

# Многоволновое изображение.

## Шаг к исчерпывающему отображению среды

В течение последних 50 лет сейсморазведка претерпела несколько технологических волн, каждая из которых позволяла повысить успех геологоразведочных работ и точность построения моделей месторождений нефти и газа благодаря более четким сейсмическим изображениям геологической среды. В этой статье **Пол Брэтвуд** обсуждает новейшую разработку в сейсморазведке: многоволновое отображение. Оно открывает путь к получению исчерпывающего изображения среды и, таким образом, создает еще более благоприятные возможности для добычи углеводородов

**Х**арактерно, что к моменту зарождения каждой новой технологической волны в развитии сейсморазведки в нефтегазовой отрасли складывалось мнение, что неразбуренные перспективные объекты почти исчерпаны и что большинство известных месторождений давно прошли пик своей разработки. Однако, появление каждой новой технологической волны сейсморазведки неизменно приводило к открытию новых нефтегазоперспективных объектов, их лучшему картированию и к повышению добычи на уже разрабатываемых месторождениях, что приносило коммерчески успех как добывающим, так и сейсморазведочным компаниям, которые охотно встречали новые технологические волны и решительно осваивали технологии, лежащие в их основе.

Первая технологическая волна сейсморазведки относится к появлению профилирования методом ОГТ, что позволило лучше решать структурные задачи. Вторая технологическая волна сейсморазведки связана с появлением экономичной сейсмике 3Д, сначала на море, а вскоре и на суше. Это позволило улучшить структурные построения, точнее картировать разломы и оконтуривать неф-

тегазовые залежи, а также определять внутреннее строение продуктивных интервалов разреза.

Зарождающаяся сегодня эпоха цифрового многоволнового отображения среды подразумевает: регистрацию полного волнового поля, а не только его вертикальную компоненту; определение анизотропии скоростей сейсмических волн; проектирование широкоазимутальных съемок с большими максимальными удалениями; и подавление приповерхностных волн-помех с помощью новых процедур обработки, а не путем их интерференционной фильтрации группами сейсмоприемников. Эти революционные средства проектирования съемок, регистрации и обработки данных уже позволяют получить более высокую разрешенность, понизить уровень помех, увереннее выделять коллектора и определять свойства флюидов, строить более точные модели трещиноватости коллекторов и существенно повысить производительность полевых работ.

### Преимущества многоволнового изображения

Многоволновое изображение можно определить как:

- регистрация всех видов колебаний частиц ►

грунта, вызванных сейсмическими волнами, включая волны-помехи;

- точное измерение анизотропии, как на продольных (P), так и на поперечных (S) волнах, с точки зрения амплитуды и скорости;
- получение не осложненных алясингом изображений коллекторов при определенных углах падения, частотах сигнала и скоростях распространения волн;
- регистрация данных во всей полосе частот, пропускаемых геологической средой.

Многоволновое изображение имеет большое значение, поскольку сейсмические изображения среды, получаемые сегодня, в том числе с помощью обычной сейсморазведки 3-D, базируются на допущениях о природе зарегистрированного волнового поля, которые ограничивают наши возможности картирования продуктивных интервалов и насыщающих их флюидов для повышения экономической отдачи. Из-за этих допущений мы сталкиваемся с тем фактом, что сейсмика 3-D, как применяемая в настоящее время технология, не обладает таким же потенциалом, как на своем начальном этапе, и ее экономическая эффективность снижается. Эта снижающаяся информативность данных 3-D непосредственно влияет на наши возможности открытия и разработки новых промышленных залежей с приемлемым риском. Возможно еще важнее то, что применяемая ныне технология 3-D недостаточно эффективна для обоснования планов увеличения нефтегаздачи на разрабатываемых ныне месторождениях. Возникает вопрос: чего же не достает?

Ответ частично заключается в адекватном квантовании полного волнового поля. Многоволновое изображение обладает потенциалом выветсти интерпретатора на следующий уровень благодаря следующим особенностям:

- сочетание данных методов продольных (P) и поперечных (S) волн;

- шире полоса частот, более высокая разрешенность;
- более точные и достоверные разрезы в истинных амплитудах и AVO-анализ;
- скорости  $V_p$  и  $V_s$ , а не только  $V_p$ ;
- частоты сейсмических сигналов вплоть до 1 - 2 Гц для лучшей увязки с короткопериодной информацией;
- симметрия в зарегистрированном волновом поле без искажений, привносимых распространением в настоящее время методиками регистрации и обработки данных;
- возможность использовать ту часть сейсмической записи, которая раньше считалась помехой (например, анизотропия, поверхностные волны, обменные волны), для улучшения отображения среды и для окончательной интерпретации.

Следовательно, чтобы достичь этот новый уровень качества отображения среды, нашей отрасли нужно преодолеть допущения, сделанные во время становления обычных технологий 3-D, а именно изотропность среды, ограничение полосы частот сигнала, вертикальность подхода волн и необходимость всегда ослаблять волны-помехи в поле. Однако, для этого отрасли в первую очередь нужны высокоточные многокомпонентные цифровые приемники и эффективные высококанальные регистрирующие системы. До появления таких технологий экономический и технический успех был практически недостижим из-за низкой точности регистрации вектора колебаний и сложности обращения с полевым оборудованием.

Выгоды от получения моноволновых отображений среды для нефтегазовых компаний и технологические выгоды для сейсморазведочных компаний-подрядчиков значительны, а именно:

- повышение качества изображений на продольных (P) волнах при использовании одиночных приемников и усовершенствованные методы фильтрации помех;
- улучшение качества изображений и моделей трещиноватых коллекторов путем учета

анизотропии скоростей на этапе обработки;

- экономичная регистрация данных метода поперечных волн для:
  - получения изображений газонасыщенных толщ;
  - определения типов флюидов, их контактов и миграции в коллекторах;
  - идентификации литологических изменений;
  - картирования границ с низкой акустической жесткостью («невидимые» горизонты);
  - более точного определения свойств пород;
- выявление приповерхностных скоростных аномалий, вызываемых болотами, многолетней мерзлотой, пересошими озерами в пустынях и погребенными эрозионными поверхностями благодаря высокоточной регистрации и обработке данных;
- повышение производительности труда и упрощение вопросов техники безопасности и охраны окружающей среды путем замены тяжелых групп сейсмоприемников на более легкие одиночные датчики.

#### Наиболее важные технологии для многоволнового отображения среды

Чтобы полностью раскрыть потенциал третьей технологической волны сейсморазведки, необходима комбинация нескольких технологий, включая:

- высокоточные точечные датчики, такие как VectorSeis®;
- широкоазимутальные системы наблюдений;
- специализированные высокоэффективные регистрирующие системы, подходящие для полевых работ с высокой плотностью пунктов приема и очень высоким количеством каналов;
- векторная фильтрация;
- обработка с учетом анизотропии скоростей.

#### Одиночные приемники

Высокоточные цифровые многокомпонентные датчики VectorSeis являются наилучшими на

сегодняшний день приборами для регистрации полного волнового поля, улучшения отображений среды и повышения производительности сейсморазведочных работ. По сравнению с группами геофонов, одиночные приемники не привносят ложную зависимость сигнала от азимута подхода волн и позволяют точнее определить поляризацию волн и анизотропию скоростей распространения волн. Одиночные датчики исключают проблему статических сдвигов внутри групп и ослабления ими высоких частот. Таким образом, одиночные датчики сохраняют более широкий диапазон частот, от 1-2 Гц до тех значений, которые обусловлены только поглощением сейсмического сигнала в геологической среде. Три ортогональных акселерометра в каждом датчике VectorSeis позволяют регистрировать все параметры продольных и поперечных волн, а также волн-помех, таких как поверхностные волны. Наконец, многокомпонентные точечные приемники значительно повышают производительность труда, поскольку нужно устанавливать только один датчик на каждом пункте приема, а не группы чисел вплоть до 72 геофонов, необходимые ►



Ad

Ad

для подавления поверхностных волн-помех.

### Широкоазимутальные сейсмические съемки

Широкоазимутальные системы наблюдений, позволяющие анализировать зависимость скоростей сейсмических волн от азимута (анизотропию), очень важны для повышения вертикальной и горизонтальной разрешенности и для построения моделей трещиноватых коллекторов.

### Сверхмногоканальные регистрирующие системы

Для регистрации полного волнового поля и получения изображений среды на Р и S волнах требуются сверхмногоканальные регистрирующие системы, которые могут эффективно передавать и записывать большие массивы данных. Помимо этого, системы наблюдений для регистрации полного волнового поля должны обладать хорошим азимутальным распределением на уровне целевой границы, для чего требуется большое количество пунктов приема. С учетом регистрации трех компонент, необходимая канальность сейсмостанции может легко превысить 10000. Важным моментом является также то, что при многоволновых исследованиях длина записи должна быть намного больше из-за низких скоростей поперечных волн.

Приемные расстановки с большим числом каналов требуют эффективной работы оператора для снижения потребления энергии и выполне-

ния разнообразных процедур контроля качества в реальном времени. Учитывая огромные массивы данных и жесткие требования к производительности и контролю качества, необходимо применять легко устанавливаемое оборудование, достаточно надежное для работы в жестких полевых условиях.

Современные регистрирующие системы, такие как «System Four», удовлетворяют этим требованиям многоволнового сейсмического изображения. Экономичные многокомпонентные исследования обеспечиваются волоконно-оптическими поперечными (межлинейными) кабелями, быстрой и надежной сетевой телеметрией и избыточными системами питания, способными к самовосстановлению. Параллельная сетевая архитектура в сочетании с буферизацией и протоколами с подтверждением обеспечивают пути передачи данных на центральную электронику даже в случае серьезного повреждения кабелей.

### Векторная фильтрация

Векторная фильтрация – это метод подавления регулярных помех, осложняющих цифровые многоволновые данные. В этом методе для выделения и подавления помех используются различия между помехой и сигналом, записанными на трех различных компонентах. Примером такого подавления помех может служить ослабление цуга поверхностных волн на вертикальной компоненте (Рис. 3а, 3б).

Опыт применения векторной фильтрации растет, и теперь она успешно применяется не только для ослабления поверхностных волн на вертикальной компоненте, но и для подавления волн Лява и Релея на горизонтальных компонентах после их поворота (пересчета) на направление – на источник. Эта процедура помогает отделить обменные волны от цуга поверхностных волн и доказала свою эффективность при обработке данных метода обменных волн.

### Обработка с учетом анизотропии скоростей

Процедура AZIM, разработанная в компании I/O, – это инновационный подход к определению анизотропии скоростей сейсмических волн, основанный на запатентованном способе быстрого автоматизированного азимутального скоростного анализа. При использовании данных, полученных с широкоазимутальными системами наблюдений, процедура AZIM позволяет точно определить азимутальные изменения скоростей для построения более широкополосных и высокоразрешающих отображений среды.

Сейсмическая анизотропия часто обусловлена естественной трещиноватостью. Поскольку рассчитанные с помощью процедуры AZIM параметры анизотропии успешно увязываются с

параметрами естественной трещиноватости, полученной по результатам анализа керна, геофизики могут применять AZIM в условиях трещиноватых коллекторов для картирования систем трещин, оценки раздробленности (фрагментарности) коллекторов и оптимизации планов по разработке месторождений.

### Выводы

В настоящее время многоволновая сейсморазведка получает все более широкое признание в нефтегазовой отрасли. С исполь-

зованием высокоточных трехкомпонентных одиночных датчиков и широкоазимутальных систем наблюдений, многоволновая сейсморазведка позволяет улучшить разрешенность, более эффективно подавить помехи и получить высококачественные отображения среды, что в конечном счете дает более точную картину изучаемых резервуаров нефти и газа. ■

*Пол Брэтвуд занимает должность регионального геофизика компании Iprit/Outprit, филиал в Великобритании*

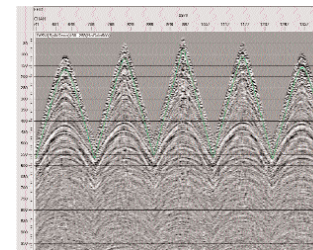
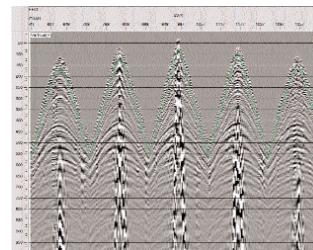


Рис. 3а Исходная запись датчиками VectorSeis с осложненными альясингом поверхностными волнами. После векторной фильтрации и обработки сигнала поверхностные волны будут успешно подавлены.  
Рис. 3б Запись датчиками VectorSeis после подавления осложненных альясингом поверхностных волн.

Рис.2. Диаграммы распределения удалений и азимутов для узкоазимутальной (слева) и широкоазимутальной (справа) съемки. Радиусы показывают шаг диаграммы по азимуту (отсчет по часовой стрелке от направления на север), а концентрические круги показывают шаг по расстоянию источник-приемник от центра. Продольное направление хорошо представлено в том и другом проекте. В поперечном направлении удаления имеют хорошее распределение только в широкоазимутальном проекте

