

Улучшенная 4D обработка и количественный анализ данных многократных наблюдений на месторождении Troll West (Enhanced 4D processing and quantitative analysis on Troll West using multiple vintages of legacy data)

Используя специализированные решения доктор Alexandre Bertrand (alex.bertrand@geotrace.co.uk) и доктор David Bannister из компании Geotrace Technologies UK полагают, что количественный 4D анализ может быть успешно сделан по данным многократных наблюдений прошлых лет. В качестве примера ученые приводят месторождение норвежского сектора Troll.

Анализ данных периодических сейсмических наблюдений помогает при характеристике влияния добычи полезных ископаемых из углеводородсодержащих коллекторов. За последнее время технология 4D существенно развилась от чисто качественного анализа разных участков до попыток количественного анализа изменений в коллекторе. В то же время количественный подход позволяет получить полезную информацию связанную, например, с характером потока углеводородов или проницаемостью приразломных зон. Количественный анализ периодических сейсмических наблюдений может привести к прямым оценкам изменений таких свойств коллектора как значения упругих импедансов, флюидонасыщенность и давление. Поэтому к данным периодических сейсмических наблюдений могут применяться такие современные методики, как подбор параметров динамических моделей нефтегазовых коллекторов для конкретизации модели коллектора и модернизации методов извлечения углеводородного сырья.

Надежность количественного 4D анализа зависит от повторяемости периодических наблюдений. Обработка данных периодических сейсмических наблюдений с сохранением амплитуд представляет собой развивающуюся науку и в последнее время появляются новые алгоритмы обработки. Повторная обработка с использованием данных алгоритмов позволяет повысить качество данных. Качество данных прошлых сейсмических наблюдений, однако, не может быть повышено. Довольно часто, начальная разработка месторождения требует данных разведочной сейсморазведки, которые были получены перед определением нефтегазового потенциала данного месторождения, и во многих случаях до начала применения методики 4D как таковой.

На Рис. 1 (по данным Swanson et al., 2004) проиллюстрировано влияние данных периодических сейсмических наблюдений прошлых лет на повторяемость 4D наблюдений. На рисунке показана повторяемость по 10 различным морским наблюдениям в Северном Море и Мексиканском заливе. Случаи с использованием данных прошлых лет (синий цвет) обычно характеризуются плохой повторяемостью (индекс NRMS превышает 60%), в то время как случаи использования технологий 4D (красный цвет) характеризуются хорошей повторяемостью (индекс NRMS меньше 40%). Обратите внимание, что случаи с наилучшей повторяемостью был получен при использовании постоянно установленной измерительной системы (индекс NRMS < 28%).

Целью данной статьи является выделение некоторых моментов при обработке данных периодических сейсмических наблюдений прошлых лет и описание некоторых методик, разработанных специально для этих случаев. Дополнительно в статье показано, как результирующая повышенная повторяемость позволяет сделать количественный анализ. Новый поток обработки, совмещающий в себе выделение высокочастотных составляющих сигнала и аккуратное извлечение временных и амплитудных разностей, используется для улучшения понимания динамики флюида. Такое совместное изучение процесса 4D обработки и количественного анализа было сделано на базе месторождения Troll West, на котором в течение ряда лет были получены данные периодических наблюдений. 4D сейсмические разрезы играют важную роль в процессе разработки месторождения, решая важные задачи выявления недренированных областей и картирования движения нефтегазового контакта.

Данные по месторождению Troll

Месторождение Troll расположено в северо-западной части платформы Horda, приблизительно в 80 км к северу от Бергена. Месторождение разделено двумя главными разломами, падающими на север и юг, которые делят месторождение на три провинции, названные соответственно Западная нефтяная провинция Troll, Западная газовая провинция Troll и восточная часть месторождения Troll. Нефть добывается из горизонтальных скважин с 1995 г в Западной нефтяной провинции Troll и в Западной газовой провинции Troll, где мощности нефтяных частей залежи составляют 22-26 м и 10-13 м соответственно. До этого времени были сделаны две

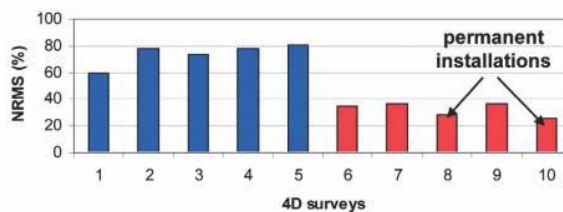


Рис. 1. Сравнение индексов NRMS, полученных для 12 различных периодических сейсморазведочных съемок. Красные столбики отображают тот факт, что съемка произведена по методике 4D. Синие столбики характеризуют случаи с использованием старых данных.

Обработка данных

сейсмических съемки (в 1989 г и 1991 г), целью которых было выделение коллектора. С 1995 г, на данной площади был сделан ряд 3D сейсмических наблюдений с целью мониторинга месторождения. Поэтому, в ряд задач последних наблюдений входило выделение недренированных областей, определение местоположений новых скважин и уменьшение неоднозначности результатов моделирования перемещения ВНК. В 2000 г была сделана съемка, покрывающая всю территорию Западной нефтяной провинции Troll. В 2001 г был сделан мониторинг Западной газовой провинции Troll. В 2003 г был сделан повторный мониторинг обеих провинций. К настоящему времени планируется сделать очередную съемку на всей территории месторождения.

Обработка данных периодических сейсмических наблюдений от 2003 г проводилась компанией Geotrace совместно данными, полученными в результате предыдущих съемок. Базовая съемка, используемая для анализа, было образована из наборов данных 1998 г и 1991 г, оба из них были получены до начала добычи. Первый набор данных для мониторинга был образован из наборов данных 2000 г и 2001 г, и в качестве второго набора для мониторинга был взят набор данных 2003 г с повышенной детализацией в области платформ на основе базового набора данных.

4D обработка, зависящая от измерений

Как показано на Рис. 1, попытки провести 4D анализ на основе старых данных страдают плохой повторяемостью, тем самым, уменьшая вероятность успешного проведения количественного анализа. В нашем случае мы разработали поток обработки, зависящий от конкретных измерений и направленный на уменьшение эффектов отсутствия повторяемости в старых данных. Среди упомянутых эффектов можно выделить морские условия (приливы и температура), неравномерное покрытие измерениями площади исследования, плохие данные по навигации и слаженность работы источников и приемников.

Морские условия

Все морские съемки, как новые, так и старые, подвержены вариациям условий морской воды и содержат в себе эффекты, известные как статические эффекты водной толщи. Они представляют собой комбинацию приливных и остаточных эффектов. В процессе обработки приливные эффекты были подавлены с использованием детерминистического подхода на основе прогнозных таблиц приливных течений. Остаточные эффекты были учтены при моделировании. На Рис. 2 показан пример учета статических поправок за водную толщину.

Амплитудная компенсация на основе конкретных измерений

Базовая съемка, в частности, содержащая в себе наборы данных 1989 г и 1991 г, демонстрирует сильное влияние системы наблюдений на кинематические и динамические параметры массива полученных данных, связанное с

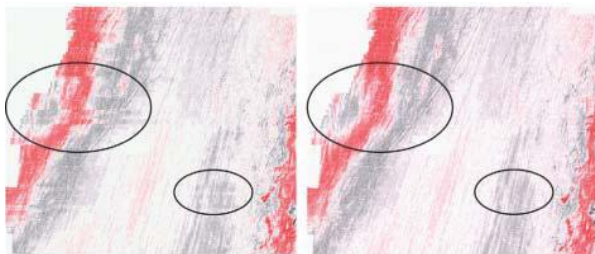


Рис. 3. Временной срез на 500 мс. Слева: перед введением статических поправок. Справа: после детерминистического введения приливных поправок и после введения статических поправок за водную толщину.

неравномерным покрытием площади измерениями и амплитудными аномалиями типа взрыв-взрыв и канал-канал. Некоторые из этих аномалий появились благодаря тому, что съемка 1991 г была проведена в три различных стадии (разделенные несколькими месяцами) и с использованием двух различных сейсмических судов. Вдобавок к аномалиям сейсмических данных, надежность навигационных данных съемки 1991 г ставится под вопрос, поэтому были изучены и протестированы пять версий навигационных данных. На Рис 3 показана нерегулярность кратности съемки для всех выносов для набора данных 1991 г. Причинами этих аномалий считаются сильное отклонение буксируемой косы от курса судна под действием морских течений, пропущенные взрывы, и пропущенные или отредактированные данные ряда каналов. На рисунке также показана территория съемок 1991 г и 1989 г, и схему их совмещения для создания базового набора данных.

В то время как традиционное бинирование может смягчить часть этих эффектов с помощью осреднения кратности по всей площади покрытия, методика 4D требует того, чтобы локальные изменения плотности участка трасс, который по своим размерам меньше чем бин, тоже учитывались при расчетах. Эффект неравномерной дискретизации в этих наборах данных показан как на немигрированном, так и на мигрированном кубе данных. На Рис. 4 показан наиболее представительный кросслайн, который был взят из куба данных до и после миграции (вверху и посередине). Различные амплитуды и вертикальная полосатость - это типичные эффекты для 3D морских съемок, которые характеризуются вариациями в положении источников и отклонением буксируемой косы от курса судна. Во многих случаях, после миграции применяется двумерный медианный фильтр с целью исключения этого эффекта в стандартном графе 3D обработки. Однако при использовании данного подхода в данных остается видимый эффект, который не рекомендуется иметь при обработке с сохранением истинных амплитуд или при анализе периодических сейсмических наблюдений.

Thiery и др. (1999) описали математическую функцию, которая позволяет картировать четкость глубинного разреза в случае миграции до суммирования данных, с идеальной геометрией наблюдений. Для каждой глубинной точки, освещение разреза определяется степенью, с которой лучи либо собираются в эту точку или расходятся от этой точки. Амплитудная компенсация на основе конкретных измерений - это разработка компании Geotrace и воплощение расширенного метода, предложенного Jousset и др. (1999), который учитывает неправильную геометрию наблюдений путем введения масштабного коэффициента

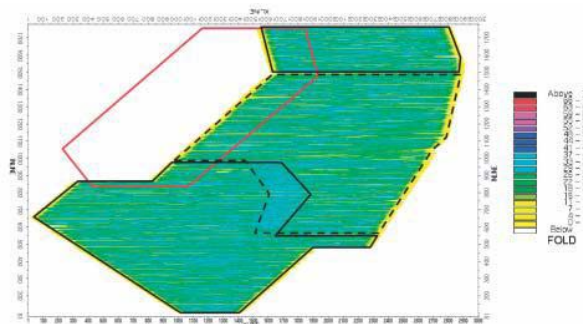


Рис. 2. Полная кратность съемки 1991 г. Черные границы ограничивают три площади, из которых был образован набор данных 1991 г. Дополнительно красными границами показана площадь съемки 1989 г, которая была совмещена со съемкой 1991 г для создания базовой съемки.

Обработка данных

для каждой трассы, зависящего от положений источников и приемником в рамках данной съемки. Данный метод был приспособлен как для временной, так и для глубинной миграции до суммирования (Bannister et al., 2005). На Рис. 5 показаны скалярные величины, полученные в результате работы данного алгоритма, для всей площади базовой съемки. На изображении можно четко выделить границы двух съемок, которые вошли в состав базовой съемки. Они четко различаются их различными геометриями наблюдений. Замеченное увеличение амплитудного отклика на площади наблюдений может служить предпосылкой для проведения в будущем AVO анализа и дальнейшего периодического AVO анализа.

Базовый и мониторинговый наборы данных проходили через процедуру временной миграции до суммирования по методу Кирхгофа, при которой метод амплитудной компенсации на основе конкретных измерений был применен для каждого из наборов данных. Данный метод компенсации позволяет

эффективно убрать влияние системы измерений при 3D съемке с сохранением амплитуд (см. Рис. 4, внизу). Этот метод уменьшает артефакты миграции, возникшие из-за неравномерной кратности наблюдений, при использовании истинных положений источников и приемников для каждой трассы в процессе миграции, уменьшая тем самым потребность в регуляризации трасс.

Достоверное масштабирование положений источников и приемников

Притом, что амплитудная компенсация учитывает неравномерность сети наблюдений, этот алгоритм не учитывает амплитудные вариации типа взрыв-взрыв или чувствительность отдельных каналов. Эти аномалии локальных источников и офсетов могут быть удалены из каждого набора данных при использовании процедуры осреднения в бегущем окне данных, полученных в результате альфа-осреднения сигнала источника и амплитуд каналов. Диагностическая гистограмма контроля качества отображает измеренные амплитуды, сглаженные амплитуды, вычисленные множители и масштабированные выходные данные и показывает, что эти вариации являются более короткопериодными по сравнению более длиннопериодными геологическими вариациями (Рис. 6). Исправленные амплитуды соответствуют упомянутым характеристикам AVO, и улучшают AVO отклик периодических наблюдений.

По-трассное частотно-зависимое согласование

Дальнейший эффект, зависящий от измерений, который был подавлен в процессе 4D обработки - это амплитуда, зависящая от частоты, а также временные и фазовые вариации каждого набора данных. На имеющихся данных это было сделано в два этапа: путем создания общих и по-трассных согласующих фильтров по критерию наименьших квадратов для соседних трасс на данных после временной миграции до суммирования. В общем случае этот вид по-трассного согласования может быть применен к данным как до, так и после суммирования.

Количественный 4D мониторинг газо-нефтяного контакта (ГНК)

Этот аккуратный рабочий поток 4D обработки в результате дал повышенную повторяемость по индексу NRMS, который для итоговых совмещенных наборов данных

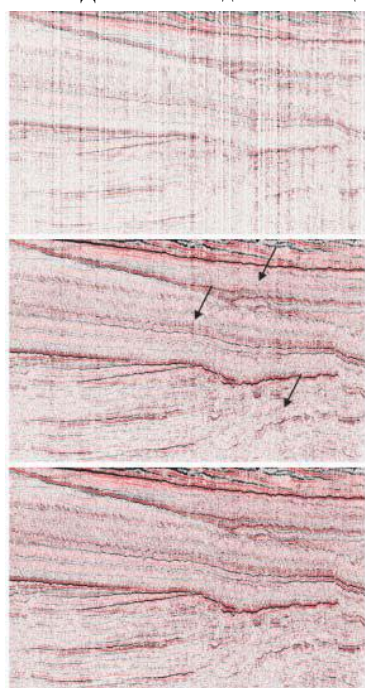


Рис. 4. Пример кросслайна для постоянных выносов: (сверху) после временной миграции до суммирования; (в середине) после временной миграции до суммирования без амплитудной коррекции; (внизу) после временной миграции до суммирования и амплитудной компенсации. Обратите внимание на сильные эффекты измерительной установки на мигрированном разрезе без амплитудной коррекции.

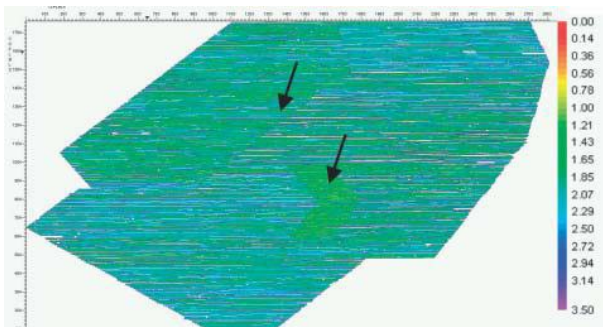


Рис. 5. Скалярные множители для амплитудной коррекции для одинаковых выносов, полученные на основе базовой съемки.

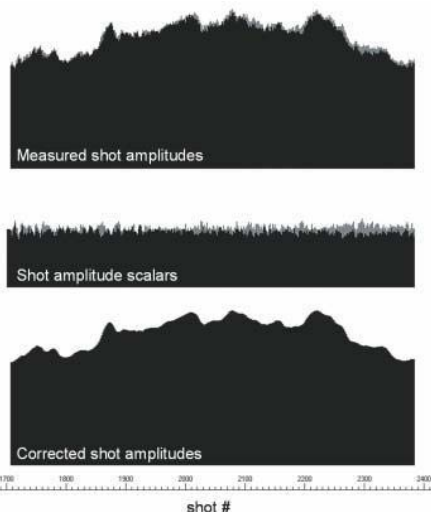


Рис. 6. Пример гистограмм амплитуд, скалярных множителей для коррекции амплитуд и результата амплитудной коррекции

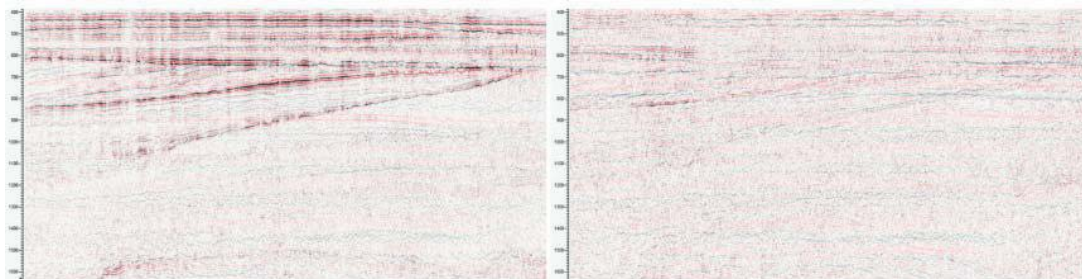


Рис. 7. Разрез 4D разности (над коллектором) - до (слева) и после (справа) частотного по-трассного согласования фазы и амплитуд.

составил около 37%. Как видно на Рис. 1 таким уровнем индекса NRMS характеризуются съемки по методике 4D: их индекс NRMS обычно ниже 40%, в то время как использование старых данных в 4D анализе поднимает индекс NRMS до 60% и более. Данный уровень повторяемости вселяет уверенность в пригодности имеющихся 4D данных для количественного анализа. Главной целью количественного анализа является нахождение пространственного перемещения ГНК между базовым и вторым мониторинговым набором данных, после восьми лет добычи. Для проведения 4D анализа с использованием нового потока, был взят небольшой куб данных. Эта зона выбиралась на удалении от зон, окружающих платформы, где в базовом наборе данных приходилось создавать более детальную сеть наблюдений и соответственно где никакого 4D сигнала не наблюдается (см. Рис. 8).

Высокочастотное отображение разреза

Наряду с достижением высокой степени повторяемости, другой задачей 4D сейсморазведки является выделение высоких частот с целью отображения и количественной оценки эффектов изменения параметров разреза со временем. Эта задача является важной, в частности, в свете

непрерывного мониторинга, при котором повторные съемки площади производятся ежегодно (или иногда ещё чаще, например, каждые 4 месяца в Valhall, по Barkved и др., 2005), а 4D сейсморазведка используется для изучения все более сложных коллекторов. В нашем случае был предложен новый поток обработки, позволяющий выделять высокочастотный 4D сигнал. Оптимизация разрешающей способности по вертикали достигается посредством высокочастотного отображения разреза (HFI) (Torgersen и др., 2004), процедурой обработки, которая расширяет используемую полосу частот данных, полученных по традиционной методике. (Более подробное объяснение сути HFI читатель может найти в работах Hirsch и Perry, 2003). В случае месторождения Troll, доступ к высоким частотам обеспечивает определение даже самых малых перемещений ГНК. На Рис. 9 показаны 2 карты среднеквадратичных амплитуд: одна без высоких частот, а другая с содержанием высоких частот. На карте, содержащей высокие частоты (справа), сигнал временного изменения лучше выражен, а зоны ослабленного 4D сигнала теперь прояснились.

Морфинг и 4D разность

Одним из моментов при работе с высокими частотами в периодических сейсмических наблюдениях является 4D разность, которая является более чувствительной фиктивным временным сдвигам, которые, как отмечено Eiken и др. (2003) существенно уменьшают повторяемость наблюдений. В целях подавления этих эффектов при условии сохранения высокочастотных составляющих, компания Geotrace разработала новый подход к 4D анализу, с помощью которого можно разделить ложные временные сдвиги от временных сдвигов, обусловленных изменениями свойств отложений во времени. Эффекты временных сдвигов удаляются из исходного набора данных



Рис. 8. Карта Западной газовой провинции Troll. Черная область представляет собой область проведения 4D обработки; красные области - места установки платформ; данные с этих областей в базовом наборе были исправлены при создании мониторингового набора данных. Зеленые области - области, где был сделан 4D анализ.

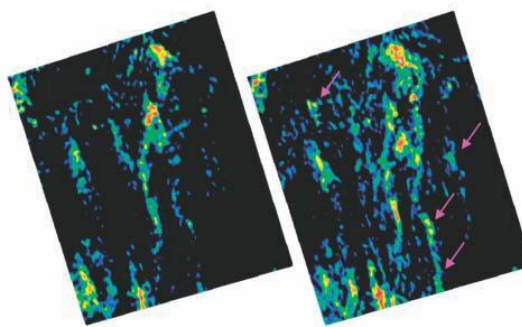


Рис. 9. Карты среднеквадратических амплитуд без (слева) и с (справа) увеличением разрешающей способности по вертикали. Сигнал временных изменений выглядит более четко на правой карте. Стрелками выделены зоны отсутствующие или слабо заметные на карте без высоких частот.

Обработка данных

посредством процедуры морфинга мониторингового набора данных на исходный набор. Эта процедура совмещает каждую амплитуду из мониторингового набора с той же амплитудой базового набора данных посредством критерия совпадения формы импульса. Заметьте, здесь не была использована процедура взаимной корреляции. Результирующая разность между базовым набором данных и мониторинговым набором после морфинга была названа 4D разностью. Полученная разность отражает наиболее истинные изменения амплитуд и не подвержена изменению скорости или шуму.

Эффект изменений времен пробега волн убирается отдельно. Он также содержит истинный 4D сигнал, как будет показано в следующих разделах статьи. На Рис. 10 показан пример морфинга одной трассы с месторождения Troll. На рисунке можно увидеть два эффекта в различии базовой трассы (зеленый цвет) и мониторинговой трассы (красный цвет): изменяющийся временной сдвиг в 2 мс на времени 1687 мс, уменьшающийся от 0 до 1710 мс, и значительная разница в амплитудах на времени 1703 мс. Прямая разность (зеленый цвет, справа) выделяет 4D сигнал с такими же характеристиками, как и на времени 1680-1710 мс, на котором трудно выделить два эффекта. После морфинга мониторинговой трассы (синий цвет), на времени 1703 мс можно наблюдать только амплитудную разность (голубой цвет, справа).

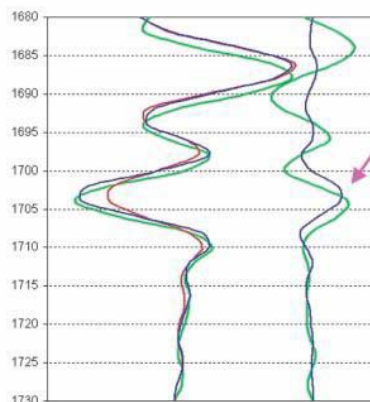


Рис. 10. 4D разность. На этом примере, комбинированная разность по временному сдвигу и амплитуде наблюдается между базовым (красный цвет, слева) и мониторинговым (зеленый цвет, слева) набором данных. Это в свою очередь создает комплексную разность (зеленый цвет, справа), которая раскладывается процедурой морфинга мониторинговых данных (синий цвет, слева), что приводит к выделению только амплитудных изменений (синий цвет, справа).

Анализ временных сдвигов и оценка перемещения ГНК

Одним из методов оценки перемещения ГНК является метод оценки изменения мощности газосодержащего и/или нефтесодержащего песчаника по площади. Это может быть сделано путем измерения временных сдвигов между базовым и мониторинговым набором данных. Landro и Stammeijer (2004) получили выражение нормализованных временных сдвигов в терминах нормализованного изменения мощности и скорости отложений:

$$\frac{\Delta t}{t} \approx \frac{\Delta z}{z} - \frac{\Delta v}{v} \quad (1)$$

С целью разделения комплексного влияния изменения скорости и мощности на временные сдвиги, Roste и др. (2005) показали, что данное уравнение может быть написано относительно только одного аргумента - изменения в мощности:

$$\frac{\Delta t}{t} \approx \frac{\Delta z}{z} - \alpha \frac{\Delta z}{z} = (1 - \alpha) \frac{\Delta z}{z} \quad (2)$$

Оценка параметра α берется из данных до суммирования. Другой подход состоит в анализе характера функции временных сдвигов. Можно показать аналитически или простым моделированием что, в случае перемещения границы, временные сдвиги появляются на времени самой границы, а ниже границы возникают лишь малые остаточные временные сдвиги: движение границы вверх (вниз) выражается в утонении (утолщении) слоя, который залегает сразу над границей, эффект которого компенсируется утолщением (утонением) одного слоя ниже; поэтому остаточные временные сдвиги возникают благодаря изменению скорости в пространстве между исходным положением границы и текущим её положением. В этом случае чистого резкого изменения скорости (например, снижение давления газа, растворение газа), временные сдвиги укажут на это изменение. Данные исследования проводились с целью выделения нисходящих перемещений границы. На Рис. 11 показана разность времен пробега между базовым и мониторинговым набором данных. Причина возникновения этой разности - перемещение ГНК и связанные с этим временные сдвиги были получены в результате процедуры морфинга.

Анализ с помощью нейронных сетей

Альтернативный метод, который, в конце концов, использовался для количественной оценки перемещения ГНК, представлял собой анализ данных с помощью нейронных сетей (Bertrand et al., 2005). Нейронные сети получили большую популярность при воссоздании объемного распределения физических свойств на основе сейсмических данных и данных каротажа. В нашем случае периодические данные каротажа вертикальных скважин использовались для калибровки 4D атрибутов для оценки изменений газонасыщенности отложений. Обычно для обучения нейронной сети выбирается большое количество атрибутов, однако в нашем случае мы уже обладаем оценкой перемещения ГНК, полученной на основе анализа временных сдвигов. Как видно из уравнения (1), изменение в мощности (в нашем случае вызванное перемещением ГНК) является функцией изменения скорости и временного сдвига. В данном случае для обучения нейронной сети для оценки изменения свойства газонасыщенности были выбраны три сейсмических атрибута: изменения акустического импеданса, содержащие информацию об изменении скорости и плотности (например, газонасыщенность), атрибут временной мощности, также содержащий информацию об изменении скорости и мощности отложений; мы также отдельно использовали акустический импеданс для неявной оценки пористости (которая отражает те области, в которых вероятнее всего происходит изменение насыщения). После этого обученная нейронная сеть применялась к исходным наборам данных в целях получения информации об изменении газонасыщенности, а также для оценки величины общего перемещения ГНК. На Рис. 12 (слева) показана карта итоговой оценки перемещения ГНК. Величина перемещения изменяется от 0 м в областях, которые характеризуются отсутствием потока флюида, до 12 м, где перемещение ГНК оказалось максимальным. Как и ожидалось, области максимального перемещения коррелируются с положениями стволов действующих скважин, отображая перепад давления в окоскважинном пространстве. Максимальное перемещение может отражать

Обработка данных

прорывы газа в скважину, так как эти явления наблюдаются в исходной нефтесодержащей толще.

В дополнение к этому, оценка перемещения ГНК, полученная в результате количественного 4D анализа сравнивалась с результатами гидродинамического моделирования. Перемещение ГНК, полученное в результате моделирования (после сглаживания), показано на Рис. 12 (справа). Сходства между двумя картами очевидно и большинство зон максимального и минимального перемещения совпадают между собой (согласно рисунку). Это демонстрирует достоверность оценок, полученных по сейсмическому методу. Однако на картах также имеются множество расхождений. Они вызваны очевидной разницей в разрешающей способности (12.5 м по сейсморазведке против 250 м по моделированию), которая дает большую детальность по данным сейсморазведки (слева). Более того, эти различия позволяют инженерам по резервуару уточнить модель коллектора, так как характер течения флюидов определяет распределение проницаемости, а также позволяют инженерам по добыче обнаружить неохваченные зоны и оптимизировать процесс добычи.

Выводы

Количественный 4D анализ часто считается сложным или даже невозможным при использовании данных прошлых лет или старых данных. Отличительной особенностью случаев с использованием различных систем наблюдения обычно является довольно низкая надежность 4D сигнала. Эти эффекты были исследованы, а специальные решения были разработаны для повышения повторяемости 4D сигнала. К примеру, различия условий водной толщи и аппаратурные

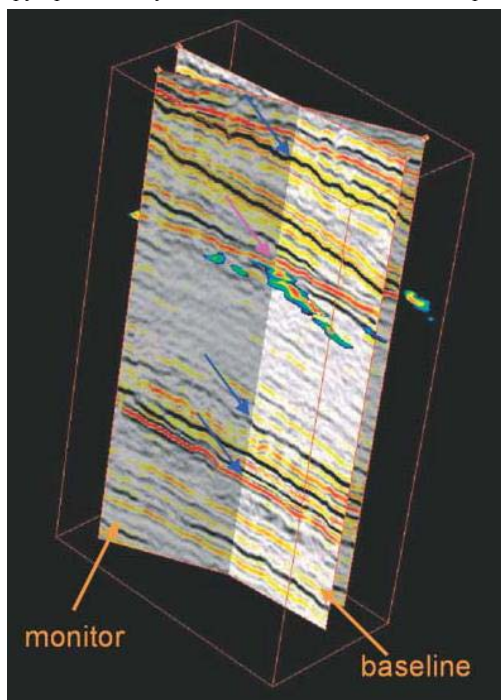


Рис. 11. Разрезы базового и мониторингового набора данных, пересекающиеся в месте явного перемещения ГНК. Синие стрелки указывают на то, что над и под коллектором временных сдвигов не наблюдается. Розовые стрелки указывают на четкое различие в разрезе, вызванное перемещением ГНК вниз. Дополнительный временной срез отображает направление и интенсивность временных сдвигов на данных периодических наблюдений (здесь, максимальный сдвиг по времени равен 4 мс).

различия были учтены, а новая методика амплитудной компенсации на основе конкретных измерений была использована для подавления влияния измерений на амплитуды сигнала. Итоговая повторяемость (индекс NMRS составил 37%) получилась достаточно высокой, как и в случае наблюдений по методике 4D для той же территории. Был использован поток 4D обработки, который обеспечил успешное проведение 4D анализа.

Высокая повторяемость данных с месторождения Troll позволила провести количественный анализ перемещения ГНК. Новый рабочий поток включил в себя процедуры HFI и морфинга, в результате чего появилась возможность разделить и получить различия во временах пробега и амплитудах сигнала для базового и мониторингового набора данных. Специфический анализ временных сдвигов был проведен с целью разделения вариаций скорости и вариации мощности газонасыщенных отложений. После чего, с помощью нейронных сетей была проведена итоговая характеристика перемещения ГНК. Оцененное перемещение имеет сходство с данными моделирования и изменяется от 0 м до 12 м. Более того, повышенная разрешающая способность сейсмического метода обеспечила получение полезной информации для разработчиков месторождения и инженеров по добыче, у которых появилась возможность оптимизировать и наращивать добычу полезных ископаемых.

Благодарности

Мы хотим поблагодарить наших коллег Momtchil Roussanov, John Salter, Sean McQuaid (сейчас работает в компании Techtrans), и Charles Jones (сейчас работает в компании BG) за их помощь и полезные обсуждения, а также David Gawith (EarthModels) за помощь при проведении анализа с помощью нейронных сетей. Мы также выражаем благодарность компаниям, работающим на месторождении Troll (Petro, Statoil, Shell, Total, ConocoPhillips, и Hydro) и, в частности, Sture Leiknes и Hans-Egil Ro из компании Hydro за разрешение на публикацию этой работы.

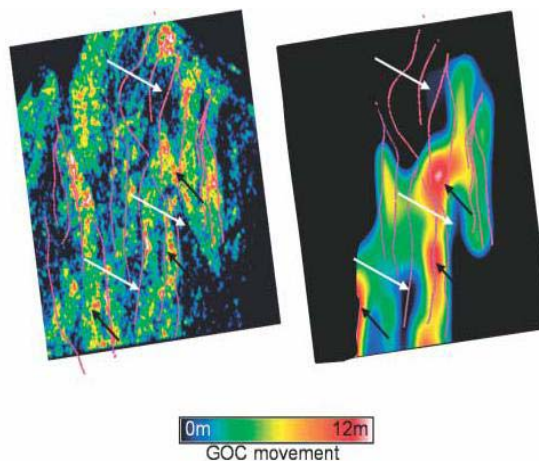


Рис. 12. Карты перемещения ГНК. (Слева): по анализу сейсмических данных. (Справа): по гидродинамическому моделированию (после сглаживания). Черными стрелками показаны большие амплитуды смещений ГНК, которые присутствуют на обеих картах. Белые стрелки указывают на малые амплитуды смещений ГНК, которые присутствуют на обеих картах. (При построении карты слева, никакие данные о свойствах коллектора не использовались).

Ссылки на литературу

- Bannister et al. [2005] Amplitude Preserving Kirchhoff Prestack Time Migration for Time-Lapse Processing on Troll West. *SEG Conference*.
- Barkved et al. [2005] Integrating continuous 4D seismic data into subsurface workflows. *EAGE Conference, C001*
- Bertrand et al. [2005] Gas-oil contact monitoring at Troll using high resolution 4D analysis and neural networks. *EAGE Conference, C040*.
- Eiken et al. [2003] A proven method for acquiring highly repeatable towed streamer seismic data. *Geophysics*, **68**, 1303-1309.
- Hirsch, S. and Perry, G. [2003] A unique high resolution imaging process - a key to finding pay in a mature field. *8th International Congress of the SGBf*.
- Jousset, P., Thierry, P. and Lambare, G. [1999] Reduction of 3-D acquisition footprints in 3-D migration/inversion. *SEG Conference*, 1354-1357.
- Landro, M. and Stammeijer, J. [2004] Quantitative estimation of compaction and velocity changes using 4D impedance and traveltimes changes. *Geophysics*, **69**, 949-957.
- Roste, T., Stovas, A. and Landro, M. [2005] Estimation of layer thickness and velocity changes using 4D prestack seismic data. *EAGE Conference, C010*.
- Swanston, A. M. et al. [2003] Time-lapse imaging at Bullwinkle field, Green Canyon 65, offshore Gulf of Mexico. *Geophysics*, **68**, 1470-1484.
- Thierry, P. et al. [1999] 3-D preserved amplitude prestack depth migration on a workstation: *Geophysics*, **64**, 222-229.
- Torgersen, E., Moe, J., and Vagle, R. [2004] Use of combined seismic inversion and HFI data to evaluate a chalk prospect. *EAGE Conference, P335*.