

Некоторые характеристики аномалий низкочастотного сейсмоакустического поля над нефтегазовыми залежами в республике Татарстан.¹

Биряльцев Е.В., Рыжов В.А.

Аннотация

Технологии поиска и разведки залежей природных углеводородов методом анализа спектра микросейсм в последнее время приобретают все большую популярность. Наличие аномальных спектральных максимумов в области низких частот спектра микросейсм над нефтегазовыми залежами подтверждено многочисленными исследованиями. Вместе с тем, в публикациях на эту тему большее внимание уделяется теоретическим моделям поведения микросейсм в районах нефтегазовых залежей или геологическим результатам, тогда как экспериментально наблюдаемые характеристики микросейсм и методы их наблюдений описаны достаточно скупо. В статье приводятся некоторые характеристики микросейсм, наблюдаемых в районах нефтегазовых залежей, дается описание методики их наблюдений, приводится анализ статистической устойчивости наблюдаемого эффекта и факторов, влияющих на его параметры.

Введение.

Эффект наличия аномалий в низкочастотной части спектра естественных микросейсм над нефтегазовыми залежами известен достаточно давно [1] и наблюдается в различных нефтегазовых регионах [2]. На данном эффекте основан ряд методов поиска и разведки нефтегазовых залежей [1, 2]. Вместе с тем, относительно природы наблюдаемого явления существуют несколько точек зрения [3, 4, 5], основанные на принципиально различающихся геофизических механизмах. Известные теории возникновения эффекта основаны либо на гипотезах генерации аномальных микросейсм нефтегазовой залежью, либо на механизмах фильтрации микросейсмического фона геологической средой, включающей нефтегазовую залежь как отражающую границу. Следует отметить, что обе группы гипотез основаны на качественных рассуждениях и не позволяют, в настоящее время, решить даже прямую задачу расчета параметров наблюдаемого аномального сигнала исходя из параметров залежи и геологической среды.

Несмотря на отсутствие общепризнанного теоретического обоснования, ряд компаний успешно применяют методы, основанные на эффекте аномального низкочастотного спектра микросейсм. Из них в России наиболее известна компания «Анчар» [5], за рубежом – швейцарская компания «Spectraseis» [6]. В Республике Татарстан с 2003 года поиск и разведку нефтяных залежей методом низкочастотного сейсмического зондирования (НСЗ) проводит ЗАО «Градиент» [4]. Как следует из публикуемых компаниями материалов, признаком наличия нефтегазовой залежи является наличие характерного максимума в диапазоне 1-10 Гц на спектре микросейсм (Рис. 1).

Исходя из самой природы наблюдаемого сигнала (природные микросейсмы) следует, что проявление эффекта носит статистический характер. Очевидно, что для промышленного применения методов, основанных на рассматриваемом эффекте, необходимо ответить на ряд вопросов о статистических характеристиках рассматриваемых сигналов.

Основным вопросом является локальная и глобальная стационарность наблюдаемого сигнала. Необходимо убедиться, что наблюдаемый сигнал, в отсутствие изменений во внешней шумовой обстановке, имеет устойчивое распределение и может быть осреднен обычными методами. Связанными с локальной стационарностью вопросами являются, вопрос о времени наблюдения для обоснования наличия или отсутствия рассматриваемого эффекта в точке наблюдения, а также сопоставимость наблюдений, проведенных последовательно в различных

¹ Исследования проведены по материалам компании «Градиент»

точках. Глобальная стационарность эффекта, понимается как отсутствие зависимостей от времени суток, времени года и других долгопериодических факторов. При глобальной стационарности эффекта можно делать сопоставления наблюдений, проведенных со значительным временным разрывом, как на одной и той же площади (т.е. осуществлять мониторинг при разработке месторождений), так и на различных площадях, что важно при ранжировании площадей по нефтеперспективности.

ЗАО «Градиент» [4] к началу 2006 года проведены исследования на 25 площадях, что включает более 2 тысяч точек наблюдений. На 15 площадях в рекомендованных зонах было осуществлено бурение, в 12 получено подтверждение прогноза. Такой объем накопленных данных и их подтвержденная бурением достоверность позволяет всесторонне исследовать обозначенные проблемы.

Стохастическая природа сигнала

Микросейсмический фон Земли в точке наблюдения составляет суперпозиция колебаний вызванных как естественными причинами - отзвуки удаленных землетрясений, локальные микроземлетрясения, поверхностные шумы, Лунные приливы, штормовые микросейсмы, ионосферные, погодные явления – дожди, град, сильный ветер, так и техногенными источниками - движущимся транспортом, работой машин и механизмов, движением домашнего скота. На рисунке 2 приведен типичный вид микросейсмического сигнала длительностью 1500 секунд, с детализацией на 100 и 5.12 секунд. По вертикальной оси отложена скорость вертикальных колебаний поверхности Земли в месте регистрации. Наблюдается, что значение амплитуды регистрируемых сигналов изменяются от 0.01 мкм/с до 10 мкм/с.

Все естественные низкочастотные микросейсмы имеют импульсное происхождение, в частности об этом свидетельствуют ряд исследований [7].

Из рисунка 2 видно, что микросейсмический сигнал состоит из отдельных волновых пакетов различной амплитуды и фазы длительностью 2-3 секунды. По форме сигнала также видно, что энергия сигнала меняется с течением времени довольно значительно. Опираясь на распределение энергий кадров сигнала длительностью по 5.12 секунд представленное на рисунке 3 видно, что распределение статистически одномодовое, и близко к нормальному распределению. Учитывая стохастичность регистрируемого сигнала, применяется метод разбиения сигнала на части равной длительности – кадры, с последующей статистической обработкой.

Условия наблюдения аномалии

Минимальный размер кадра выбирается из условия достаточного спектрального разрешения, позволяющего наблюдать аномалию. Исходя из теоремы Котельникова максимальная частота сигнала, которую можно наблюдать, равна половине частоты дискретизации. При частоте дискретизации сигнала 100Гц, наблюдается спектральный диапазон 0-50 Гц. Чтобы наблюдать аномалию без уширения, необходимо, чтобы на ее ширину приходилось хотя бы два отсчета. Поэтому наблюдаемый частотный диапазон включает около 100 точек, так как ширина аномалии порядка 1 Гц. Так как мы имеем дело с вещественным сигналом, то число отсчетов в спектре после прямого преобразования Фурье, будет в два раза меньше числа отсчетов сигнала. Следовательно, размер кадра должен быть не менее 200 отсчетов. Часто сама аномалия имеет тонкую структуру, поэтому для ее наблюдения необходимо большее число отсчетов. Учитывая особенности быстрого преобразования Фурье, размер кадров выбирается из набора чисел 2^n , где n – целое число, то на практике применяются кадры размером 256, 512, 1024 и т.д. В дальнейшем мы будем оперировать кадром размером 512 отсчетов, что соответствует 5.12 секундам.

Случайный характер спектра сигнала также хорошо проявляется на динамической спектрограмме (Рис. 4). Наблюдается, что спектральная плотность мощности аномалии постоянно перераспределяется в диапазоне 2-4 Гц. Спектр сигнала в пределах диапазона

энергий кадров различающихся не более чем в два раза и находящихся в области моды распределения энергий демонстрирует хорошую статистическую устойчивость. На рисунке 5 представлен усредненный спектр микросейсм, образованный кадрами диапазона энергий 1.2-3.0у.е. (см. рис. 3) с наложенными доверительными интервалами 3σ . Количество кадров, по спектру которых производилось усреднение, составило около 500.

Доверительные интервалы на спектральных кривых можно использовать, в первую очередь, для обоснования наличия максимума спектральной плотности по сравнению с фоновыми значениями. Если нижний доверительный интервал в максимуме выше верхнего доверительного интервала в фоне, то с достоверностью не менее 99% (в случае интервалов 3σ) в спектре микросейсм действительно присутствует максимум. Приведенное на рисунке 5 расположение доверительных интервалов в области предполагаемого максимума и в фоне более чем достаточно для вынесения однозначного суждения о наличии максимума.

Практика показывает, что при ярко выраженных максимумах для принятия подобного решения достаточно 30-50 кадров, что при длине кадра 5 секунд составляет 150-250 секунд. Таким образом, для приведенного примера сигнала в условиях стабильной микросейсмической обстановки и ярко выраженным максимумом достаточно 3-5 минут наблюдения, чтобы однозначно определить наличие аномалии в точке наблюдения.

Вместе с тем, в ряде случаев может потребоваться значительно большее время наблюдений. В первую очередь это касается точек наблюдения с не столь явно выраженным превышением максимума над фоновым значением. Увеличение времени наблюдения требуется также при ранжировании точек наблюдения по степени выраженности эффекта.

Существенное влияние на время наблюдения оказывает наличие техногенных помех [8] в районе наблюдения. В условиях интенсивных нестационарных техногенных помех для набора необходимого числа кадров, в которых видны естественные микросейсмические сигналы, приходится существенно увеличивать общее время наблюдений.

Глобальная стационарность

Сопоставимость спектров микросейсм в различных геолого-физических условиях

ЗАО «Градиент» провело на середину 2007 года исследования на 25 площадях на территории Республики Татарстан, Республике Коми, Самарской и Оренбургской областях.

Анализ характеристик спектров микросейсм на различных площадях исследований показывает, что местоположение максимума, соответствующего наличию нефтеносности, различно для различных площадей исследований. На рисунке 6 приведены типичные аномальные спектры для 5-ти различных площадей исследований. Из рисунка 6 следует, что положение максимумов колеблется в достаточно широком диапазоне от 2 до 6 Гц.

Сезонные вариации.

Имеющийся экспериментальный материал не позволяет провести достоверный статистический анализ зависимости параметров спектров микросейсм от времени года. К сожалению, имеющиеся разновременные наблюдения относятся преимущественно к различным площадям. Рассматривая наблюдения в целом, можно отметить, что существенной зависимости выявления нефтеперспективности от времени года не отмечается. Таким образом, надо констатировать, что эффект проявляется при любых температурах и состояниях дневной поверхности (промороженная, влажная, сухая). Вместе с тем, сравнение единичных наблюдений, проведенных до, и после снеготаяния показывают возможность изменения характеристик спектра наблюдаемых микросейсм. На рисунке 7 приведены изменения спектра микросейсм до и после снеготаяния.

Как следует из рисунка 7, после снеготаяния в спектре микросейсм появляются дополнительные частотные составляющие в диапазоне 10 Гц и выше. Их низкочастотная ветвь существенно поднимает значение фона в диапазоне 5-10 Гц, что сглаживает контрастность наблюдаемой аномалии в диапазоне 2-4 Гц, до снеготаяния наблюдаемой очень контрастно.

Выявленная сезонная особенность требует учета при сопоставлении разновременных наблюдений при ранжировании площадей исследований по нефтеперспективности.

Суточные вариации

Наблюдения, проводимые на одной и той же точке непрерывно в течение суток, показывают наличие изменения вида спектра в зависимости от времени наблюдения. На рисунке 8 приведены типичные вариации спектра в течение суток. Наблюдается, что при сохранении морфологии спектра (наличия и расположения максимумов) их амплитудные характеристики изменяются.

Наиболее вероятной причиной изменения амплитуд максимумов является влияние лунных приливов. На рисунке 9 приведены значения превышения амплитуды максимумов над фоном в сопоставлении с фазой Луны. Максимум соответствует Луне в зените точки наблюдения.

Для оценки выраженности аномалии над фоном было взято отношение «сигнал+шум»/«шум» (M) [9], где под «шумом» понимается амплитуда естественного фонового уровня спектра, а под «сигнал+шум» амплитуда спектрального максимума. Чтобы избавиться от суточной неустойчивости аномалии применяется корректировка параметра M в точке наблюдения, в соответствии с динамикой изменения аномалии на базовой точке, которая регистрируется в течение суток.

Для базовой точки вычисляются параметры M аномалии для каждого часа записи (M_h , где h – номер часа записи). Затем вычисляется среднесуточное M (M_{cp}).

Корректировочный коэффициент для каждого часа вычисляется по формуле:

$$K_h = \frac{M_{cp} - 1}{M_h - 1};$$

Скорректированное значение M' аномалии в точке регистрируемой в течение часа номер h вычисляется:

$$M' = (M - 1) \cdot K_h + 1;$$

То есть, например, в тех точках, когда M_h аномалии на базовой точке выше ее среднесуточного значения M_{cp} необходимо уменьшать значение M аномалии в точке наблюдения в соответствие с формулами. В результате для каждой точки регистрации вычисляется скорректированные параметры M' инвариантные к суточным вариациям аномалий.

Такой способ корректировки опирается на пространственную коррелированность временной динамики аномалий в близких точках.

Сопоставление параметров спектральных аномалии в пределах одной площади исследования

На рисунке 10 представлен профиль спектров с одного из месторождения Республики Татарстан пересекающей нефтегазовую залежь. Стрелками отмечен аномальный максимум в спектре. Черная стрелка, указывает на условную амплитуду фонового уровня спектра («шум»), а красная стрелка на амплитуду аномального максимума («сигнал+шум»). В точке № 38 и 16 не удастся ее локализовать аномалию, следовательно, параметр M будет равен 1. Во всех остальных спектрах местоположение стрелки в спектре является частотой аномалии. Значение параметра M приведено на верхнем графике рисунка 10.

Точки наблюдения, в спектре которых присутствует аномальный максимум, группируются в связанные области (Рис. 11), приуроченные, как правило, к выделенным структурной сейсморазведкой поднятиям. Значение параметра M спадает к краям области (предполагаемой залежи).

Отметим, что на спектрах также присутствует максимум на 2-3Гц, он тоже относится к естественным микросейсам. Как правило, в республике Татарстан он имеет сложную структуру, и его интерпретация носит более сложный характер [4].

Заключение

Приведенные результаты показывают, что эффект аномального низкочастотного спектра микросейсм на территории Республики Татарстан проявляется достаточно устойчиво и имеет значительную корреляцию с нефтеносностью. На 15 из 25 исследованных площадей произведено бурение в рекомендованных зонах, в 13 получены подтверждения прогноза. Вместе с тем, количественные характеристики аномального низкочастотного спектра подвержены влияниям факторов как природного, так и техногенного характера.

Суточные и сезонные изменения в спектральных характеристиках требует применения схем наблюдения сигналов, обеспечивающих сопоставимость разновременных наблюдений. Техногенные помехи ударного и узкополосного типа, характерные для промышленно нагруженных районов Республики, требуют применения соответствующих методов фильтрации сигнала. Вариабельность характеристик сигнала в зависимости от площади исследований и внутри нее требует опыта, индивидуального подхода к каждой исследуемой площади и результаты исследований в значительной мере опираются, в настоящее время, на опыт обработчика-интерпретатора.

Для повышения достоверности исследований необходима, в первую очередь, разработка адекватной физико-геологической модели и ее адаптация по материалам исследований.

Литература

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.
2. S. Dangel и др. Phenomenology of tremor-like signals observed over hydrocarbon reservoirs // «Journal of Volcanology and Geothermal Research 128 (2003)135-158»
3. EXPLORER [Электронный ресурс]: Международный геологический журнал / American Association of Petroleum Geologists; Louise S. Durham, June 2007 – Режим доступа: http://www.aapg.org/explorer/2007/06jun/passive_seismic.cfm, свободный. – «DHI Technology. Low Frequency, But High Hopes» . – Яз. англ.
4. Birialtsev, E. V. and I. N. Plotnikova, I. R. Khabibulin, N. Y. Shabalin, “The analysis of microseisms spectrum at prospecting of oil reservoir on Republic Tatarstan,” EAGE Conference, Saint Petersburg, Russia, 2006.
5. АНЧАР [Электронный ресурс] Группа коммерческих компаний; – Режим доступа: <http://www.anchar.ru/text.phtml?m=165>, свободный. – «О технологии АНЧАР » . – Яз. рус..
6. SPECTRASEIS [Электронный ресурс] коммерческая компания / Zurich, Switzerland – Режим доступа: <http://www.spectraseis.com>, свободный. – «Welcome to Spectraseis» . – Яз. англ.
7. А.А.Маловичко, А.А.Козырев, Д.А.Маловичко. Мониторинг шахтной сейсмичности. Национальный отчет Международной ассоциации сейсмологии и физики недр Земли Международного геодезического и геофизического Союза 2003 – 2006. Москва 2007г.
8. «ВЕСТНИК ОГГГН РАН» [Электронный ресурс] Электронный научно-информационный журнал «ВЕСТНИК ОГГГН РАН» № 4(19)'2001, Н.К. Капустян. – Режим доступа: http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/4-2001/kapustjan.pdf, свободный. – «ТЕХНОГЕННЫЕ МЕХАНИЧЕСКИЕ ВИБРАЦИИ: ПАРАМЕТРЫ ВОЗДЕЙСТВИЙ И НАВЕДЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЗЕМНОЙ КОРЕ» – Яз. рус.
9. 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.