличие малоглубинных нескольких слоев соли, ангидрита и доломита вызывают серии кратных и неполнократных волн. Некоторые из этих кратных волн удастся подавить каскадным включением процедурами и специальными алгоритмами. Тем не менее, оставшиеся кратные волны трудно подавить без негативного

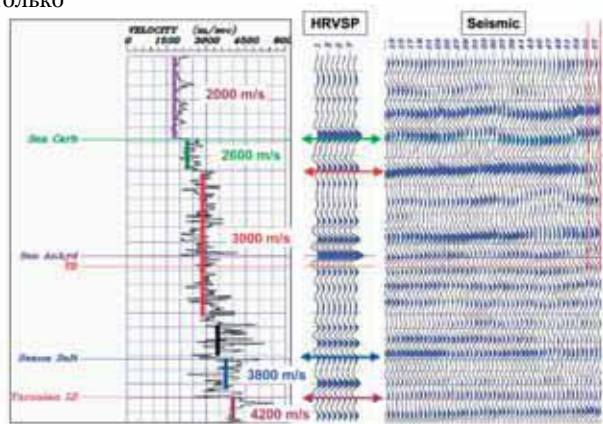


Рисунок 6 Комбинированное изображение скоростей по АК, результата коридорного суммирования ВР-ВСП и корреляцией сейсмического временного разреза. Наличие нескольких высокоскоростных слоев подтверждается. Хорошая корреляция между коридорным суммированием ВР-ВСП и сейсмическим разрезом может помочь при определении статических поправок

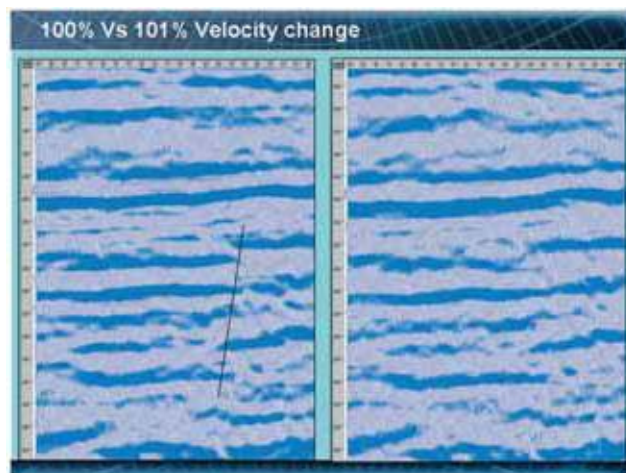


Рисунок 7 Временные разрезы, иллюстрирующие разница скоростей суммирования в 1%. Данные очень чувствительны к значениям скоростей.

Много-дисциплинарные науки о Земле

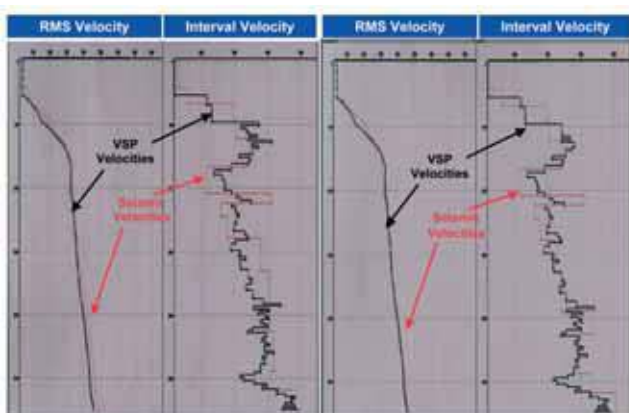


Рисунок 8 ВСП может быть отличным источником

для основы определения скоростей суммирования при пикировании скоростей. Это можно увидеть на панели 2, где пикировка сейсмических скоростей совпадает со скоростным трендом по данным, и из панели 4, где интервальные скорости из скоростей суммирования приобретают большие значения.

воздействия на полезные волны из-за недостаточной кинематической поправки на ближних и дальних выносах. Это означает, что интерпретацию придется проводить с остатками кратных волн в окончательных данных. При таких обстоятельствах лучшим подходом будет выделение кратных волн каким-нибудь образом и исключение их из интерпретации. ВСП, по преимуществу системы наблюдений, может быть очень полезно для выделения полезных и соответствующих кратных волн.

Диаграмма на рис. 9 иллюстрирует образование кратных волн в ВСП. Кратная волна (M1) прерывается прямо там, где отраженная полезная волна (PR1) с сильным контрастом импеданса интерферирует с первыми вступлениями в приемнике на глубине 4, так как она не может существовать глубже, чем волна PR1. Как разница во временах прихода полезных и кратных волн, так и уровень приемника по глубине, где прерываются кратные волны,

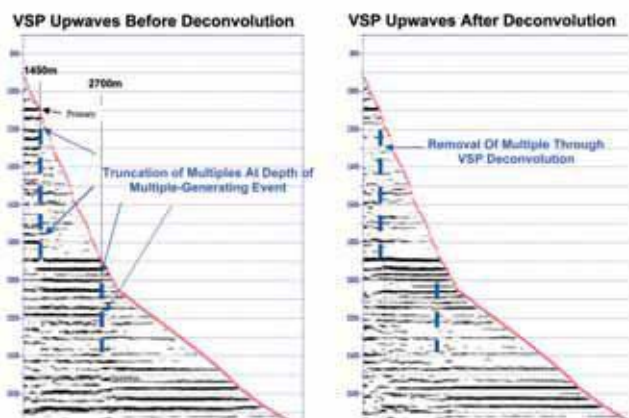


Рисунок 10 Восходящие волны ВСП до и после деконволюции. До применения деконволюции возможно выделить кратные волны, которые задержаны по времени, но отсечены на той же глубине, что и граница, от которой они отражаются.

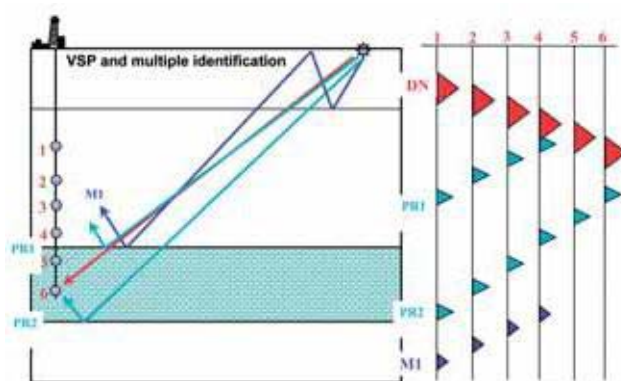


Рисунок 9 Диаграмма, иллюстрирующая как кратная волна (M1) прерывается ниже первых вступлений в приемнике 4. Разница времен между полезными и кратными волнами у уровня приемника, на котором прерывается кратная волна дают информацию о интервале, вызывающем появление кратных волн и также о границе, которая в итоге отражает кратные волны.

дают информацию волне, порождающей кратные волны. Эта информация очень важна для схем модельного подавления кратных волн для данных до и после суммирования. Важно отметить, что такая интерпретация может быть выполнена после изучения данных после разделения волновых полей ВСП (рис. 10 и 11). Рис. 12 показывает конечные результаты включения скважинных данных в обработку сейсмике, что привело к уверенной структурной и стратиграфической интерпретации и нескольким продуктивным скважинам.

Заключение

Предпринятые усилия по интеграции привели к получению куба сейсмических данных высокого качества. Инновационное использование сейсмокаротажа, ГИС

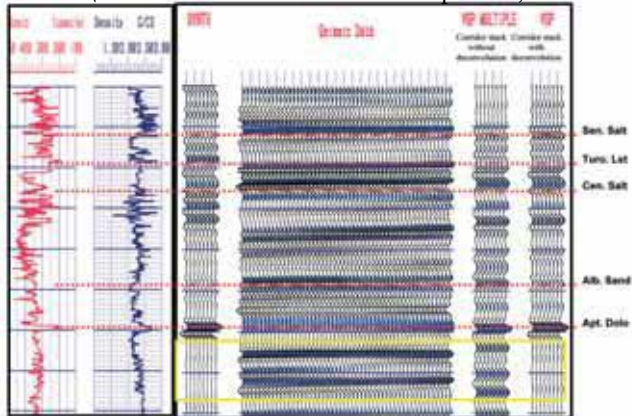


Рисунок 11 Комбинированное изображение может быть полезно при проведении корреляции полезных волн и также выделения кратных волн (как показано в желтом прямоугольнике). Суммированный разрез ВСП до деконволюции обеспечивает хорошую корреляцию кратных волн в желтом прямоугольнике.

Много-дисциплинарные науки о Земле

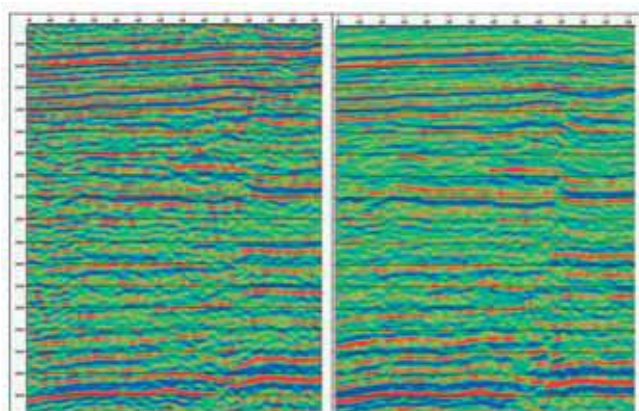


Рисунок 12 Обработка 2001 Vs. 2004: усилия по интеграции привели к получению 3D сейсмических данных высокого качества. Инновационное использование данных сейсмокаротажа, ГИС и ВСП позволили улучшить коррекцию статики, анализ скоростей и выделение полезных и кратных волн, что было важным шагом.

и данных ВСП улучшило коррекцию статики, анализ скоростей и выделение полезных и кратных волн. Это были ключевые моменты для

улучшения. Планирование и проведение эксперимента с ВР-ВСП было важной частью задачи, так как это имело потенциал для дальнейшей коррекции статики и построения скоростной модели верхней части разреза до глубин до 500 м для уверенной интерпретации данных. В большинстве случаев данные ВСП с нулевым выносом используются только в виде полностью обработанного, разреза после произведения корридорного суммирования. Такие данные достаточны для целей корреляции, но, по нашему мнению, это лишь частичное использование информации, которую можно извлечь из волновых полей ВСП. Анализ данных ВСП на разных стадиях обработки может сильно помочь сейсмической интерпретации, особенно в сложном сейсмогеологических условиях, как в блоках Ledjmet в Алжире.

Благодарности

Особая благодарность Cherif Hellal, главному геологу в восточном регионе, Sonatrach за его поддерживающее участие в продвижении этого проекта. Спасибо Todd Mojesky, Lavdosh Bubeqi и Maria Bastidas за техническую поддержку и обработку сейсмических данных. Авторы также благодарят First Calgary Petroleum и CGG Canada Services за их разрешение опубликовать эту работу.