

## Получение значимой информации по сейсмическим атрибутам. Gleaning meaningful information from seismic attributes

Satinder Chopra<sup>1\*</sup> и Kurt Marfurt<sup>2</sup>

### Аннотация

Сейсмические атрибуты формируют неотъемлемую часть большинства современных проектов интерпретации. Атрибуты позволяют различить тонкие особенности на сейсмических данных, которые иначе могут быть пропущены или потребовать много времени для картирования. Качество отображения атрибутов прямо пропорционально качеству входных сейсмических данных. В идеале, все искажения амплитуды, фазы и времени пробега, связанные с неоднородностью верхней части разреза и покрывающей толщи, а также с особенностями съемки и обработки должны быть оптимально снижены, даже если они не могут быть полностью устранены. Практически, даже с аккуратной съемкой, обработкой, и отображением, наши данные все еще имеют определенный уровень искажения. Мы покажем, как структурно-ориентированная фильтрация с фильтром главной компоненты может устранить случайный шум, обеспечивая лучшие результаты, чем более традиционные осредняющие и медианные фильтры. Футпринт расстановки, являющийся скорее когерентным, чем случайным шумом, требует различных фильтрационных подходов, в идеале – до суммирования. В конце мы покажем, что различное применение используемого атрибута в случае когерентного соотношения энергий более устойчиво, чем мера когерентности. Мы проиллюстрируем эти изыскания на примере данных из провинции Alberta, Канада.

### Введение

За исключением AVO и анизотропного скоростного анализа, вся работа с атрибутами сделана на мигрированных данных. Такие сейсмические данные обычно осложнены как случайным, так и когерентным шумом, даже если данные были разумно мигрированы и избавлены от кратных волн. Чтобы от сейсмических атрибутов был толк, входные сейсмические данные должны быть свободными от шумов. С точки зрения интерпретатора есть два типа шумов – шумы, с которыми интерпретатор может справиться через применение некоторых относительно простых процедур к мигрированным данным, и шумы, которое требует переработки данных до суммирования. Интерпретатор может справиться со спайками, ограниченным аляйсингом оператора миграции, с небольшими ошибками в скоростях, и рассеянным шумом, который может привести к появлению футпринта, и со случайным шумом с помощью полосовой,  $k_x$ - $k_y$ , и структурно-ориентированной фильтрации. Напротив, существенные скоростные ошибки приведут к перекрытию отражений, которое приводит к неоднородности и интерференционным артефактам, которые могут подавить соответствующие оси синфазности, связанные с геологией. Кратные волны приводят к похожим сильным артефактам. Наш опыт состоял в том, что, если отражения очень неоднозначны, поскольку они обычно подсолевые, то атрибуты имеют ограниченное значение. В то время как интерпретатор может играть решающую роль в идентификации главных отражений и оценке скоростей через интегрирование управлением скважинными данными и геологическими моделями, принимая решение о необходимости отправки обратно обработчикам данных до суммирования.

Marfurt и др. (1998) продемонстрировал использование точного трехмерного фильтра падения для удаления наклонных искажений. Несмотря на то, что отфильтрованные данные

выглядят чище и получающиеся атрибуты более непрерывны, всегда есть опасность удаления сигнала, и таким образом применение такого фильтра может быть нежелательно для случаев, где целью является картирование трещин или других тонких неоднородностей. Gulunay и др. (1993) и Linville и Meek (1995) разработали фильтры падения, которые сначала оценивают падение наиболее когерентного шума, а затем вычитают его методом наименьших квадратов из данных. Done (1999) использовал фильтр главной компоненты, чтобы достигнуть того же самого результата. Fomel (2002) использовал фильтр предсказания ошибок, чтобы разработать деструктор плоской волны, чтобы уменьшить аляйсинговые искажения. Понятно, что существует тесная связь между геометрическими атрибутами и расчетом и вычитанием когерентного шума. Критерием для успешного применения этих фильтров на мигрированных данных является избегание сглаживания разрывных нарушений и других неоднородностей.

Мы начнем наше обсуждение с обзора альтернативных способов подавления случайного шума на наших мигрированных разрезах наиболее многообещающими методами структурно-ориентированной фильтрации. Далее мы рассмотрим футпринт съемки, который может быть случайным во временной области и высокоррелированным с геометрией расстановки в пространственной области. После подготовки данных мы оценим применение альтернативных алгоритмов как для расчета согласованности, так и для расчета кривизны. На каждом этапе мы покажем влияние этих фильтров и выбора алгоритма на данные, полученные в провинции Alberta в Канаде. В заключении мы обобщим ограничения и рекомендации того, как опытный интерпретатор может подавить различные виды шума на мигрированных данных, а так же какие типы шума требуют дополнительной обработки до суммирования.

<sup>1</sup> Arcis Corporation, 2600, 111-5<sup>th</sup> Avenue SW, Calgary, Alberta, Canada T2P 3Y6.

<sup>2</sup> ConocoPhillips School of Geology and Geophysics, University of Oklahoma, 100 East Boyd Street, Norman, OK 73019, USA.

\*Corresponding author, E-mail: schopra@arcis.com

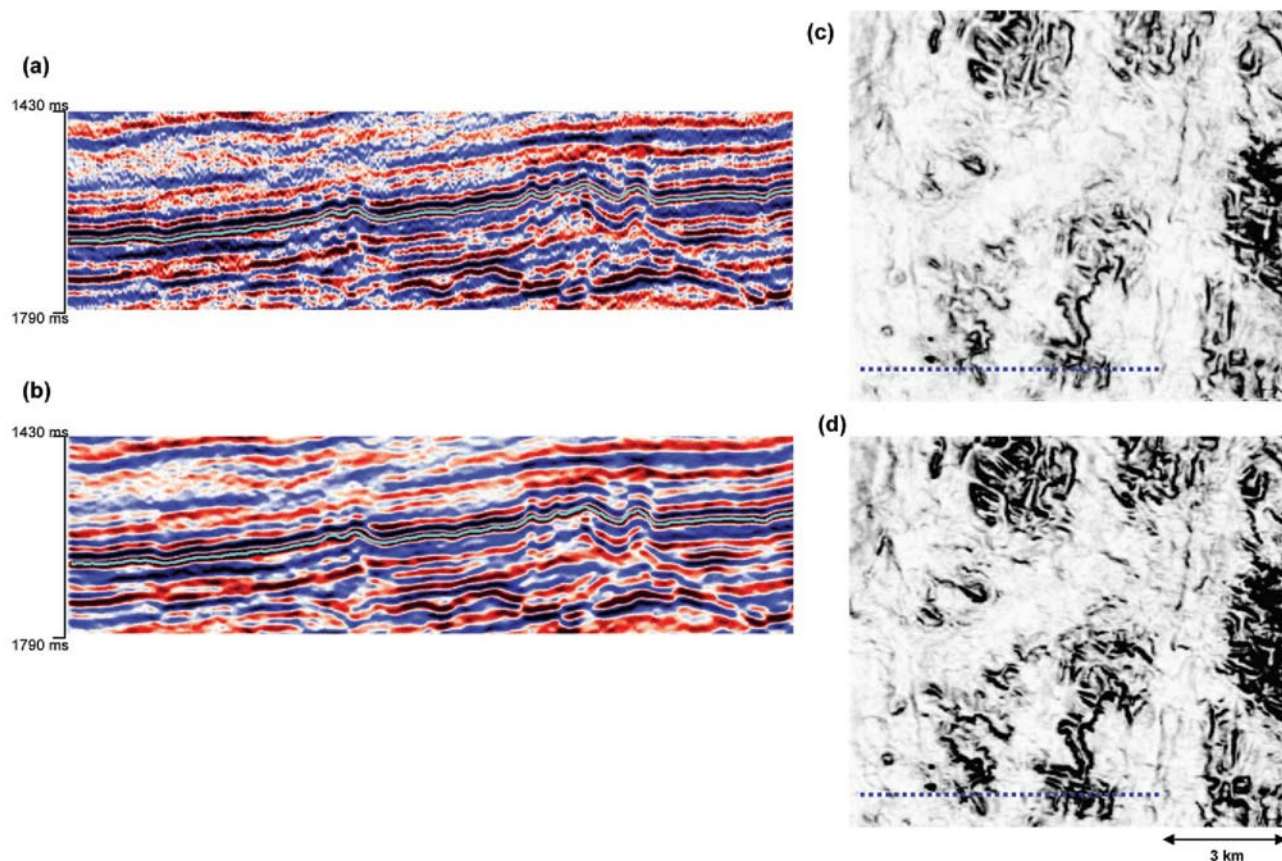


Иллюстрация 1 Часть сейсмического профиля (a) до и (b) после применения 3 x 3 медианных фильтра с управлением наклоном. Слайсы по горизонту через куб когерентности, выполненные на (c) входных сейсмических данных, и (d) данных отфильтрованных медианным фильтром, на 76 мс ниже горизонта, подсвеченного на (a) и (b) (данные любезно предоставлены Arcis Corporation, Калгару).

### Подавление случайного шума

Для подавления случайного шума в обработке чаще всего используются осредняющие, *alpha-trimmed* осредняющие, и медианные фильтры. Наиболее подходящим будет осредняющий или медианный фильтр с управлением наклоном, который увеличивает прослеживаемость латерально-протяженных фаз путем подавления случайно-распределенного шума без нанесения вреда особенностям отражений от структур. Фильтр собирает отсчеты внутри выбранного окна вдоль локального наклона и азимута и заменяет значение амплитуды центрального отсчета медианным значением амплитуды. Медианный фильтр так же можно применять итеративно, подавляя случайный шум с каждой успешной итерацией, но высокочастотную геологическую составляющую среды это увеличит незначительно. На иллюстрации 1 изображена часть сейсмического разреза до (Иллюстрация 1a) и после (Иллюстрация 1b) применения медианного 3 x 3 фильтра. Обратите внимание на более чистый фон и сфокусированные амплитуды сейсмических отражений после медианной фильтрации. Атрибуты рассчитанные на данных после медианной фильтрации показывают особенности и фон более четко. Иллюстрация 1c и 1d показывает горизонтальные срезы на кубе

когерентности до и после медианной фильтрации. Фоновый шум стал меньше, некоторые особенности стали более разборчивыми. Неоднородные слабокогерентные особенности соответствуют девонским рифам, проявляющимся в увеличенных фазах, на что указывают почти вертикальные промежутки между этими осями синфазности.

### Структурно-ориентированная фильтрация

Несмотря на то, что осредняющие и медианные фильтры с управлением наклоном, а так же *alpha-trimmed* осредняющие фильтры работают на данных, они также могут «размазать» информацию о разрывах, а так же незначительно снизить частотный состав данных. Hoescker и Fehmers (2002) решили эту проблему, используя сглаживающий алгоритм «анизотропного рассеивания».

«Рассеивание» предполагает, что фильтр применяется итеративно столько раз, сколько интерпретатор захочет применить к карте изохрон итеративное сглаживание. Наиболее важно то, что сглаживание не будет работать при наличии неоднородности, тем самым сохраняя вид главных разрывных нарушений и стратиграфических границ. Luo и др. (2002) предложили конкурентоспособный метод,

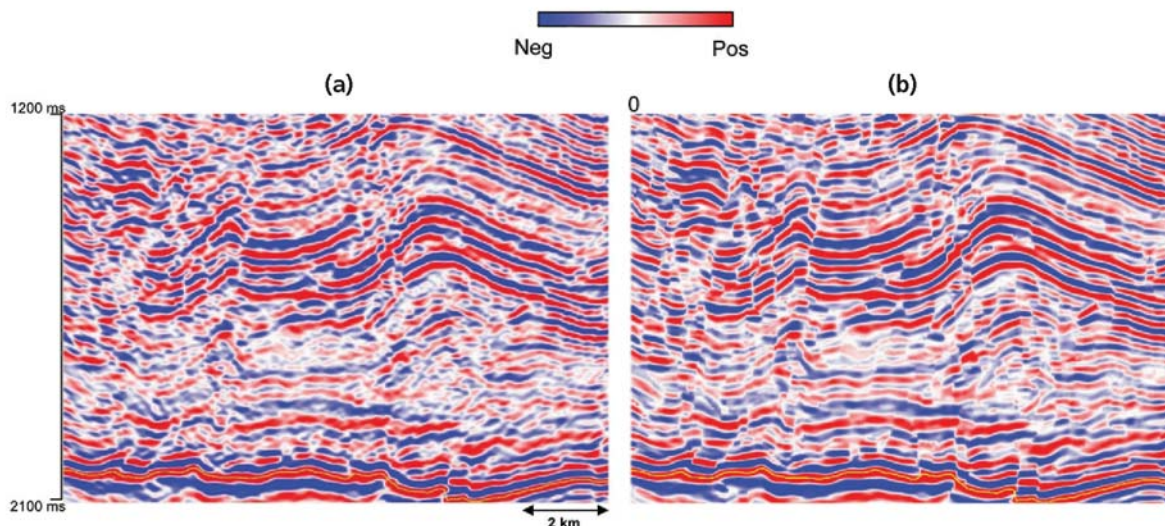


Иллюстрация 2 Сейсмические данные (a) до и (b) после структурно-ориентированной фильтрации (данные предоставлены Olympic Seismic, Calgary).

который использует многооконный (Kuwahara) фильтр для решения тех же проблем. Оба подхода используют осредняющий и медианный фильтр, применяемый к данным внутри окнадвигающегося вниз на один отсчет. Marfurt (2006) описал мультиоконный (Kuwahara) *pc* фильтр главной компоненты, который использует маленький объем данных, чтобы вычислить форму волны, которая лучше всего отображает сейсмические данные в

пространственном окне. Обработчикам *pc* фильтр может быть знаком как эквивалентный Karhunen-Loève (KL) фильтр. Иллюстрация 2 показывает сравнение разреза до и после *pc* фильтрации на сейсмическом наборе данных от Альберты. Обратите внимание не только на в общем более чистый вид разреза после *pc* фильтрации, но также и увеличения четкости вертикальных разломов. Фильтр был применен итерационно три раза так, что конечный

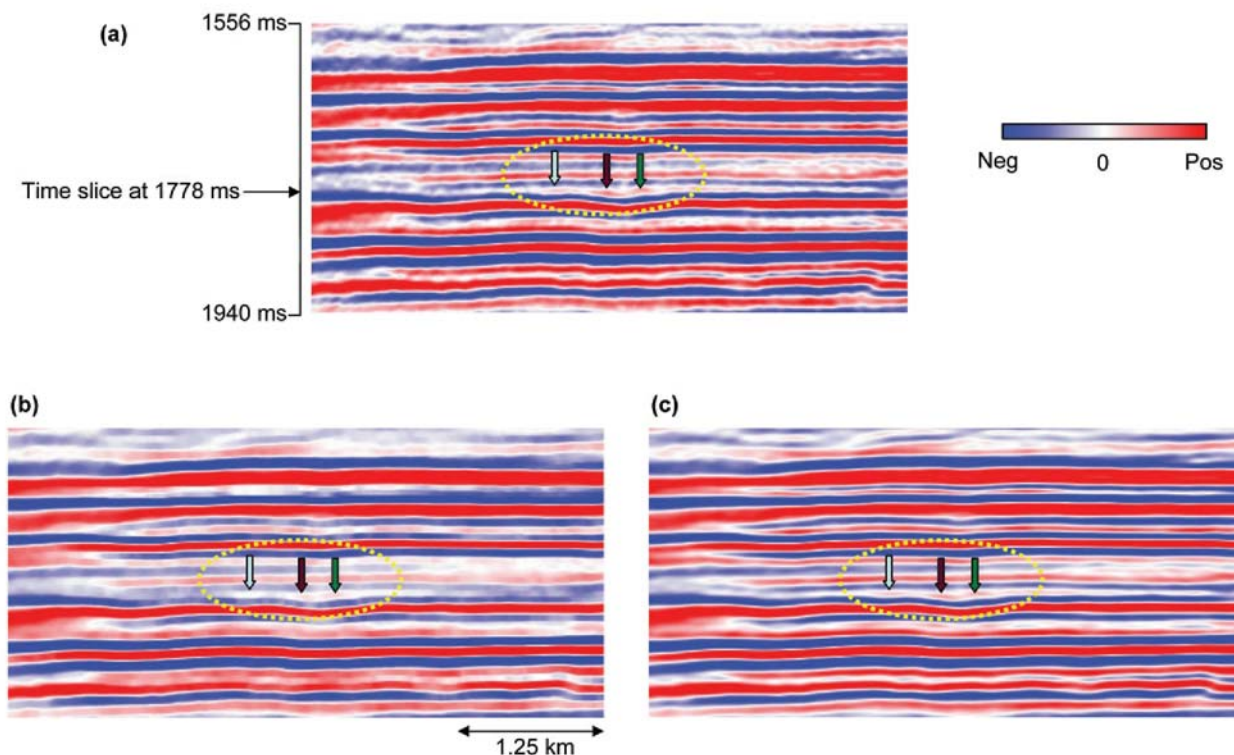


Иллюстрация 3 Части сейсмических профилей на (a), входных данных, (b) входных данных прошедших через 3 x 3 медианный фильтр с управлением наклоном, и (c) входных данных после фильтрации *pc*. Обратите внимание, что уровень амплитуд в подсвеченных зонах несколько уменьшены после медианной фильтрации, но остаются неизменными после фильтрации *pc*. (данные предоставлены Arcis Corporation, Калгари).

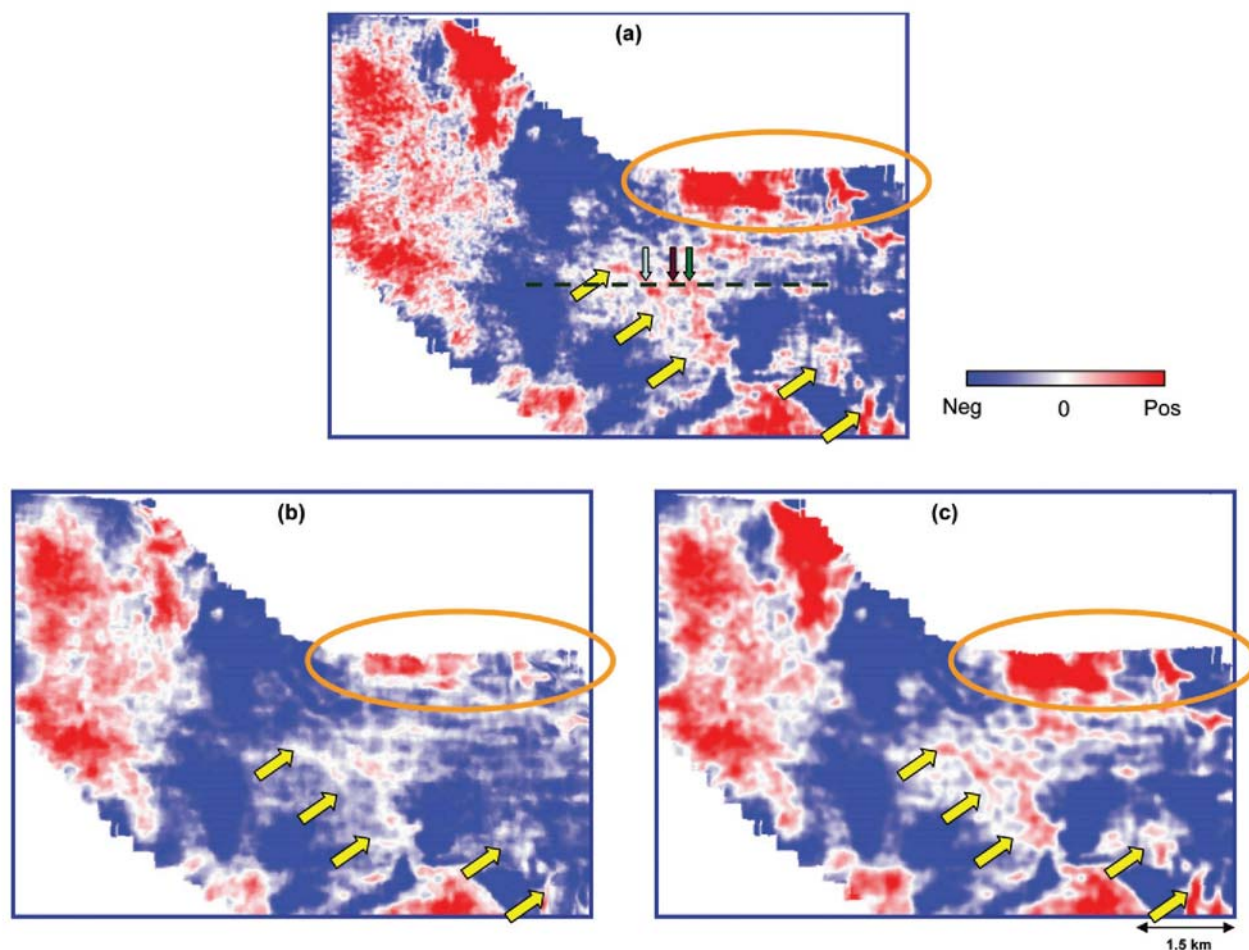


Иллюстрация 4 Временные слайсы на 1778 мс через (а) сейсмические данные (b) сейсмические данные (а), подвергнутым 3 x 3 медианной фильтрации с управлением наклоном, и (с) сейсмические данные (а), подвергнутые фильтрации рс. (данные предоставлены Arcis Corporation, Калгару).

конечный результат зависит от 49 соседних трасс.

Иллюстрации 2а и б используют 99 перекрывающихся окон, каждое из которых состоит из 9 трасс по 11 отсчетов ( $\pm 10$  мс), параллельно наклону/азимуту в центре каждого окна. Потом мы применяем наш рс фильтр к точке анализа используя окно, которое содержит наиболее согласованные данные. Поскольку он использует больше данных (в нашем случае в 11 раз больше), рс фильтр в общем дает значительно лучшие результаты, чем соответствующие медианные и осредняющие фильтры. Обратите внимание на более резкие сдвиговые нарушения а также на общее снижение уровня фонового шума. На иллюстрации 3 изображены части сейсмических разрезов: входные данные (иллюстрация 3а), данные, отфильтрованные 3 x 3 медианным фильтром с управлением наклоном, которого во многих случаях достаточно (иллюстрация 3б), и данные, отфильтрованные 9-точечным рс фильтром с управлением наклоном (Иллюстрация 3с). Обратите внимание, что уровень амплитуды в выделенных областях несколько уменьшился после медианной фильтрации и остался

неизменным после рс фильтрации.

На иллюстрации 4 изображено сравнение временных срезов с тех же наборов данных: входные данные (Иллюстрация 4а), данные, отфильтрованные 3 x 3 медианым фильтром с управлением наклоном (иллюстрация 4б), и данные, отфильтрованные 9-точечным рс фильтром с управлением наклоном (Иллюстрация 4с). Обратите внимание, что на выделенных областях рс фильтр прослеживает особенности более точно, чем медианный фильтр. Желтыми стрелками в окне, отфильтрованном рс фильтром красным обозначена область, аналогичная области на входных данных, однако в результате медианной фильтрации мы наблюдаем ослабление амплитуд в указанной области. На Иллюстрации 5 изображено сравнение срезов вдоль фантомного горизонта расположенного на 66 мс над маркирующим горизонтом. Снова обратите внимание на выделенные эллипсами и трапециями области, где указано стрелками, что на экране рс фильтрации особенности выглядят аналогично входным данным но более сфокусировано. Результат медианной фильтрации

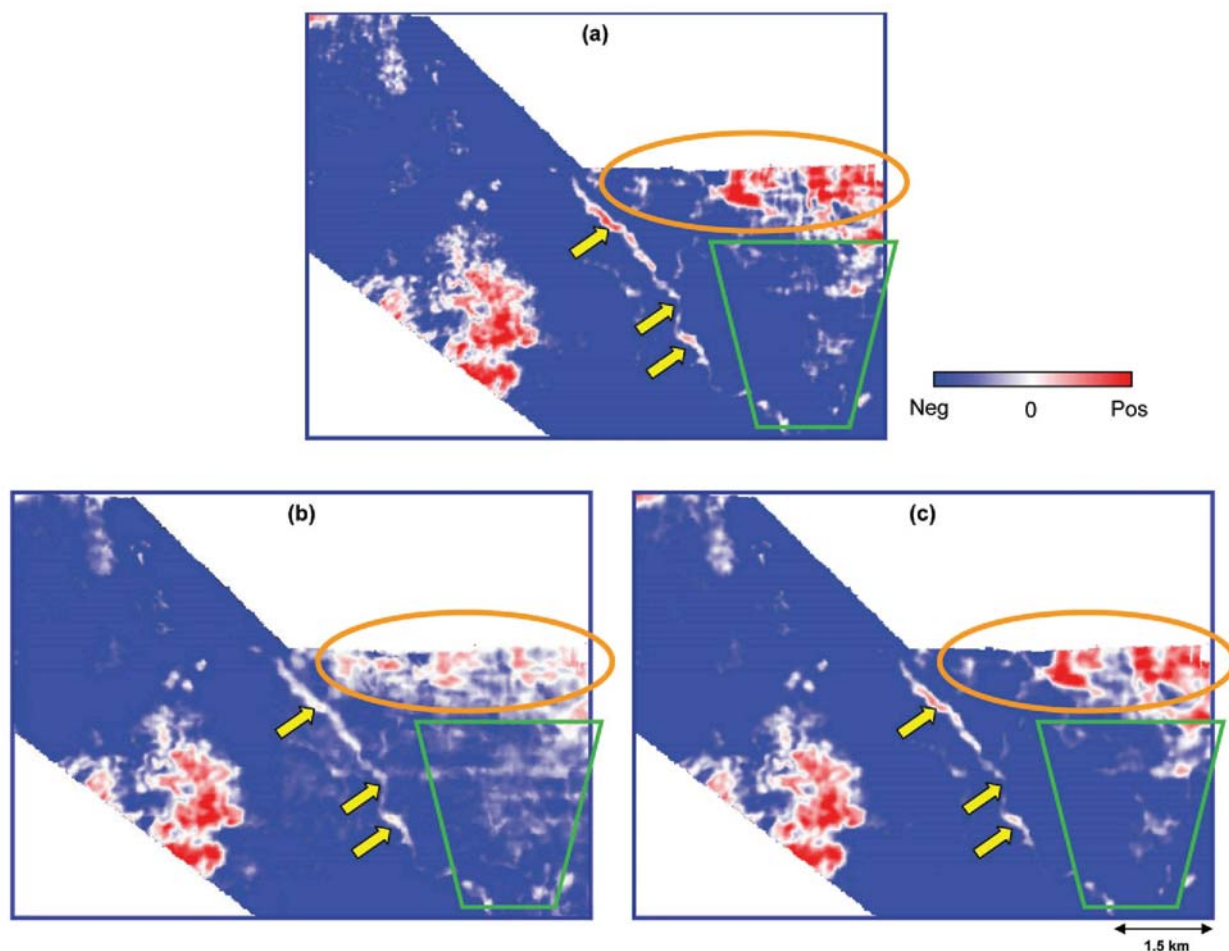


Иллюстрация 5 Слайсы по горизонту на 66 мс ниже горизонтального маркера через (а) входные сейсмические данные, (b) входной входные сейсмические данные, подвергнутые 5 x 5 медианной фильтрации с управлением наклоном, и (c) сейсмические данные (а), подвергнутые фильтрации рс. (данные предоставлены Arcis Corporation, Калгари).

выглядит несколько иначе и в общем неприемлемо. Очевидно улучшение фокусировки и уменьшение уровня фонового шума после структурно-ориентированной фильтрации.

Мы полагаем, что у обнадеженного читателя нет в сейсмических данных таких вещей как «серебряная пуля». Если данные зашумлены высокоамплитудными спайками, то медианная, осредняющая alpha-trim или любая другая нелинейная фильтрация даст прекрасные результаты. Аналогично, в то время как рс фильтр сохраняет амплитудные вариации в когерентном сигнале, он может усугубить амплитудные ошибки, связанные с футпринтом съемки, а осредняющий фильтр их сгладит. Структурно-ориентированная фильтрация также может усугубить проблему разрывных нарушений, что может быть должным образом решено глубинной миграцией.

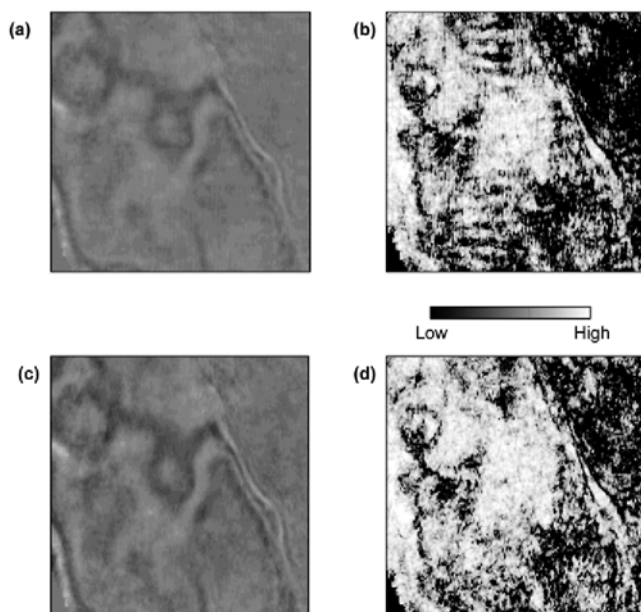
#### Подавление футпринта расстановки

Футпринт расстановки - это термин, который мы используем для определения линейной пространственной сетки, хорошо различимой на временных слайсах 3D данных сейсморазведки. Эти отпечатки обычно видны на временных срезах и

амплитудных картах горизонтов на малых временах как полосы, заглушающие реальные амплитудные аномалии и мешающие их рассмотрению для стратиграфической интерпретации, AVO анализа и изучения атрибутов резервуара (Marfurt и др., 1998). Футпринт расстановки может появляться по разным причинам, однако может быть выделено два общих типа: зависящий от геометрии съемки и возникающий вследствие проблем обработки (Drummond и др., 2000).

Выбор любой геометрии съемки может быть описан характерным распределением кратности, выносов и азимутов. За исключением некоторых вариаций в переходной зоне кратность для наиболее распространенных расстановок одинакова для всех бинов. Однако распределение выносов и азимутов может меняться от бина к бину или может быть одинаковым в направлении инлайн и непостоянным в направлении кросс-лайн.

Такие вариации могут вести к нежелательным эффектам в отраженном сигнале. Такие вариации могут возникать вследствие отклонений от регулярной геометрии, таких как недоступные места в рамках 3D съемки вроде населенных пунктов или энергетических



**Иллюстрация 6** Временные срезы на 1316 мс через (а) сейсмический куб данных и (б) соответствующий куб когерентности. (с) Временной слайс, эквивалентный сейсмическому разрезу на (а) сейсмическом кубе, подвергнутому фильтрации футпринта, и (д) эквивалентному срезу на кубе когерентности, полученному после фильтрации (с).

станции. Другим примером влияния на распределение выносов и азимутов являются некорректная работа регистрирующей системы, а так же азимутально-несимметричный отклик групп приемников, подавляющих шум в направлении инлайн, но пропускающих в направлении кросс-лайн. При морской съемке такими примерами могут быть влияние кабеля или недострел в недоступных областях.

Очень часто соображения экономии приводят к грубой дискретизации, что тоже может вызвать артефакты во время обработки. Грубая пространственная дискретизация ведет к аляйсингу, который, в случае, например, круто наклоненного шума (поверхностная волна или кратные волны) так же ведет к возникновению

артефактов. Такой шум может быть усилен в процессе обработки проявляться на суммированных данных как пространственно периодические волны, формирующие футпринт расстановки. Другими процессами, ведущими к усилению футпринтов, являются: остаточная NMO вследствие некорректных используемых скоростей; систематические ошибки в рассчитанных выносах или амплитудные вариации, вызванные неадекватным заданием 3D DMO (Walker и др., 1995; Budd и др., 1995); 3D миграция до суммирования; повышение уровня сигнала вследствие  $f$ - $x$ -у подавления случайного шума; когерентная фильтрация (Moldoveanu и др., 1999).

Независимо от того, возник ли футпринт расстановки вследствие дизайна съемки или в ходе обработки он является проблемой для интерпретатора. Обычно для предотвращения усиления футпринта прикладываются усилия в ходе обработки, чаще всего путем адаптации интерполяции и экстраполяции для исправления «разреженности» входных данных до применения многоканальной обработки. Если интерполяция вычислительно невозможна, мы можем прибегнуть к смешиванию трасс, что приведет к минимизации эффекта футпринта, но с риском уменьшить горизонтальную разрешающую способность. Gulunay (1999) обнаружил, что фильтрация в области волновых чисел, основанная на дизайне съемки, обычно работает. Аналогичный метод фильтрации для неортогональных расстановок был предложен Soubras (2001).

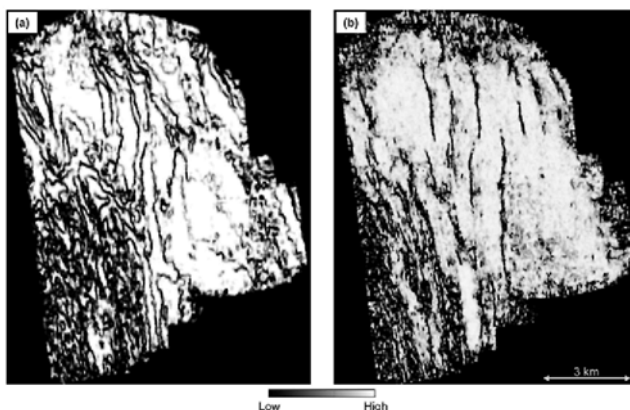
Просматривая данные сейсморазведки, а так же соответствующие срезы, интерпретатор может определить изменение футпринта с глубиной. На иллюстрации 6 изображен временной слайс на 1316 мс, где футпринт расстановки хорошо выделяется на срезах когерентности как полосы в направлениях 3-В и С-Ю (иллюстрация 6б) скрывая сейсмические отражения. Срезы когерентности были преобразованы в область  $k_x$ - $k_y$  и вручную был разработан фильтр на интервале 100 мс. Интерполяция между этими фильтрами дает один  $k_x$ - $k_y$  фильтр на каждый временной срез, и эти фильтры были применены к исходным данным. Эквивалентные срезы с куба когерентности, полученные после  $k_x$ - $k_y$  фильтрации показывают улучшенное качество данных, что приводит к более уверенной интерпретации.

Chopra и Larsen (2000) предложили подобный подход работы с футпринтами, который заключается в анализе футпринт-содержащих мигрированных после суммирования данных, слайс за слайсом в области  $k_x$ - $k_y$  волновых чисел.

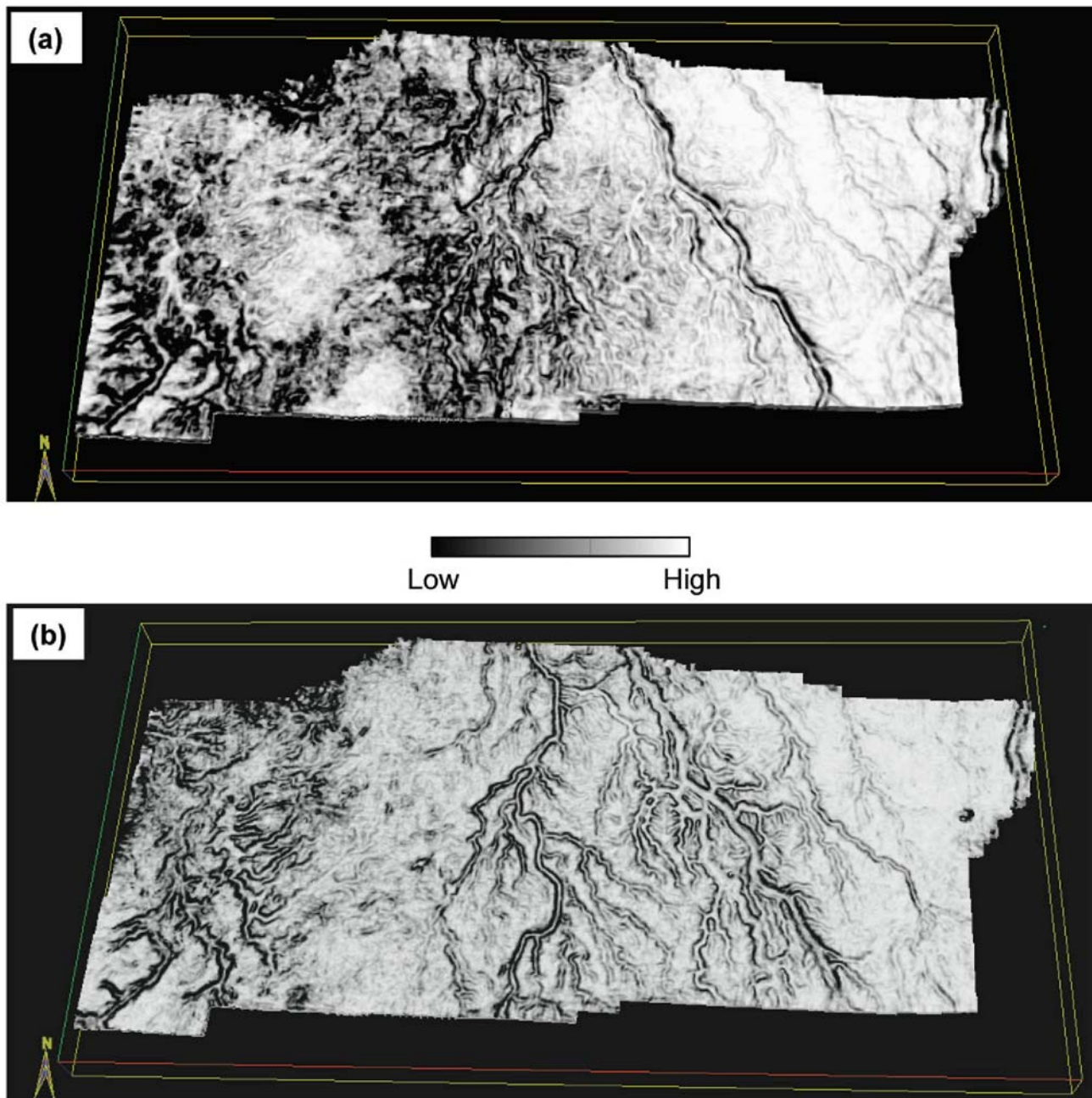
### Применение алгоритма

*Управление наклоном в ходе расчета геометрических атрибутов*

Оценка когерентности обычно делается из предположения о горизонтальности осей синфазности, то есть без учета наклонов границ. Для данных с наклонными отражающими границами это ведет к заведомо ложным результатам. Поскольку согласованные алгоритмы основаны на подобию, степени отклонения или на разложении по собственным векторам, что обычно



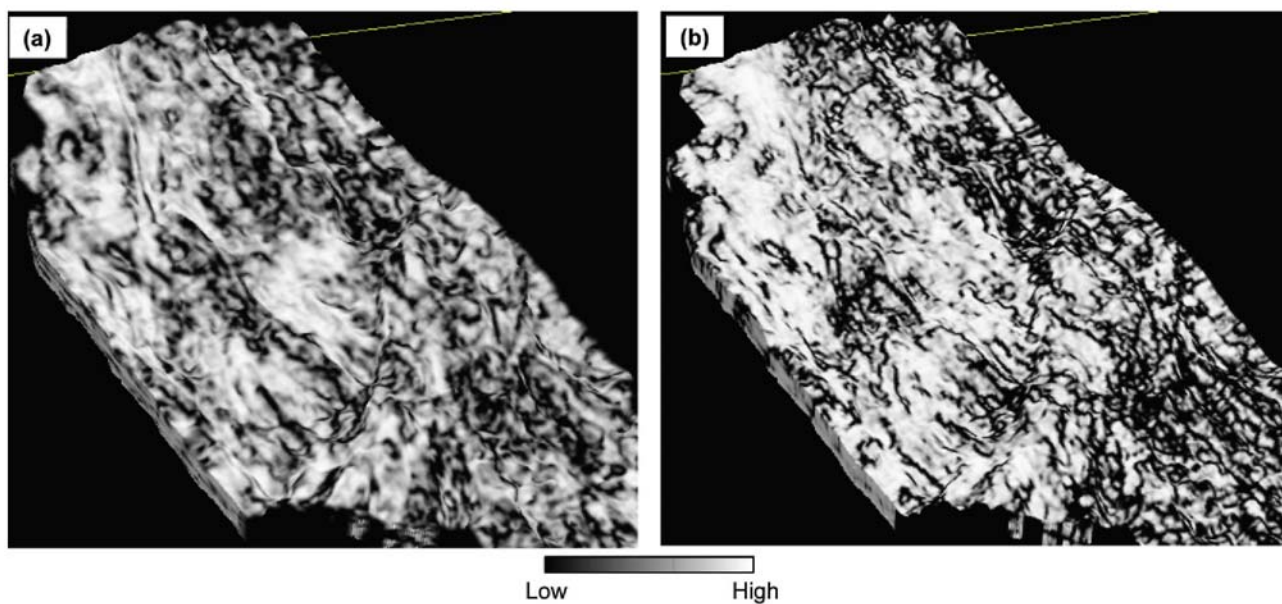
**Иллюстрация 7** Временные срезы на кубе когерентности, вычисленные (а) без и (б) с управлением наклоном (данные предоставлены Olympic Seismic, Калгари).



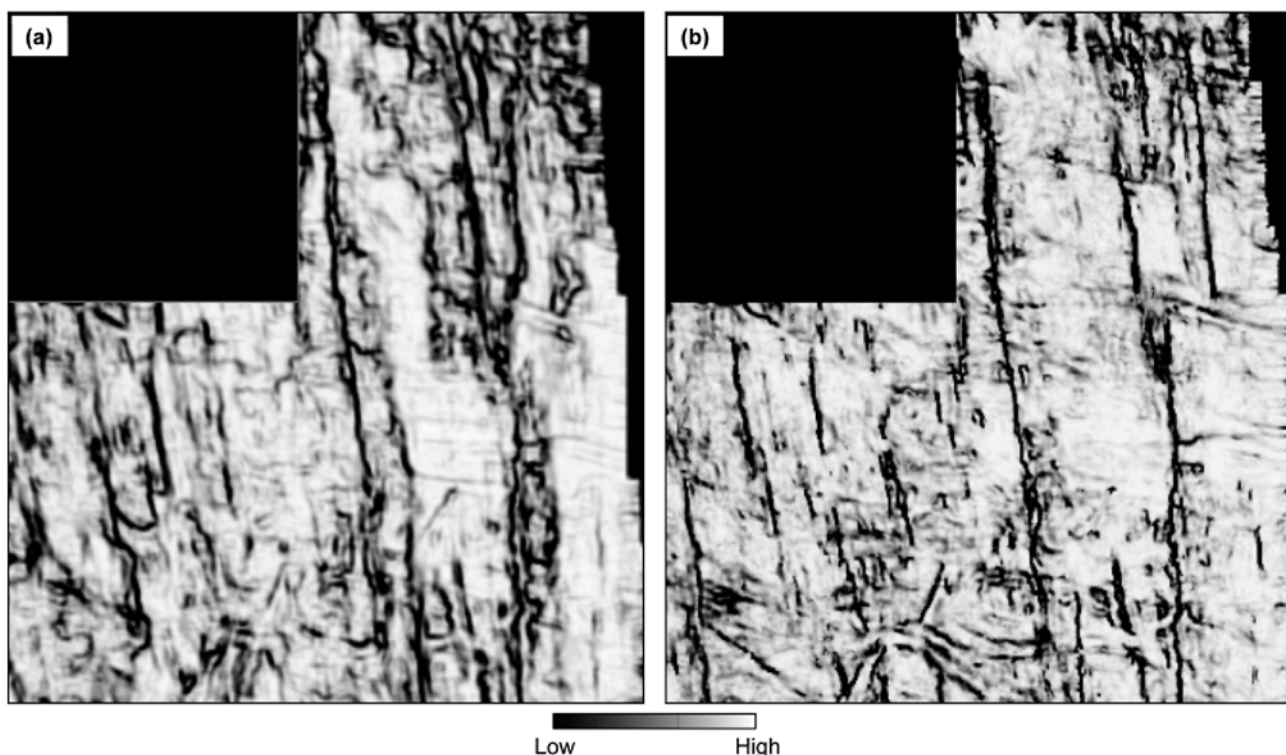
**Иллюстрация 8** Слайс горизонта через (а) куб когерентности полученный, используя алгоритм подобия непосредственно на входных данных, и (б) кубе когерентности, полученном, используя когерентный алгоритм отношения энергии на данных после фильтрации рс. (данные предоставлены Arcis Corporation, Калгари).

включает много трасс вокруг желаемой точки, то первым шагом должен быть расчет наклонов и азимутов отражающих границ. Как подобие, так и степень отклонения дают оценку когерентности сейсмических данных и на сегодняшний день предлагаются как опция на коммерческих рабочих станциях для интерпретации. В целях вычислительной эффективности наклонно-управляемые алгоритмы либо не предоставляются, либо недостаточно устойчивы, чтобы оперировать точностью расчетов. Хороший поток будет вовлекать прямой поиск объемного наклона и азимута до, или как часть расчета когерентности. Это приведет в 50-200 раз более

длительный расчет, чем для ненаклонного случая. Подобные расчеты обычно осуществляются на кластерах в центрах обработки. В этом случае интерпретатор загружает уже рассчитанные данные когерентности, которые включают дельные поиски объемных наклонов и азимутов и далее получает либо временные срезы, либо срезы вдоль горизонтов. Когерентные алгоритмы, основанные на градиентном структурном тензоре (Randen и др., 2002), такие как хаотичность и связанные с ней атрибуты, осуществляют поиск сходства вдоль структурных склонов, однако их окно анализа обычно ориентировано вдоль оси направления съемки и оси



**Иллюстрация 9** Слайсы горизонта на (a) кубе когерентности, полученном, используя алгоритм подобия непосредственно на входных данных, и (b) кубе когерентности, полученном, используя когерентный алгоритм отношения энергии на данных после фильтрации ps.

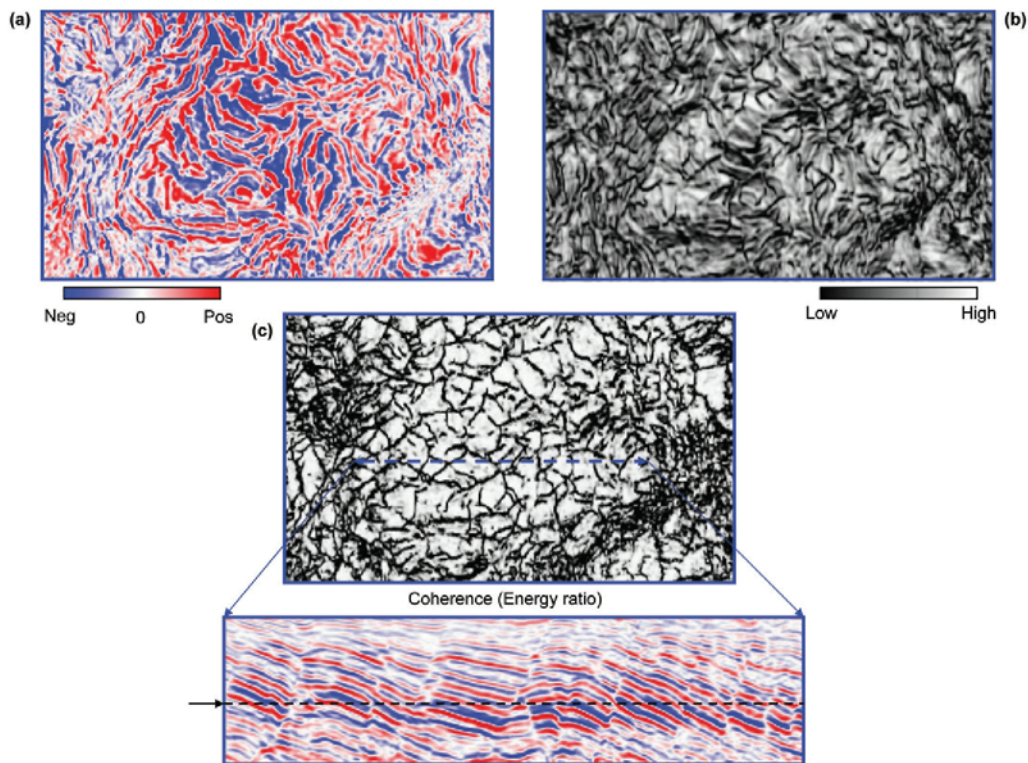


**Иллюстрация 10** Временные слайсы на (a) кубе когерентности, полученном, используя алгоритм подобия непосредственно на входных данных, и (b) кубе когерентности, полученном, используя когерентный алгоритм отношения энергии на данных после фильтрации ps.

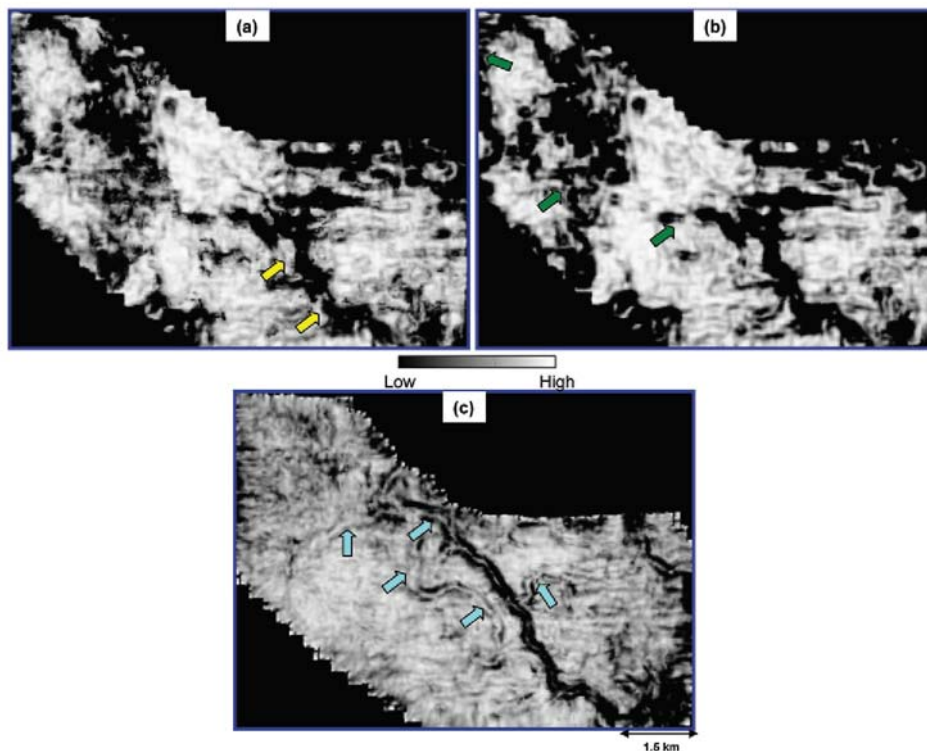
времени.

На иллюстрации 7 изображены временные срезы на двух различных кубах когерентности. Слева срез с куба когерентности, рассчитанного без учета углов залегания. Обратите внимание на артефакты (иногда называемые

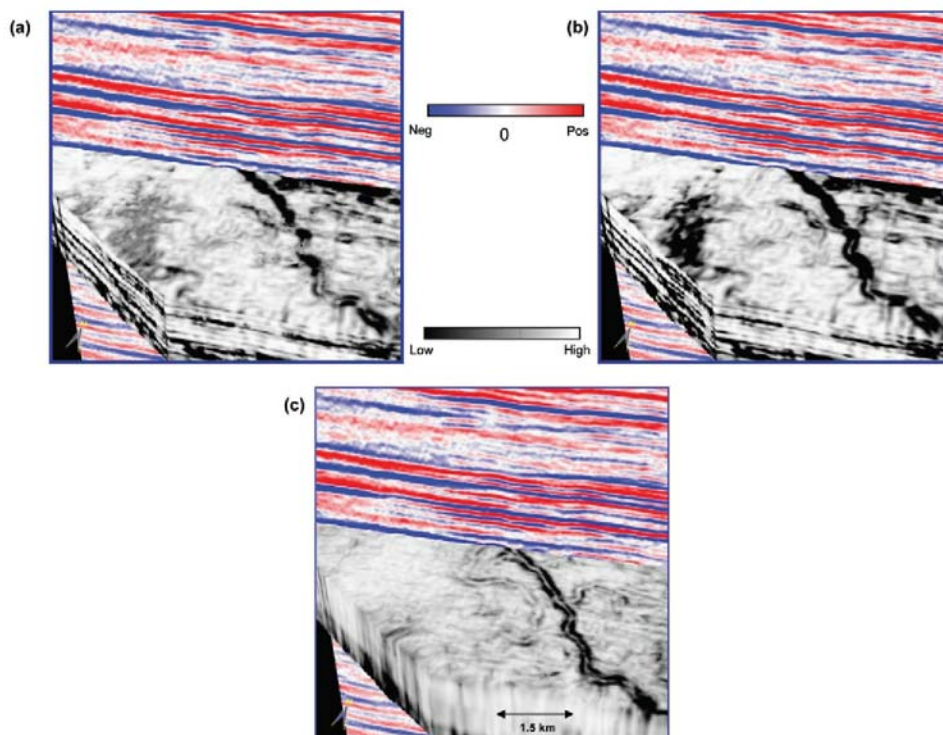
структурными утечками) повторяющими контуры структур, что усложняет интерпретацию. Справа тот же срез показан после корректного расчета когерентности для ненулевого наклона/азимута. Мы хорошо различаем



**Иллюстрация 11** Временные слайсы на 1240 (а) сейсмическую амплитуду, (б) куб когерентности, и (с) основание куба когерентности отношения энергий на данных из Северного моря. Основание помогает коррелировать разломные нарушения с формой волны (данные предоставлены Oilxco, Калгари).



**Иллюстрация 12** Временные слайсы через (а) когерентность, полученную используя алгоритм подобия непосредственно на входных сейсмических данных, (б) когерентность, полученных используя алгоритм подобия на входных сейсмических данных после медианной фильтрации, (с) когерентность, полученная, используя когерентный алгоритм отношения энергии на данных после фильтрации рс (данные предоставлены Arcis Corporation, Калгари).



**Иллюстрация 13** Корреляция разреза инлайн со слайсом по горизонту на 66 мс ниже горизонтального маркера через (а) куб когерентности, (b) куб когерентности после медианной фильтрации (с) куб когерентности отношения энергии, полученный после фильтрации рс (данные предоставлены Arcis Corporation, Калгари).

разрывные нарушения, не осложненные структурными артефактами.

В случае отсутствия надежного когерентного алгоритма с управлением наклоном интерпретатор должен сначала извлечь блок сейсмических данных о должным образом сглаженном отинтерпретированном горизонте неявно определяя наклон/азимут для каждой трассы. Далее интерпретатору необходимо рассчитать когерентность, задействуя наклонно-управляемый алгоритм на плоском блоке данных. Такая процедура даст компромиссный результат в случае, если нет маркирующего горизонта в интересующей области, и где геология не прослеживает отражения выше и ниже. Для более точного изучения параметров резервуара рекомендуется рабочий поток с надежным алгоритмом управления наклоном.

#### Выбор алгоритма

Каждый из альтернативных когерентных алгоритмов имеет определенные предположения в основе и, следовательно, имеет различные ограничения. Алгоритмы, основанные на корреляционном (Bahorich и Farmer, 1995), разложении на собственные вектора матриц ковариации, используя отношения собственного значения (Gersztenkorn и Marfurt, 1999), и тензоры структуры градиента (Randen и др., 2000), чувствительны к латеральным изменениям в форме волны, и относительно нечувствительны к латеральным изменениям в амплитуде. Luo и др. (1996, 2005) разработавшие Sobel-фильтр предпочитают атрибуты, которые, прежде всего, чувствительны к латеральным изменениям в амплитуде,

хотя очевидно форма волны не может измениться, не изменяя амплитуду ни при какой данной выборке. Возможно, обычно используемые алгоритмы основаны на любом реализации L2 (Marfurt и др., 1998) или реализации L1 подобию, или на нормализованной дисперсии, которые чувствительны к латеральным изменениям и в форме волны и в амплитуде. В этой статье мы вычисляем основанный на ковариации алгоритм, сформированный из аналитических трасс (оригинальные данные и их Гильберт преобразование). Вместо того чтобы оценивать когерентность как отношение наибольшего собственного значения к сумме всех собственных значений, мы берем отношение энергии когерентного компонента аналитической трассы к энергии оригинальной аналитической трассы. Мы вычисляем когерентный компонент аналитической трассы, проецируя оригинальные данные на первый собственный вектор матрицы ковариации (тот же самый процесс, используемый в KL-фильтрации). Дальнейшее различие в том, что вычисление выполнено на аналитических трассах, а не на реальных трассах, тем самым избегая артефактов около нулевых пересечений на реальных трассах.

Иллюстрация 8 показывает сравнение между 'традиционным подобием' слайсом по горизонту из северо-восточной Британской Колумбии, Канада и эквивалентным слайсом с куба когерентности отношения энергии с управлением наклоном, полученном на данных, отфильтрованных фильтром рс, оба вычислены с использованием простых латеральных и временных параметров. Обратите внимание на ясное определение главного канала, протекающего с севера на юг, и также

ответвляющихся каналов, особенно тех, что слева. Похожее сравнение слайсов по горизонту из северной Альберты показано на Иллюстрации 9. Снова, обратите внимание на ясность, с которой видны разрывные нарушения/трещины.

Иллюстрация 10 показывает сравнение временных слайсов на кубе подобия (без управления наклоном) и куба когерентности отношения энергии с управлением наклоном на данных, которые были подвергнуты рс-фильтрации. Обратите внимание на более четкое определение разломов и трещин на Иллюстрации 10b по сравнению с Иллюстрацией 10a.

Иллюстрация 11 изображает другое сравнение сейсмического временного среза (1240 мс) из области Северного моря с эквивалентными временными срезами с когерентного куба подобия (Рисунок 11b) и куба когерентности отношения энергии с управлением наклоном на данных, которые были подвергнуты рс-фильтрации (Рисунок 11c). Обратите внимание на четкость, с которой выделяются полигональные разломы так же как разломные зоны (обозначенные стрелками) на рисунке 11c. На рабочей станции индивидуальные полигональные разломы могут быть откоррелированы с их сейсмической сигнатурой используя опцию курсор-зависимости, как показано в нижней части Иллюстрации 11c. На иллюстрации 12a мы показываем временные слайсы на 1778 мс на кубе подобия из центральной Альберты. Обратите внимание на слабо-согласованные особенности на канале, обозначенном желтыми стрелками. Есть другие слабо-согласованные особенности, которые не так легко интерпретируются. Эквивалентный временной срез на кубе когерентности, полученном на данных после медианной фильтрации с управлением наклоном, изображен на иллюстрации 12b. Видна более четкая фокусировка интересующих слабо-согласованных осей синфазности (обозначены зелеными стрелками).

На рисунке 12c мы показываем эквивалентный срез куба когерентности отношения энергии с направленным падением на данных, которые были подвергнуты рс-фильтрации. Обратите внимание, что не только канал, простирающийся в направлении СЗ-ЮВ, хорошо различим, но и другие, более тонкие каналы (обозначены синими стрелками) также хорошо различимы. Наконец, на рисунке 13 мы показываем корреляцию слайсов горизонта от этих трех кубов когерентности на 66 мс ниже плоского маркирующего горизонта с сейсмическим разрезом в направлении инлайн. Обратите внимание, что канал простирающийся в направлении СЗ-ЮВ показывает на стартовом кубе подобия на иллюстрации 13a и b, но ясность не столь хороша как на иллюстрации 13c.

## Выводы

Мы проанализировали три важных соображения для вычисления геометрических атрибутов, используя атрибут когерентности как пример. Этими соображениями являются: (1) подготовка данных, (2) использование функции направленного падения для данных с наклонными отражениями, и (3) выбор алгоритма. Мы показываем, что Структурно-ориентированная фильтрация, выполненная на сейсмических данных, фокусирует представляющие интерес особенности и снижает фоновый шум. Атрибут когерентности, сгенерированный на таких сейсмических данных, приводит к более четким особенностям. Использование функции направленного падения при расчете когерентности приводит к более чисто выглядящим данным, которые лишены любых структурных контурных рисунков тем самым предотвращая ошибки в интерпретации. Наконец, алгоритм когерентности, основанный на методе разложения на собственные вектора матриц ковариации, названных методом отношения энергии, демонстрирует превосходящую над другими доступными алгоритмами производительность.

Следование одновременно всем трем соображениям приводит к превосходным изображениям для интерпретации и должно быть обязательным для интерпретаторов. При сегодняшнем быстро расширяющемся рынке интерактивного программного обеспечения для интерпретационных рабочих станций основанные на рабочих станциях системы интерпретации предлагают инструменты для того, чтобы создавать различные атрибуты.

За прошлое десятилетие или около того, продавцами программных продуктов поддерживается тенденция включать как можно больше интерпретационных инструментов, так, чтобы у интерпретатора был доступ ко всем им на его рабочем

столе. Однако эта статья иллюстрирует некоторые из процессов, таких как удаление футпринта, структурно-ориентированная фильтрация и устойчивый алгоритм управления наклоном, и возможно все еще лучше решать эти проблемы в центрах обработки, особенно используя некоторые сложные специализированные алгоритмы, которые разработаны для работы на кластерах, а не рабочих станциях. Наконец, опыт, который обработчики должны получить в выборе параметризации для вычисления атрибута, более легко изучать в центрах обработки. Хотя параметризация для вычисления атрибута на рабочих станциях - растущая действительность, интерпретаторы все еще должны полагаться на центры обработки для получения оптимально обработанных данных, чтобы выполнить осмысленную интерпретацию.

## Литература

- Al-Bannagi, M., Fang, K., Kelamis, P.G. and Douglass, G.S. [2005] Acquisition footprint suppression via the truncated SVD technique: case studies from Saudi Arabia. *The Leading Edge*, 24, 832-834. Budd, A.J.L., Hawkins, K., Mackewn, A.R. and Ryan, J.W. [1995] Marine geometry for optimum 3D seismic imaging. *57<sup>th</sup> EAGE Conference and Exhibition*, Expanded Abstracts, B030. Chopra, S. and Larsen, G. [2000] Acquisition footprint — its detection and removal. *CSEG Recorder*, 25(8), 16-20. Cvetkovic, M., Falconer, S., Marfurt, K.J. and Perez, S.C. [2007] 2D stationary wavelet-based acquisition footprint suppression. *77<sup>th</sup> SEG Annual Meeting*, Expanded Abstracts, 2590-2593. Done, W.J. [1999] Removal of interference patterns in seismic gathers. In: Kirlin, R.L. and Done, W.J. (Eds.), *Covariance Analysis for Seismic Signal Processing*. SEG, Tulsa, Geophysical Developments 8, 185-225. Drummond, J.M., Budd, A.J.L. and Ryan, J.W. [2000] Adapting to noisy 3D data — attenuating the acquisition footprint. *70<sup>th</sup> SEG Annual Meeting*, Expanded Abstracts, 9-12. Fomel, S. [2002] Application of plane-wave destruction filters. *Geophysics*, 67, 1946-1960. Gersztenkom, A., and Marfurt, K.J. [1999] Eigenstructure based coherence computations as an aid to 3-D structural and stratigraphic mapping. *Geophysics*, 64, 1468-1479. Gulunay, N., Sudhaker, V., Gerrard, C. and Monk, D. [1993] Prediction filtering for 3-D poststack data. *63<sup>rd</sup> SEG Annual Meeting*, Expanded Abstracts, 1183-1186. Gulunay, N. [1999] Acquisition geometry footprints removal. *69<sup>th</sup> SEG Annual Meeting*, Expanded Abstracts, 637-640. Hoecker, C. and Fehmers, G. [2002] Fast structural interpretation with structure-oriented filtering. *The Leading Edge*, 21, 238-243. Jervis, M. [2006] Edge preserving filtering on 3D seismic data using complex wavelet transforms. *76<sup>th</sup> SEG Annual Meeting*, Expanded Abstracts, 2872-2876. Linville, A.F. and Meek, R.A. [1995] A procedure for optimally removing localized coherent noise. *Geophysics*, 60, 191—203. Luo, Y., Higgs, W.G. and Kowalik, W.S. [1996] Edge detection and stratigraphic analysis using 3-D seismic data. *66<sup>th</sup> SEG Annual Meeting*, Expanded Abstracts, 324-327. Luo, Y., al-Dossary, S. and Alfaraj, M. [2002] Edge-preserving smoothing and applications. *The Leading Edge*, 21, 136-158. Marfurt, K.J., Kirlin, R.L., Farmer, S.L. and Bahorich, M.S. [1998] 3-D seismic attributes using a semblance-based coherency algorithm. *Geophysics*, 63, 1150-1165. Marfurt, K.J. [2006] Robust estimates of reflector dip and azimuth. *Geophysics*, 71, 29-40. Marfurt, K.J., Scheet, R.M., Sharp, J.A. and Harper, M.G. [1998] Suppression of the acquisition footprint for seismic sequence attribute mapping. *Geophysics*, 63, 1024-1035. Moldoveanu, N., Ronen, S. and Mitchell, S. [1999]. Footprint analysis of land and TZ acquisition geometries using synthetic data. *69<sup>th</sup> SEG Annual Meeting*, Expanded Abstracts, 641-644. Randen, T., Monsen, E., Signer, C., Abrahamsen, A., Hansen, J., Saeter, T. and Schlaf, J. [2000] Three-dimensional texture attributes for seismic data analysis. *70<sup>th</sup> SEG Annual Meeting*, Expanded Abstracts, 668-671. Soubaras, R. [2002] Attenuation of acquisition footprint for non-orthogonal 3D geometries. *72<sup>nd</sup> SEG Annual Meeting*, Expanded Abstracts, 2142-2145. Walker, C.D.T., Mackewn, A.R., Budd, A.J.L. and Ryan, J.W. [1995] Marine 3D geometry design for optimum acquisition system response. *57<sup>th</sup> EAGE Conference and Exhibition*, Expanded Abstracts, B029.

Received 8 April 2008; accepted 7 July 2008.