

## Некоторые особенности спектров низкочастотных микросейсм над нефтегазовыми залежами

*Е.В. Биряльцев, В.Л.Купоть, В.А. Рыжов*  
[vrizov@mail.ru](mailto:vrizov@mail.ru)

В различных геологических провинциях установлено, что в спектре сейсмоакустического сигнала над нефтегазовыми залежами в диапазоне 1-10 Гц проявляется группа спектральных максимумов (аномалия) [1, 2, 3]. Несмотря на отсутствие общепризнанного теоретического обоснования, ряд компаний успешно применяют методы, основанные на этом эффекте. Из них в России наиболее известна компания «Анчар» [1], за рубежом – швейцарская компания «Spectraseis» [2]. В Республике Татарстан с 2003 года поиск и разведку нефтяных залежей методом низкочастотного сейсмического зондирования (НСЗ) проводит ЗАО «Градиент» [3, 4].

Несмотря на единообразие эффекта каждая из приведенных компаний применяет свой подход к интерпретации низкочастотной аномалии в спектре. В пассивной технологии «DISCH» используется параметр АФА (Амплитудный фактор аномалии), который вычисляется в результате нормировки амплитуды аномалии в спектре на минимальное значение амплитуды спектра в целевом частотном диапазоне (1-6Гц). Его значение в максимуме аномалии характеризует нефтеперспективность точки наблюдения. Компания «Анчар» аналогично используется в качестве параметра характеризующего нефтеперспективность АФА. Компания «Spectraseis» вводит параметр DHI (direct hydrocarbon indicator) (прямой индикатор углеводородов) для вычисления которого используется абсолютное значение аномалии микросейсм с последующей его нормировкой на максимальное значение аномалии по площади наблюдения.

Важно заметить, что ни одна из перечисленных технологий не дает привязку по глубине, а в основе параметра нефтеперспективности лежит степень проявления аномалии.

Широкая база материалов, полученных в различных геолого-геофизических условиях ЗАО «Градиент», и предоставленная авторам, позволила выявить некоторые закономерности структуры аномалии спектров в зависимости от геолого-геофизических условий наблюдения. В пределах республики Татарстан спектры характеризуются двугорбовой структурой (рис. 1а). Первый спектральный максимум, локализуется в частотном диапазоне 2-3Гц, второй в диапазоне 4-6Гц. Как правило, первый спектральный максимум имеет сложную структуру, распадается на несколько подмаксимумов – микроаномалий (рис. 1б).

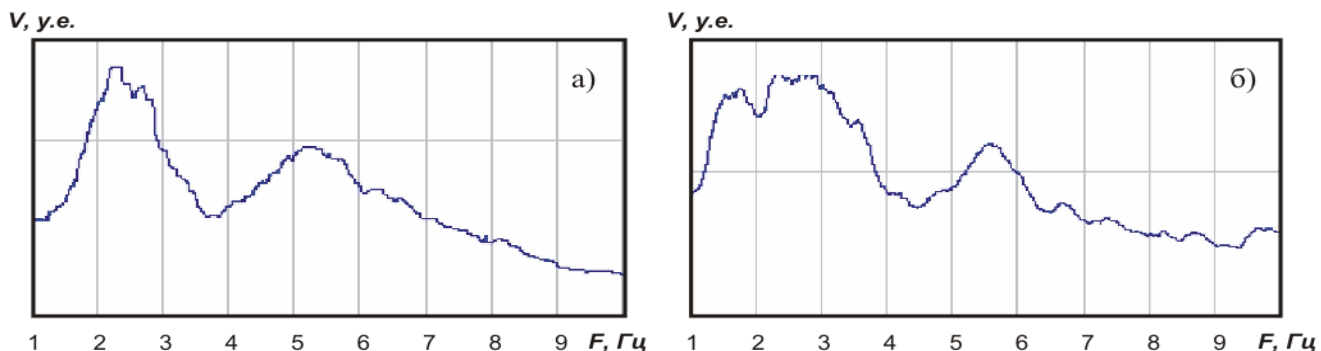


Рис. 1. Пример спектров полученных на нефтяных месторождениях республики Татарстан.

В 2006 году была выполнена работа [4] по 8 площадям с известной нефтеносностью, в которой, в частности, была выявлена корреляционная связь экспериментальной частоты спектрального максимума ( $F_{НСЗ}$ ) от  $1/(T_{ВСП}-t_{ЗМС})$ , где  $T_{ВСП}$  – время прохождения продольной сейсмоакустической волны от поверхности до целевого отражающего горизонта с известной нефтеносностью по результатам ГИС,  $t_{ЗМС}$  – поправка на приповерхностную зону малых скоростей  $t_{ЗМС}=0.04$ сек. Таким образом, для условий РТ была выявлена зависимость частотного положения аномалии в спектре с глубиной залегания залежи  $h$  через скоростные характеристики геолого-геофизического разреза по данным ВСП ( $T_{ВСП}(h)$ ).

$$F_{НСЗ} \approx 1/(T_{ВСП}-t_{ЗМС}) \quad (1)$$

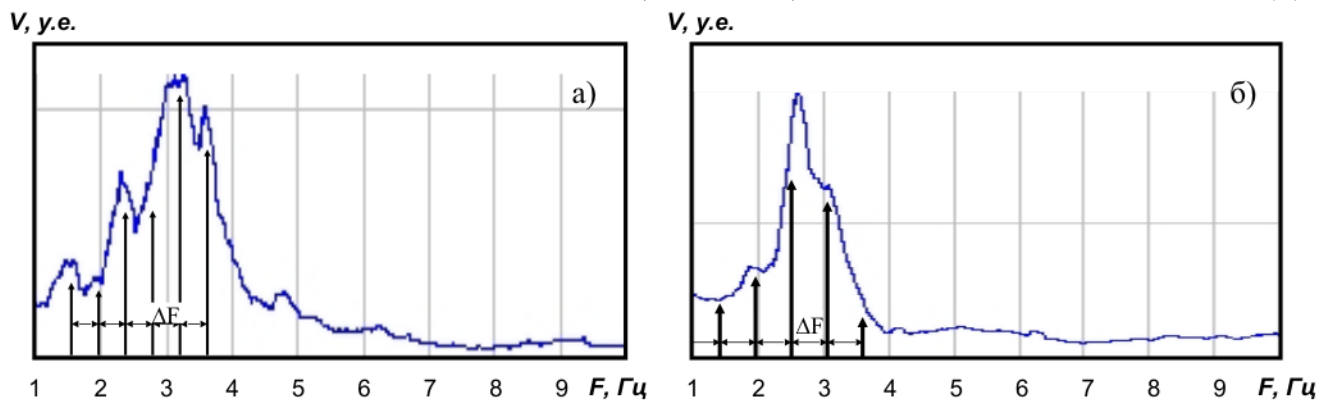


Рис. 2. Примеры спектров с месторождения Оренбургской области с различными  $\Delta F$ .

Недавние исследования, проведенные на участке в Оренбургской области, частично перекрывали разбуренный участок с известной нефтеносностью. В среднем  $T_{всп}$  для этих отложений по нескольким скважинам меняется от 0.677сек до 1.524 сек, а  $1/(T_{всп}-0.04)$  от 0.67 Гц до 1.57 Гц. Таким образом, исходя из имеющейся интерпретационной модели, аномалия НСЗ для нефтеносных отложений данного региона ожидается в диапазоне частот от 0.67 Гц до 1.57 Гц. Анализируя спектры НСЗ на площадях работ в республике Татарстан, Коми мы не наблюдали аномалии ниже 1.5 Гц, за исключением пика на 0.5Гц связанного, вероятнее всего, с поверхностной волной Рэлея и аппаратным завалом частот от 0.5Гц и ниже. Анализируя спектры с площади работ Оренбургской области, мы так же не обнаружили аномалии в диапазоне расчетных частот (0.67 Гц – 1.57Гц). Амплитуда спектров традиционно спадала в диапазоне от 2.5 Гц до 1Гц. Однако в

частотном диапазоне 1.5 Гц - 4.0 Гц аномалия присутствовала (рис. 2а,б). Исследование этих аномалий выявило их тонкую структуру. Было замечено, что аномалия состоит из серии микроаномалий смещенных по оси частот относительно друг друга на  $0.3 < \Delta F < 0.8$  Гц. Так же было замечено, что минимальные и максимальные расчетные частоты, полученные по (1), примерно в два раза больше граничных значений  $\Delta F$  (см. таблицу 1).

Таблица. 1. Сопоставление расчетных частот аномалии по (1) с экспериментальными результатами полученными на территории Оренбургской области

Т <sub>всп</sub> , с		Расчетные частоты (1) F=1/(Т <sub>всп</sub> -0.04), Гц		Анализ тонкой структуры аномалии $\Delta F$ , Гц		$\frac{F}{\Delta F}$ , у.е.	
Т <sub>всп</sub> <sub>min</sub> , сек	Т <sub>всп</sub> <sub>max</sub> , сек	F <sub>min</sub> , Гц	F <sub>max</sub> , Гц	$\Delta F$ <sub>min</sub> , Гц	$\Delta F$ <sub>max</sub> , Гц	$\frac{F_{min}}{\Delta F_{min}}$ , у.е.	$\frac{F_{max}}{\Delta F_{max}}$ , у.е.
0.68	1.52	0.67	1.57	0.3	0.8	2.23	1.96

Подобный эффект, когда в среде возбуждаются колебания на кратных частотах, известен в физике при распространение упругих возмущений в системе с большим числом степеней свободы. [5]. Например, в однородном стержне с незакрепленными концами возникает набор собственных колебаний, частоты которых, вычисляются по формуле ( $w_p = \frac{\pi c_0}{l} p$ ), где  $c_0$  – скорость распространения волны в стержне,  $l$  – длина стержня,  $p$  – номер моды колебаний,  $w_p$  – круговая частота. Переход от круговой частоты к циклической осуществляется  $v = \frac{w}{2\pi}$ , где  $v$  – циклическая частота.  $v_p = \frac{c_0}{2l} p$ . Так как  $\frac{l}{c_0} = t$ , где  $t$  – время прохождения волны от одного края стержня до другого, то

$$v_p = \frac{p}{2t} \quad (2)$$

Полоса частот между модами колебаний в однородном стержне вычисляется как:

$$\Delta v = v_{p+1} - v_p = \frac{p+1}{2t} - \frac{p}{2t} = \frac{1}{2t} \quad (3)$$

Таким образом,  $\Delta v$  зависит только от времени прохождения волны от одного края до другого. Учитывая (3) произведем замену в (2) и получим:

$$v_p = p \cdot \Delta v \quad (4)$$

Представим геологическую среду в виде слоя, лежащего на полупространстве. В слое распространяются и претерпевают многократные отражения волны различных типов, в том числе продольные. Такая среда будет обладать частотно-избирательными свойствами, которые в первом приближении описываются выражениями (2) - (4). Таким образом, геологическая среда будет являться частотным фильтром для микросейсмического фонового шума.

Эмпирическая зависимость (1) по Республике Татарстан [4], является частным случаем формулы (2) при  $p=2$ , и  $t = T_{ВСП} - 0.04$ , где  $T_{ВСП}$  по физическому смыслу (время прохождения продольной сейсмоакустической волны от поверхности до отражающего горизонта) совпадает с  $t$  (время прохождения волны от одного края стержня до другого).

Так же из таблицы 1 видно, что расчетные частоты аномалии по эмпирической зависимости (1) примерно в два раза больше  $\Delta F$  ( $F \approx 2 \cdot \Delta F$ ). Этот факт так же находит свое обоснование в представленной модели в формуле (4) при  $p=2$ .

Из выше приведенных фактов можно сделать следующие выводы:

- 1) Одной из составляющей эффекта низкочастотной аномалии является резонанс продольных сейсмо-акустических волн на собственных частотах геосреды;
- 2) Тот факт, что аномалия состоит из нескольких микроаномалий, с шагом  $\Delta F$ , говорит о том, что от одного отражающего горизонта могут возбуждаться собственные колебания не только на второй моде. Следовательно, первый спектральный максимум в спектрах сигналов полученных на территории РТ на частотах 2-3Гц частично является проявлением первой моды колебаний и непосредственно связан с максимумом на частоте 4-6Гц (2-ой модой колебаний);
- 3) Спектр характеризует сложную интерференционную картину всех значимых собственных колебаний геосреды;
- 4) Нефтегазовая залежь является отражающей границей для инфразвуковых волн;
- 5) При известных скоростных характеристиках разреза возможна оценка глубины отражающей границы, которая вызывает аномалию.

#### Список литературы

1. Б.М.Графов, С.Л.Арутюнов, В.Е.Казаринов, О.Л.Кузнецов, Ю.В.Сиротинский, А.Е.Сунцов. Анализ геоакустического излучения низкочастотной залежи при использовании технологии АНЧАР. 1996, Геофизика 5, с.24-28. <http://www.anchor.ru>
2. S. Dangel и др. Phenomenology of tremor-like signals observed over hydrocarbon reservoirs // «Journal of Volcanology and Geothermal Research 128 (2003)135-158» <http://www.spectraseis.com>
3. А.А.Губайдуллин, А.И.Исхаков, В.А. Рыжов. Прогнозирование нефтеносности по данным низкочастотного сейсмического зондирования и геохимических исследований на Каргалинском лицензионном участке № 1. Отчет по договору с ЗАО «ВЕЛЛойл», ЗАО «Градиент». -2007.-74с.
4. Е. В. Биряльцев, В. Л. Кипоть, В.А. Рыжов, А.А.Губайдуллин. Разработка физико-геологической основы низкочастотного сейсмического зондирования сложнопостроенных ловушек углеводородов в различных структурно-фациальных зонах. Отчет по Гос. контракту № 9 / 15. 2006 г.

5. В.А.Алешкевич, Л.Г.Деденко, В.А.Караваяев. Колебания и волны. (Университетский курс общей физики). – М.: Физический факультет МГУ, 2001. – 144с. ISBN 5-8279-0011-7