

## Новый подход к контролю качества в сейсмических съемках 4D с использованием буксируемых кос.

Keith Watt\*

С тех пор, как сейсмических морские съемки 4D впервые стали рассматриваться как средство построения изображения и мониторинга коллектора во времени, основной проблемой была повторяемость, то есть уверенность в том, что все факторы, которые определяют съемку, могут быть воспроизведены в последующих съемках при том же положении расстановки. В качестве решения, предложенного за последние шесть или семь лет - была некоторая форма контроля качества повторяемости, которая дает меру ошибок позиционирования между исходной базовой съемкой и мониторинговыми съемками, которые идут вслед за ней.

Но одной из проблем с таким 'традиционным' подходом - это то, что получаемые результаты лежат в слишком большом диапазоне. Все ошибки от моделирования и стадии построения/планирования съемки до получения данных в некотором смысле, суммируются. Это ставит проблемы при попытке интерпретировать карты с целью разделения погрешностей, которые относятся к процедуре регистрации. Именно в этом контексте нами предлагается альтернативный метод, который назван методом «StatoilHydro», с помощью которого можно более четко выделять ошибки регистрации данных. Существенным преимуществом этого метода является то, что решения принимаются в поле гораздо быстрее и проще. Предложенный в 2006 году для съемки на северо-западной части европейского континентального шельфа, в настоящее время метод использовался в более чем 20 съемках с различной системой наблюдения и расположением. Опыт показал, что это очень полезный способ при его использовании совместно с традиционным QC при 4D съемках с буксируемыми косами.

### Основы метода

Использование 4D сейсмических съемок в качестве производственного аппарата отстояло позиции с середины по конец 90х, преимущественно на зрелых нефтяных месторождениях Северного моря (Staples et al., 2006). В то же время, большая часть 4D сейсмических данных выполнялась с использованием буксируемых кос. Наряду с любой новой технологией, несколько проблем было связано с достижением лучших результатов, что в данном случае означает надежное построение изображения того, как менялось строение коллектора в процессе добычи. Стало ясно, что одним из важнейших вопросов заключился в том, чтобы источники и приемники последующей мониторинговой съемки были вновь установлены на те же места, что и исходные. В условиях морской среды, течений, приливов, погодных условий, изменений в оборудовании, и т.д. все влияет на то, чтобы усложнить условия повторяемости базовой съемки.

В конце 90х большая часть усилий была сконцентрирована на том, чтобы попытаться количественно оценить соотношение между успешными результатами 4D и ошибками позиционирования, и том, как они меняются от месторождения к месторождению преимущественно благодаря различной амплитуде сигнала 4D. Нефтяные компании получали графики, которые демонстрировали вероятность получения эффективных результатов 4D сейсмической съемки для любого заданного месторождения. На Рисунке 1 приводится пример типа графика, который использовался в то время (Marsh et al., 2003).

На рисунке 1, ожидается, что месторождения 4-6 дадут хорошие результаты 4D, месторождение 3 является пограничным, а месторождение 1 и 2 будут рассматриваться как плохие неперспективные объекты для сейсмического 4D подхода. Петрофизическое моделирование используется в качестве основного критерия для понимания вероятного 4D сигнала с определенного месторождения, но основным вкладом в ожидаемый уровень шума является результат ошибок позиционирования. К концу десятилетия стало очевидным, что лучшее управление повторяемостью позиционирования не только улучшило результаты 4D, но превратило месторождения, от которых не ожидалось высокие добычи 4D, в потенциальные кандидаты проектов 4D.

В сейсмических работах, как во всех других, применялась старая поговорка о том, что 'нельзя управлять тем, что нельзя измерить'. Shell была одной из первых компаний, которая инициировала процесс и способствовала созданию технологии более точного измерения повторяемости позиционирования. Концепция заключалась в том, что однажды измеренные результаты

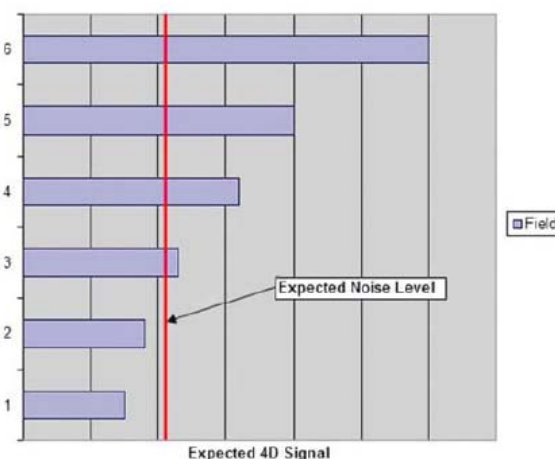


Рисунок 1 График, который демонстрирует предсказанный уровень успеха для сейсмической съемки 4D на основе ожидаемого сигнала 4D.

'Reservoir Imaging, 58-59 Timber Bush, Leith, Edinburgh EH6 6QH, UK.  
E-mail: kwatt@reservoirimaging.co.uk.

## 4D сейсморазведка

повторяемости позиционирования можно сравнить с результатами обработанных данных 4D сейсморазведки, таким образом, что можно достичь некоторой формы калибровки. Процедура применялась к некоторым старым проектам 4D с известными результатами перед тем, как использовать их в новых съемках. Превосходное обобщение результатов более ранних лет было представлено в работе Smit et al. (2005).

**Традиционный подход**

Воспроизводимость позиционирования является мерой отличия позиционирования между наборами данных базовой и мониторинговых съемок. Традиционный метод измерения повторяемости включает алгоритм подобный следующему:

- Начать с данных позиционирования (P1/90) для наборов данных основной и мониторинговой съемок
- Бинировать наборы данных основной и мониторинговой съемок
- Запустить алгоритм согласования, который по-бину рассчитывает атрибуты 4D воспроизводимости для каждого бина

Алгоритм согласования является ключом к методу, и разработан для поиска подобия в трассах, затем минимизации этой функции для поиска лучшего соответствия. На Рисунке 2 приводится простой и достаточно критический пример.

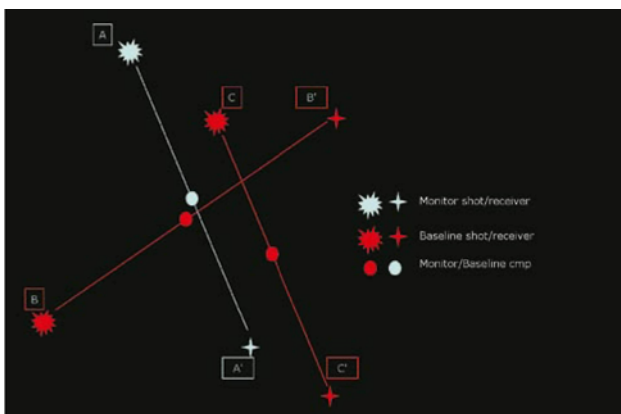
Для базовой трассы AA' если бы нам потребовалось использовать функцию согласования, которая минимизирует  $d_{cmp}$ , алгоритм произвел бы выбор трассы BB'. И наоборот, если бы нам потребовалось бы использовать функцию согласования, которая минимизирует  $d_{src}+d_{rx}$ , она бы выбрала трассу CC. Где  $d_{cmp}$  – разность в Общей Средней Точке, а  $d_{src}/d_{rx}$  – разность в положениях источник/приемник.

После расчета результатов можно закартировать для получения изображения повторяемости по всей съемке. Рисунок 3 является примером карты повторяемости, на которой показана разница в положении приемника для удаления 1000 м.

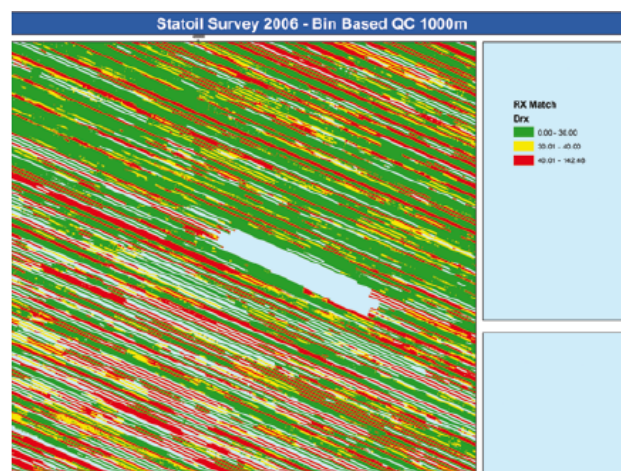
Этот тип карты является хорошим отображением вероятного влияния финальных результатов, основанных на повторяемости позиционирования, но всегда были сложности с использованием этих карт для QC регистрации. Первичной целью QC регистрации было убедиться в том, что данные съемки получают согласно договорному плану. Это относится к базисной съемке, но не обязательно напрямую. Имеется несколько причин, которые вызовут отклонение плана от базисной линии с существенными изменениями в геометрии наблюдения. Также другие вопросы включают: будет ли съемка производиться с использованием прямых профилей или повторяющихся положений источника, согласуется ли отклонение косы от курса с базисной съемкой или нет, и в конце концов была ли выполнена какая-либо обработка схемы расположения ПВ до начала работ.

Одним из примеров того, как можно пожертвовать повторяемостью при принятии решения на фазе разработки и планирования проекта по объединению двух базовых линий. Это не так редко и случается в случае произведения повторного отстрела или заполняющей съемки, а объединение сократит количество мониторинговых линий съемки и, таким образом, издержки съемок. На Рисунке 4 показаны последствия подобного типа принятия решений. График в левой части

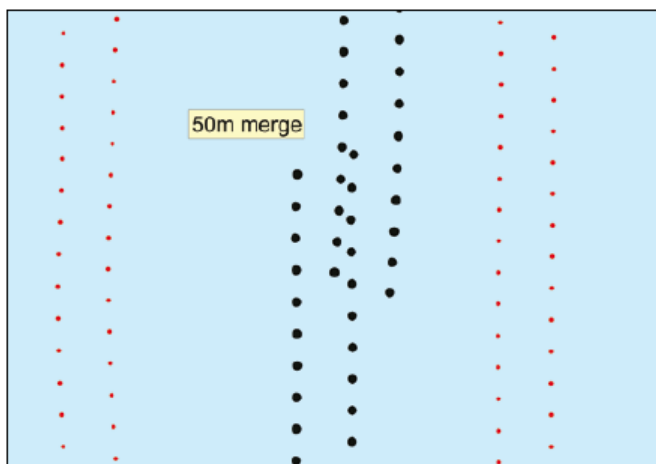
изображает положения источников для четырех базисных линий. В центре имеются два профиля, показанных черным, профиль в левой части был отстрелен заново для дополнения другого профиля. Благодаря тому факту, что линии почти накладываются одна на другую (50 м между источниками), они являются кандидатами на слияние в один профиль мониторинга до начала работ. Но как только это было сделано, это повлияет на создание области «встроенной» невоспроизводимости! Даже если свежее-объединенный профиль мониторинга был бы пройден в соответствии со схемой положения ПВ до начала работ, вы бы увидели четкую область плохой воспроизводимости, с ошибками в положениях источников до 100 м на области слияния. Схема в правой части показывает разницу в положениях источника между линией мониторинга и базисной линией, область с плохой повторяемостью четко видна на области слияния, она устанавливается по сторонам, по мере того, как происходит переход к положениям других линий источника. Это подчеркивает фундаментальную проблему традиционного подхода. Карта QC содержит все моменты невоспроизводимости, и те, которые зависят от дизайна и планирования, и те, которые относятся к сбору данных. В поле сложно производить разделение, так чтобы команда могла уделять большее внимание тем вопросам, которые можно было бы было исправить путем дополнительной регистрации.



**Рисунок 2** Построение изображения разностей в положении источника/приемника съемки 4D.



**Рисунок 3** Карта разности положений для удалений 1000 м: зеленым показаны области с хорошей повторяемостью, желтым – с пограничной повторяемостью, а красным с повторяемостью, которая превышала нормальные уровни приемлемости.



**Рисунок 4** Компромисс с воспроизводимостью в планировании (смотрите текст для пояснений).

### Метод StatoilHydro

В 2005/2006 Statoil рассматривала методы выполнения QC при всех съемках 4D сейсморазведки с буксируемыми косами. Целью компании было установление сообразного подхода QC к наборам данных 4D сейсморазведки, полученным с использованием различной геометрии и методики наблюдения и в географических областях с меняющимися условиями окружающей среды, такими как приливы, течения, погода, и т.д. Задуманная методика была разработана для преодоления проблем, описанных выше, которые относятся к 'встроенной' невоспроизводимости, влияющей на общие результаты и качество базовой съемки и последующих повторных мониторинговых съемок. Метод отличается от традиционного подхода в двух существенных моментах. Прежде всего, производится сравнение со схемой положения ПВ до начала работ, а не на данных базовой съемки и второе – результаты анализируются в области ПВ, а не в области бинов.

### Сравнение со схемой ПВ до начала работ

Критичным моментом фазы разработки и планирования съемки 4D сейсморазведки является изучение набора базовых данных и принятие решений по тому, как лучше выполнить повторение съемки. Этот процесс обычно будет компромиссом между абсолютной воспроизводимостью и вероятной стоимостью программы мониторинга. Вопросы, которые следует решить для выполнения мониторинговой съемки, включают правильный выбор геометрии наблюдения, применимых методик и того, требуется ли какая-то обработка до начала работ, такая как объединение профилей, профили, которые не нужно обрабатывать, сглаживание схемы до начала работ, и т.д.

Как только были приняты решения подобного типа, генерируются схемы наблюдения и план подписывается. На этом этапе уже была включена некая доля допустимой невоспроизводимости и это не то, о чем следует волноваться команде: их задачей является получение данных съемки насколько возможно ближе к разработанному плану. Это

означает, что QC выполняется как сравнение со схемой до съемки, иными словами, полевая команда только уделяет внимание тем погрешностям, которые относятся к регистрации.

Одной из важных новых концепций в методе заключался в перемещении от по-бинного подхода к QC и анализу данных в области ПВ. Это относительно простой метод получения статистической меры числа определенного возбуждения 4D. Его можно применять на профиле, затем на площади и в конечном итоге на всей области съемки. На фазе регистрации данных 4D сейсморазведки, подход QC на основе ПВ позволяет производить более ясное отображение, что дает навигаторам простое представление качества 4D регистрации без необходимости вникать в детали принятия решений по схеме и плану съемки.

### Метод

Очевидно, что получение статистики воспроизводимости в проектах 4D сейсморазведки требует надежной точки сравнения между базисным и мониторинговым набором данных. Традиционно используемым методом было бинирование, для которого данные в каждом бине мониторинговой съемки сравнивались с эквивалентным бином в наборе данных базисной съемки. Используя этот метод, связь между наборами данных базовым и мониторинговым образуется посредством положения ПВ: как только найдено соответствие ПВ, рассчитываются ошибки приемника по этому ПВ. Таким образом, основная процедура:

- Согласование ПВ, для каждого ПВ мониторинга поиск базисной съемки для ближайшего ПВ.
- Расчет атрибутов, для согласованного ПВ расчет ошибок ПВ (инлайн/кросслайн). Затем на заданных окнах удалений (обычно каждые 500м) расчет ошибок ПП (инлайн/кросслайн).

Метод описан на Рисунке 5.

По завершении процедуры значения качества для каждого ПВ регистрируются, и эти значения качества составляют простой набор значений, которые относятся к повторяемости, как источника, так и



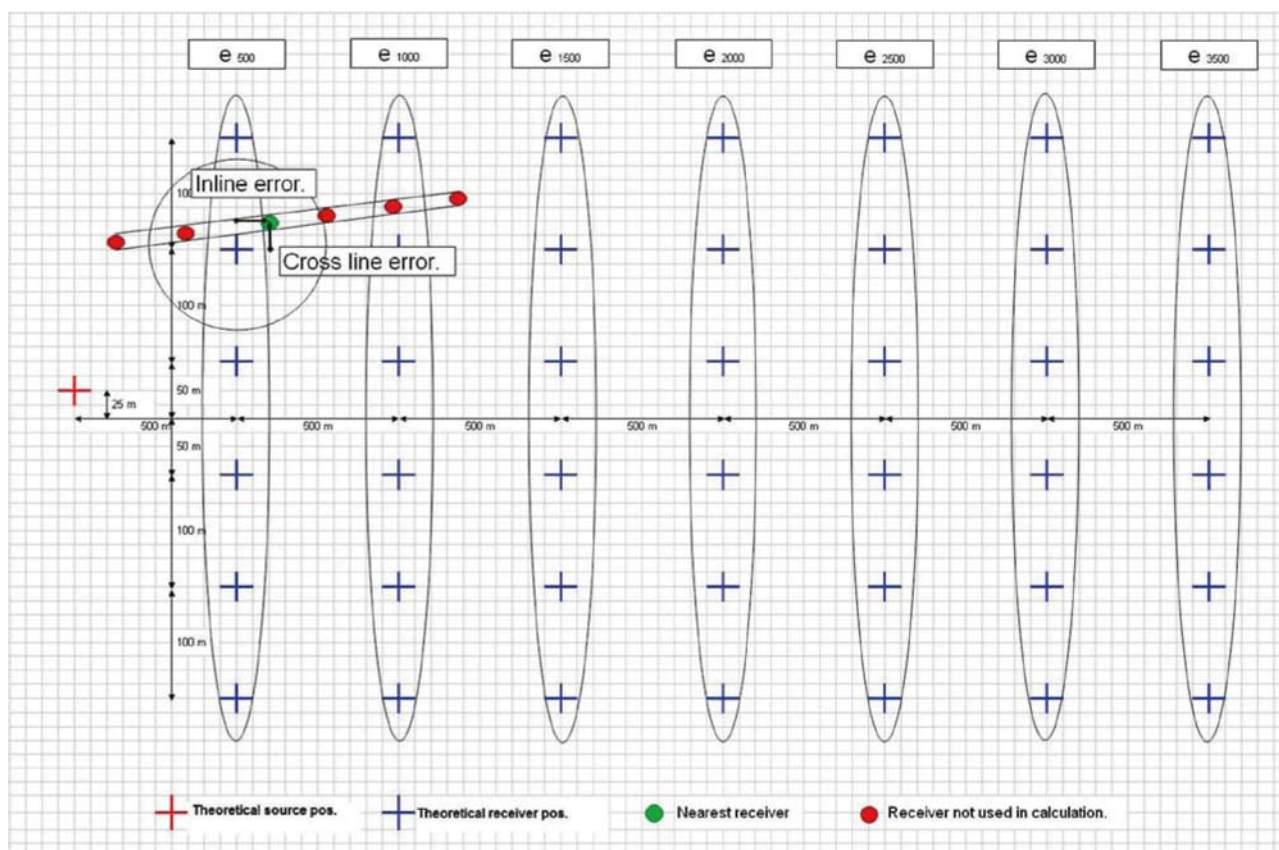


Рисунок 5 Схема метода контроля качества StatoilHydro на основе ПВ.

приемника. Поскольку эти значения относятся к положению ПВ, они идеальны для QC регистрации. Однако, необходимо отметить, что для полного анализа повторяемости, традиционные карты бинов все еще важны, поскольку они дают общую меру повторяемости 4D, основанную на всех погрешностях (разработка/планирование и регистрация). Также эти данные относятся к положению бина или ОСТ (общей средней точки) и эти карты будут более четко коррелироваться с сейсмическими данными.

Тем не менее, простое изображение на основе ПВ является превосходным способом выполнения контроля качества регистрации 4D сейсморазведки, и карты сами относятся к характеристикам 4D. Например, стандартной практикой обычно является задавать фиксированный набор значений для описания повторяемости источников, например 0-10 м хорошая, 10-20 м средняя, 20 м+ недопустимая. Карты источников могут быть раскрашены в соответствии с кодом для отображения данных. Подобным образом, повторяемость положения приемника может быть задана тем же способом, а качество его проконтролировано в соответствии с этими характеристиками.

#### Пример 1

Вернемся к более ранним отображениям повторяемости на по-бинной основе (Рисунок 6).

Имеется существенное влияние шума, который проходит через все данные и относится, преимущественно к разности между геометрией мониторинговой и базисной съемок. Полосы на краях профиля

заметны на большинстве профилей, а пара существенных полос отмечены на приведенном изображении. Имеется также область на юго-западе, где было большое число повторных отстрелов/загушающих профилей на базисной линии. Эти данные были приведены в порядок на фазе подготовки и планирования с целью сделать схему регистрации съемки наиболее эффективной. Сторонним эффектом этой модификации является компромисс с областью повторяемости на этом участке и это можно ясно видеть из графика. Выделение аномалий, которые относятся к реальной схеме регистрации очень трудно при объединении с принятыми решениями по не-повторяемости, которые запланированы для этой съемки. На отмеченной финальной площади имеется несколько реальных моментов, которые относятся к системе регистрации, но по этой карте было бы очень трудно идентифицировать это как проблемную область без детальных сведений о решениях по схеме и планированию съемки.

Теперь, глядя на те же данные, но теперь уже используя новую методологию, мы видим некоторое новое изображение (Рисунок 7):

Здесь мы смотрим на карту на основе ПВ, на которой видна погрешность по ПП на удалении порядка 1000 м. Цветовая шкала выбрана так, что зеленый цвет означает хорошую повторяемость, желтый – среднюю, а красный – выходящую за пределы. Ясно видно, что полосовая геометрия и область с объединением профилей не являются проблемными областями. Теперь область, где регистрация отклоняется от плана, четко видна. Можно выполнить анализ

в целях понимания причин погрешностей. На этом этапе можно применять традиционные методы QC повторяемости. Если требуется, для решения установленных проблем можно выполнить дополнительный сбор данных.

### Пример 2

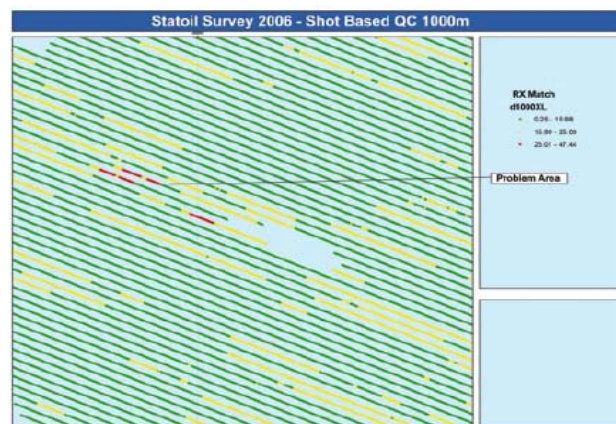
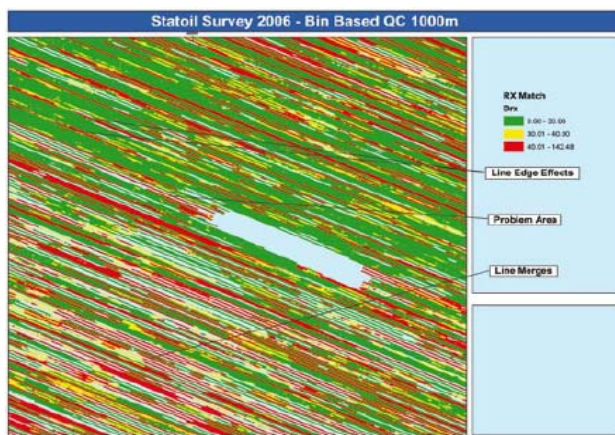
Взят из съемки, проведенной в Северном море в 2007 г., на рисунке 8 приводится сравнительная иллюстрация повторяемости на основе ПВ и на основе бинов.

На левом рисунке на основе ПВ, имеется порядка семи-восьми зон, на которых показаны потенциальные проблемы, которые можно исправить с помощью дополнительной регистрации данных. На рисунке справа, где показан по-бинный контроль качества выделяется гораздо больше проблемных областей, но в этом случае потребуется гораздо больше анализа для определения того, к чему относятся проблемы – к разработке/планированию съемки или просто вопросам регистрации, которые можно скорректировать.

Возьмем два примера на Рисунке 8: выделенная область на А является проблемной областью на данных на основе ПВ и также является проблемной областью на по-бинном отображении. Это означает, что проблема может быть решена с помощью загушающей сети. Более детальный анализ обнаружил существенные нестыковки отклонения косы от курса между этим профилем и базисным профилем. Планирование съемки профиля, с запланированным отклонением косы, которое было бы ближе к базовому, решило бы проблему.

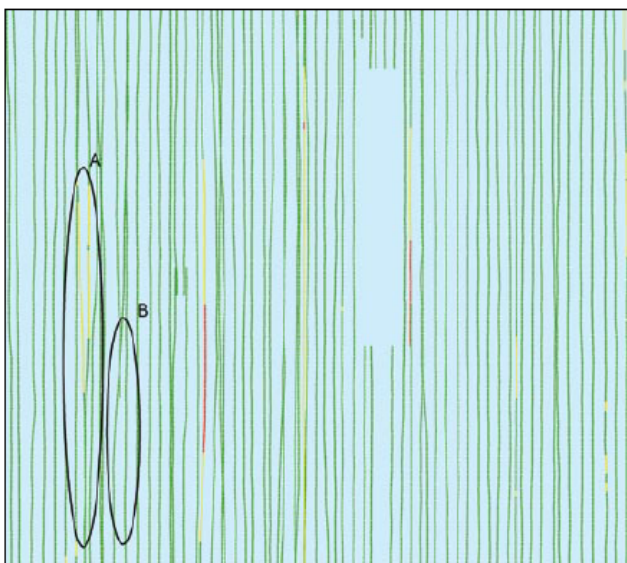
Для области В изображение на по-бинной основе указывает на то, что имеется проблема с повторяемостью, хотя изображение на основе ПВ говорит о том, что все в порядке. Это означает, что проблема связана со схемой и процессом планирования, а не самой регистрацией.

На Рисунке 9 приводится повторяемость на по-бинной основе для мониторинговой съемки с наложенными координатами ПВ базисной линии в левой части, и в правой части координатами ПВ мониторинговой съемки. На выделенной области видно, что было принято решение на этапе разработки/планирования по объединению профилей с целью более эффективной регистрации. Это оказало влияние на повторяемость, но это не



**Рисунок 6** Традиционный QC на основе повторяемости (drx) с иллюстрацией проблемных областей съемки.

**Рисунок 7** Новый метод QC (drx) с иллюстрацией проблемных участков.



**Рисунок 8** Графики QC повторяемости на основе ПВ и бинов, в обоих случаях используется drx+drx.



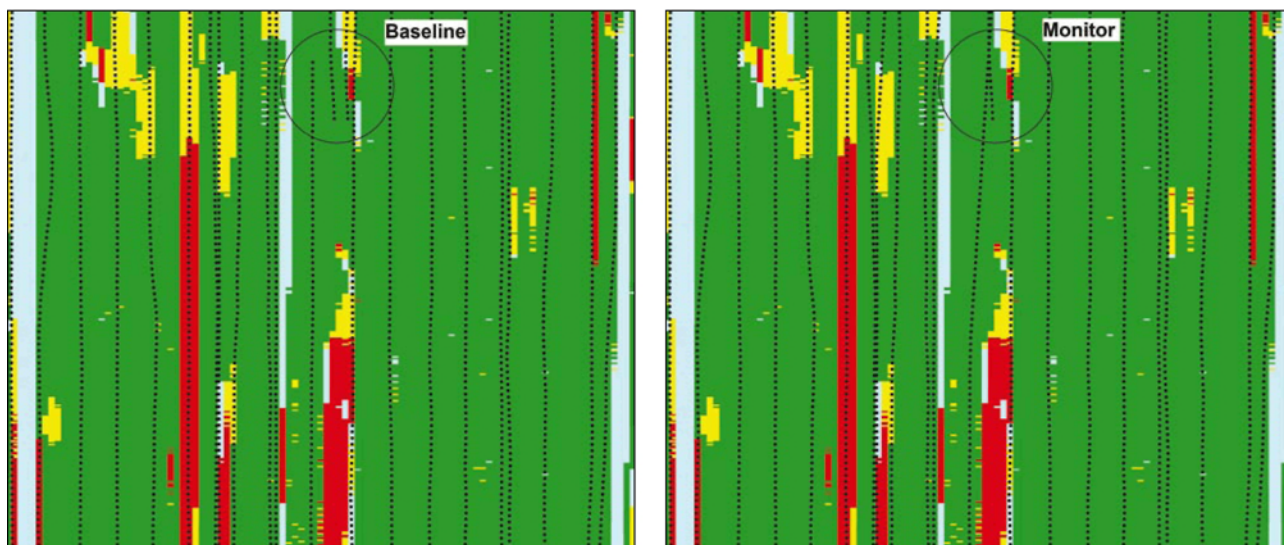


Рисунок 9 Увеличенное изображение области В на Рисунке 8 иллюстрирует повторяемость на по-бинной основе для базовой (слева) и мониторинговой съемки (справа) и эффект принятия решений по разработке/планированию съемки. (Благодаря пробинорованным атрибутам повторяемости в области общей средней точки (СМР), аномалии повторяемости имеют сдвиг положения ПВ почти на  $\frac{1}{2}$  длины косы.)

то, что можно 'исправить' в процессе регистрации и никакой повторный отстрел не решит этот вопрос повторяемости. Без детального понимания процессов планирования и разработки трудно различать проблемы, вызванные реальными ошибками регистрации. Этот пример поясняет как метод компании StatoilHydro выделяет проблемы регистрации, относящиеся к вопросам, которые возникают в течение съемки.

#### Заключение

Методика на по-бинной основе все еще является важным методом изменения совокупных ошибок неповторяемости позиционирования при 4D мониторинговой съемке и дает обработчикам и интерпретаторам панораму «неповторяемости», которая может повлиять на окончательное качество набора данных 4D сейсморазведки. Метод StatoilHydro на основе ПВ помогает фокусироваться на вопросах, относящихся к регистрации, таким образом, QC проекта 4D сейсморазведки может особо выделять области, ошибки на которых можно исправить, а не те области, которые характеризуются фундаментальными проблемами.

#### Благодарности

Автор хочет выразить признательность StatoilHydro за разрешение на публикацию данной работы и StatoilHydro, BP и партнерам за разрешение на использование их данных в примерах.

#### Литература

- Marsh, J.M., Whitcombe, D.N., Raikes, S.A., Parr, R.S., and Nash, T. [2003] BP's increasing systematic use of time-lapse seismic technology. *Petroleum Geoscience*, 9(1), 7-13.
- Naess, O. E. [2007] Measurements, predictions and results of geometrical repeatability in 4D сейсморазведка acquisition. *71<sup>st</sup> SEG Annual Meeting*, San Antonio. Expanded abstracts.
- Smit, E, Brain, J., and Watt, K. [2005] Repeatability monitoring during marine 4D streamer acquisition. *67<sup>th</sup> EAGE Conference and Exhibition*, Madrid. Expanded abstracts.
- Staples, R., Stammeijer, J., Jones, S., Brain, J., Smit, E, and Paul Hatchell [2006] Time-Lapse (4D) Seismic Monitoring - Expanding Applications. 2006 *CSEG/CSPG/CWLS*. Calgary. Expanded abstracts.