

## Обработка данных

Обработка высокоразрешенных данных при выполнении сейсмомониторинга  
High-resolution processing for time-lapse seismic

Д.Лесерф (D. Lecerf) и С. Райзер (C. Reiser) CGG Лондон, рассматривают некоторые вопросы обработки сейсмических данных 4D

**В** наши дни технологии сейсмомониторинга стали эффективным аппаратом управления коллектором с целью наблюдения за потоками флюидов и обнаружения неосущенных участков. Геофизики пытаются комбинировать информацию, получаемую при периодических сейсмических наблюдениях с результатами моделирования коллекторов и априорными данными. При поиске оптимального решения и использовании междисциплинарного подхода главными проблемами остаются масштабы и неоднозначности. Увеличение вертикальной разрешающей способности сейсмических данных - ключ к решению всех проблем.

Увеличение разрешающей способности дает возможность получать информацию из высокочастотных компонентов сейсмического сигнала. CGG разработала методику обработки, которая обеспечивает расширение полосы частот сейсмического сигнала при 4D исследованиях. Предварительная обработка сейсмических данных направлена на подавление пространственно-коррентного шума, связанного с условиями приема, а также случайного шума, который осложняет высокочастотную компоненту спектра сейсмического сигнала. К тому же, при работе с расширенным диапазоном частот при периодических наблюдениях необходимо согласование частот.

## Три методики

**Подавление помех, связанных с условиями приема и случайных помех до суммирования с помощью COSAK (Совместный сейсмический анализ путем кригинга).** Избыточность информации между двумя последовательными суммарными разрезами для различных диапазонов углов падения позволяет проводить расчет в частотной области совместного куба сейсмических данных, свободного от влияния условий приема. Случайный шум и шумы, связанные с регистрацией, являются некоррелированными сигналами и могут быть подавлены.

Совместный куб сейсмических данных 3D строится с использованием пространственно-коррелируемой информации и соответствует суммарному разрезу по

промежуточным трассам с улучшенным соотношением сигнал-шум и улучшенной латеральной прослеживаемостью.

Эта процедура хорошо себя зарекомендовала как эффективное средство подавления шума. На рисунке 1 показана процедура восстановления высокочастотной компоненты.

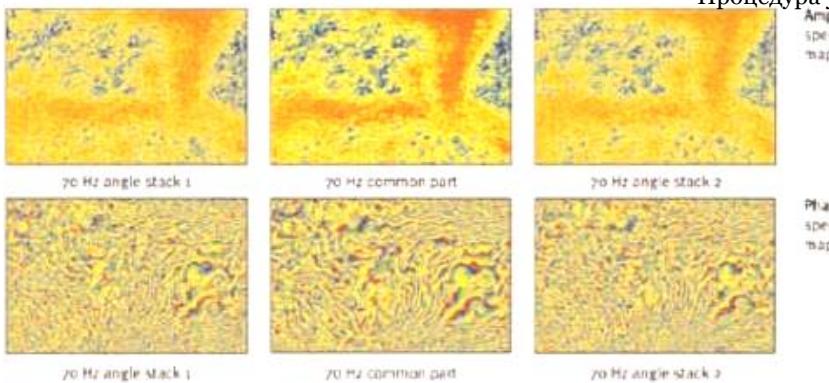
**Согласование высоких частот с помощью операторов согласования совместной спектральной плотности.** Концепция совместной спектральной плотности используется для расчета двух симметричных операторов согласования с целью увеличения воспроизводимости высоких частот. Традиционный оператор согласования строится на основе функций автокорреляции и взаимной корреляции оценочных сигналов, и поэтому в нем уже встроена процедура подавления шума (поскольку шум не коррелирован). Однако, тот факт, что фильтр применяется только к одной сейсмограмме, рассогласует отношение сигнал-шум для высоких частот двух поколений данных. Чтобы избежать этой асимметрии обычного согласующего фильтра, для всех входных данных строятся два дополняющих согласующих оператора с целью минимизации разницы с совместной спектральной плотностью. Использование совместной спектральной плотности дает лучшее соотношение сигнал-шум и приводит к увеличению повторяемости сигнала для высокочастотной составляющей сейсмограмм.

Расширение полосы высоких частот 4D с помощью BOOST<sup>+</sup>

Максимальная полоса частот может быть получена при определении коэффициента отражения подстилающей границы в сочетании с настраиваемым высокочастотным оператором. Используемый алгоритм основан на применении оператора разреженной деконволюции для нескольких отражающих границ с использованием формы импульса источника. Используя стратиграфическую 3D деконволюцию, временное положение и амплитуда коэффициентов отражений оптимизируются независимо от частоты дискретизации сейсмических данных, что ведет к расширению спектра данных. В контексте мониторинга эта процедура выполняется в два этапа: нахождение статистически общей/неизменной части данных периодических сейсмических наблюдений и определение разности двух поколений данных.

## Данные мониторинга по Северному морю

Процедура усиления высокочастотной составляющей



**Рисунок 1** Восстановление высокочастотной компоненты после применения оператора факторного ко-кригинга к картам фазового и амплитудного спектров (COSAK). Частоты общей части, соответствующей частичному суммарному разрезу для промежуточных углов падения, строятся с использованием когерентной информации.

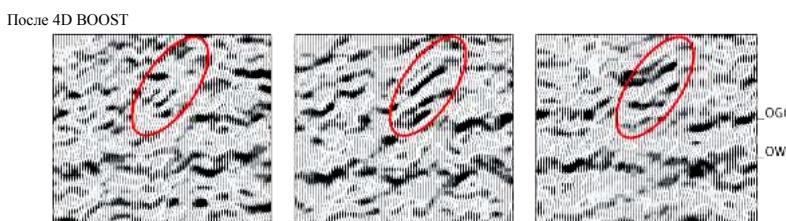
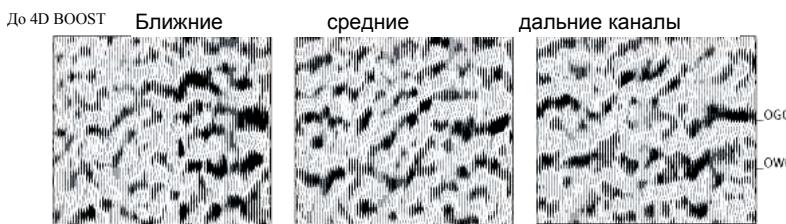
# Обработка данных

была применена к данным периодических сейсмических наблюдений, полученным на месторождении третичного возраста в Северном море. В качестве исходных данных используются суммарные разрезы для различных диапазонов углов падения для двух поколений данных. Основные стадии обработки включают в себя:

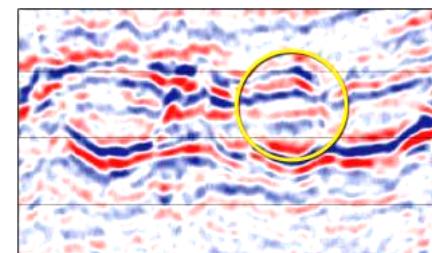


Периодические наблюдения выполнялись с целью получения отображения движения флюидов в формации бальдер и песках формации Фригг. Сейсмические данные, полученные при этих наблюдениях были хорошего качества, но ограничены по частоте 60Гц. Вследствие применения процедуры расширения спектра (COSAK и BOOST<sup>+</sup>), полоса частот была увеличена на 20-30Гц, динамический диапазон на 20дБ. Это способствовало идентификации отдельных коллекторов - песчаных прослоек и более точной интерпретации строения коллектора. На Рисунке 2 показаны вертикальные сейсмические разрезы общего куба сейсмических данных между двумя поколениями суммарных разрезов на дальних каналах. Едва различимые оси синфазности на входных сейсмических данных кажутся более четкими на данных после обработки.

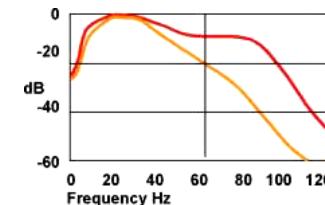
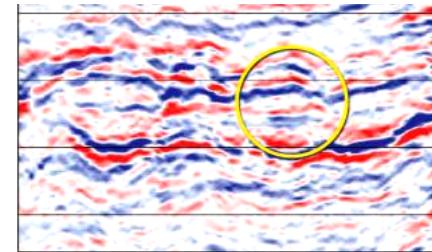
После расширения спектра с использованием согласования общего спектра и Boost<sup>+</sup>, анализ суммарных сейсмограмм для разных диапазонов углов показывает вариации амплитуд как функции удаления



До расширения спектра (COSAC и BOOST)



После расширения спектра (COSAC и BOOST)

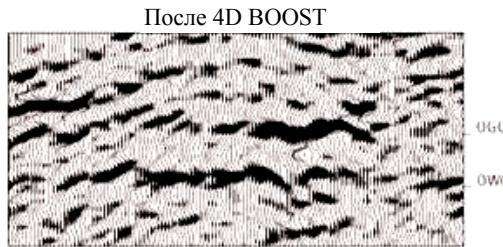
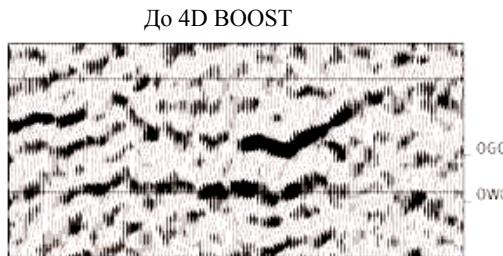


**Рисунок 2** Сейсмический разрез до и после расширения спектра (COSAC и BOOST<sup>+</sup>) и их соответствующие амплитудные спектры (оранжевая линия – до, красная линия – после). Полоса частот увеличилась на 20-30 Гц, амплитуды на 20 дБ. Отметим улучшение прослеживания некоторых отражающих горизонтов и увеличение разрешения. Это способствует более точной интерпретации строения коллектора. В частности, улучшилось разрешение слоистых песчаных коллекторов.

для осей синфазности, лежащих выше нефте-газового контакта. Таким образом (см. Рисунок 3) мы можем идентифицировать песчаные тела над нефте-газовым контактом, эти тела могут оказаться продуктивными.

Иллюстрация увеличения вертикальной разрешающей способности сигнатуры 4D приведена на Рисунке 4.

**Рисунок 3** 4D формы импульсов на суммарных разрезах по близким, средним и дальним каналам до (сверху) и после (снизу) применения расширения спектра. Особенно стоит отметить изменение закона зависимости амплитуды от удаления для песчаных тел над нефте-газовым контактом (выделено красным).



**Рисунок 4** Форма импульса 4D до и после расширения спектра в сторону высоких частот. Разрешение водонефтяного контакта и нефте-газового контакта улучшилось после расширения спектра в высокочастотную область. Латеральная прослеживаемость импульса 4D также улучшена.

После расширения спектра в область высоких частот водонефтяной контакт (ВНК) и газо-водяной контакт (ГВК) более четкие, также некоторые оси синфазности становятся более прослеживаемыми по латерали (в частности, в правой части рисунка). Этот подход дал возможность проведения более детальных наблюдений воздействия процесса добычи на коллектор и как следствие, определения зоны, охваченной вытеснением.

#### Новые возможности комплексирования

Методы управляемого расширения спектра говорят об огромном потенциале увеличения вертикальной разрешающей способности сейсмограмм периодических сейсмических наблюдений. Для того, чтобы избежать проблемы возникновения ошибочных осей синфазности, была разработана особая методика предварительной обработки сейсмических данных для устранения случайного или пространственно – коррелированного шума, который воздействует на высокие частоты. Вопрос повторяемости для адекватной калибровки данных можно решить с помощью процедуры согласования. Эффект от применения этой методики был продемонстрирован на примере третичного коллектора, в котором улучшение записи способствовало проведению высокоразрешенного АВО анализа для идентификации углеводородоносных песчаных тел и позволило уточнить характеристики коллектора, представленного слоистыми песками. Увеличение вертикального разрешения данных сейсмомониторинга открывает возможности упрощенного комплексирования данных сейсмики с данными моделирования коллекторов и данными по добыче.

#### Благодарности

Авторы благодарят Kerr MacGee и партнеров (Cairn Energy, Oranje-Nassau Energie) за разрешение на публикацию результатов этого проекта. Версия этой статьи первоначально была опубликована в журнале *CGG World 2004*.