

Ошибки, подстерегающие специалистов, в процессе анализа низкочастотных пассивных сейсмических данных. Pitfalls in the analysis of low frequency passive seismic data

Peter Hanssen¹* и Sascha Bussat¹ из StatoilHydro подчеркивают важность анализа съемки пассивной сейсморазведки, построенной на микросейсмах в углеводородах (УВ) и выделения антропогенных шумов и эффектов ближнего поля потенциальных углеводородных прямых индикаторов на примере съемки в Ливии.

B2007, StatoilHydro провел тестовую съемку на добывающем нефтяном месторождении в Ливийской пустыне с целью изучения возможного нового прямого углеводородного индикатора (DHI), на основе пассивной сейсморазведки. Используя широкополосные сейсмометры, новый метод DHI может иметь хороший потенциал и указывать на наличие углеводородного коллектора под поверхностью, путем анализа записанного спектра для увеличенного уровня энергии в диапазоне между 2-6 Гц. Этот тип исследований также известен под названием анализа углеводородных микросейсм и за несколько прошедших лет некоторые подрядчики предложили свои услуги по выполнению таких съемок.

В данном исследовании мы будем уделять внимание одновременной регистрации одного профиля и дополнительным повторным измерениям на других позициях. Мы расскажем о некоторых серьезных ошибках интерпретации, которые могут потенциально возникать, если данные были обработаны не достаточно тщательно. Эта работа демонстрирует, что шум, вызываемый человеческой деятельностью, может давать похожие сигналы на целевые DHI в частотной области и что он может сильно коррелироваться с шумом источников высоких частот. Кроме того, необходимо рассмотреть вопрос о том, что поверхностные волны, вызванные антропогенными шумами, часто имеют пики частот между 1 и 10 Гц из-за неконсолидированных приповерхностных толщ.

Устранение этих наложенных сигналов, которые могут достигать частот 0.5 Гц, существенно и его лучше выполнять в автоматическом режиме. Анализ получаемых областей покрытия данных в предлагаемом частотном диапазоне вблизи 3 Гц дает дополнительную информацию о малоглубинном интервале. Эти сигналы также должны быть подавлены для того, чтобы был шанс зарегистрировать слабый сигнал от коллектора, расположенного в нескольких сотнях метров под поверхностью.

Для того чтобы был шанс разделить предполагаемый DHI и антропогенный шум и эффекты ближнего поля, необходимо производить запись трехкомпонентных данных, с сохранением высоких частот, ультрачувствительных сейсмометров, а длительность записи должна быть достаточной для регистрации данных свободных от шума.

Истоки

Недавно новый метод прямых признаков углеводородов рекламировался несколькими компаниями. Изначально предложенный российскими учеными в начале девяностых, метод привлек внимание западного полушария в работе Dangel et al. в 2003. В своей работе они описывают явление,

которое подобно вулканическому дрожанию и его можно постоянно регистрировать над углеводородными коллекторами, но не на удалении от них.

Анализ этого сейсмического сигнала в частотной области говорит о существенном увеличении энергии над углеводородными коллекторами в диапазоне между 2 и 6 Гц с максимумом вблизи 3 Гц. Оборудование для активных сейсмических наблюдений обычно не предназначено для записи низких частот и частоты ниже 3 Гц обычно подавляются электроникой. Более того, амплитуды этих сигналов насколько низкие (до 10 (мкм/с), что они не могут быть зарегистрированы обычными геофонами и должны использоваться чувствительные сейсмометры, обычно применяемые для изучения землетрясений (Dangel et al., 2003).

Еще одним преимуществом использования широкополосных сейсмометров является то, что они также регистрируют интенсивность вторых микросейсм, иногда также называемых пиками океанических волн, которые могут вызывать и управлять интенсивностью сигнала DHI (Holzner et al., 2005), смотрите теоретических обзор, представленный ниже. Некоторые авторы также утверждают, что общая высота залежи линейно пропорциональна измеренному сигналу DHI (Dangel et al., 2003; Akrawi et al., 2006; Rode, 2006).

Теория

Благодаря тому, что сигнал DHI похож на вибрацию, в настоящее время его называют сигналом УВ-микросейсм. Тогда как Dangel et al. (2003) рассуждают о возможных причинах образования этого сигнала, Schmalholz et al. (2006) и Graf et al. (2007) описывали несколько возможных теорий, которые могли бы объяснить наблюдаемый эффект, например, резонанс стоячих волн, выборочное затухание и резонансное усиление. Никакая из этих теорий не была доказана до настоящего времени, но все они основаны на постоянном фоновом шуме Земли. В этих микросейсмах доминируют непрерывные волны Релея с частотными пиками вблизи 0.2 Гц и их часто называют пиками океанических волн.

Наиболее обещающей теорией является теория резонансного усиления Holzner et al. (2006), которая поясняет УВ-микросейсмический сигнал нелинейными взаимодействиями между несмачивающими пузырьками УВ, которые перемещаются в водонасыщенном поровом пространстве породы коллектора. Одним из наблюдавшихся эффектов сигнала от коллектора является его предполагаемая вертикальная поляризация (Saenger et al., 2007; Walker, 2008).

¹ StatoilHydro, Research Centre Bergen, Postboks 7200, 5020 Bergen, Norway.

* Corresponding author E-mail: PetHan@StatoilHydro.com.

Методики увеличения эффективности

До настоящего времени никакая из предполагаемых теорий не была доказана, большей частью потому, что она является относительно новой темой в научном сообществе. Вдобавок методу требуется больше эмпирических изысканий для понимания или даже доказательства упомянутых теорий.

Регистрация

Отрицательным аспектом применения чувствительных сейсмоприемников является их сложная конструкция и цена. Таким образом, съемка часто выполняется с использованием пары дюжин инструментов вместо тысяч сейсмоприемников при активных сейсмических съемках. Часто, разведочная съемка проводится по регулярной сетке с минимальным расстоянием 500 м между пунктами регистрации. Сейсмометры помещаются на первом наборе точек грида, вкапываются и устанавливаются для записи длительностью максимум 24 часа, перед тем, как их перемещают на следующий набор точек грида. Инструменты, например, можно расположить в линейную группу, или возможно даже в виде «лягушачьих прыжков» для достижения более длинных совокупных удалений.

Устанавливаются несколько базовых станций, которые постоянно регистрируют фоновый шум Земли во время съемки. Обычно они устанавливаются вблизи сухих скважин и над предполагаемой углеводородсодержащей областью. Хотя первоначально планировалось, чтобы они регистрировали вариации микросейсм в целях нормировки, теперь они действуют только как опорные записи в целях контроля качества для большинства компаний.

В данном исследовании было проанализировано, 11 сейсмометров Nanometrics, производящих одновременную запись, длительность записи 19.5 часов. Областью съемки был североафриканский бассейн Murzuq, частично покрытый песчаными дюнами. Сейсмометры были помещены на диагональную линию с северо-запада на юго-восток и пересекающую центр продуктивного коллектора 'D' в блоке 186 (рис. 6). Для выполнения надежного моделирования обращения (Steiner et al., 2007), концы профиля были гораздо дальше от продуктивного месторождения, чем это обычно бывает. Это дало профиль длиной 32 км с равномерными удаленными между пунктами записи.

Всего за всю съемку было получено 264 записей и повторные измерения были предприняты на двух профилях, пересекающих область,

один из примеров данной съемки обсуждается детально в нашем исследовании.

Анализ

Первоначальные результаты на месторождении выглядели многообещающе. Однако, для детального анализа были построены сотни временных последовательностей 24-часовых низкочастотных записей в частотной области, и построено собственное программное обеспечение. Это способствовало выполнению детального анализа, который дал лучшее понимание соотношений между наблюденным сигналом вблизи частоты 3 Гц и углеводородным коллектором. Вдобавок были обнаружены большие ошибки в первоначальном анализе записи. Эти погрешности обработки необходимо тщательно рассмотреть для лучшего понимания этого явления.

В следующих разделах мы предлагаем более критический и тщательный анализ подобных записей сейсмометров. Такой анализ данных дает информацию по частотному диапазону антропогенного шума, длительности сигнала микросейсм вблизи частоты 3 Гц, и их связи с более высокими и более низкими частотами. Также можно обнаружить происхождение наблюденной аномалии микросейсм над нефтесодержащим коллектором. И наконец, выполняется автоматический выбор временных интервалов, которые не загрязнены антропогенным шумом. Это приводит к некоторым интересным результатам.

Антропогенный шум

При съемке микросейсм, сейсмометры регистрируют поле фонового шума, который генерируется природными или антропогенными источниками. Природные источники, такие как первые или вторые микросейсмы (с периодом около 15 с и 5 с) или землетрясения доминируют в полосе частот ниже 1 Гц, но из-за таких факторов, как погодные условия, этот верхний предел частот может быть выше, особенно в морских областях. Источники антропогенного шума - различные формы человеческой деятельности, такие как перемещение грузовиков, бульдозеров, бурение, в общем, добывающее оборудование, и другие агрегаты, которые напрямую или не напрямую излучают шум.

Огромная проблема – разделение двух перекрывающихся типов шума, антропогенного шума или шума, связанного с недрами Земли.

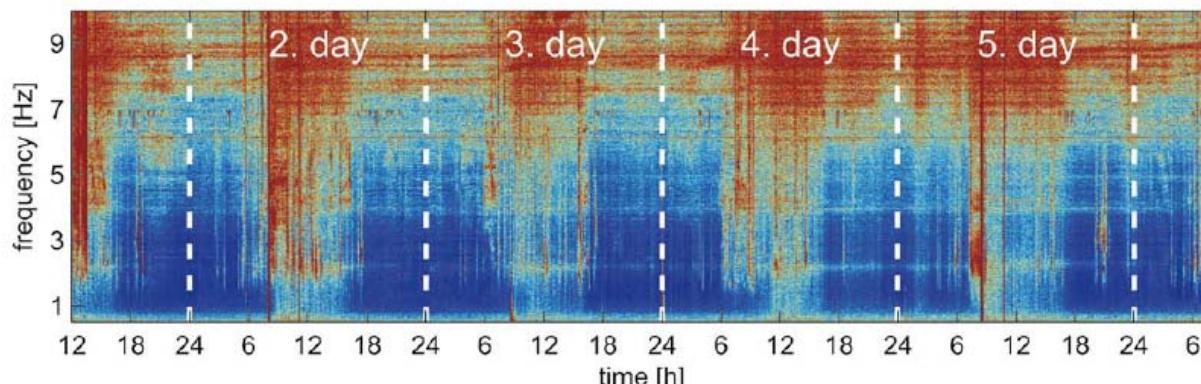


Рисунок 1 Непрерывная спектрограмма, полученная в течение пяти дней записи в интервале 0.5 до 10 Гц над действующим месторождением.

Краткие землетрясения, ввиду их временной природы, или длительные антропогенные сигналы (например, насосы с определенной частотой) можно с легкостью устраниТЬ, тогда как полу-непрерывные сигналы (например, транспорт) относительно трудно идентифицировать и труднее устраниТЬ. Однако разделение этих сигналов существенно для того, чтобы быть уверенным в том, что наблюденная амплитудная аномалия не была вызвана антропогенными источниками.

Для получения первого впечатления об общем уровне шума на области съемки, полезно произвести расчет спектрограммы за период в несколько дней. На рисунке 1 показан период непрерывной записи в пять дней на области исследований в диапазоне частот 0.5-10 Гц. Могут наблюдаться четкие различия в типе вариаций, которые соответствуют дневному и ночному шуму - можно наблюдать высокие амплитуды днем и более низкие амплитуды ночью. Антропогенный шум выше в дневной период и что наиболее удивительно, даже достигает 0.5 Гц. По сравнению с часто цитируемым нижним пределом 5 Гц, человеческая деятельность может вызывать шумы на частотах 1 Гц и даже ниже (например, Bonnefoy-Claudet et al., 2006a). Кроме того, большую часть антропогенного шума трудно четко отделить от предполагаемой полосы частот УВ-микросейсм, как это часто утверждалось (например, Walker, 2008). В большинстве случаев будет невозможно идентифицировать желаемый сигнал коллектора, когда имеются искусственно вызванные сигналы.

Сравнение с другими полосами частот

Одним из возможных методов разделения сигналов УВ-микросейсм и антропогенного шума является сравнение амплитудных вариаций со временем на полосе частот УВ-микросейсм и амплитудных вариаций на других диапазонах частот, как это предлагается в работе Walker (2008). В нашем исследовании мы использовали запись сейсмометра над нефтесодержащим коллектором на удалении 10 км от человеческой или производственной деятельности. Запись демонстрирует четкую амплитудную аномалию в окрестности 2 Гц (Рис. 2c).

Предполагается, что имеется внешний источник возможного сигнала УВ-микросейсм от коллектора, который отвечает за возбуждение или, например, осцилляции в пределах нефтенасыщенных пор. Такой внешний источник может быть фоновым шумом микросейсм (< 0.2 Гц) или, как предлагают другие авторы, самим антропогенным шумом. Для определения какой из внешних источников присутствует, можно произвести сравнение различных амплитудных вариаций со временем для дискретных частотных диапазонов. А именно, можно сравнить амплитудные вариации вблизи 2 Гц со временем и амплитудные вариации других частотных диапазонов со временем, как показано на рисунке 2b. Были рассмотрены все комбинации частотных диапазонов и на рисунке 2b обобщены основные результаты.

Между ожидаемой полосой частот УВ-микросейсм имеется корреляция между 2 и 6 Гц и более низкими частотами (< 0.25 Гц), как показано на Рисунке 2b. Это наблюдается в течение небольших периодов менее одного дня, и в течение более длительных периодов в несколько недель. Это противоречит

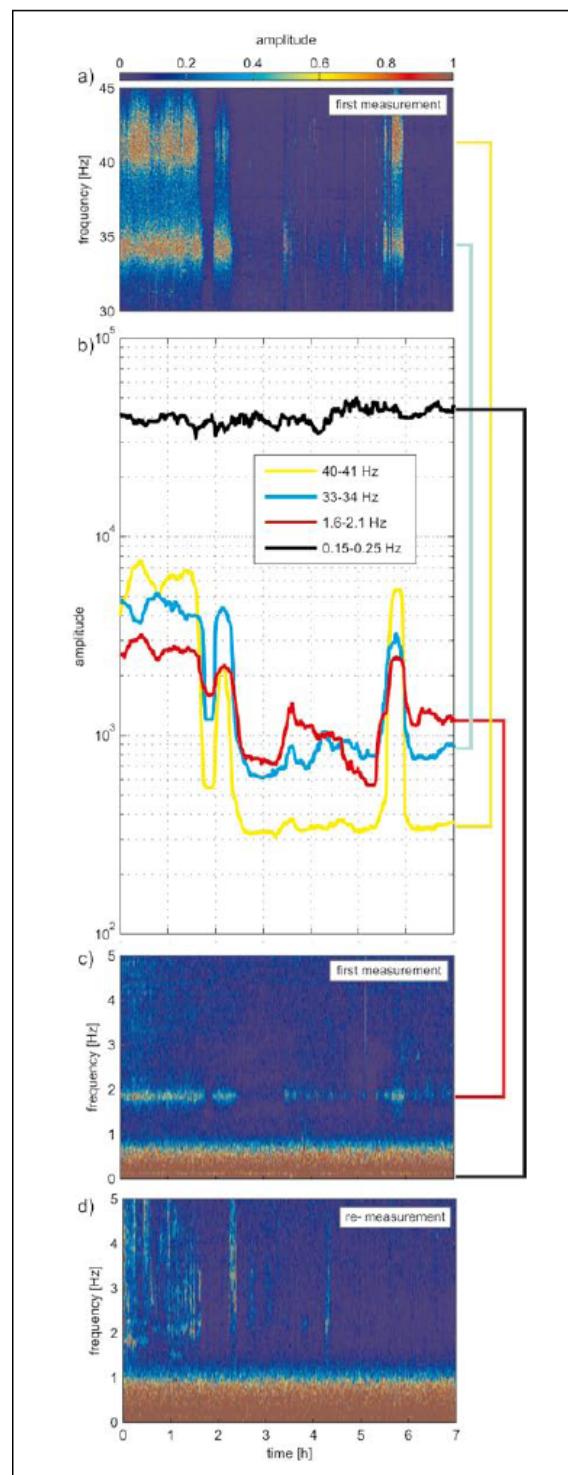


Рисунок 2 Спектрограммы и корреляция волн для двух мониторинговых измерений для одной и той же позиции.

Методики увеличения эффективности

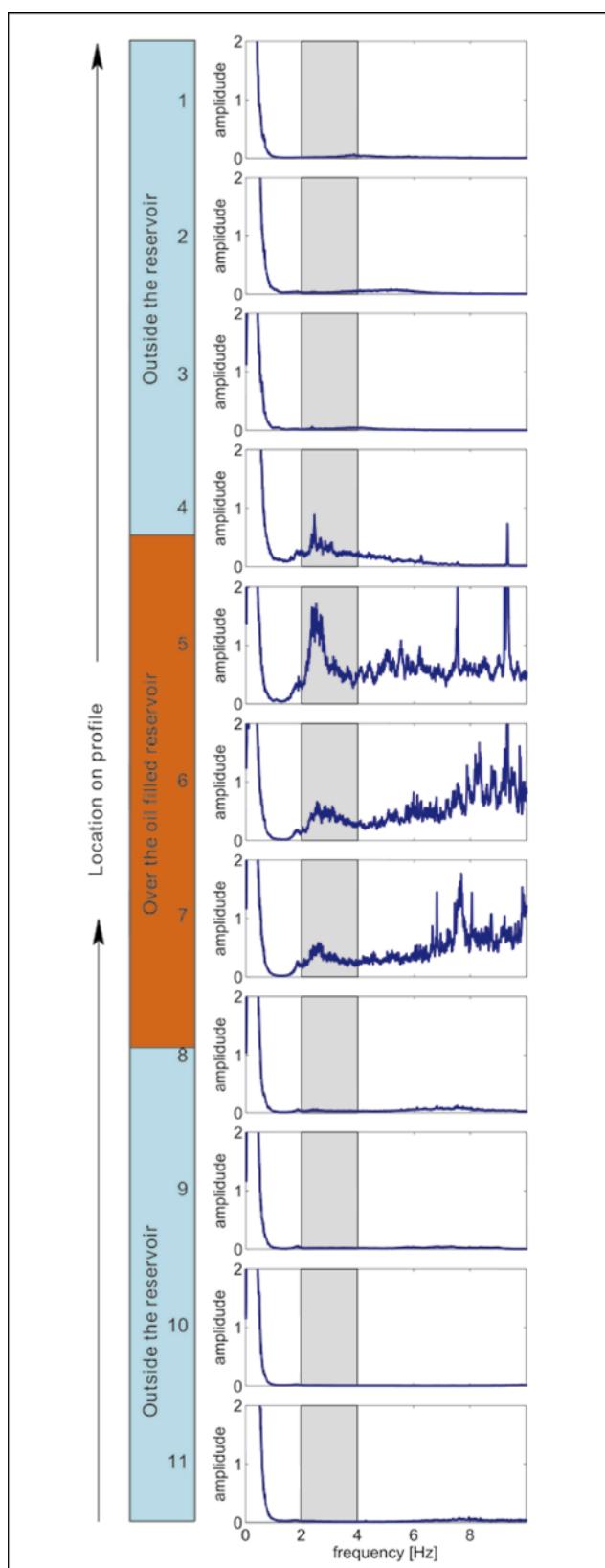


Рисунок 3 Амплитудный спектр для 11 станций, производящих одновременную регистрацию над коллектором и вблизи него.

большинству предложенных теорий и нормирование сигнала УВ-микросейсм с микросейсмами и/или базисной станцией бесполезно.

Однако полоса частот вблизи 2 Гц хорошо коррелируется с полосой более высоких частот и особенно хорошо с более высокими частотами свыше 30 Гц (Рис. 2b). Это может указывать на механизм внешнего возбуждения, вызванного более высокими частотами, а не низкими частотами. Но все еще имеется проблема, и до настоящего времени нельзя отличить возможные УВ-микросейсмы от антропогенного шума. Это также может указывать на то, что наблюдаемая амплитуда, увеличивающаяся на 2 Гц над коллектором, вызывается поверхностными волнами, как недавно было предложено в работах Ali et al. (2007) и Berteussen et al. (2008).

Длительность сигнала микросейсм

Типичная съемка УВ-микросейсм с сейсмометрами занимает, по меньшей мере, несколько дней или несколько недель. Для того, чтобы покрыть всю область ограниченным числом сейсмометров, каждый инструмент перемещается в течение этого времени с позиции на позицию. Не требуется производить запись на каждом пикете одновременно, если сигнал УВ-микросейсм непрерывен во времени, как это предполагается в некоторых теориях и отмечается некоторыми авторами, например Saenger et al. (2007).

Для доказательства непрерывности сигнала УВ-микросейсм, может быть полезно повторить некоторые измерения позже и сравнить эти записи. На рисунке 2 демонстрировано сравнение двух записей в одной и той же удаленной точке с интервалом в 14 дней. Четко видно, что первая запись (Рис. 2c) демонстрирует четкую амплитудную аномалию на 2 Гц, хотя тот же сигнал отсутствовал при повторных измерениях (Рис. 2d). Надо отметить, что амплитуды вторых микросейсм (< 1 Гц) были выше и более протяженными во время повторных измерений.

Анализ УВ-микросейсм

Для начальных исследований предполагаемого DHI над всем коллектором, мы использовали синхронизированные записи 11 сейсмометров над поверхностью и вблизи УВ коллектора. Амплитудный спектр для каждой из 11 синхронизированных записей был рассчитан на всей длительности данных 19.5 часов и никаких выборочных периодов времени не было. Каждое Быстрое Преобразование Фурье было выполнено по длине данных 120 секунд, вслед за чем были просуммированы все спектры для каждого сейсмометра. Рисунок 3 демонстрирует результат для нефтенасыщенного коллектора. Четкая амплитудная аномалия вблизи 3 Гц заметна на участке площади над коллектором, что выглядит многообещающим как прямой индикатор УВ.

Более того, мы также наблюдаем существенное увеличение амплитуды над коллектором на более высоких частотах, что указывает на антропогенный шум, вызванный добычей. Прямое сравнение амплитудных спектров одной записи, близкой к центру коллектора (станция 5) и второй записи

Методики увеличения эффективности

от удаленного сейсмометра (станция 11, порядка 15 км от центра коллектора) показано на Рисунке 4а.

Сравнение амплитуд (Рис. 4а, красная кривая) на более высоких частотах (> 5 Гц), где преобладает сильный антропогенный шум, с амплитудами потенциальной полосы

частот УВ-микросейм вблизи 3 Гц говорит о том, что эти высокие амплитуды также могут быть измерены с помощью традиционных сейсмоприемников и высокочувствительные сейсмометры не потребуются. Дальнейшие этапы работы показывают происхождение этой амплитудной аномалии над коллектором.

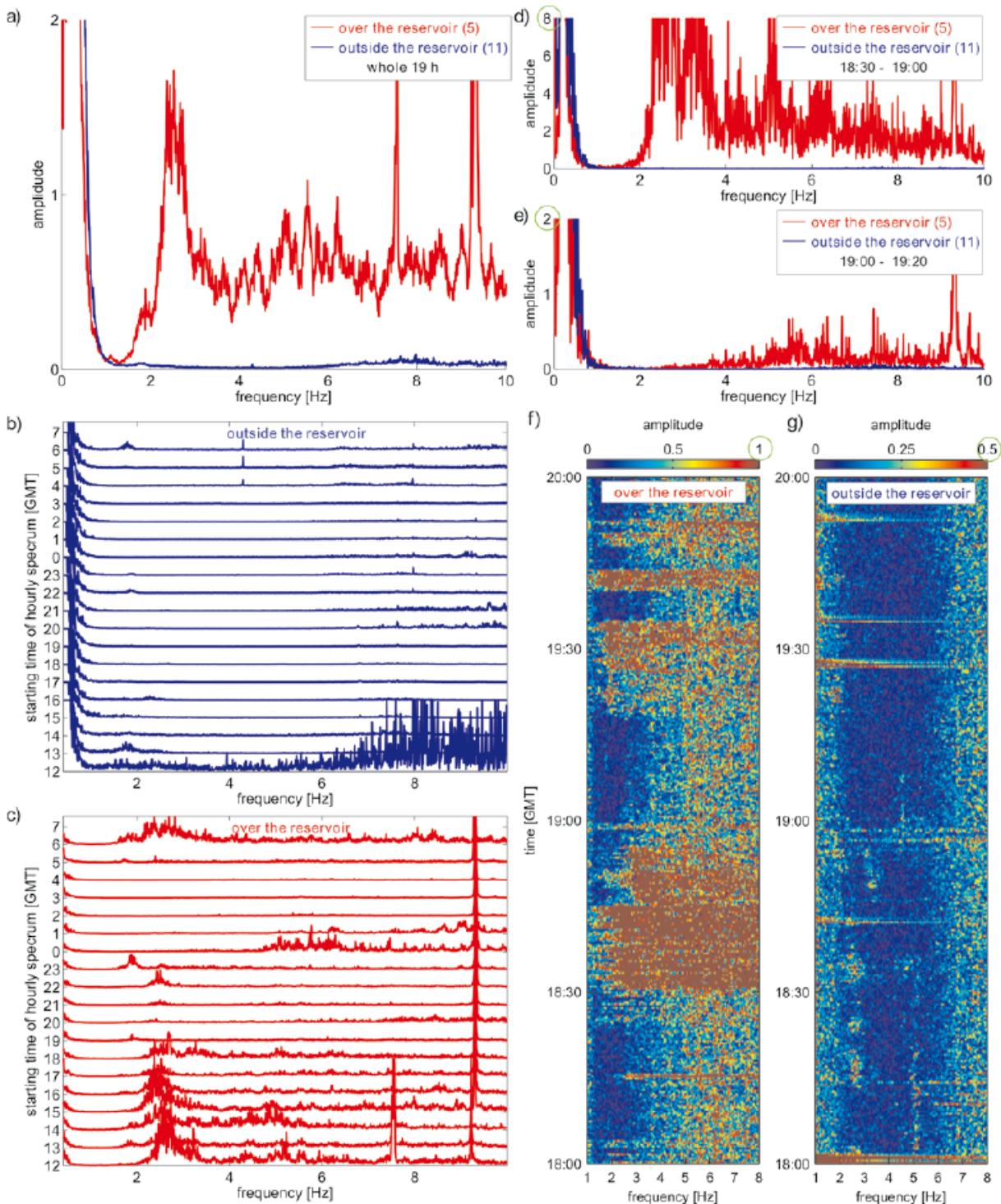


Рисунок 4 Зависимости времени, позиции и длительности микросеймов.

Методики увеличения эффективности

Вариации микросейсм в течение дня и поминутно

Возможно, потенциальный сигнал УВ-микросейсм не является непрерывным со временем, как уже показано на Рисунке 2. Для более детального изучения этого наблюдения, мы разделили наши записи на сегменты длительностью по 1 часу и рассчитали амплитудные спектры вышеописанным способом (Рис. 4b и 4c). Мы сравнили все спектры и подтвердили, что не было обнаружено сигнала 3 Гц в любой момент времени на удаленных позициях в стороне от коллектора. С другой стороны, станции, помещенные над добывающим коллектором, демонстрируют сильный 3 Гц сигнал - однако, только в течение дня и почти без пиков в ночное время, когда антропогенный шум был ограничен производственным шумом, вызываемым насосами.

При расчете амплитудного спектра за определенный период времени, невозможно получить информацию о временной вариации сигналов в течение этого периода времени. В этом случае расчет спектограмм предоставляет некоторые преимущества и дает разрешение в одну минуту или лучше для всего диапазона данных. Два примера таких спектограмм (ограниченных двумя часами) показаны на Рисунке 4. Спектограмма, показанная на Рисунке 4f, рассчитана для станции 5 над коллектором, а спектограмма на Рисунке 4g, с другой цветовой легендой, для станции 11 за пределами коллектора. Можно легко обнаружить, что были записаны очень сильные сигналы. Они встречаются периодически и длительность этих сигналов меняется со временем.

Амплитуды сигналов очень высоки над УВ коллектором, а при отсутствии сигналов амплитуды зарегистрированных данных были сравнимы с амплитудами, зарегистрированными в то же время на удаленных сейсмометрах. На Рисунке 4f, спектограмма демонстрирует высокие амплитуды между отметками 18:30 и 19:00 и самые низкие амплитуды между 19:00 и 19:20. Результирующие амплитудные спектры для этих двух временных периодов показаны на Рисунках 4d и 4e для станции 5 над коллектором (кратные кривые) и для станции 11 вне коллектора (синие кривые). Это сравнение четко демонстрирует, что амплитудная аномалия в окрестности 3 Гц вызвана антропогенным шумом, который сильнее на более высоких частотах в первый временной промежуток.

Сильные сигналы появляются очень часто в дневное время и суммирование не в состоянии их подавить. Они не могут представлять собой непрерывный сигнал микросейсм от коллектора, но являются причиной увеличения амплитуд вблизи 3 Гц в пределах области коллектора (Рис. 1).

Можно проинтерпретировать эту амплитудную аномалию как сигнал УВ-микросейсм, который вызывается антропогенным шумом. Однако в следующем разделе будет дано исследование по наблюдаемым типам волн.

Обратно к истокам

Каждый сейсмолог может предположить, что, прежде всего, необходимо посмотреть на временные серии сейсмограмм, перед тем, как применять продвинутые этапы обработки.

На Рисунке 5 приведен пример 90 секундного окна синхронизированной записи. Этот пример лежит в пределах первого временного интервала (18:00-20:00, Рис. 4f и 4g) и типичен для всех наших записей. Числа, напечатанные под сейсмограммами, являются нормирующим фактором для получения сравнимых амплитуд. В этом примере, четко видно, что высокие амплитуды вблизи 3 Гц сфокусированы в пределах дискретных осей синфазности. Более того, эта одна волна имеет разные времена прихода на каждый сейсмометр, что формирует приращение времени пробега волны. Таким образом, должен быть единственный нестационарный источник, расположенный ближе к центральному сейсмометру на станции 6. Вдобавок, высокоразрешенные спектрограммы сейсмограмм для окна 90 секунд показаны под временными сериями. Они не только показывают разные времена прихода этой волны, но также единообразное спектральное разложение импульса.

Для получения информации о типе волны можно оценить относительные времена прихода. Зная удаления, можно рассчитать скорость распространения волны. Мы выполнили расчет для нескольких волн и получили скорости от 250 до 300 м/с. Эта скорость распространения сильно отличается от ожидаемой и известной скорости для Р-волн в данном районе и ее легко можно интерпретировать как скорость распространения для поверхностных волн. Никакие другие типы волн не удовлетворяют таким скоростям распространения а, если решить что это волны Биота, амплитуды гораздо более высокие. Маловероятно, что этот высокоамплитудный сигнал, который вызывает аномалию амплитуд вблизи 3 Гц, распространяется напрямую от коллектора на поверхность.

Происхождение временных поверхностных волн в данном районе, скорее всего, можно считать антропогенным шумом, вызванным добывающим оборудованием, перемещением автомобилей или работами по строительству и бурению. В добавок соответствующие частотные пики могут быть вызваны эффектами ближнего поля, которые также используются в исследованиях Н/В и указывают на присутствие неконсолидированных осадков над одной или более границами импеданс-контакта в верхней части разреза. Таким образом, многокомпонентные приемники являются необходимостью для работы в условиях наличия поверхностных волн и измерения в группах были бы целесообразными.

Избавление от антропогенного шума

В предыдущих разделах рассматривались проблемы, вызываемые антропогенным шумом. Показав, что шум от добывающих работ не вызывает DHI, можно выполнить этапы обработки, при которой всякий искусственный шум был бы вырезан перед выполнением анализа УВ-микросейсм. Идея, лежащая в основе этой предобработки, заключается в том, что сигналу УВ-микросейсм мешает антропогенный шум таким образом, что сигнал УВ-микросейсм становится невидим. Однако, если присутствует УВ-микросейсм сигнал, оптимальный выбор спокойных временных интервалов может помочь извлечь низкоамплитудный сигнал микросейсм коллектора. Автоматический выбор независим от информации о местоположении коллектора и должен быть более объективным, чем ручное пикование.

Методики увеличения эффективности

Таким образом, мы устранили все сильные искусственные волны и автоматически выбрали наиболее спокойные периоды времени для определения амплитуд в полосе частот микросейсмов. Анализ чистых данных в полосе частот 2-3 Гц раскрыл другое распределение сигнала, которое могло быть ложно интерпретировано как сигнал, отражающий структуру коллектора - топографию. Результирующая карта (Рис. 6, слева) четко демонстрирует альтитуду (Рис. 6, справа) и таким образом, приблизительную мощность песчаных дюн в области, без дальнейшей обработки данных, которые были за писаны за два месяца. Хорошая корреляция между значениями амплитуд и топографией можно видеть невооруженным глазом, особенно на северо-западе, юге и севере области съемки, несмотря на тот факт, что мы не ожидаем линейной зависимости между амплитудой и топографией. Только в центральной части можно наблюдать более сильные случайные девиации, возможно благодаря общему более высокому уровню шума, который влияет на этот диапазон частот непосредственно над коллектором.

Этот эффект, также используемый в исследованиях H/V, получил широкую огласку (например, Bonnefoy-Claudet et al., 2006b) и его необходимо устранить из данных, если требуется обнаружить слабый сигнал DHI вблизи 3 Гц

от коллектора в сотнях метров под поверхностью. Путем применения этого автоматического выбора к высокочастотному диапазону (например, выше 8 Гц), дополнительно можно создавать карты шума, на которых показано распределение доминирующих антропогенных источников шума. Более того, этот анализ показал постоянное наличие антропогенного шума также в ночное время.

Комментарии по H/V

Некоторые публикации описывают аномалии соотношения H/V, которые имеют более низкие величины над УВ коллектором из-за потенциального сигнала УВ микросейсм (Lambert et al., 2007; Saenger et al., 2007). Идея, лежащая в основе этого, подразумевает, что коллектор испускает P-волны, которые вызывают увеличение вертикальной поляризации поля фонового шума на поверхности. В данной работе показано наличие часто наблюдаемых поверхностных волн с высокими амплитудами в потенциальном частотном диапазоне УВ микросейсм 2-6 Гц. Эти поверхностные волны проникают на глубины более 100 м и характеризуются поляризацией, которая зависит только от свойств близлежащего пространства. Они существенно

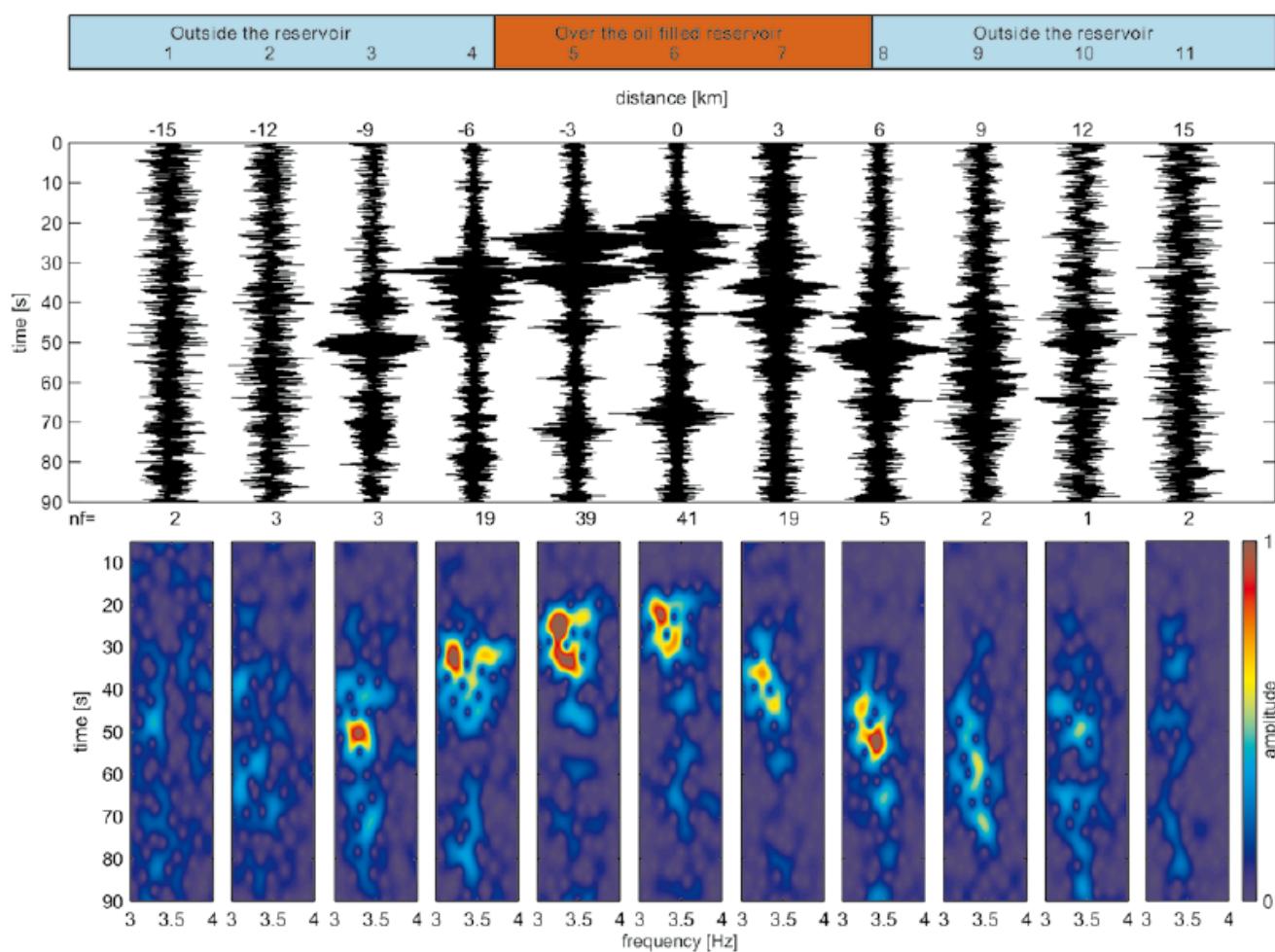


Рисунок 5 Временные серии и спектрограммы, на которых показано приращение времени поверхности волны.

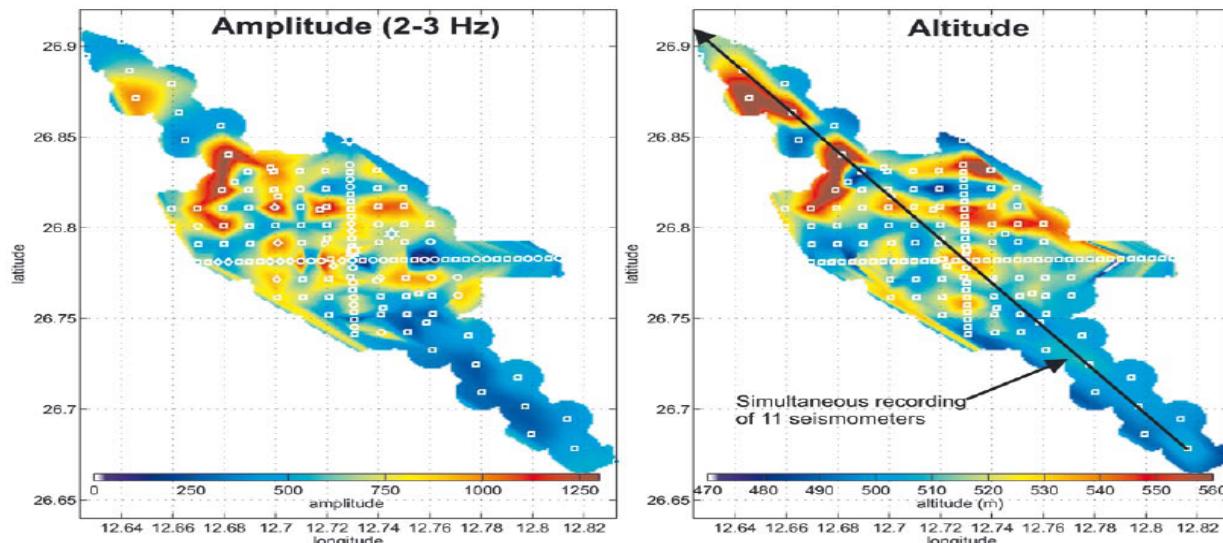


Рисунок 6 Корреляция амплитуды и альтитуды в частотном диапазоне микросеймов.

влияют на соотношение H/V и если их подавлять, то можно получить изображение похожее на Рисунок 6, на котором показана топография или структурное изображения разреза.

Использование соотношения H/V в качестве DHI спорно, если считать, что очень слабый сигнал УВ микросейм не может повлиять на соотношение H/V в высокоамплитудном поле фонового шума с высокой долей антропогенного составляющего.

Выводы

Мы показали, что антропогенный шум, такой как действие насоса, бурение, или движение транспорта, связанные с добычей на УВ коллекторе, может засорять частотный диапазон до 0.5 Гц, а не только до 5 Гц. Более того, эта деятельность может вести к образованию поверхностных волн, которые могут иметь доминирующие частоты вблизи 3 Гц. Таким образом, они перекрываются с возможным сигналом УВ-микросейм коллектора и их часто принимают за DHI.

Эти поверхностные волны, вносящие путаницу коррелируются с высокочастотным шумом, связанным с добычей в середине Сахары. На нашей области съемки вдалеке от океана они не являются непрерывными в отличие от работ Berteussen et al. (2008), поскольку их съемка проходила вблизи береговой линии. Предлагаемая пассивная сейсмическая съемка DHI в нашей работе должна периодически включаться и выключаться, в зависимости от шума добычи на частотах выше 30 Гц.

Подавление всех возможных более сильных искусственно вызванных волн, используя только наиболее малошумные периоды времени записи, дают корреляцию с топографией области съемки, за исключением частей, которые напрямую загрязнены шумом, связанным с добычей, где преобладают случайные флюктуации. Картирование песчаных дюн можно объяснить эффектами ближнего поля, которые часто используются в исследованиях H/V, по-разному влияют на все три компоненты сейсмометра.

Перед оценкой сигнала УВ-микросейм, необходимо найти метод четкого разделения возможного сигнала УВ-микросейм и антропогенного шума. В дальнейшие исследования с низкими частотами пассивной сейсмики DHI необходимо включать автоматическое подавление антропогенного шума и устранение эффектов топографии. Без такой обработки все карты УВ-микросейм DHI могут быть ошибочными. Также было бы интересно посмотреть, как подобный сигнал коррелируется с непрерывными, но непостоянными микросеймами в Земле.

Благодарности

Мы хотели выразить признательность Repsol, которая является оператором в блоке NC 186 и ее партнерам OMV, Total E&P Libya, и StatoilHydro, за разрешение на публикацию данного исследования. Кроме того, мы хотели бы поблагодарить Simone Kugler за помощь в подготовке публикации.

Литература

- Akrawi, K. and Bloch, G. [2006] Application of passive seismic (IPDS) surveys in Arabian Peninsula. *EAGE Workshop on Passive Seismic: Exploration and Monitoring Applications*, Dubai, Extended Abstracts, A28.
- Ali, M. Y., Berteussen, K. A., Small, J. and Barkat, B. [2007] A low frequency, passive seismic experiment over a carbonate reservoir in Abu Dhabi. *First Break*, 25()71-73.
- Berteussen, K. A., Ali, M. Y. A., Small, J. and Barkat, B. [2008] A Low Frequency, Passive Seismic Experiment over a Carbonate Reservoir in Abu Dhabi - Wavefront and Particle Motion Study. *70th EAGE Conference & Exhibition*, Rome, B046.
- Bonnefoy-Claudet, S., Bard, P.-Y and Cotton, F. [2006a] The nature of noise wavefield and its applications for site effects studies: A literature review. *Earth-Science Reviews*, 79, 205-227.
- Bonnefoy-Claudet, S., Cornou, C, Bard, P.-Y., Cotton, F., Moczo, P., Kristek, J. and Fah, D. [2006b] H/V ratio : a tool for site effects evaluation. Results from 1-D noise simulations. *Geophysical Journal International*, 167, 827-837.
- Dangel, S., Schaeppman, M. E., Stoll, E. P., Carniel, R., Barzandji, O., Rode, E.-D. and Singer, J. M. [2003] Phenomenology of tremor-like signals observed over hydrocarbon reservoirs: Journal of Volcanology and Geothermal Research. 128, 135-158.
- Graf, R., Schmalholz, S. M., Podladchikov, Y and Saenger, E. H. [2007] Passive low frequency spectral analysis: Exploring a new field in geophysics. *World Oil*, January, 47-52.
- Holzner, R., Eschle, P., Zurcher, H., Lambert, M., Graf, R., Dangel, S. and Meier, P. F. [2005] Applying microtremor analysis to identify hydrocarbon reservoirs. *First Break*, 23(5) 41-46.
- Holzner, R., Eschle, P., Frehner, M., Schmalholz, S. and Podladchikov, Y., 2006, Interpretation of hydrocarbon microtremors as nonlinear oscillations driven by oceanic background waves. *76th SEG Annual International Meeting*, Expanded Abstracts, 2294-2297.
- Lambert, M., Schmalholz, S. M., Saenger, E. H. and Podladchikov, Y. Y. [2007] Low-frequency anomalies in spectral ratios of single station microtremor measurements: Observations across an oil and gas field in Austria. *77th SEG Annual International Meeting*, Expanded Abstracts, 1352-1365.
- Rode, E. D. [2006] Passive Seismic. *II Simposio Brasileiro da SBGfNatal*.
- Saenger, E. H., Torres, A., Rentsch, S., Lambert, M. and Schmalholz, S. M., [2007] A hydrocarbon microtremor survey over a gas field: Identification of seismic attributes. *77th SEG Annual International Meeting*, Expanded Abstracts, 1277-1281.
- Schmalholz, S. M., Podladchikov, Y. Y, Holzner and R., Saenger, E. H. [2006] Scientific strategy to explain observed spectral anomalies over hydrocarbon reservoirs generated by microtremors. *EAGE Workshop on Passive Seismic: Exploration and Monitoring Applications*, Dubai.
- Steiner, B., Saenger, E. H. and Schmalholz, S. M. [2007] Time reverse modeling of microtremors: A potential method for hydrocarbon reservoir localization. *77th SEG Annual International Meeting*, Expanded Abstracts, 2115-2119.
- Walker, D. [2008] Recent developments in low frequency spectral analysis of passive seismic data. *First Break*, 26(2), 69-77.