

# Полноволновые сейсмические измерения и обработка: требования к наземным работам

## Full-wave seismic acquisition and processing: the onshore requirement

**С. Джэйсон Крис (C. Jason Criss), Кара Кигер (Cara Kiger), Пит Максвелл (Pete Maxwell) и Джим Муссер (Jim Musser)** из Input/Output рассказывают о достижениях компании в области полноволновой сейсморазведки и о том, почему эта технология называется технологией будущего.

Очень быстро полноволновые измерения и обработка становятся новым этапом в построении сейсмических изображений. Точно так же происходило 20 лет назад, когда появилась 3D сейсмика. Но почему так необходимо изучать полноволновое изображение?

Разведочные и эксплуатационные работы становятся все сложнее, от геофизиков все точнее требуется определять характеристики пород в коллекторе, предсказывать свойства и характер движения флюидов и местоположение будущих скважин. Все это направлено на удовлетворение современных требований к сейсморазведке.

Сегодняшние допущения, присущие традиционной 3D сейсморазведке, ограничивают наши возможности построения точной модели коллектора и описания содержащихся в нем флюидов. А именно это дает максимальный экономический вклад в рентабельность разработки месторождения. Среди этих допущений можно выделить несколько основных: допущение об изотропной модели среды, допущение об ограниченности частотного диапазона, допущение о вертикальном угле подхода луча к границе и требования к шумоподавлению при полевых работах. Результатом этого стало достижение пика эффективного использования 3D съемки и ее теряющуюся способность приносить дополнительную экономическую выгоду. Это непосредственно отражается на эффективности поиска и разработке новых коллекторов при приемлемом риске. Кроме того, разведка новых запасов и разработка месторождений серьезно страдают из-за уменьшающегося экономического результата применения современных 3D технологий.

Полноволновой метод даст возможность перевести интерпретатора на более высокий уровень описания коллектора и качественного построения сейсмического изображения с помощью следующих нововведений:

- Более широкий диапазон частот, выше разрешающая способность изображений
- Более достоверные амплитуды на разрезе и AVO
- $V_p$  и  $V_s$  вместо одной  $V_p$
- Сейсмические частоты снизятся до 1-2 Hz, что позволит более точно соотносить информацию с данными каротажа
- Симметрия волновых полей на записях, без искажений, присущих современным методикам измерения и обработки
- Использование части сейсмического сигнала, ранее считавшегося шумом, в построении изображения и интерпретации (анизотропия, поверхностные волны и волны-помехи)

Использование этих преимуществ позволит интерпретатору точнее определять характеристики пород коллектора, свойства и характер движения флюидов, видеть сквозь газовые облака для установления целей бурения, устанавливать местоположение и ориентацию разломов и повысить точность заложения скважины для оптимального дренирования углеводородного пласта.

Для перехода на более высокий уровень, необходимый для качественного построения изображений, нефтяная промышленность должна отвергнуть геофизические допущения традиционной 3D сейсморазведки.

Очень важной деталью, которая показывает как обращаться с ограничениями современных 3D технологий, является правильная дискретизация полноволнового сейсмического поля. Для преодоления этого ограничения используются:

- Точные записи сейсмических сигналов всех смещений среды, включая волны-помехи
- Тщательное измерение анизотропии, амплитуд и скоростей вне зависимости от типа волны (Р или S)
- Получение должной пространственной дискретизации коллектора для заданного наклона, частоты и скорости
- Запись всей полосы частот, которая наблюдается в земле

Для использования преимуществ полноволнового изображения, нефтяной промышленности, прежде всего, необходимы технологии высокоточной векторной записи, многокомпонентные цифровые приемники и многоканальные записывающие системы, которые должны быть достаточно просты в размещении и управлении. До получения этих технологий низкая точность векторной записи и трудоемкие полевые работы делают экономический и технический успех недостижимым.

### Требования к полноволновой записи

Для проведения полноволновой записи должны выполняться, по крайней мере, шесть условий:

- Высокоточная векторная запись, многокомпонентные приемники для сохранения относительных амплитуд компонент, что даст возможность использовать направленную векторную обработку.
- Точечные источники и приемники для как можно более точного сохранения анизотропии, особенно в измерениях на дальних широко-азимутальных выносах при записи всей полосы частот сейсмических сигналов
- Точная запись и сохранение всей полосы частот, образующихся в земле. Особое внимание уделяется низким частотам.
- Глубокозалегающие целевые интервалы изучаются с помощью Р-волны, частотный диапазон которой обычно ограничен, данные обменной волны также ограничены по частоте, а высокоразрешенный анализ резервуара в большинстве случаев требует связи между амплитудой и скоростью, которой обычно нет в большинстве сейсмических данных. Кроме того, низкочастотная компонента также очень важна для восстановления сейсмического сигнала.
- Разработка широкоазимутальной 3D съемки для выявления азимутального компонента анизотропии в амплитуде и скорости
- Выносы, позволяющие регистрировать отраженный угол по крайней мере в 45°. Этот угол выходит за пределы точки, для которой предположение о двухлучном представлении скорости не обязательно верно и где уже значительно влияние вертикально ориентированной оси симметрии анизотропии.

○ Многоканальная записывающая система, способная работать с широкоазимутальными системами на дальних выносах и обладающая достаточной плотностью пунктов записи для устранения пространственного алейсинга на необходимых интервалах записи Р и С-волн.

Большое значение в полноволновой записи имеют новейшие технологии, применяемые в регистрирующей аппаратуре: высокоточные, трехкомпонентные приемники и многоканальные записывающие станции. Существенное повышение эффективности проведения работ произошло благодаря использованию технологий нового поколения в записывающих системах и точечных источниках (Tessman et al. 2004), что уменьшает стоимость работ по съемке и затраты на безопасность труда.

Для построения полноволнового сейсмического изображения требуются высокоточные, точечные, трехкомпонентные приемники такие, как VectorSeis (рисунок 1). Они дают четыре значимых преимущества по сравнению с традиционными сейсмоприемниками:

- Очень точные измерения всех колебаний в земле, приходящихся как на сейсмический сигнал, так и на шум.
- Отсутствие направленного искажения, делающее приемники идеальными для записи азимутальных вариаций сейсмических скоростей (анизотропии)
- Отсутствие внутригрупповой статик позволяет записывать высокие частоты, повышая разрешенность сейсмического сигнала.
- Простота в установке, прочность соединения с легкостью позволяют повысить эффективность полевых работ и уменьшить затраты на технику безопасности.

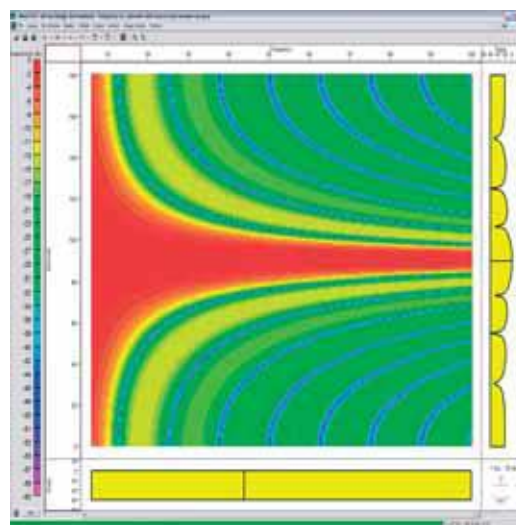
Измеряя все колебания в земле по трем взаимоперпендикулярным осям, высокоточные цифровые приемники позволяют получить информацию для обработки, которая описывает регистрируемые колебания непосредственно в момент записи. Эти датчики принимают широкую полосу частот, обладают слабым искажением и жесткой привязкой, а, следовательно, способствуют точности векторных измерений.



**Рисунок 1** Цифровой приемник VectorSeis

Новое поколение цифровых приемников MEMS (P. Maxwell et al. 2001) обладает всеми этими характеристиками.

Поскольку точечные приемники не имеют направленного искажения, они однозначно пригодны для измерения, как азимутальной, так и поперечной анизотропии сейсмических сигналов. На рисунке 2 показан сложнопостроенный эффект частотно- и азимутально-зависимого затухания для 12-канальной косы и точечного источника, в предположении, что угол подхода сейсмического луча не вертикальный. Более высокие частоты претерпевают большее затухание, которое снижает достоверность измерения анизотропии. Сигнала этих частотных компонент не восстановить: они исчезли навсегда,



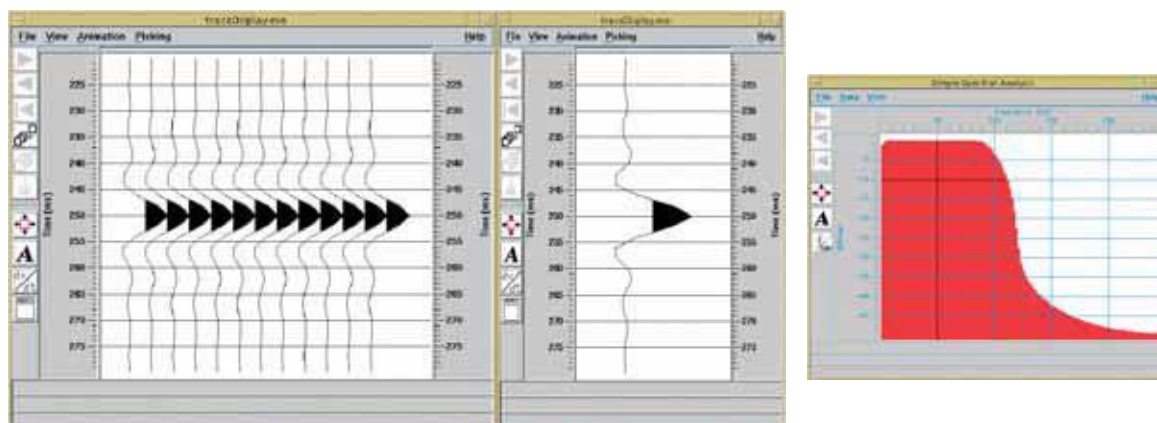
**Рисунок 2** Азимутально- частотное затухание для 12-канальной записи и точечного источника. По оси X-частота. По оси Y- азимут. Цветовая шкала означает затухание.

уменьшив полосу частот, разрешение сейсмического изображения и точность измерения анизотропии.

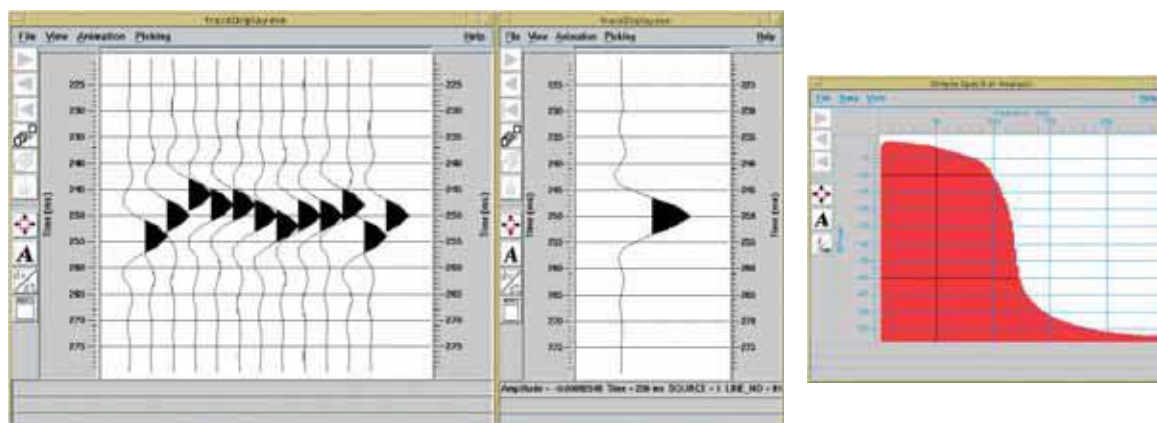
Другим преимуществом точечных источников является запись всех частот, которые существуют в земле, включая предельно низкие. Более того, из этих полос исключена внутригрупповая статика и сохранены низкие частоты, при удалении волн-помех.

Статика группы приемников действует как фильтр высоких частот на регистрируемые сейсмические сигналы, уменьшая частотный состав и разрешенность записи. Уже 2-4 мс статических подвижек для отдельного приемника могут вызвать ощутимое частотное затухание (Рисунок 3а, 3б). Точечный приемник не имеет никаких проблем с внутригрупповой статикой. В некоторых случаях при использовании такого типа приемников наблюдалось расширение спектра на 10-20 Гц в области высоких частот (рисунок 4).

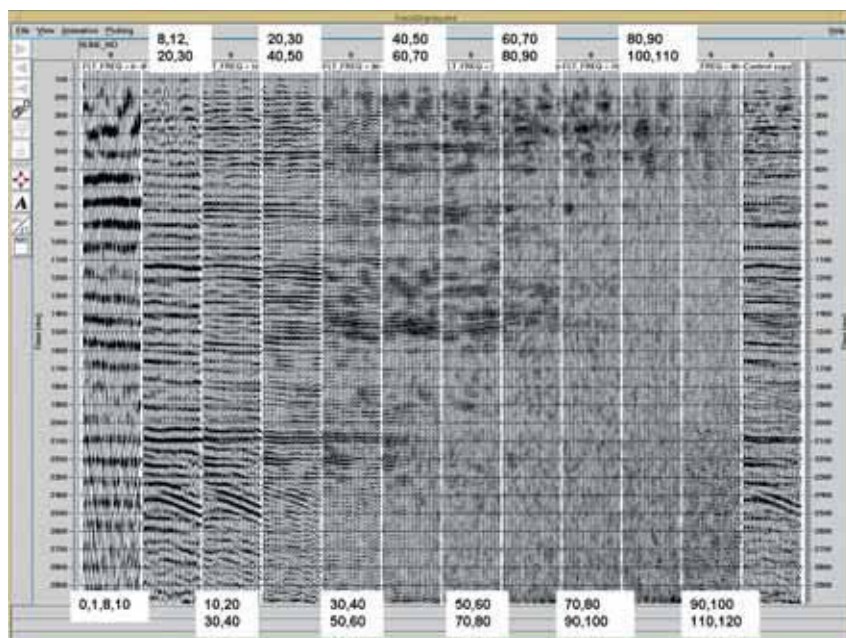
Использование точечных приемников приводит к повышению отношения сигнал/шум в регистрируемых поверхностных волнах. Методики обработки, такие как, к примеру, векторная фильтрация данных полноволновой записи, показали хорошие результаты при подавлении волн-помех при сохранении низкочастотного сигнала.



**Рисунок 3а** Синтетические сейсмотрассы, демонстрирующие эффекты частотного затухания из-за статики внутри группы – базовый случай, нет статических эффектов.



**Рисунок 3б** Синтетические сейсмотрассы, демонстрирующие эффекты частотного затухания из-за статики внутри группы – сдвиг +/- 4 мс..





## Наземная сейсморазведка

Последние достижения в построении изображений позволяют нам сохранять всю полосу частот, возвращаемую средой. К этим достижениям относятся: методика векторной обработки, метод понижения уровня когерентного шума, в котором используется векторная фильтрация, разделение объемных волн на их действительные компоненты и обработка в условиях анизотропии.

**Методика векторной фильтрации/векторной обработки**

Векторная фильтрация относится к методам понижения уровня когерентного шума, который влияет на данные полноволновой съемки. Этот метод использует различия между шумами и сигналами, записанные на каждом из трех ортогональных приемников, для подавления и изоляции нежелательного шума компоненты сейсмических сигналов. Примером такого типа подавления шума является фильтрация поверхностной волны на трассе вертикальной компоненты (Рисунок 5а, 5б).

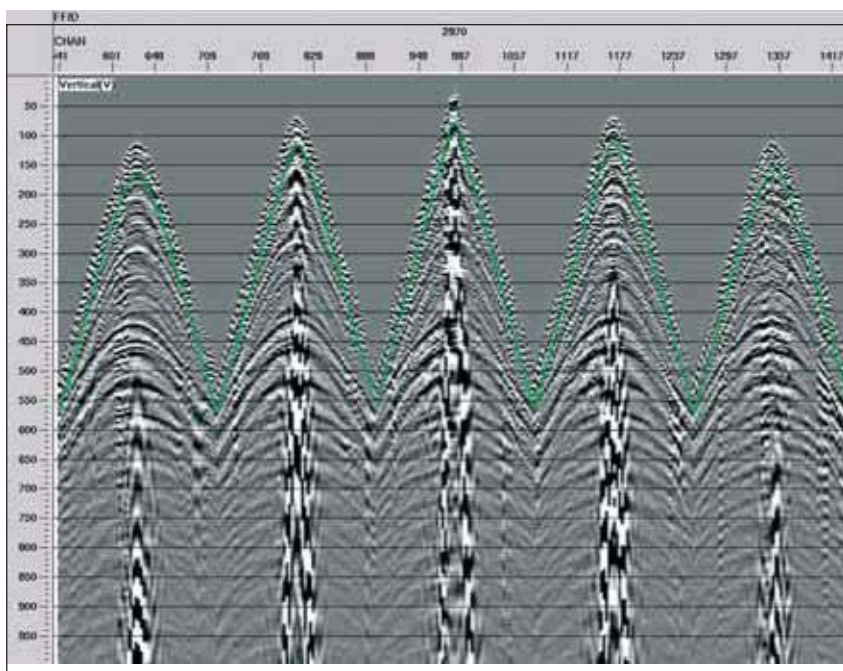
В этом случае векторная фильтрация использует вертикальные и горизонтальные пары компонентов. Предполагается, что в случае поверхностной волны вертикальная компонента содержит в себе полезный сигнал и нежелательный шум. В случае же горизонтальной компоненты предполагается, что она независима и содержит вертикальную компоненту поверхностной волны. Векторная фильтрация использует взаимокорреляционный и обратный фильтр (фильтр, сохраняющий шум и подавляющий сигнал) для выделения поверхностной волны и затем ее простого вычитания из вертикальной компоненты записи. Эта процедура основана на допущении, что поверхностная волна записывается датчиками всех компонентов, в то время как выделяемый сигнал, имеющий запись только на вертикальной компоненте, должен быть изолирован от других вертикальных колебаний земли. Этот метод имеет ряд преимуществ по сравнению с другими методами подавления поверхностной волны, которые выделяют связанный с ней шум с помощью фильтрации в F-K и других областях.

Векторная фильтрация является по-трассным методом, который не требует информации о соседних трассах для выделения шума. Это говорит о том, что в методе нет пространственного суммирования, означающего, что любое незначительное азимутальное изменение амплитуды и информация о временном сдвиге в данных, не будет суммироваться.

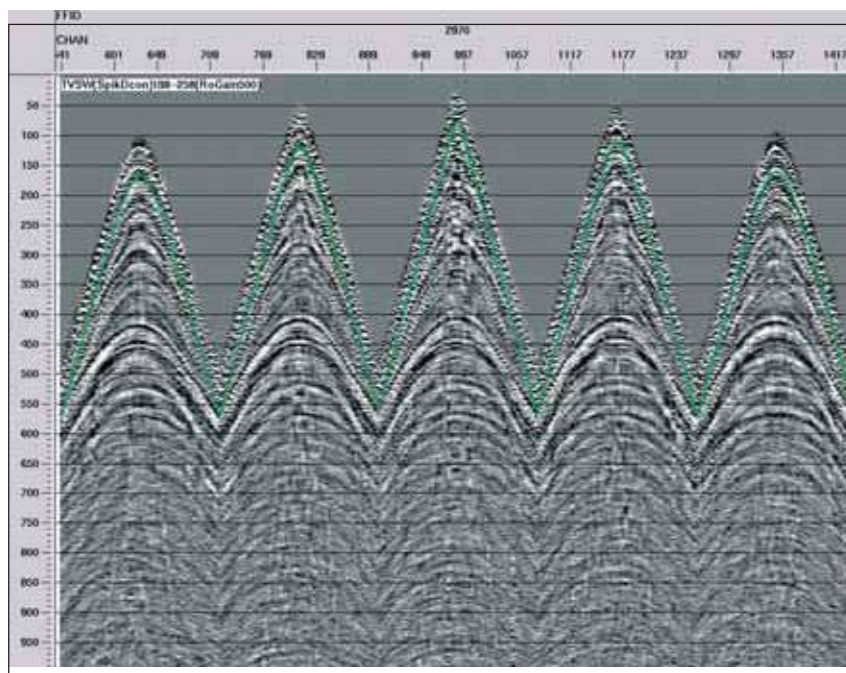
Этот метод не требует информации о геометрии, потому что он основывается на взаимосвязи между колебаниями, зарегистрированными точечным приемником. Кроме того, он идентично реагирует на шум, который был правильно дискретизирован, как и на шум, который имеет пространственные искажения. Тот положительный эффект, который ранее считался возможным только при использовании приемных расстановок, может быть получен при использовании точечных приемников и правильного применения векторной фильтрации. Основным требованием является высокоточная векторная запись.

По мере роста нашего опыта в векторной фильтрации, была доказана не только эффективность подавления поверхностной волны на вертикальной компоненте, но так же и успешность подавления волн Лява и Рэлея на горизонтальной компоненте (Рисунок 6а, 6б). Эта процедура помогла изолировать обменную волну от поверхностной и доказала успешность ее обработки.

Методы векторной фильтрации также обещают быть перспективными в решении задач подавления других типов квазикогерентных шумов таких, как шум обратного рассеяния, образующийся на приповерхностных преломляющих горизонтах и границах (геологических или топографических). Кроме того, будущие области исследования включают в себя использование пакетов разделенной поверхностной волны для его обращения в поля скоростей  $V_p/V_s$  и структуры, эта процедура не особенно успешна при использовании традиционных сейсмических данных. Выделение волн Рэлея и волн Лява, содержащихся в объемной волне, высокоточная запись вектора смещения поверхностной волны и сохранение полосы частот поверхностной волны при регистрации и обработке оправдывает еще одну попытку обращения поверхностной волны.



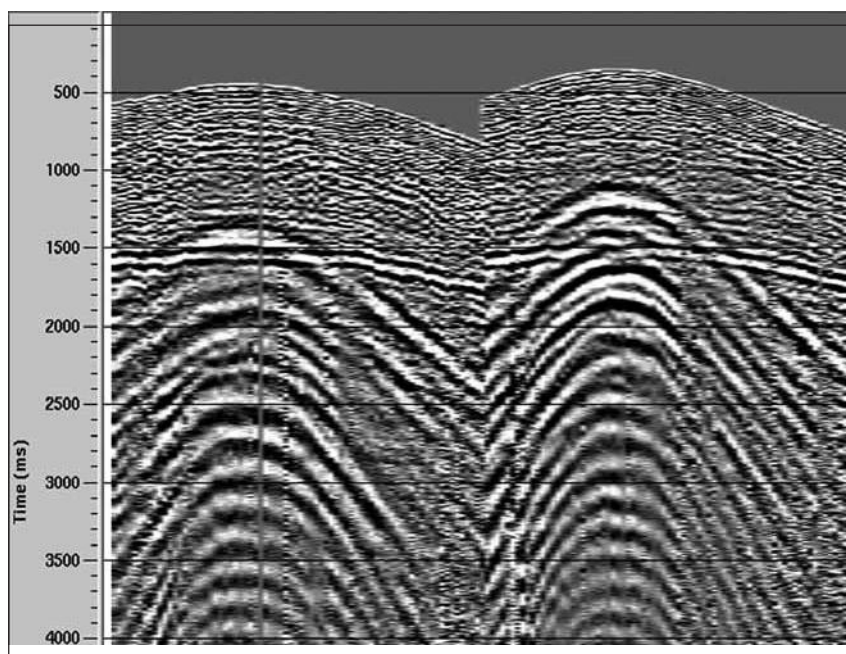
**Рисунок 5а** Необработанная запись с VectorSeis, загрязненная поверхностной волной. После векторной фильтрации и обработки она была успешно подавлена (Рисунок 5б).



**Рисунок 5b** Также самая запись VectorSeis, что и на рисунке 5a, но без поверхностной волны, успешно подавленной с помощью векторной фильтрации и обработки.

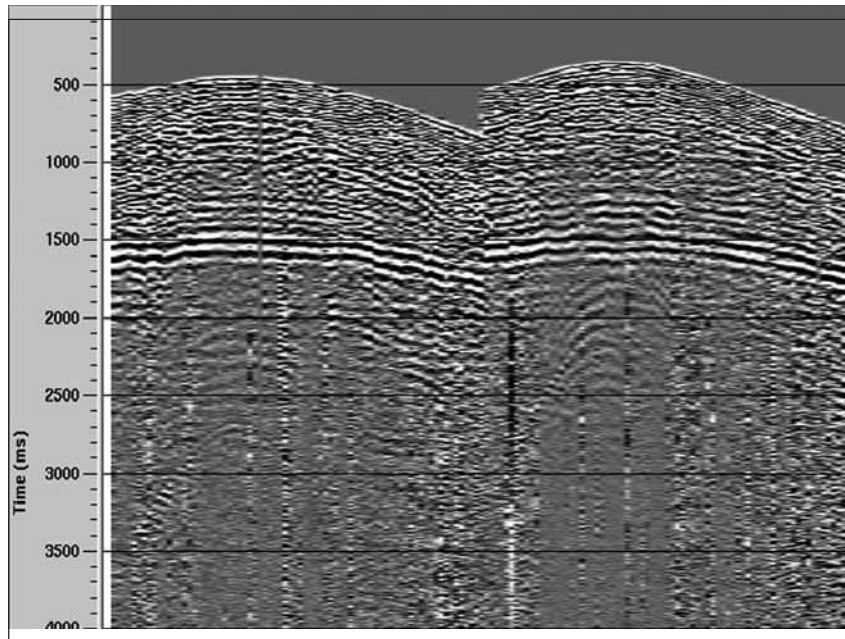
Другим аспектом векторных измерений и обработки, который используется для повышения качества сейсмического изображения при разведке и описании коллектора, является возможность разделения объемной волны на составляющие компоненты. Вспомним, что в обычных сейсмических измерениях фигурировало допущение о вертикальном угле подхода луча Р и S-волны к отражающей границе. Это допущение одно из худших во всей сейсморазведке, было сделано, чтобы оправдать использование однокомпонентных приемников для записи волнового поля продольных волн.

Рисунки 7 и 8 показывают насколько недостоверно может быть предположение о вертикальном угле подхода луча. Взгляните, насколько сильными могут быть примеси мод вертикальной компоненты на горизонтальной и наоборот. Это предположение, особенно при высокоскоростных приповерхностных условиях, может привести ко многим ошибкам при AVO анализе и явиться главной причиной неудач AVO на суше, исключая простейшие случаи Типа III. Проблема невертикального подхода луча к поверхности как минимум будет производить путаницу при интерпретации амплитуд на мигрированных данных.



**Рисунок 6a** Необработанные данные записи VectorSeis горизонтальной компоненты, зашумленной поверхностной волной. С помощью метода векторной фильтрации можно удалить помеху из записи.





**Рисунок 6b** Запись горизонтальной компоненты VectorSeis после векторной фильтрации. Поверхностная волна была успешно подавлена, очистив запись для дальнейшей обработки.

В худшем случае невертикальный угол подхода луча к поверхности может привести к поверхностно-рассогласованной статике, которая в свою очередь может повлиять на непрерывность отражающего горизонта. Статические поправки также подвергают риску сохранение всей полосы частот, регистрируемых в толще земли.

#### Обработка в условиях анизотропии

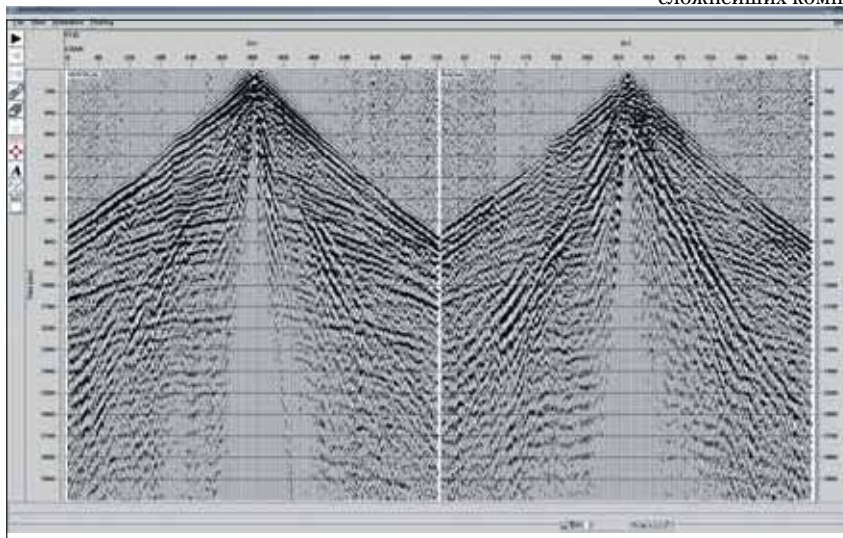
Анизотропия среды долгое время рассматривалась как препятствие для проведения сейсмических измерений, обработки и интерпретации. С тех пор как нефтяная промышленность осознала, что ей нужно получать больше информации из сейсмических данных, мы достигли огромных успехов в исследованиях анизотропии. Оказалось, что она несет полезную информацию.

Основным требованием для обработки в условиях анизотропии является обработка сейсмических данных с расширенной степенью свободы. Обработка данных в условиях изотропии сводится к анализу данных с изменением

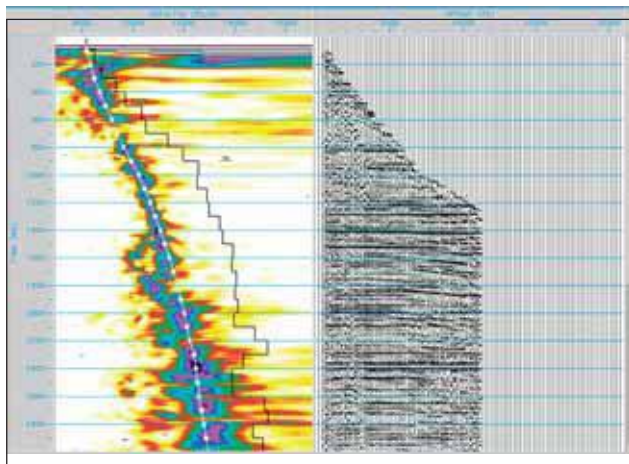
выноса или азимута, в то же время обработка в условиях анизотропии требует наличия пространственной информации и информации об удалениях, также азимутальной информации и данных на больших удалениях.

Направление энергии сейсмических волн, пробегающих от источника к приемнику - очень важный вопрос для обработки. Для его решения требуется проводить планирование полевых работ таким образом, чтобы запись сейсмических данных велась равномерно и была хорошо дискретизирована как по удалениям, так и по азимутам.

Самой сложной задачей обработки в условиях анизотропии является скоростной анализ. При проведении классического скоростного анализа используются графики подобия, по которым обработчик вручную пикирует скорости RMS. В случае анализа скоростей в условиях анизотропии этот способ слишком недостоверен. Скорости должны анализироваться не только с учетом выносов и азимутов, но и с учетом пространственной плотности в том же масштабе, что и оцифрованный шаг сетки. Это требование может быть выполнено лишь при использовании сложнейших компьютерных алгоритмов.



**Рисунок 7** Запись VectorSeis вертикальной компоненты слева и горизонтальной компоненты справа. Горизонтальная компонента несет информацию о помехах в Р-волне, образующихся в результате отклонения угла подхода луча к границе от перпендикуляра. Эта часть шума является непреодолимой проблемой для учета влияния с-волны при обработке. С другой стороны вертикальная компонента теряет амплитуду, в особенности на дальних выносах, где угол подхода луча к границе очень мал. Без этой волны, AVO анализ будет недостоверным.



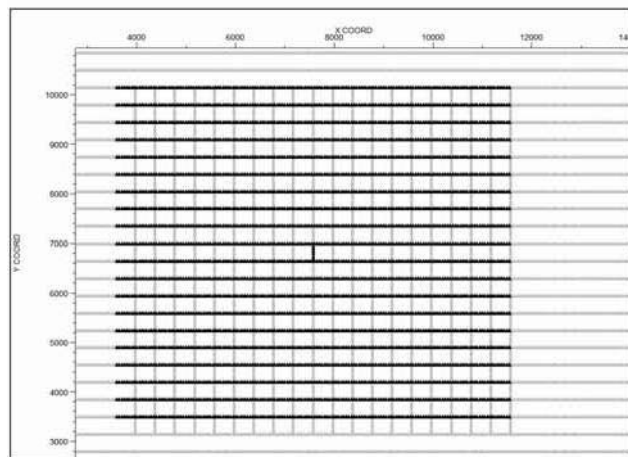
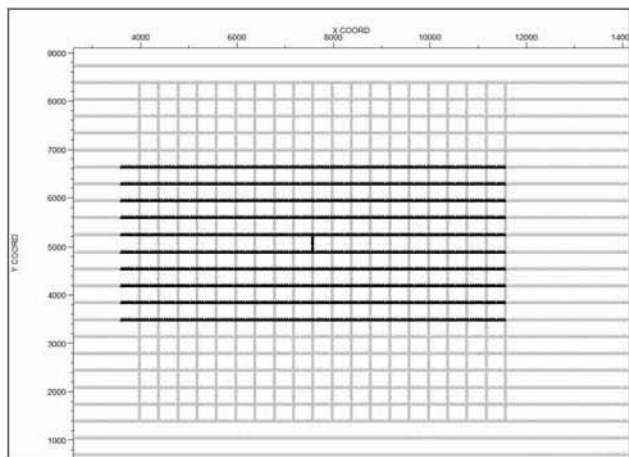
**Рисунок 8** Запись обычного сейсмореприемника, показывающая волну-помеху (обменную волну), она проявляется в виде более низкоскоростных сигналов. Зашумление образуется из-за невертикального угла подхода луча, распространяющегося по плотному, высокоскоростному приповерхностному слою. Считается, что отношение  $V_p/V_s$  мало в поверхностном слое. Поэтому значительная энергия Р-волн приходится на горизонтальные компоненты.

Единственный метод, выполняющий это, называется AZIM. Он разрабатывается отделом обработки GX Technologies (Williams and Jenner, 2002). Принцип работы AZIM заключается в следующем: анализируется остаточная кинематическая поправка на сейсмограммах и затем применяется метод наименьших квадратов для аппроксимации эллиптической скоростной модели азимутальными временными оценками и приближения временных искажений на больших удалениях кривой четвертого порядка. Это приближение дает очень плотный куб азимутальных скоростей, который может быть использован для коррекции азимутальных вариаций в сейсмических данных. Было показано, что для получения высококачественных результатов, необходимо улучшить точность вводимых кинематических поправок, так как, в сущности, вся дальнейшая сейсмическая обработка (статика, суммирование и миграция), зависит от того, насколько хорошо это будет сделано.

Кроме того, для улучшения сейсмического изображения анализируется куб скоростей с частой дискретизацией, который может быть использован как атрибут данных. Из них интерпретаторы могут получить информацию об ориентации, интервальной скорости, градиенте и многом другом, что дает ключ к изучению истории и развития приповерхностной толщи. (Jenner, 2002). Этот новый источник информации доказал свою эффективность при решении задач разведки в различных районах, включая Северный склон Аляски, Центральную часть США, Египет и другие районы. Мы измеряем физические свойства земли с учетом анизотропии. Трудность заключается в определении пригодности и применении этих данных. Каждый новый район требует тщательной и систематической методики проведения измерений, обработки и интерпретации для получения преимуществ использования обработки в условиях анизотропии.

### Проектирование широкоазимутальной съемки с максимальными удалениями

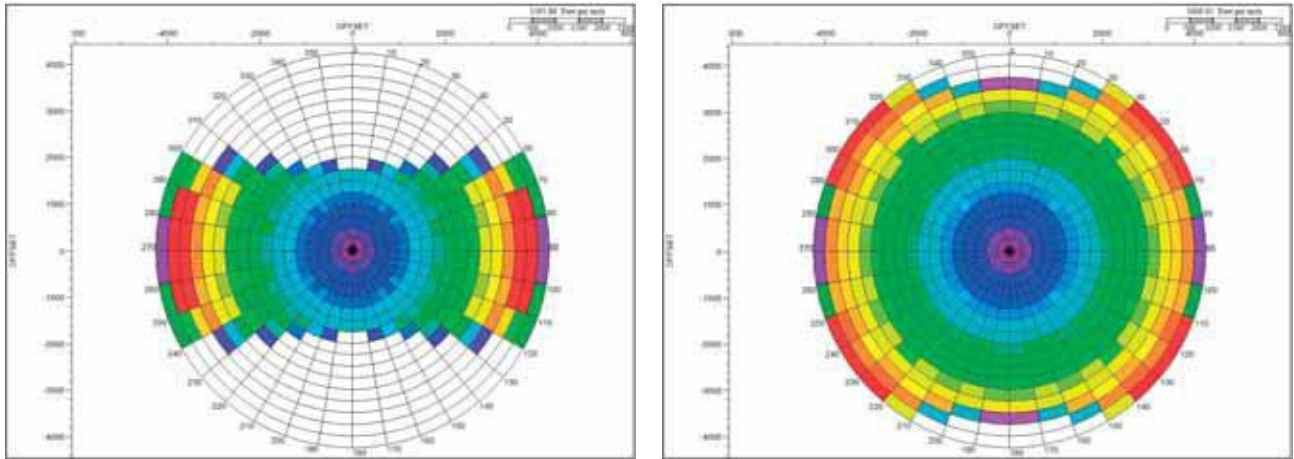
Для выполнения всех шести требований построения полноволнового сейсмического изображения очень важно провести тщательное продуманное планирование съемки. Особое внимание следует уделить широкоазимутальным данным с полными выносами. Это означает, что сейсмические трассы, записанные в каждом направлении, представляют весь диапазон удалений, необходимый для точной оценки сейсмических скоростей на целевых интервалах исследуемого района. В должным образом проведенной широкоазимутальной съемке соотношение между приемлемыми выносами инлайнов и кросслайнов, записанных для каждого целевого горизонта, должно составлять 1:1 (обычно оно находится внутри интервала от 0.8:1 до 1.2:1). Недостаточно лишь того факта, что сопоставимы только максимальные удаления у инлайнов и кросслайнов; важно также, чтобы наборы офсетов в каждом направлении были хорошо дискретизированными. Это условие наиболее просто выполнить в случае измерений с ортогональным расположением линии источников и приемников, сопоставимым шагом между источниками и приемниками и схеме проведения съемки, близкой к квадратной с помещением в центр источника возбуждения. Рисунок 9 иллюстрирует узко- и широкоазимутальную схему проведения съемки.



**Рисунок 9** Схема узкоазимутальной съемки (слева) с соотношением выносов по инлайнам и кросслайнам 2:1. Схема широкоазимутальной съемки с правильно выбранным (справа) соотношением выносов по инлайнам и кросслайнам 1.2:1.



## Наземная сейсморазведка

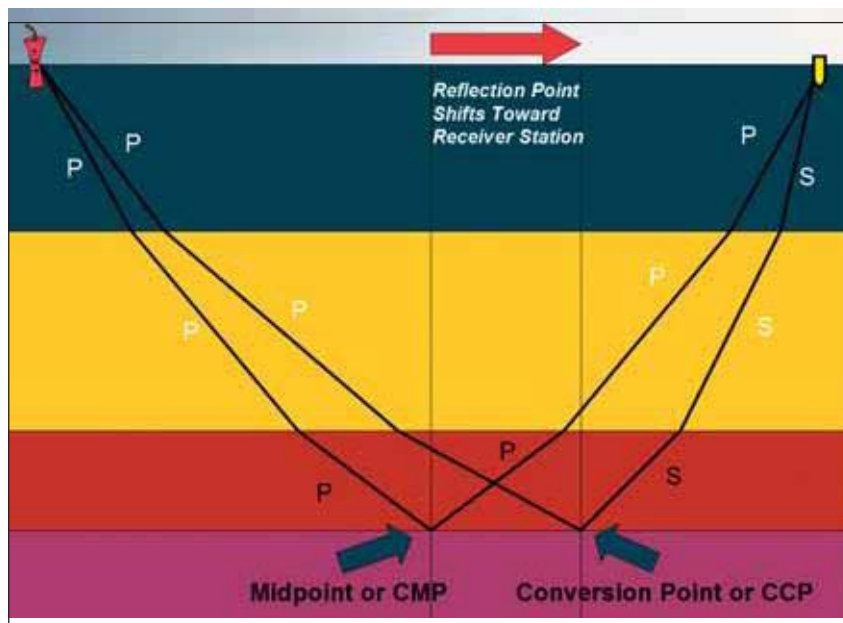


**Рисунок 10** Роза распределений оффсетов по азимутам для узкоазимутальной съемки (слева) и для широкоазимутальной съемки (справа). Радиальные линии диаграммы представляют азимуты (увеличение по часовой стрелке, начиная с 12 часов), а концентрические линии отвечают за оффсеты, возрастающие от центра. На обеих схемах выносы по инлайнам (восток-запад) хорошо дискретизированы. Выносы же по кросслайнам хорошо дискретизированы только в случае широкоазимутальной съемки.

На рисунке 10 показано статистическое распределение выносов и азимутов для тех же двух схем расстановок. Узко-азимутальная расстановка содержит пробелы на дальних выносах по кросслайнам. Широко-азимутальная съемка обладает единым распределением оффсетов для каждого азимута.

Главным правилом проведения полноволновых измерений является необходимость соблюдения того факта, что дальние выносы по всем направлениям должны составлять порядка двух глубин целевого интервала. Это позволит точно оценить полное поле скорости и лучше описать изменение амплитуд с удалением. Дальние выносы также дадут информацию для анализа трансверсальной анизотропии (части полной анизотропии). Небольшое пояснение – если трансверсальная анизотропия не учитывается при обработке, данные, лежащие за пределами величины отношения удаления к глубине, равному единице, практически бесполезны.

Для устойчивых к ошибкам полноволновых измерений также очень важна пространственная дискретизация. Для определения необходимого размера бина, для наилучшего отображения целевого интервала, вычисляют частоту Найквиста для устранения зеркальных частот. Эти ограничения на шаг квантования накладываются как на источники, так и на приемники. Однако, S-волна и обменная волна (PS) (образованная источником Р-волн и затем, после обмена на отражающем горизонте ставшая S – волной, записывается многокомпонентными датчиками) распространяются со значительно более низкими скоростями, чем Р-волны и, как правило, требуют более частого шага дискретизации.



**Рисунок 11** Отраженные Р-волны записываются при использовании источника продольных волн и вертикально ориентированными датчиками Р-волн. В случае плоского залегания слоев точка отражения Р-волны находится на середине расстояния между источником и приемником. Отраженные PS-волны записываются при использовании источника продольных волн и горизонтально ориентированных датчиков S-волн. По закону Снеллиуса восходящая отраженная PS-волна, распространяющаяся с меньшей скоростью S-волны, имеет точку отражения, смещенную к приемнику.



В правильно спланированной полноволновой сейсмической съемке, запись всех компонент ведется синхронно. Поэтому более медленная S- волна должна приниматься во внимание при расчете размера бина на поверхности и расстояния между приемниками. Это означает, что информация по P-волне будет избыточно дискретизирована. Рисунок 11 показывает асимметрию отраженной обменной волны PS. В связи с этим смещением точки отражения PS- волны и того факта, что S- волна распространяется непропорционально медленнее в малоглубинных рыхлых осадках, имеет большое значение выбор шага между приемниками при планировании.

Верно выбранный шаг позволит сохранить относительно слабо проявленные, особенно неглубокие отражающие горизонты.

В традиционных системах записи группа сейсмоприемников используется для подавления шума, создаваемого поверхностной волной. В противном случае регистрация должна вестись с малым шагом: в этом случае можно будет избавиться от шума в процессе обработки. Так как векторная фильтрация для подавления поверхностной волны применяется как по-трассная процедура после проведения съемки и никаким образом не зависит от геометрии, аляйсинг поверхностной волны не рассматривается как критерий при планировании. Поэтому совсем необязательно учитывать условия пространственного аляйсинга для поверхностной волны и требовать группирования сейсмоприемников для ее физической фильтрации.

#### Высокопроизводительная, многоканальная записывающая станция

Полноволновые методы требуют высокопроизводительной, многоканальной записывающей станции, которая может эффективно регистрировать, передавать и записывать большие объемы информации (Mougenot, 2004). Планирование полноволновой съемки с необходимой для широкоазимутальных установок частотой дискретизации на целевых интервалах требует размещения большого количества станций приема. Имея трехкомпонентные цифровые приемники, мы можем очень быстро получать до 10000 каналов записи, что требует большего времени ожидания сигнала по той причине, что скорость S-волны меньше, чем P.

Большие расстановки должны управляться с минимальным расходом энергии и позволять проводить мониторинг и запись различных параметров контроля качества (QC) в реальном времени. Наряду с этими требованиями станция должна быть легкой и достаточно надежной в эксплуатации в суровых полевых условиях.

Современные записывающие системы, такие как Input/Output's System Four, удовлетворяют всем вышеперечисленным требованиям к проведению полноволновых съемок. Оптико-волоконные кабели с высокой скоростью передачи данных; быстрая, надежная архитектура сетевой связи и энергоснабжения, которая предотвращает чрезмерные затраты энергии, делая съемку более рентабельной. Параллельная структура сети, с протоколами использования буферного запоминающего устройства и протокола с квитированием установления связи, обеспечивает сохранение сейсмических данных даже в случае разрыва кабеля. Сетевая структура и средства связи позволяют оператором в кратчайшие сроки обнаружить и починить неисправность. Аварийная система энергоснабжения и связи даст возможность продолжать измерения во время ремонтных работ.

Данные QC записываются системой SourceAware™, которая следит за тем, чтобы статистика проверки качества на контрольном приемнике соответствовала заданному значению и не выходила за его пределы. Наконец, системы RAID, которые являются частью современной централизованной системы записи, позволяют управлять стандартными режимами работы с данными, такими как запись на пленку и печать на передвижной регистрирующей станции для бесперебойной работы.

#### Выводы

За последние 50 лет сейсморазведка пережила несколько технологических волн, каждая из которых приводила к повышению качества разведки и описания коллекторов. Последние достижения – полноволновое изображение и технологии, делают это возможным. Они позволяют компаниям работать с высококачественной сейсмической записью, используя все ее преимущества. Элементы полноволновой сейсморазведки такие, как высокоточные трехкомпонентные точечные датчики и широкоазимутальная съемка с необходимой плотностью размещения приемников, увеличили разрешающую способность и позволили более эффективно бороться с шумом, что в конечном итоге привело к общему улучшению качества сейсмического изображения, позволив нам глубже изучить нефтегазовые коллектора.

#### Благодарности

Авторы очень признательны своим коллегам, в частности членам команды VectorSeis компании Input/Output, за поправки и замечания к статье.

#### Ссылки

- Jenner, E. [2002] Azimuthal AVO: Methodology and data examples, *The Leading Edge*, 8, 782 - 786.
- Kappius, R and Crews, G. [2001] Adaptive vector filters for ground roll reduction, *Canadian Society of Exploration Geophysicists Annual Convention Expanded Abstracts*. Maxwell, P., Tessman, D. J., and Reichert, B. [2001] Design through to production of a MEMS digital accelerometer for seismic acquisition, *First Break*, 19, 141-144.
- Mougenot, D. [2004] Наземная сейсморазведка: needs and answers, *First Break* 22, 59 - 63.
- Tessman, D. J., Bahorich, M., and Monk, D. [2004] Recent advances in point receiver technology: Are field arrays a requirement any longer?, *EAGE Research Workshop, Advances in seismic acquisition technology*.
- Tessman, D. J. and Maxwell, P. [2003] Full-Wave Digital Seismic Recording and the Impact of Vector Fidelity on Improved P-wave Data, *Canadian Society of Exploration Geophysicists Recorder* 28, 22-24.
- Williams, M and Jenner, E. [2002] Interpreting seismic data in the presence of azimuthal anisotropy; or azimuthal anisotropy in the presence of the seismic interpretation, *The Leading Edge*, 8, 771-774.