

Результаты численного моделирования распространения природных микросейсм в зонах залегания нефтегазовых залежей.

Биряльцев Е.В. (ЗАО «Градиент»), Бережной Д.В., Биряльцева Т.Е., Храмченков М.Г.
(Казанский государственный университет)

Краткое резюме. Рассматриваются результаты численного моделирования распространения микросейсм в зонах залежей углеводородов. Производится сопоставление спектров модельных сигналов микросейсм с наблюдаемыми в аналогичных геологических условиях. Делается вывод о возможности объяснения аномального низкочастотного спектра микросейсм в районах залежей углеводородов особенностями взаимодействия поверхностных микросейсм с залежами углеводородов.

Эффект наличия аномалий в низкочастотной части спектра естественных микросейсм над нефтегазовыми залежами известен достаточно давно [1] и наблюдается в различных нефтегазовых регионах [3]. На данном эффекте основан ряд методов поиска и разведки нефтегазовых залежей [1,2,3]. Вместе с тем, относительно природы наблюдаемого явления существуют несколько точек зрения [1,2,4,5], 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. Для гипотез генерации залежью аномальных микросейсм удовлетворительная количественная физико-математическая модель отсутствует, для гипотез фильтрации микросейсм средой наблюдается значительное расхождение между теоретическими значениями фундаментальных частот параметров волноводов «дневная поверхность – залежь» (менее 1 Гц для большинства условий залегания) и диапазоном наблюдения эффекта (1-10 Гц). Кроме того, известно [6], что зона малых скоростей обладает резонансными свойствами как раз в диапазоне наблюдаемого эффекта, что заставляет сомневаться в адекватности привязки наблюдаемого эффекта к зоне залежи.

В отсутствие адекватных аналитических моделей авторами проведено численное моделирование распространения микросейсм в геологической среде (в плоской постановке) при наличии указанных факторов в следующей постановке (Рисунок 1). Моделируемая область отражала характерные условия залегания залежей в среднем карбоне для условий Республики Татарстан и содержала зону малых скоростей, осадочный чехол мощностью 2 км, кристаллический фундамент и залежь с глубиной залегания 800 метров. Область моделирования имела модельный размер 10 км по простиранию и 20 км в глубину. Осадочный чехол моделировался конечными элементами размером порядка 50x50 м., зона малых скоростей и залежь – элементами размером порядка 5x50 м., кристаллический фундамент – элементами порядка 50x500 м. Геологическая среда моделировалась телом Фойгта с сейсмомеханическими характеристиками типичными для Республики Татарстан. Модель осадочного чехла имела плотность 2.2 г/см³ и скорости V_p и V_s 4500 м/сек и 2200 м/сек

соответственно. Затухание в соответствовало добротности Q порядка 500-1000 для частот 1-3 Гц (50-100 для частот 20-60 Гц). Модель фундамента имела плотность 2.5 г/см^3 и скорости V_p и V_s 4500 м/сек и 2200 м/сек соответственно с тем же затуханием. Залежь располагалась в правой половине модельной области и имела плотность 1.8 г/см^3 и скорости V_p и V_s 2400 м/сек и 1200 м/сек соответственно. Затухание в залежи соответствовало добротности Q порядка 30-90 для частот 1-3 Гц

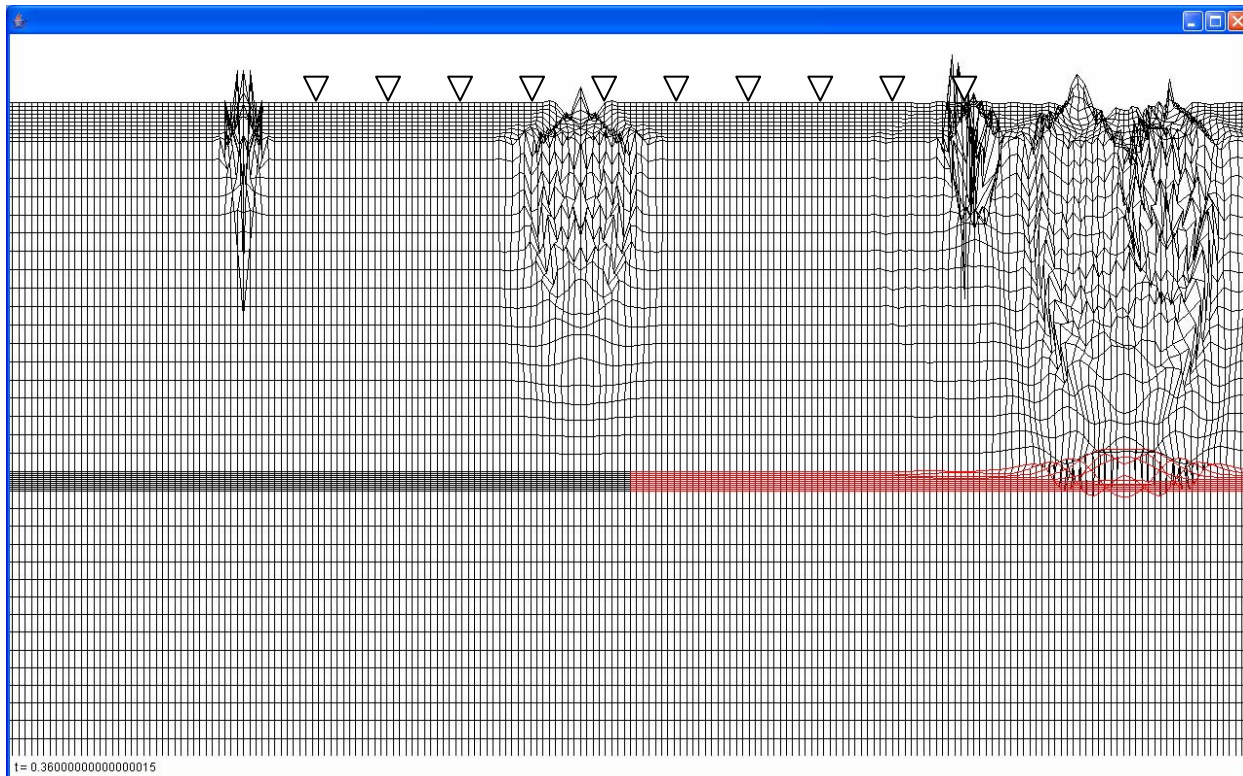


Рисунок 1. Геометрия моделирования

Решение проводилось методом конечных элементов по неявной схеме с шагом по времени 0.01 сек. Микросейсмы моделировались импульсами длительностью от 0.01 до 0.1 сек с силой порядка 10^4 Н. На дневной поверхности в 10 точках (на Рисунке 1 обозначены символами ∇) записывались значения скорости вертикальных перемещений. С данной моделью были проведены несколько серий модельных экспериментов.

В первой серии экспериментов проверялось наличие эффекта без учета ЗМС и детерминированном воздействии плоским ударом сверху по дневной поверхности длительностью 0.01 сек. Модельное время составляло 21 секунду. Полученные сигналы разбивались на кадры по 256 отсчетов, нормировались по энергии и усреднялись. Типичный результат моделирования приведен на Рисунке 2 слева. Над залежью (точки 6-9) четко прослеживаются максимумы в районе 3, 5 и 8 Гц, вне залежи (точки 0-3) остается только максимум около 3-х Гц, в районе границы залежи (точки 4-5) наблюдается плавный переход одного вида спектра в другой.

Более реалистичным является возбуждение воздействием случайных по силе и времени и месту возникновения импульсов. Для анализа данного случая была проведена соответствующая серия экспериментов с той же моделью без ЗМС. В дополнение к предыдущим действиям по обработке модельных сигналов в данном случае было добавлено сглаживание катящимся средним

шириной 5 отсчетов. Результаты моделирования представлены на Рисунке 2 справа. Характер кривых достаточно хорошо соответствует характеру кривых в предыдущем эксперименте (с учетом случайного характера воздействий и сглаживания кривых).

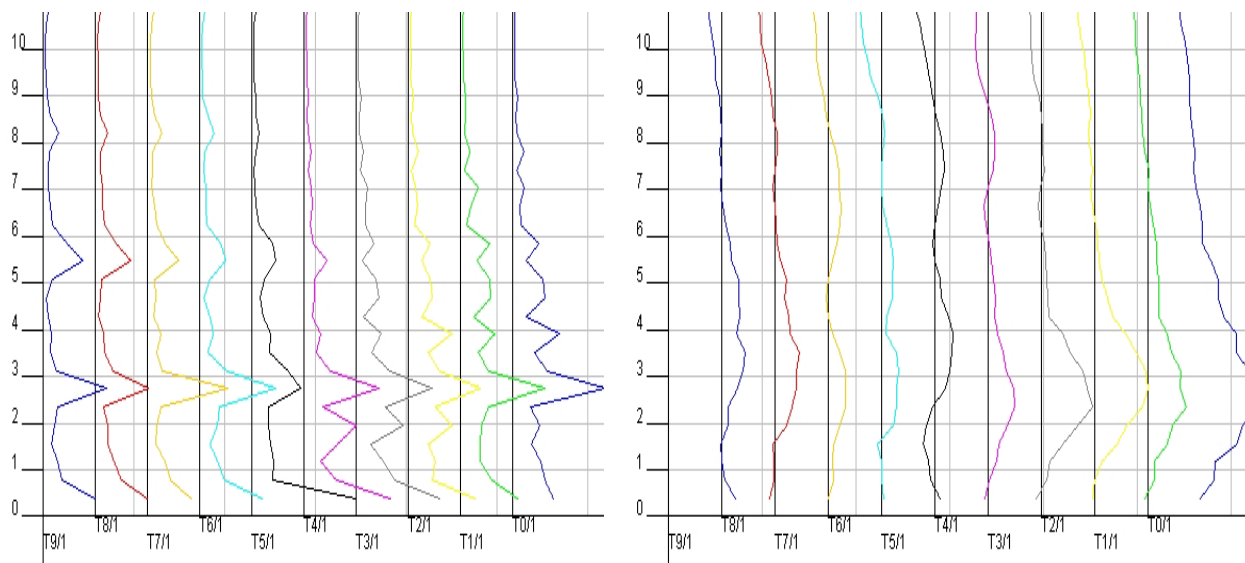
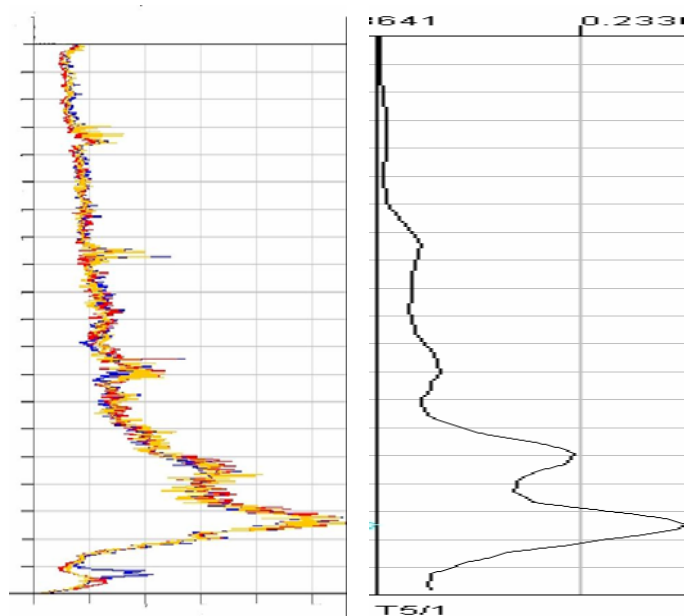


Рисунок 2. Спектры модельных сигналов

Для данного случая, кроме поверхностного расположения ударов, было промоделировано возбуждение импульсами, случайным образом возникающими в толще геосреды. Результаты этих экспериментов кардинально отличались от поверхностного расположения ударов. Все спектры имели заметные максимумы в районе 1 Гц и ниже. Следующая серия экспериментов проводилась с учетом наличия зоны малых скоростей. Было проведено моделирование как поверхностных случайных ударов, так и распределенных в толще геосреды. При ударах, распределенных в толще геосреды, результаты моделирования соответствовали предыдущему случаю, заметное отклонение спектров от нуля наблюдалось на частотах от 1 Гц и ниже. При поверхностных ударах наблюдалась достаточно сложная картина с некоторым повышением фона в диапазоне 4-8 Гц в точках 5-9 (над залежью) по сравнению с точками 0-4 (вне залежи). Было также проведено моделирование с детерминированным плоским ударом. Результаты, в целом, также соответствуют аналогичному эксперименту без ЗМС, вместе с тем, влияние ЗМС выражается в существенном перераспределении энергии максимумов над залежью и появлению дополнительного максимума около 4 Гц вне залежи.

Заключение. Все серии вычислительных экспериментов были повторены с вариациями временных и пространственных шагов моделирования, а также геометрическими и сейсмомеханическими характеристиками элементов модели. Результат показал адекватность, устойчивость и сходимость модельных экспериментов. Сопоставление модельных спектров и экспериментальных данных [8] в соответствующих геологических условиях показывает хорошее совпадение эксперимента и модельных расчетов при условии поверхностного возбуждения микросейсм (Рисунок 3). Модельный спектр при возбуждении в толще геосреды хорошо совпадает с теоретическими значениями фундаментальных частот [9]. Вместе с тем, известно, что распределение

энергии по гармоникам зависит от начальных условий [10], в частности при приложении начальных воздействий ближе к краю резонатора возбуждается более широкий спектр гармоник.



Зона малых скоростей может существенно изменить наблюдаемый спектр даже при идеализированных условиях воздействия. При воздействии случайным полем значительные искажения вносят волны Релея и интерференция различных типов волн, особенно в краевых зонах залежи. В целом, результаты моделирования показывают, что эффект аномального низкочастотного спектра микросейсм в районах залежей углеводородов вполне объясним особенностями взаимодействия поверхностных микросейсм с залежами УВ.

Рисунок 3. Сопоставление экспериментальных и модельных данных.

Литература.

1. Графов Б.М. и др. Анализ геоакустического излучения низкочастотной залежи при использовании технологии АНЧАР// Геофизика.–1996.–№5.- С.24-28.
2. Биряльцев Е.В., Рыжов В.А., Шабалин Н.Я. Особенности интерпретации спектральных характеристик природных микросейсм для локального прогноза нефтеносности в условиях республики Татарстан. // Прием и обработка информации в сложных информационных системах, выпуск № 22, Казань, 2005, с.113-120.
3. Louise S. Durham, DHI Technology. Low Frequency, But High Hopes/ American Association of Petroleum Geologists; June 2007: http://www.aapg.org/explorer/2007/06jun/passive_seismic.cfm,
4. Гликман А.Г. Физика и практика спектральной сейсморазведки <http://newgeophys.spb.ru/ru/book/index.shtml>
5. S. Dangel et all. Phenomenology of tremor-like signals observed over hydrocarbon reservoirs // «Journal of Volcanology and Geothermal Research 128 (2003)135-158»
6. Nakamura Y. A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground // QR RTRI vol. 30, 1989.- P. 25-33
7. Тумаков Д.Н. Собственные колебания упругой полосы // Препринт ПМФ-05-02. Казанск. матем. об-во.- Казань, 2005.- 26 с.
8. 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 Conf., SPb, Russia, 2006.
9. Бреховских Л.М., Волны в слоистых средах, 2 изд., М., 1973
10. Исакович М.А. Общая акустика, М., 1960.