

Предварительная обработка в сортировке ОПВ наборов широкоазимутальных данных с буксируемой косой. Shot-based pre-processing solutions for wide azimuth towed streamer datasets

Philippe Herrmann,¹ * Gordon Poole,² Antonio Pica,¹ Sylvain Le Roy,¹ и Roger Taylor²

Геометрия получения широкоазимутальных данных с буксируемой косой (WATS) показала возможности улучшения сейсмических изображений, особенно в областях со сложными 3D структурами. Путем использования дополнительных суден-источников, возбуждения от которых будут приниматься на расстановку кос на больших латеральных удалениях, создается набор данных с большой апертурой по кросслайну, большей кратностью и более широким распределением удаление-азимут, по сравнению с данными, получаемыми с помощью традиционных кос (узкоазимутальных).

Примеров улучшения изображения, благодаря геометрии WATS много, поскольку этот метод в настоящий момент широко распространен. Пример, иллюстрирующий превосходство данных WATS для построения изображений, дается в работе Michell et al. (2006). Там была показана простая миграция данных WATS с ограниченной предварительной обработкой, которая дала существенно улучшенное изображение по сравнению с результатами, полученными традиционным способом с буксируемой косой.

Однако, для того, чтобы понять все возможности данных WATS, этапы предварительной обработки (цикл обработки до построения изображений) существенно важны, особенно для приложений, которые зависят от качества сейсмограмма до суммирования, такие как:

- Построение и корректировка скоростной модели
- Построение изображений во временной и глубинной области до суммирования
- Обработка 4D/периодических наблюдений
- AVO анализ и описания характеристик коллектора
- Количественный анализ

С помощью данных WATS мы отходим от узкоазимутальных (в особенности 2D) сейсмограмм к 3D сейсмограммам, у которых существенно увеличена апертура по кросслайну и которые имеют широкое распределение азимут - удаление: смотрите таблицу 1 и Рисунок 1 для сравнения. Это имеет большое влияние на цикл предварительной обработки, в котором традиционно использовались 2D алгоритмы,

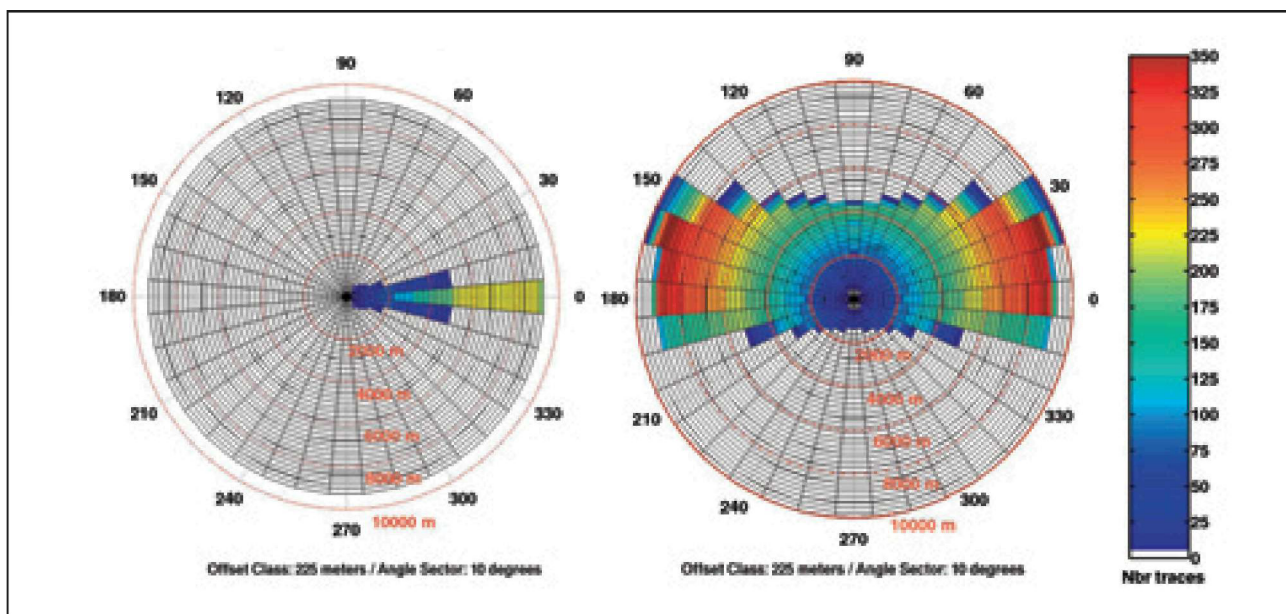


Рисунок 1 Роза-диаграмма, иллюстрирующая распределение удалений-азимутов для традиционного способа получения данных с косой (слева) и полевого испытания супер-возбуждений WATS (справа). Максимальное удаление 10 км.

Сейсмограмма ОПВ	Аперт. по инлайну	Кросслайн	Апертура	Соотношен. масштабов	Число трасс	Объем данных
Традиционная	8 км	0.8 км		1:10	~5,000	0.1 Гб
WATS	18 км	5.7 км		1:3	~104,000	2.5 Гб

Таблица 1 Сравнение выборок по ПВ для типичной традиционной 3D съемки с косой и набора пилотных данных WATS, используемых в данной статье.

¹ CGGVeritas, France.

² CGGVeritas, UK.

* Адрес автора; E-mail: philippe.herrmann@cggveritas.com

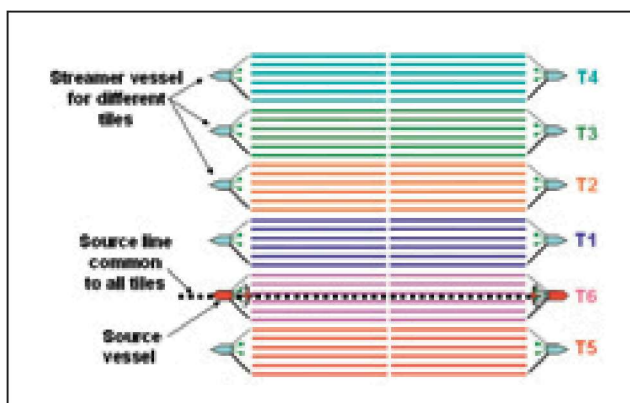


Рисунок 2 Для построения всей полосы, с помощью судна с косой и судна-источника получают шесть различных **tiles**. Каждый **tile** получают при четырех возбуждениях: первый проход в одном направлении и второй в том же направлении, но с **interleaving** шести кос (расстояние между ними 160 м) для того, чтобы смоделировать расстановку из 12 кос с интервалом между косами 80 м; затем два прохода повторяют с противоположного **heading** для получения сектора азимута в 180 градусов. Отметим, что **tile 6** получено при возбуждении с судна-приемника, тогда как **tiles 1-5** получены при нахождении ПВ в точке судна-источника. Длина косы была 9 км, расстояние между ПВ 31.25 м.

и можно использовать преимущества псевдо-2D природы данных до суммирования. Итак, существует реальная необходимость разработки цикла обработки, в котором бы полностью учитывалось распределение 3D удалений-азимутов и сохранялось 3D поле волн, хранящееся в сейсмограммах WATS.

Если рассматривать природу алгоритмов, необходимых для обработки данных WATS, также важно рассмотреть то, как данные будут организованы или сортированы для обработки. Для этих больших наборов

данных с супер-крупными сейсмограммами принципиально важно (смотрите таблицу 1), добиться эффективного потока обработки и параллелизации обработки на всех стадиях.

Данные WATS: проблемы обработки

Сравнивая размеры традиционных и WATS сейсмограмм мы уже имеем представление какие проблемы у нас ожидаются при обработке. Если посмотреть на схему регистрации данных, используемую при получении самих данных (Рисунок 2) и реальную геометрию суперсейсмограммы WATS из примера (Рисунок 3), идея о потенциальных трудностях при решении задачи уже вырисовывается. Комплексная супер-сейсмограмма получается путем объединения 24 направлений навигации, каждая из которых по 6 кос, что дает всего 72 кос и 103,680 трасс. Она была сформирована после введения небольших коррекций за ошибки позиционирования источника между линиями навигации. На практике эти ошибки не превышали 10 м и были исправлены с помощью дифференциальной поправки NMO.

Если посмотреть на суперсейсмограмму ОПВ, нельзя не поразиться ее размерами. Она примерно в 16 раз превышает размер типичной сейсмограммы традиционных морских работ 3D. Также для этого набора данных характерна большая вариация в отклонении кабеля от одной линии прохода к другой, что ведет к нерегулярному шагу ПП супер-сейсмограммы. Из этого примера мы можем сделать два важных заключения: 1) Несмотря на то, что положение источника можно точно контролировать при сборе данных WATS, мы не можем позволить себе зависеть от регулярности пространственного распределения приемников.

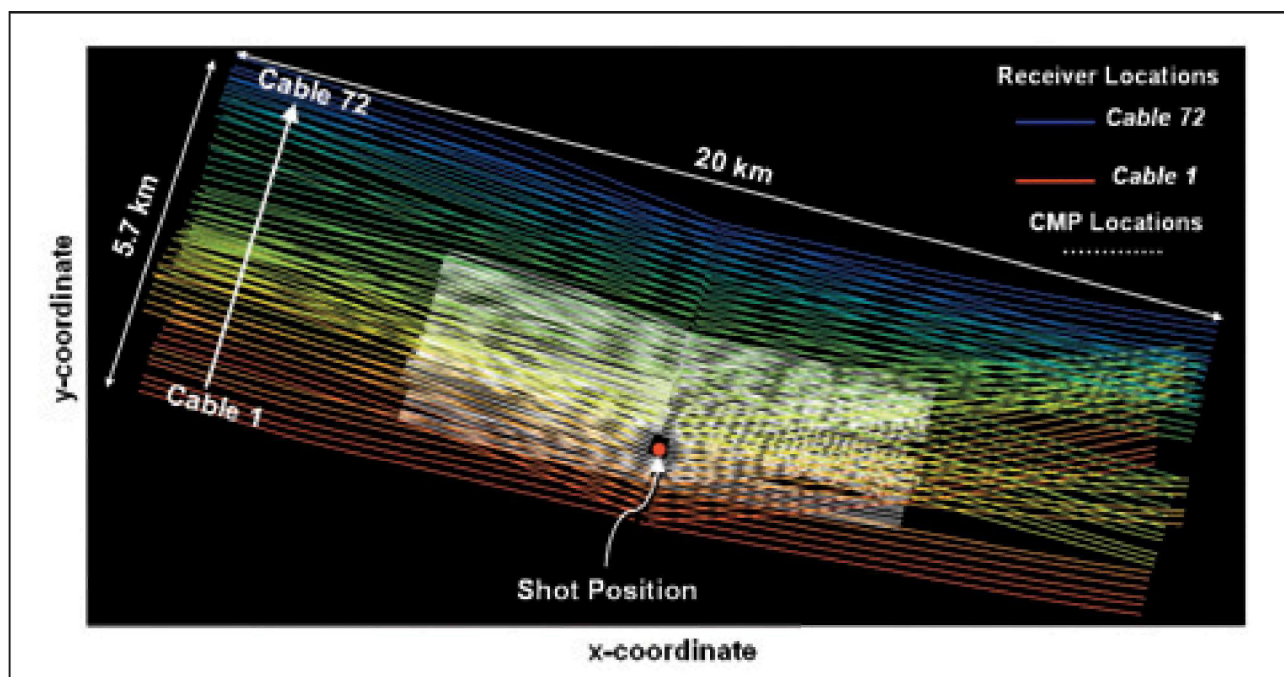


Рисунок 3 Комплексная сейсмограмма WATS, комбинирующая данные от 24 профилей, с использованием 6 кос. Положения приемников показаны в цвете с кодом, соответствующим номеру косы (1 до 72) для подчеркивания отклонения косы от курса и позиции. Получаемые положения ОГТ (CMP) показаны в виде белых пунктиров. Комбинированная суперсейсмограмма WATS имеет апертуру по инлайну 20км, апертуру по кросслайну 5.7км и содержит 103680 трасс.

В результате некоторые текущие этапы предварительной обработки по линиям прохода нельзя будет применить. 2) При широком распределении удалений-азимутов в пределах суперсейсмограммы, традиционные этапы обработки, включающие кубы общих удалений также уже неприменимы. Мы должны искать другие более подходящие области обработки данных, в которых не игнорируется размер удаления по кросслайну. Нам надо бы было принять кубы общих удалений-азимутов, или что предпочтительней кубы общих удалений-азимутов по инлайну. Хотя, для обеих этих областей, ожидается существенная порция отсутствующих трасс (пропусков) из-за отклонения косы.

Теперь, когда у нас есть понимание потенциальных проблем и сложностей, заключенных в данных WATS, мы можем предложить последовательность обработки, которая достаточно устойчивая и гибкая для борьбы с ними.

Подход на основе ОПВ при работе с WATS

Основываясь на ранее сделанных выводах, мы предлагаем подход на основе ОПВ, при котором природа зарегистрированного поля волн 3D сохраняется в области выборки по ПВ 3D на протяжении всего цикла обработки. Методы предобработки в области ПВ также подходят для наиболее обобщенных ситуаций, независимо от того, относятся ли они к пространственному распределению ПВ WATS или приемников от одной до следующей сейсмограммы. Помимо того, что эта сортировка удовлетворяет требованию гибкости, области ПВ также позволят нам эффективно запараллелить все этапы обработки (при этом сейсмограммы обрабатываются независимо и параллельно), и снимут необходимость ненужной и затратной пересортировки больших наборов данных в различных областях.

В этой статье мы продемонстрируем как способы 3D, одного прохода, до суммирования и предобработки в области ПВ полностью учтут природу полученного поля волн 3D практичным, эффективным и гибким способом. Эти решения будут справедливы не только для данных WATS, но также для любого набора данных с широким или полным распределением удалений-азимутов. Мы приводим примеры регуляризации и подавления кратных в данных.

Регуляризация

Регуляризация данных играет важную роль в процедуре миграции. Методы на основе Кирхгофа зависят от конструктивной интерференции оператора миграции на отражающем горизонте, и деструктивной интерференции оператора миграции вне отражающего горизонта (или вне зоны Френеля) для построения изображения (Poole et al., 2006). Хотя можно использовать веса для того, чтобы убедиться в том, что амплитуда на отражающем горизонте сохранялась в случае нерегулярной геометрии получения данных, гораздо более сложно обеспечить оптимальную деструктивную интерференцию вдали от отражающей границы. Результатом является, то что называют «улыбки миграции», которые портят мигрированное изображение. Эти 'улыбки' являются остаточной энергией от хвоста оператора миграции, которые не были подавлены деструктивной интерференцией, из-за нерегулярности геометрии съемки, которая ведет к нерегулярности пространственного положения оператора. Если сделать геометрию съемки более регулярной мы сможем убрать деструктивную интерференцию от отражающей границы и получить более четкую картинку без «улыбок».

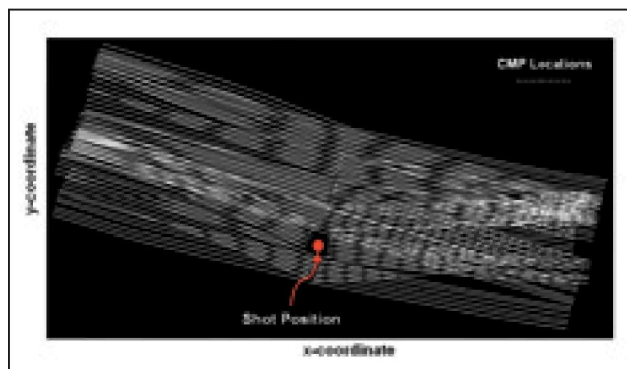


Рисунок 4а Распределение комплексных суперсейсмограмм WATS OGT до регуляризации.

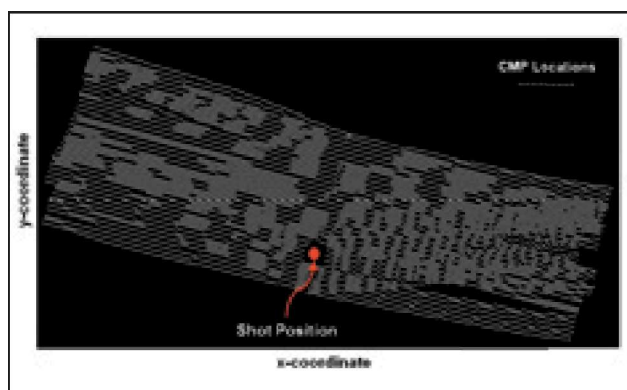


Рисунок 4б Распределение комплексных суперсейсмограмм WATS OGT после регуляризации данных с помощью центрирования бинов.

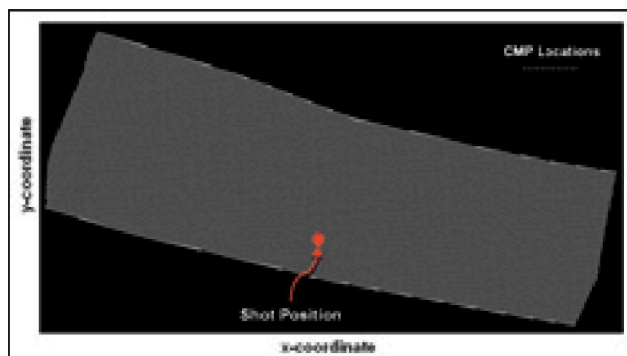


Рисунок 4с Распределение комплексных суперсейсмограмм WATS OGT после центрирования бинов и восстановления пропусков трасс.

Наиболее часто применяемая процедура регуляризации состоит в центрировании бинов в данных до суммирования, т.е. смещении общих средних точек (CMP) трасс к центру бина. При применении этой процедуры к выборке ОПВ, процесс будет заключаться в интерполяции записанного поля волн 3D на положения ПП таким образом, чтобы позиция ОСТ для заданной пары источник-приемник соответствовало центру бина.

Эта регуляризация с центрированием бина на одном проходе, в которой применяется нерегулярное преобразование Фурье 2D, на нашей супер сейсмограмме ОПВ WATS показана на рисунке 4а. Белым пунктиром обозначены исходные позиции ОСТ для всей суперсейсмограммы ОПВ WATS, а на Рисунок 4б

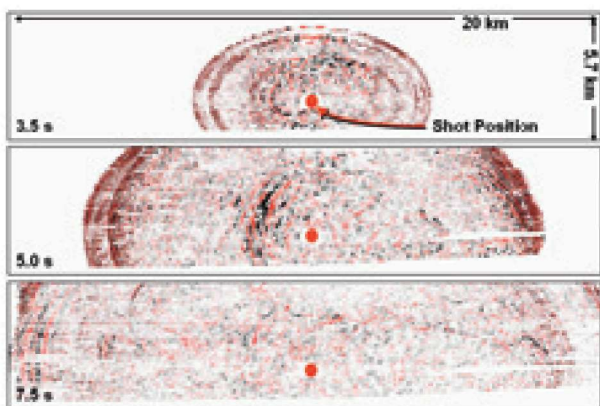


Рисунок 5а Временные срезы комплексных суперсейсмограмм ОПВ WATS (3.5с;5.0с;7.5с) до регуляризации. Сейсмограмма без NMO поправок.

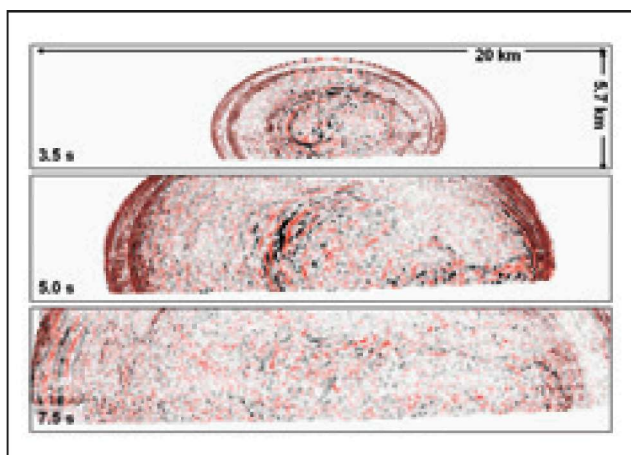


Рисунок 5б Временные срезы комплексных суперсейсмограмм ОПВ WATS (3.5с;5.0с;7.5с) после центрирования бина и реконструкции пропуска трасс.

показаны ОСТ с центрированными бинами после регуляризации. Эту процедуру также можно комбинировать с восстановлением пропущенных трасс с целью полного заполнения наших бинов, как показано на рисунке 4с. Отметим как были заполнены пропуски в покрытии ОСТ из-за отклонения косы и вокруг положения ПВ.

Рисунки 5 и 6 иллюстрируют качество и эффективность 3D, процедуры регуляризации данных на основе ОПВ по выборочным временным срезам и разрезам по инлайну на суперсейсмограмме WATS. С помощью однопроходного подхода 3D легко можно заполнить большие пропуски вдоль одной оси, и таким образом, избежать артефактов миграции, при этом сохранится характер данных.

Подавление кратных, связанные с поверхностью 3D

Подавление кратных является ключевым этапом предобработки, и процедура подавления кратных, относящихся к поверхности 3D (SRME) широко применима там, где сложные поля кратных волн загрязняют данные. Подход моделирования поля волн на основе сортировки ПВ, разработанный Pica et al. (2005) эффективен против неполнократных и дифрагированных кратных со смещенной вершиной

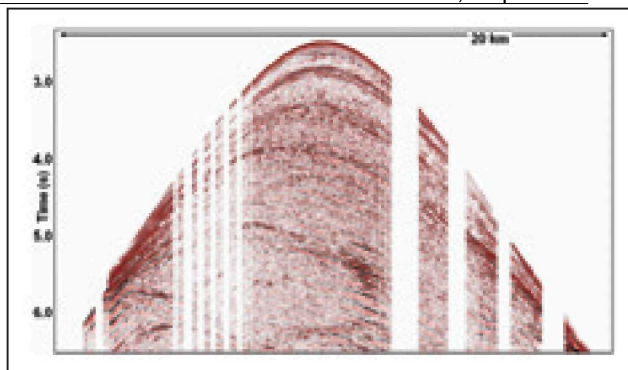


Рисунок 6а Центральный разрез по инлайну через супер сейсмограмму WATS до регуляризации. Сейсмограмма не исправлена за NMO.

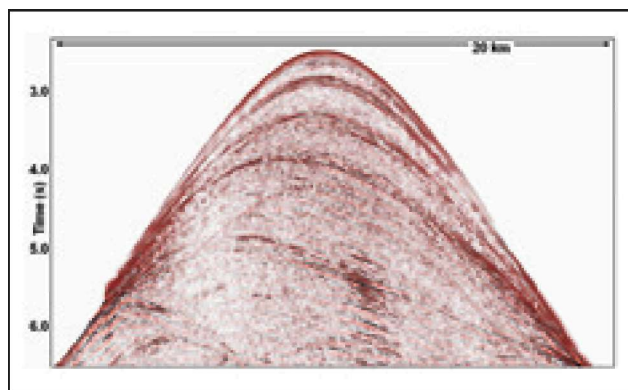


Рисунок 6б Центральный разрез по инлайну через супер ПВ WATS после центрирования бина и реконструкции отсутствующих трасс.

и **lends** подходит для нашей обработки в сортировке ПВ записей WATS.

Этот двух-этапный подход заключается в построении модели кратных 3D, вслед за чем идет адаптивное вычитание модели из данных записи. Как и в 'Дельфтском' подходе, модель кратных (M) получают путем взятия поля волн записи (D) и придания ему дополнительной **bounce** на глубине, представленной **Primaries** (P). Это дает нам следующее соотношение:

$$M = -D * P$$

Где знак минус учитывает отрицательный коэффициент отражения от поверхности воды. В подходе, который полностью опирается на данные, например подходе, разработанном Verschuur и Berkhout (1997) и Biersteker (2001), дополнительное **bounce off the primaries** (P) **is driven solely** данными до суммирования с использованием схемы свертки, согласованной с поверхностью.

В нашем подходе по моделированию поля волн, дополнительное **bounce** моделируется путем экстраполяции вниз поля волн (Wj) поля волн записи (D) **into the subsurface**, вслед за чем идет отражения на каждой сейсмической границе (R), и экстраполяция поля волн вверх (Wf) обратно к поверхности. Этот гибридный метод, включающий как данные, так и модель, дает нам дополнительные уравнения:

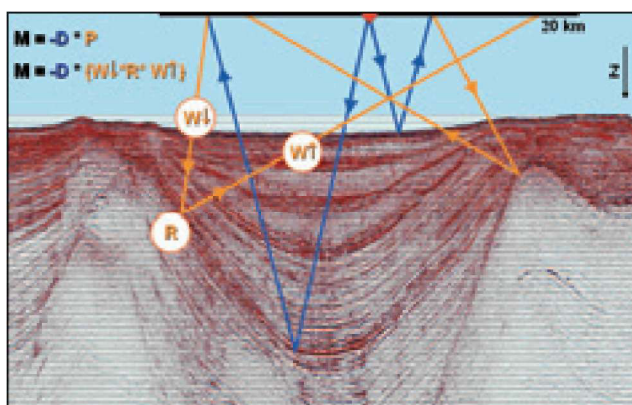


Рисунок 7а При моделировании поля волн 3D SRME, модель кратных получают путем добавления дополнительного "bounce" к записи. Упрощенные траектории лучей для нашей записи поля волн ОПВ показаны синим и отражают зарегистрированные данные (D), ПВ показан красным и апертура по инлайну сейсмограммы показана черным. bounce моделировалась путем экстраполяции вниз (Wl) поля волн записи, затем было отражение (R) на каждом отражающем пласте (по мигрированному разрезу), вслед за этим проведена экстраполяция поля волн вверх (Wf) до поверхности, как показывают оранжевые траектории луча.

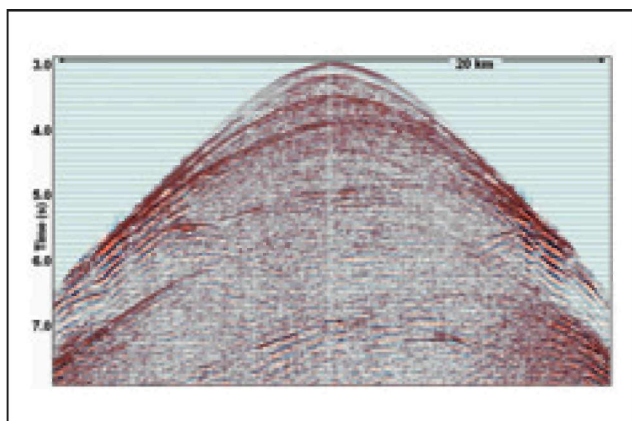


Рисунок 7б Разрез по инлайну через сложную суперсейсмограмму WATS ОПВ перед подавлением кратных, соответствующий положению косы 66.

$$M = -D * (Wl * R * Wf)$$

$$M = -D * P$$

где дополнительный **extra bounce**, получаемый на этапе экстраполяции поля волн, $(Wl * R * Wf)$ аналогичен свертке с первичной **primaries** (P). Этот подход требует знания модели скорости для экстраполяции поля волн и использования мигрированного разреза в качестве разреза отражательной способности (R). Используемая модель скоростей зависит от сложности поля волн кратных и может просто быть взята скорость для воды, или если требуется модель переменной скорости, хотя смешанные данные и подход на основе модели уменьшает зависимость от точности скоростной модели. Модель отражательной способности можно легко построить в окне данных вокруг

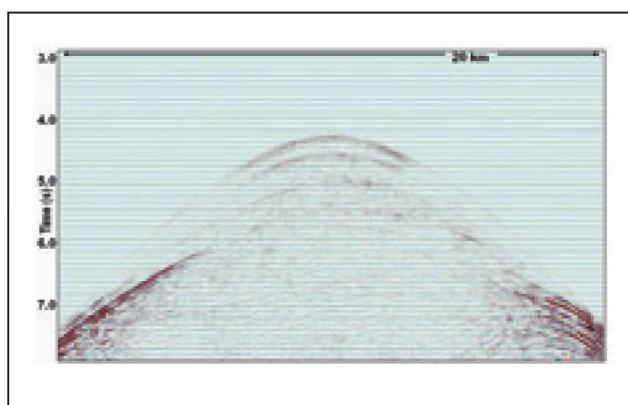


Рисунок 7с Разрез по инлайну через поле волн 3D SRME модель кратных.

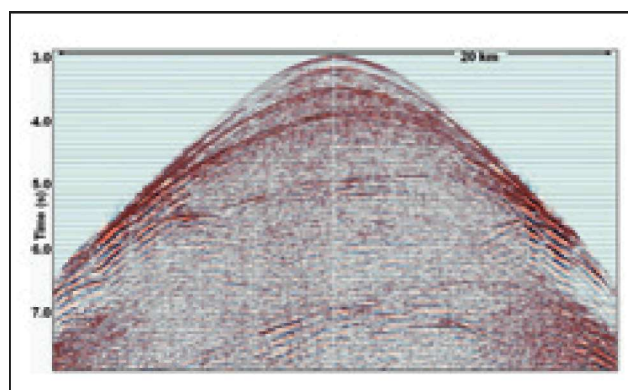


Рисунок 7д Разрез по инлайну через сложную суперсейсмограмму ОПВ WATS после вычитания модельного поля волн 3D SRME с кратными.

морского дна (и источника главных кратных) с помощью временной миграции до суммирования ближних удалений.

Этот подход, уже успешно проиллюстрированный на данных с косами (Weisser et al., 2006) и данных с узлами (Pica et al., 2006), теперь иллюстрируется на примере данных WATS без прореживания суперсейсмограммы ОПВ. На Рисунке 7а показан разрез отражательной способности (мигрированный), используемый в моделировании поля волн. Внушительная пространственная протяженности сейсмограммы WATS показана на рисунке, можно видеть, что она сравнима по масштабу с соляными структурами, наш ПВ в примере расположен между двумя соляными куполами. Синими линиями показаны упрощенные пути лучей зарегистрированных данных (D), оранжевым показаны траектории лучей кратных, которые мы можем смоделировать. Глядя на модель кратных, на Рисунке 7с, мы видим, что кинематика модели четко соответствует вступлению на записи на рисунке 7б, на удалениях порядка 10 км от источника. Модель полезна для идентификации кратных вступлений от первичных волн в сейсмограмме ОПВ WATS, и с некоторой рудиментарной интерпретацией интересно заметить, что кратные с самыми высокими амплитудами в разрезе встречаются на дальних удалениях и генерируются крутыми бортами соляных структур. Что более важно, эта модель используется для устранения этих кратных, связанных с поверхностью из сейсмограммы ОПВ WATS путем адаптивного вычитания как показано в результатах на Рисунке 7д.

Мы показали, что 3D SRME может дать прекрасные результаты для суперсейсмограмм ОПВ WATS, если их обрабатывать в сортировке ПВ, при которой можно эффективно запараллелить процесс для выполнения полномасштабной обработки в режиме производства, без необходимости в прореживании данных.

Вывод

Цель геометрии морской съемки WATS – получить запись набора данных с широким диапазоном удалений-азимутов, который дает улучшенное освещение коллектора и соотношения сигнал-шум, а также отличное изображение. Эти новые съемки подразумевают большие удаления с существенной компонентой по кросслайну, которую нельзя игнорировать при обработке данных. Получаемые широкоазимутальные сейсмограммы ОПВ 3D не избегают проблемы в предварительной обработке, обычно выполняемой по линиям навигации или в области общих удалений, обработку данных WATS следовало бы проводить по секторам азимута за много проходов.

Для получения максимальной выгоды из данных поля волн 3D, записанных в широкоазимутальных наборах, требуется эффективная обработка 3D. Мы предлагаем цикл обработки на основе одного прохода, в сортировке ОПВ и считаем ее гибкой и надежной. Этот подход полностью учтет 3D природу записанного поля волн и примет во внимание все эффекты, относящиеся к сложностям регистрации, таким как отклонение косы, без всякой зависимости от пространственного распределения ПВ и ПП WATS.

Элементы обработки в сортировке ОПВ успешно продемонстрировались на примере двух этапов предобработки: регуляризации данных и 3D SRME. Если мы считаем, что можем использовать существующие решения для подавления шума 3D в сортировке ОПВ для случайного или импульсного шума, сейсмической интерференции (Gulunay 2004), и дифракций (Gulunay, 2005), мы можем сделать выводы, что полный цикл предобработки WATS может эффективно работать в области ОПВ. При объединении с существующими методами построения изображения на основе волнового уравнения в области ПВ и новых методов построения азимутальной скоростной модели, легко можно предвидеть полную обработку в области ОПВ и построение изображений для широкоазимутальных данных, при которых полностью используется записанное поле волн recorded 3D. Мы чувствуем, что это будет instrumental реализовать полный потенциал широкоазимутальных данных и являться новым существенным шагом в эволюции обработки сейсмических данных 3D.

Благодарности

Авторы хотят поблагодарить всех в CGGVeritas EAME and Americas, кто работал над получением и обработкой

данных. Сейсмические данные были получены в июле 2006 года в Мексиканском заливе при выполнении пилотного проекта 'WATS super-shot', совместно с TOTAL.

Литература

- Biersteker, J. [2001] MAGIC: Shell's surface multiple attenuation technique. *71st SEG Annual International Meeting*, Expanded abstract, 1301-1304
- Gulunay, N., Magesan, M., and Connor, J. [2005] Diffracted noise attenuation in shallow water 3D marine surveys. *75th SEG Annual International Meeting*, Expanded Abstracts, 2138-2141.
- Gulunay, N., Magesan, M., and Baldock, S. [2004] Seismic interference noise attenuation. *SEG 74th Annual International Meeting*, Expanded Abstracts, 1973-1976.
- Michell, S., Shoshitaishvili, E., Chergotis, D., Sharp, J., and Etgen, J. [2006] Wide azimuth Streamer Imaging of Mad Dog; Have we solved the subsalt Imaging problem? *76th SEG Annual International Meeting*, Expanded Abstracts, 2905-2909.
- Pica, A., Poulain, G., David, B., Magesan, M., Baldock, S., Weisser, T., Hugonnet, P., and Herrmann, Ph. [2005] 3D surface-related multiple modeling. *The Leading Edge*, 24, 3, 292-296.
- Pica, A., Manin, M., Granger, P.Y., Marin, D., Suaudeau, E., David, B., Poulain, G., and Herrmann, Ph. [2006] 3D SRME on OBS data using waveform multiple modeling. *76th SEG Annual International Meeting*, Expanded Abstracts, 2659-2663.
- Poole, G. and Lecerf, D. [2006] Effect of regularisation in the migration of time-lapse data. *First Break*, 24, 25-31.
- Verschuur, D.J. and Berkhout, A.J. [1997] Estimation of multiple scattering by iterative inversion, Part II: Practical aspects and examples. *Geophysics*, 62, 1596-1611.
- Weisser, T., Pica, A., Herrmann, Ph., and Taylor, R. [2006] Wave equation multiple modelling: acquisition independent 3D SRME. *First Break*, 24, 9, 75-80.