

## Морская сейсморазведка

### Уменьшение разделения работ по времени при съемке в Северном море благодаря подавлению сейсмического шума. Reduction of acquisition time sharing in the North Sea by Seismic Interference attenuation

Ted Manning, BP UK, Jan H. Kommendal, BP Norway, и Richard Wombell, Tony Noss, и Tamara Pokrovskaya (Veritas DGC, UK) рассказывают о том как можно решить проблему сейсмических помех от различных компаний съемки вблизи одного и того же участка работ.

**П**ри работе сейсмических партий почти с предельной производительностью, при том, что цены на проведение съемки растут, и происходит переход к дорогостоящим широко- и многоазимутальным работам, жизненно важно, чтобы время проведения съемки было как можно более эффективным.

Несмотря на обилие литературы о способах обработки с целью уменьшения шума от других съемок, перемежающиеся возбуждения между различными сейсмическими партиями, известные как «разделение времени», остается распространенным и дорогим решением при получении морских данных. Текущие инструкции по проведению морских сейсмических работ учитывающие эти сейсмические помехи (SI) в поле достаточно консервативны.

Вопрос заключается в том, как можно учитывать SI в процессе регистрации, в целях их надежного подавления в процессе обработки, и таким образом, устранения требования разделения времени? В этой статье описана свежая работа, которая оказалась успешной для подавления SI как в многокомпонентных данных с буксируемой косой, так и с океаническим донным кабелем (OBC), что в данном примере существенно снизило разделение времени. Также представлены новые критические аспекты регистрации для учета SI на буксируемых косах.

Сейсмические помехи были записаны во время одновременной регистрации данных BP Valhall OBC и Veritas Quad 30 с буксируемой косой в 2003 г. (участки показаны на Рисунке 1). Это вынудило BP and Veritas выдвинуть совместный проект исследования методов подавления SI в процессе обработки, дополнительной целью которого было определение критических значений шума при регистрации морских данных в присутствии SI и сокращение разделения времени для последующих съемок.

Диапазон алгоритмов и потоков стандартной и нестандартной обработки были оценены по данным, загрязненным SI. Был сделан вывод о том, что зарегистрированный SI можно легко подавить, до суммирования, как с данных косы, так и данных OBC с аккуратным сохранением амплитуды сигнала. Это расширяет рамки работ Jack и Lancaster, 1989 и Lynn et al., 1987.

В 2004, при дополнительном тестировании буксируемой косы, записывались данные, содержащие SI от источника Valhall с целью дальнейшего изучения первоначальных результатов. Записи шума использовались для построения библиотеки шума с помощью которой моделировались SI волны для диапазона азимутов и интенсивностей. Результаты последующей обработки и анализа вдохновили обе

компании на проведение съемок в этой области в 2005 и 2006 с сокращением разделения по времени.

#### Основы

Сейсмические помехи образуются когда две или более сейсмические партии одновременно получают сейсмические данные вблизи друг друга, результатом чего является то, что энергия источника одной партии записывается в виде шума в данных другой съемки. Чрезмерные помехи обычно ведут к использованию разделения времени, с сопутствующей организацией точного графика возбуждений. Это дорого как для компаний клиентов, так и для сейсмических подрядчиков. Стоимость включает в себя потери времени регистрации, задержки при переходе на новый пункт съемки, упущенную возможность в случае, если съемка откладывается из-за плохой погоды, и отсроченной доставки данных.

Четырехкомпонентный проект BP «Жизнь полевой сейсмики» (LoFS) ОВС на Valhall требует проведения мониторинга четыре раза в год с целью обеспечения 4D сейсмических изображений, оптимизации истощения месторождения, и понимания эволюции геомеханических и упругих напряжений на месторождении. Этот высокий уровень активности ведет к значительному воздействию SI на Valhall от соседних съемок, в данном случае, вблизи квадрата 30.

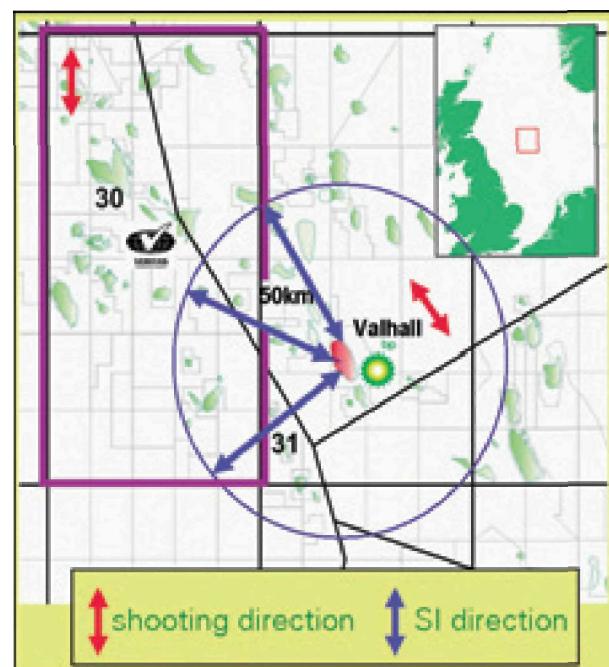


Рисунок 1 Карта проведения съемки, Северное море.

## Морская сейсморазведка

Важно чтобы производительный цикл регистрации и обработки был минимизирован, для того, чтобы каждое изображение 4D могло оказать влияние на бизнес, в то же время соответствовать качеству данных предыдущей съемки.

Расстояния между съемками может достигать 20 км, что влечет за собой запись значительного непродольного шума на данных с косами. В этом случае, источник ОВС использует интервал возбуждения 20 секунд, при этом на данных приемной косы, для которой используется более типичный интервал возбуждения 10 секунд, по меньшей мере каждое второе возбуждение будет содержать шум. В подавлении SI, записанного на данных ОВС, это используется, как показано ниже, но при обработке данных косы на это не полагаются.

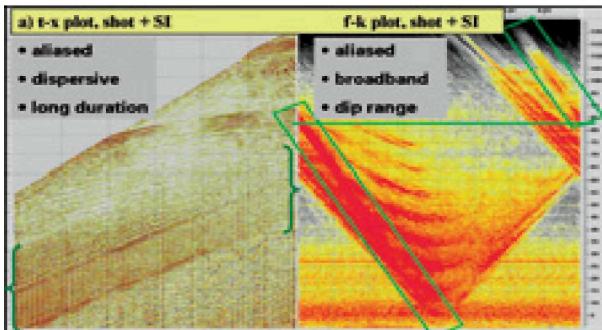
### Характеристики шума SI

На характеристики SI влияет глубина воды, свойства воды, и природа морского дна. В нашем случае глубина воды достигает 70-80 м (порядка 100 мс двойного времени пробега). SI – имеет вид закритического, волноводного распространения с кратными модами. (Смотрите Hargreaves et al., 1997 для более подробного описания.) SI будет сильно меняться в зависимости от района Земного шара и результаты, описанные здесь, могут потребовать дополнительных исследований для использования в других районах.

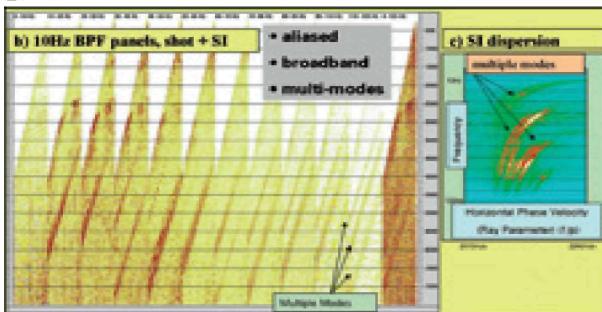
Шум SI, записанный на этой группе данных имеет широкий диапазон (~10-125 Гц), большую длительность (~2 с), имеет пространственный алиасинг, имеет диапазон скоростей и частотную дисперсию (см. рисунок 2).

Для данных косы, пуг волн-помех просто разделяется

**A**



**B**



**Рисунок 2а/б/с Характеристики шума SI от головы к хвосту.**

по приращению времени на приходящий от головы к хвосту (НТ), от хвосту к голове (ТН) или боковой (В), в зависимости от азимута интерферирующего источника по отношению к косе.

**Первоначальные процедуры обработки сигнала**  
Этот проект первоначально был сконцентрирован на подавлении сейсмического шума на буксируемой косе, с использованием имеющегося набора методик обработки. Поставленными целями обработки были:

- Ограничение опций обработки теми из них, которые гарантируют высококачественную точность сохранения сигнала для минимизации потенциального вреда первичной энергии.
- Опция обработки должна быть применена только к загрязненным возбуждениям и ограничена загрязненным диапазоном t-x.
- Решение должно позволить проведение обработки в реальном времени (на борту) — так процедура подавления будет автоматизирована и идеально запускаться для выборок ОПВ, или в худшем случае, только требовать одного единственного профиля в качестве входных данных.

Эти ограничения должны гарантировать удобную работу с записями SI, при этом будет поддерживаться высокая точность исходного сигнала. По этой причине, опции стандартного масштабирования и мьютинга исключаются и заменяются на более сложные процедуры. Рисунок 3 иллюстрирует результаты автоматической методики t-r на выборках ОПВ, которая была разработана для удовлетворения этим целям. Были также оценены подавление когерентного шума FX, редактирование и реконструкция спектра FX, и FK фильтрация (защищающие пространство k=0 и использующие мягкую фильтрацию в форме 'бутилки'). В общем, методы стандартной обработки, с тщательным выбором параметров, были достаточно успешны в подавлении SI, записанного на этих данных. Изучение литературы также подтверждает, что процедуры обработки могут существенно подавить SI (Akbulut et al., 1984, Gulunay и Pattberg, 2001).

### Буксируемая коса: результаты тестов масштабирования и подавления моделированного SI

Следующим этапом было проверка точности воспроизведения амплитуд при подавлении SI. Был запланирован тест 4D-подобный, для которого профиль без SI был отстрелян заново в присутствии SI от Valhall. Вдобавок, записи шума SI были получены при повороте судна. Эта тестовая линия действительно записала SI в общей сложности от трех партий, НТ, ТН и В. Сравнение чистого обработанного первичного профиля, и обработанного повторного профиля с подавлением SI оказалось успешным. Однако повторяемость позиции и наличие SI от других источников означали, что при подавлении SI на Valhall нельзя точно выделить исходный сигнал, что затрудняет анализ результатов.

Для разработки более управляемого анализа, записи шума SI, записанные при повороте судна, были масштабированы и добавлены к чистому исходному профилю для моделирования диапазона различных диапазонов подхода и мощностей шума SI. Для обеспечения интервала возбуждения в соответствии с интервалами съемки Valhall была синтезирована серия фиксированных положений источника по отношению к номинальному началу координат плюс некоторое случайное отклонение.

## Морская сейсморазведка

специальная тема

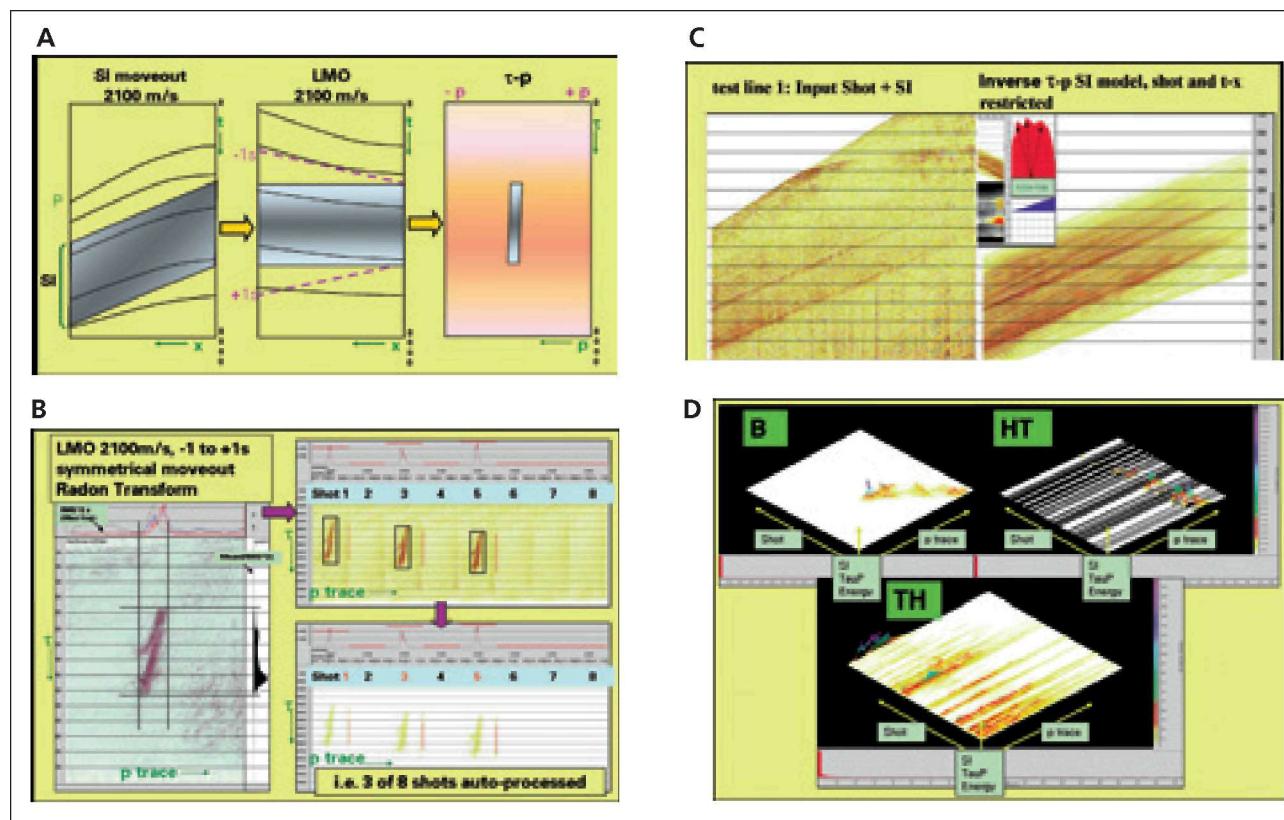


Рисунок 3 Автоматическое определение SI и методика подавления: а) на рисунке демонстрируется входное возбуждение с SI, затем со скоростью, задаваемой пользователем для линейного приращения времени (LMO), за этим идет симметричное преобразование TauP с фиксированным приращением времени; б) на рисунках ниже приведен реальный пример, в котором показана та легкость с которой можно выделять SI в области TauP в контексте диапазонов наклонов и времен с использованием простого энергетического критерия – из восьми последовательных точек возбуждения, только три с SI имеют остаточную энергию после мьютинга в области TauP; в) на рисунке показана входная сейсмограмма с SI и модель обратного преобразования TauP SI для прямого или адаптивного вычитания; г) TauP может работать с несколькими источниками загрязнения SI, по одному проходу для HT, TH, и бокового шума, получают выбранные возбуждения и модели SI с ограниченным диапазоном t-x для вычитания и загрязненных возбуждений.

Используя данные навигации исходного первичного профиля по отношению к номинальному началу координат, записи шума SI затем были выбраны и добавлены к данным с компенсацией за диапазон и отклонение косы от курса etc. Эта процедура проиллюстрирована на Рисунке 4 и Рисунке 5.

Хирургический мьютинг и метод интерполяции, используемый Jenkinson al. (1999), показывает, что обработка с сохранением высокой точности сигнала важна для последующей детальной работы с амплитудой. В работе, представленной здесь, сравнение обработанных данных с данными без добавления и с добавлением SI, позволяет выполнять анализ точности амплитуд, который достигается при удалении модельных SI. Количественный анализ был выполнен, используя 4D NRMS (нормализованная разность RMS). Также опытные обработчики выполнили качественный анализ данных на сейсмограммах ОПВ, выборке трасс, и суммарных сейсмограммах для подтверждения анализа NRMS.

Анализ NRMS проиллюстрирован на Рисунке 6. Каждая точка данных представляет собой трассу, которую засоряет синтезированная запись шума SI. На вертикальной оси показана магнитуда добавленного

шума SI в микробарах, а на горизонтальной оси показаны моделированные направления до источника сейсмического шума. Распределение точек данных просто показывает диапазон направлений и амплитуд SI, моделированных в этом тесте. Цвет каждой точки данных - отношение NRMS исходной трассы

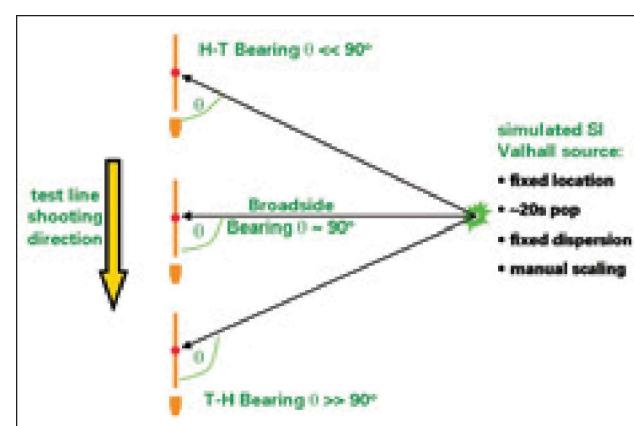
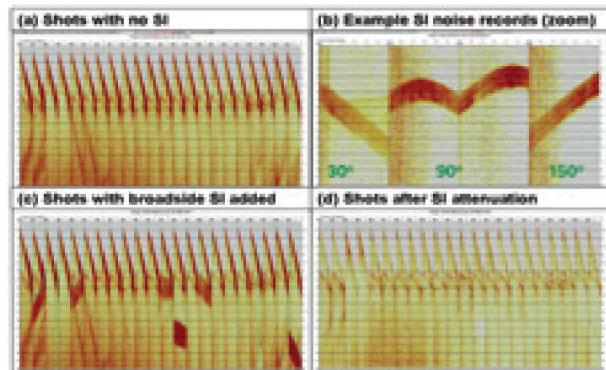


Рисунок 4 Принятая геометрия моделирования SI.

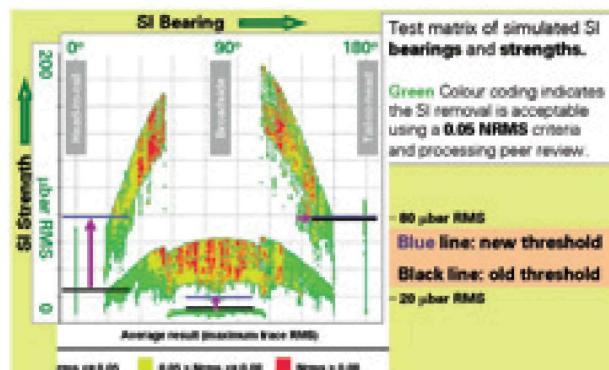
# Морская сейсморазведка



**Рисунок 5** Примеры обработки моделирования SI на буксируемой косе и его подавления с помощью редактирования и реконструкции спектра.

и данных после моделирования и подавления SI. Эта величина оценивает возможность точного подавления SI для различных уровней и направлений шума.

На Рисунке 6, исходные пороги SI для съемки с косой показаны черными прямоугольниками. После моделирования и подавления SI, был выбран NRMS ниже порога 0.05 в качестве приемлемого соответствия чистым данным, этот уровень редко достигается для повторяемости 4D. Значения, о которых говорится в экспертных исследованиях, для приемлемого подавления SI согласуются с этим значением. Далее этот результат использовался для изменения текущего порога SI при регистрации данных с кос (показано черными прямоугольниками) на значения, отмеченные синими прямоугольниками. Пороговые значения для НТ и бокового шума были подняты, тогда как существующий жесткий допуск для шума TH остался без изменений.



**Рисунок 6** Анализ NRMS для подавления модельных азимутов и амплитуд SI. Зеленым отмечено допустимое подавление, желтым – некоторое повреждение первичного сигнала, красным – неприемлемое повреждение первичного сигнала - 4D съемки, обычно между 0.1 и 0.5, возможный диапазон от 0 до 20.

## Многокомпонентные тесты ОВС

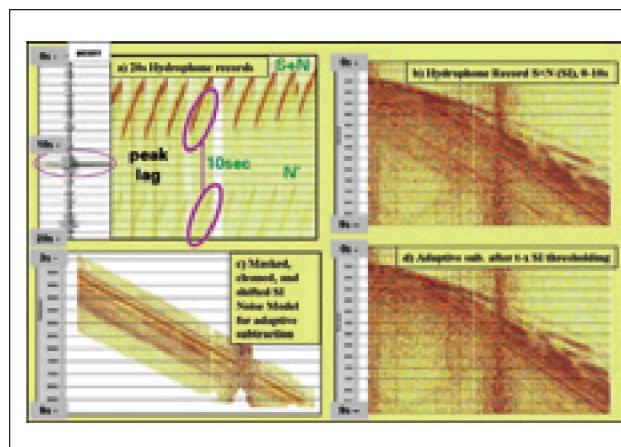
Для съемки 4D/4C Valhall, длина записи для всех четырех компонент составила 20 с вместо необходимой длительности 10 с, которая была у предыдущих съемок. В операционном плане это эффективно, поскольку данные записываются сразу на диск и интервал извлечения данных Valhall 20 секунд. При наличии SI приходящего от буксируемой косы с интервалом извлечения 10 секунд, дополнительные 10 можно регистрировать второй цуг шума SI в верхней части стремительно убывающей энергии сигнала от источника Valhall. Это обеспечивает хорошую модель шума SI, записанного за первые 10 секунд.

Автокорреляция по возбуждениям определяет период, на который надо сдвинуть модельный шум SI перед простым вычитанием. Великолепный результат можно достичнуть если сначала применить подавление случайного шума от 10 до 20 секунд, затем использовать порог амплитуд для временного и пространственного ограничения модели SI, применяя сдвиг, соответствующий временному интервалу SI от 0 до 10 секунд, и используя адаптивное вычитание (Рисунок 7). Далее дополнительную длину трассы можно удалить и продолжать обработку как обычно.

Широкоугольная геометрия приемной расстановки и высокая кратность также могут помочь в подавлении записанного сейсмического шума для этих данных ОВС. По этим причинам наличие дополнительного (вертикального) шума корабля (Рисунок 7) не является компромиссом для результатов LoFS 4D. Успех этого метода означает, что мониторинговые съемки Valhall 6 и 7 избежали участия разделения по времени. Более детально эта процедура обработки, использованная на практике, описана в работе Kommedal et al., (2006).

## Выходы

Имеется несколько надежных опций обработки, направленных на подавление SI, обнаруженного на буксируемой косе и ОВС, что сокращает необходимость разделения времени. Некоторые опции можно автоматизировать и запускать в процессе сбора данных,



**Рисунок 7** Подавление SI на ОВС: a) 20 с компонента гидрофона показана с цугом шума SI, выделенным косыми эллипсами и добавлена суммарная функция автокорреляции; b) увеличенное изображение записи одного гидрофона с шумами SI; c) Вторые 10 секунд данных после подавления случайного шума, сдвинутые на коэффициент автокорреляции, для совпадения с первым цугом шума SI, и порог амплитуд, ограничивающий величину  $t-x$ ; d) Результат адаптивного вычитания.

# Морская сейсморазведка

**специальная тема**

например метод t-p, примененный в работе. Точное сохранение сигнала крайне важно для последующей работы с амплитудой, в настоящем комплексе методов имеется несколько вариантов подавления шума, которые могут помочь в достижении этого.

Использование записи шумов позволяет симулировать и оценивать подавление SI в диапазоне различных азимутов и амплитуд. Допуск NRMS 0.05 был выбран как приемлемый допуск на подавление SI в этом проекте, что подтверждается визуальной экспертной оценкой. Результаты использовались для определения новых пороговых значений шума SI для сбора данных с помощью косы при наличии шума от съемки Valhall LoFS: TH остается на 80 микробар, тогда как НТ увеличилось с 25 до 80 микробар, а порог бокового шума SI удвоился до 20 микробар.

Результаты данного исследования использовались в дальнейших съемках, как с косой, так и с ОВС (LoFS Съемка 6 в 2005 и съемка 7 в 2006), в этом же районе в присутствии сейсмического шума уже без необходимости работ с разделением времени.

## Благодарности

Авторы хотят поблагодарить BP и его партнеров по месторождению Valhall, и Veritas за разрешение на публикацию этой работы. Наличие Соглашения о Техническом Сотрудничестве между BP и Veritas побудило к быстрому продвижению этого проекта и решению совместной задачи; мы приносим благодарности Keith Nunn, Richard Seaborne, Tim Summers, и Gareth Williams. Также мы благодарим Dave Howe за его технический вклад и постоянную поддержку.

## Литература

- Akbulut, K., Saeland, O., Farmer, P., and Curtis, T. [1984] Suppression of seismic interference noise on Gulf of Mexico data. *SEG Expd. Abstracts 3*, 527
- Gulunay, N. and Pattberg, D. [2001] Seismic interference noise removal. *SEG Expd. Abstracts 20*.
- Hargreaves, N., Manin, M., Gratacos, B., Micklewright, I., and Perkins, C. [1997] Seismic crew noise: a zero time-sharing solution. *Poster Paper, SEG Summer Workshop*, Vail, Colorado
- Jack, I. G. and Lancaster, S. J. [1989] Acceptable levels of marine seismic interference. *First Break*, 8, 335-347
- Jenkerson, M.R., Clark, H.B., Houck, R.T., Seyb, S.M., and Walsh, M.O. [1999] Effects of seismic interference on 3D data. *SEG Expd. Abstracts 18*, 1208
- Lynn, W., Doyle, M., Larner, K., and Marshall, R. [1987] Experimental investigation of interference from other seismic crews. *Geophysics*, 52, 1501-1524.
- Kommedal, J. H., Semb, P. H., and Manning, T. (2006) A case of SI attenuation in 4D seismic data recorded with a permanently installed array. *75<sup>th</sup> SEG Annual International Meeting*, Extended Abstracts, 25,1.
- Manning T., Kommedal, J. H., Wombell, R., Noss, T., and Pokrovskaya, T., 2006, Reduction of acquisition time sharing in the North Sea by seismic-interference attenuation: *68<sup>th</sup> EAGE Annual Conference and Exhibition*, Extended Abstracts, F025.