

## Ближний Восток

## Эксперимент с использованием пассивной сейсморазведки на низких частотах на карбонатном коллекторе в Абу Даби. A low frequency, passive seismic experiment over a carbonate reservoir in Abu Dhabi

Mohammed Y. Ali,<sup>1</sup>\* Karl A. Berteussen,<sup>1</sup> James Small,<sup>1</sup> и Braham Barkat<sup>1</sup>

**Н**а наземном карбонатном нефтяном месторождении в Абу Даби был проведен низкочастотный эксперимент с пассивной сейсморазведкой с целью подтверждения и улучшения понимания истоков низкочастотного сигнала, который наблюдался на нескольких углеводородных коллекторах в данном районе. Несмотря на то, что анализ данных еще выполняется, предварительные результаты эксперимента подтвердили существование сигналов в узком диапазоне низких частот (2.5-2.8 Гц) на участке с нефтяным коллектором; однако, анализ говорит о том, что эти сигналы также обнаружены над водонасыщенной зоной. Потребуется проведение большего числа исследований для более полного изучения движения частиц в этих волнах, их кажущихся скоростей, и азимута волновых фронтов.

### История вопроса

В последние несколько лет были произведены наблюдения сигналов в узком диапазоне низких частот (1.5 - 4 Гц) на над несколькими углеводородными коллекторами преимущественно на Ближнем Востоке, включая несколько нефтяных месторождений в Абу Даби (Dangel et al., 2003; Holzner et al., 2005). Наблюдения говорят о том, что низкочастотный сигнал уменьшается по направлению к краю коллектора и отсутствует над неколлекторскими участками. Было предположено, что эти сигналы вызваны нелинейным поведением при взаимодействии между жидкими углеводородами, водой, и пористым материалом горных пород в коллекторах, которые искажают нормальную форму спектра микросейсмов Земли.

Данные с подобными низкими частотами ранее использовались в качестве прямого индикатора углеводородов в целях оптимизации размещения скважин при разработке, оценке и добыче. Однако, возможная причина этой низкочастотной энергии понята не до конца и необходимо узнать какие типы волн наблюдаются, а также каково физическое поведение многофазной системы флюидов в коллекторе. Более того, до настоящего времени, наблюдения большей частью были основаны на вертикальной компоненте сигнала. В результате, целью эксперимента является улучшение понимания систем волн, которые наблюдаются, путем систематического отображения пространственных и временных вариаций низкочастотных волн. Результат этого пассивного сейсмического эксперимента поможет определить источник этой низкочастотной энергии и найти ее возможное применение в поиске и мониторинге за углеводородами в карбонатных коллекторах.

Обработка и моделирование данных эксперимента все еще продолжаются; таким образом, целью этой короткой статьи является представление предварительных результатов эксперимента.

### Сбор данных

#### Область съемки

Месторождение вытянуто в направлении СВ-ЮЗ, Антиклиналь с незначительным рельефом расположена на суше в Эмирате Абу Даби. Зоны из которых ведется добыча, расположены в пределах группы нижний мел Thamama, характеризующийся трансгрессивным и регрессивным карбонатными циклами, которые отражаются в различных фазиях осадконакопления. Это месторождение было выбрано как подходящий объект для эксперимента, поскольку на нем виден четкий и хорошо определяющийся водонефтяной контакт (OWC), согласно данным геофизиков, работающих на месторождении.

#### Процедуры получения данных

Эксперимент проводился с мая по июнь 2007 и включал 480 измерений практически круглосуточного изучения площади 33 км<sup>2</sup>. Сигналы записывались с помощью 6 ультра-чувствительных трехкомпонентных сейсмометров (Guralp CMG-6TD) с частотным диапазоном от 0.03 Гц до 50 Гц, и чувствительностью 2000 В/м/с.

Съемка включала 2D профиль, который идет от скважины 'W1' (вблизи точки А) до точки В, и также детальные исследования вокруг обеих точек (Рисунок 1). Точка А расположена над максимальным столбом нефти в залежи (>120фут), тогда как точка В была расположена над областью, которая предположительно не содержит нефти. OWC расположена в 2000 м от W1 вдоль профиля и была закартирована, используя совместно сейсмiku 3D и скважинные данные. Исследования, проведенные в точках W1 и В, были спланированы для измерения кажущейся скорости, азимута, и движения частиц волн. Сейсмическая расстановка 2D была задумана для соединения этих двух точек и определения движения частиц.

Один из сейсмометров был помещен в непосредственной близости от скважины W1, где он был оставлен для непрерывной записи на протяжении съемки. Все другие сейсмометры были оставлены для сбора данных в каждой точке как минимум на 24 часа. Станции были размещены индивидуально с помощью

<sup>1</sup> The Petroleum Institute, P.O. Box 2533, Abu Dhabi, UAE.

\* Автор-корреспондент, email: mali@pi.ac.ae.

## Ближний Восток

комбинации переносного GPS, компаса и измерительного колеса. Сейсмометры были помещены на бетонную плиту для более крепкого контакта с грунтом в ямки около 1 м диаметром и 50 см глубиной и затем закрыты и погружены в целях уменьшения фонового шума от поверхностных источников.

Записи от вступления двух крупных землетрясений в Китае и Гватемале во время съемки подтвердили точность временных привязок, ориентировки и фазы каждого из этих инструментов и отдельных датчиков.

Предварительные результаты, которые проанализированы и представлены здесь, получены по данным сейсмометров, которые производили записи в точке А (над нефтяным коллектором) и точке В (которая предположительно расположена над водонасыщенной толщой) для периодов 60 минут с полудня (12:00) и полуночи (24:00) по местному времени.

### Обработка данных

К данным были применены разнообразные методики анализа сигнала с целью исследования природы низкочастотного сигнала. Эти методики включают в себя временные последовательности, спектральную плотность сигнала, и частотный анализ.

На рисунках 2 и 3 показана спектральная плотность сигнала для датчиков, расположенных в А и В для трех компонент волнового поля; вертикальной (v), север-юг (n), и восток-запад (e). Спектральная плотность была рассчитана по 60 минутам непрерывной записи. Этот анализ позволил выделить низкочастотный сигнал из низкоамплитудного шума от искусственных источников. Рисунки Временных частот были получены

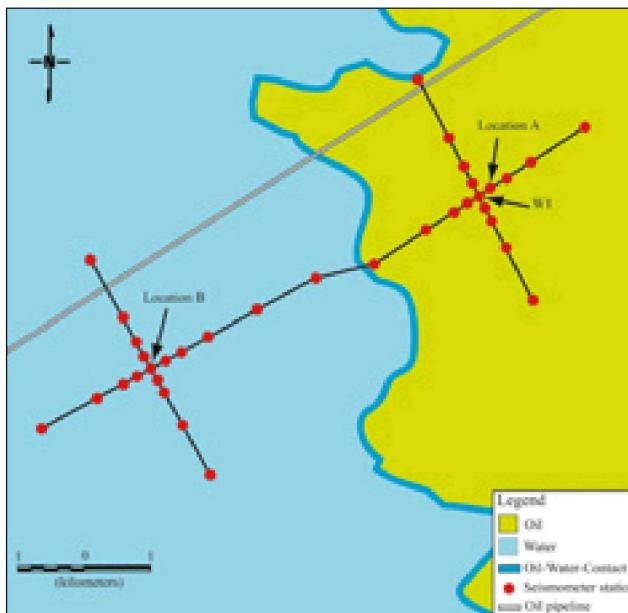


Рисунок 1 Схема профилей на нефтяном месторождении, на которой показан нефтяной коллектор, водонасыщенная область, водонефтяной контакт, точки положения сейсмометров, и нефтяной трубопровод, который протягивается на севере месторождения. W1 указывает на положение планируемой скважины, а точки А и В места расположения сейсмометров, о которых говорится в тексте.

и использованы для обнаружения присутствия или отсутствия узко-диапазонного низкочастотного сигнала.

### Предварительная интерпретация данных

Наблюдения на основе анализа данных сейсмометров, расположенных в точках А и В (Рисунки 2 и 3) говорят о следующем:

- Низкочастотные сигналы в узком диапазоне (2.5 - 2.8 Гц) наблюдались над нефтяным коллектором (точка А) и водонасыщенной зоной (точка В). Низкочастотный сигнал, наблюдаемый над водонасыщенной зоной, интерпретируется как сигнал, вызванный присутствием глубоких коллекторов (например, из арабских

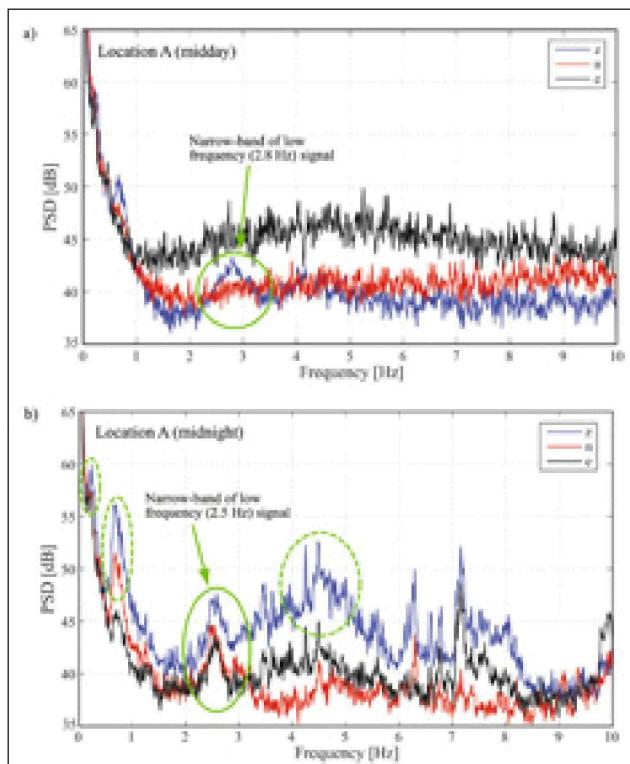


Рисунок 2 а) Сравнение спектральной плотности сигнала (PSD), записанной для отдельных компонент датчика на интервале 60 минут на полуночных данных в точке А. Частота дискретизации 200 Гц. Данные, записанные для отдельных датчиков, отображаются разными цветами. (б) Сравнение спектральной плотности сигнала (PSD) для отдельных компонент датчика на интервале 60 минут для полуночных данных в точке А. Наблюдались низкочастотные сигналы в узком диапазоне (2.5-2.8 Гц). Вертикальная компонента характеризуется большим PSD в ночные времена по сравнению с компонентой, наблюданной днем. Ночью низкочастотные сигналы наблюдаются для всех компонент (вертикальной, север-юг и восток-запад), тогда как для записей, выполненных в дневное время, только вертикальный датчик фиксирует низкочастотный сигнал. Сплошные эллипсы показывают наблюденный узко-диапазонный низкочастотный сигнал. Прерывистые эллипсы указывают на другие наблюденные аномальные сигналы.

## Ближний Восток

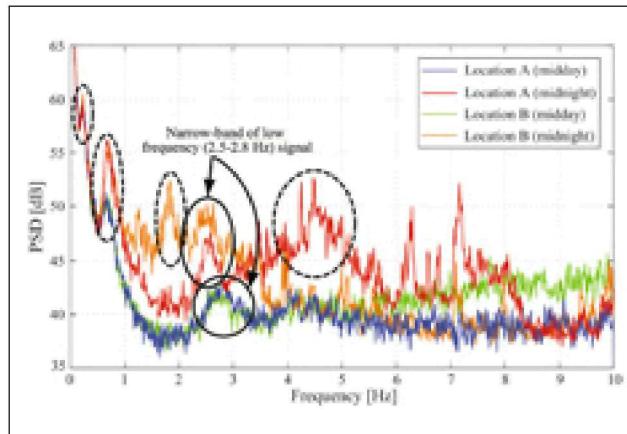
формаций) которые могут встречаться под водонасыщенными зонами, или, как сигнал, в случае если испускаемый сигнал был не чистой P- волной, а комбинацией P-, S-, и поверхностных волн.

- Во время полуденного периода наблюдений оказалось, что только на вертикальном датчике (z) был записан низкочастотный сигнал, тогда как все три датчика (вертикальный, север-юг, и восток-запад) зафиксировали этот сигнал ночью. Причиной этой вариации характера сигнала между полднем и полуночью в той же точке все еще неясные и потребуют дальнейших исследований. Одним из возможных объяснений может быть то, что низкочастотный сигнал включает S-волну и/или компоненты поверхностной волны, которые дают наблюдаемые отклики невертикальных датчиков. Также, более интенсивный шум в полуденный период записи, особенно в компоненте восток-запад (e) может маскировать сигнал.
- Доминантный максимум низкочастотного сигнала, записанного в полуденный период соответствует  $\sim 2.8$  Гц, тогда как 12 часами позже пик сместился в сторону более низких частот на  $\sim 2.5$  Гц.
- Отмечается значительный рост спектральной плотности сигнала для данных вертикального датчика, полученных в полуночном периоде по сравнению с данными, записанными в полдень, что говорит о том, что ночью наблюдается большая активность. Мы предполагаем, что это может быть вызвано шумом от близлежащего нефтяного трубопровода.
- Сигнатура сигналов вертикального датчика, полученная в полдень в точках А и В соответствует частотам менее 6 Гц, что говорит о том, что они имеют один и тот же источник. Однако, это не так для спектров вертикальной компоненты, полученных в полночь, которые характеризуются существенной вариацией в характере от точки к точке. Кроме того, ночью наблюдаются некоторые сигналы с другими низкими и высокими частотами.
- Высокоамплитудные низкочастотные сигналы в узком диапазоне ( $\sim 0.2$  Гц и  $\sim 0.7$  Гц) наблюдаются на всех датчиках во всех точках. Этот эффект возможно вызван шумом, испускаемым океаническими волнами с максимальной энергией вблизи 0.2 Гц (Aki and Richards, 1980). Частоты порядка 0.7 Гц вызваны волнами, которые испускаются в прибрежных районах при взаимодействии морских волн и берегом или вызваны вариациями метеоусловий, таких как скорость ветра (Cara et al., 2003).

## Заключения

Эксперимент предоставил ключевую информацию, необходимую для лучшего понимания низкочастотных сигналов, которые были обнаружены над несколькими углеводородными коллекторами в данной области.

Предварительные результаты говорят о том, что, как уже ранее говорилось, низкочастотные сигналы в узком диапазоне присутствуют над углеводородным коллектором, но что этот сигнал также наблюдается над близлежащими неколлекторскими участками. Наблюдались вариации в характере



**Рисунок 3 Сравнение формы спектра для 60 минутных интервалов записи для точки наблюдения А (над нефтяным коллектором) и точки В (за пределами коллектора) в полдень и полночь. Непрерывные эллипсы указывают на узкий диапазон низких частот, наблюдавшихся в точках А и В, хотя максимум сигнала слегка меняется в полдень и полночь. Прерывистые эллипсы указывают на другие наблюдавшиеся аномальные сигналы.**

сигналов, записанных в течение 12 часов в полуденный и полуночный периоды, которые не полностью объяснимы. В настоящее время проводится более полный анализ для улучшения понимания системы волн, которые вызывают эти наблюдавшиеся эффекты путем картирования временных и пространственных вариаций всех компонентов волнового поля. В дополнение, планируется проведение дальнейших экспериментов.

## Благодарности

Мы признательны Нефтяному подкомитету Национальной Нефтяной компании Абу Даби (ADNOC) и ее компаниям операторам (OpCos) за спонсорство в проекте. Мы благодарны М-ру Marwan Haggag за его поддержку в логистике при выполнении полевых работ и в координации проекта. Сейсмометры были арендованы в SEIS-UK.

## Литература

- Aki, K., Richards, P.G. [1980] Quantitative seismology: Theory and methods. Freeman.
- Cara, F., Giulio, G.D. and Rovelli, A. [2003] A study on seismic noise variation at Colfiorito, Central Italy: Implications for the use of H/V spectral ratios. *Geophysical Research Letters*, 30 (18), 10.1029/2003GL017807.
- Dangel, S., Schaepman, 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.
- 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, 41-46.