

М.Ш. Марданов¹, В.Л. Кипоть²¹ЗАО «Алойл», Бавлы²НИИММ им.Н.Г.Чеботарева, Казань
mmardanov@yandex.ru, Victor.Kipot@ksu.ru

ПРИРОДА АНОМАЛИЙ СПЕКТРОВ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН НАД ГАЗОНЕФТЯНЫМИ ЗАЛЕЖАМИ

Рассматривается возможный механизм образования аномалий спектров низкочастотного сейсмического шума над газонефтяными залежами. Необходимым условием является наличие в осадочной толще сейсмических волноводов. Газонефтяные залежи вносят возмущения в характеристики сейсмических волноводов, что и приводит к аномалиям в спектрах низкочастотного сейсмического шума, регистрируемого на дневной поверхности. Показано, что для сводного геологического разреза Республики Татарстан условия образования сейсмических волноводов выполняются для терригенных отложений.

Впервые регистрация явления низкочастотного микросейсмического поля на поверхности Земли было сделано еще в начале 20-го века, и для объяснения природы этого излучения настоящее время существует несколько гипотез. Одна из них - влияние океанических волн, с частотой от 1 до 10 гц, которые в виде объемных волн через земную кору распространяются на огромные, до тысячи километров, расстояния. Этот глобальный изометрический сейсмический фон в диапазоне частот 3 – 10 гц возможно, упорядочивается и в несколько раз усиливается над нефтегазовыми залежами. В технологии АНЧАР, чтобы усилить этот сигнал и повысить соотношение сигнал/шум применяется искусственное возбуждение сейсмоакустического поля (Графов и др., 1996) в технологии низкочастотного сейсмического зондирования (НСЗ) применяется регистрация только естественного сейсмического поля (Биряльцев и др., 2005). Для объяснения явления усиления энергии спектра в диапазоне частот 3 – 10 гц над нефтегазовыми залежами выдвинута теория резонанса стоячих волн, длина которых кратна глубине залегания залежей от дневной поверхности. Чем глубже залегает нефтяной пласт от поверхности, тем более низкие частоты регистрируются над ним. При этом независимо от наличия залежей, в подавляющем большинстве случаев регистрируются повышенная энергия для частот 1.5 – 2.5 гц, которые возможно связаны с кристаллическим фундаментом, залегающим в пределах Волго-Уральской провинции приблизительно на глубине 2 км.

В данной работе приводится еще одна гипотеза происхождения инфразвукового излучения нефтегазовой залежью – гипотеза *сейсмического волновода*.

Из океанологии известно, что толща морской воды неоднородна и делится на различные слои, которые отличаются температурой, соленостью и которые устойчиво существуют в течение длительного времени. Некоторые из этих слоев работают как акустические волноводы. Низкочастотные сигналы, порождаемые штормами, землетрясениями, по таким слоям могут передаваться на очень большие расстояния. В военно-морских технологиях эти слои используются для осуществления связи с подводными кораблями.

В стратифицированной геологической среде также возможны условия образования волновода сейсмических волн на эффекте полного внутреннего отражения. Рассмотрим условия для образования такого волновода в трехслойной геологической среде: 1 – перекрывающая толща; 2 – пласт

(горизонт) мощностью h ; 3 – подстилающая толща; V_1, V_2, V_3 – скорости продольных волн в слоях; $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – углы направления волны в слоях, отсчитанные от нормали.

Известно, что для отраженных, преломленных волн в стратифицированных средах выполняется закон Снеллиуса (Зацепин, 2005):

$$\sin(\alpha_i)/V_i = \text{const}$$

Из этого закона следует, что при $V_2 < V_3$ и $\sin(\alpha_{\text{кр}}) = V_2/V_3$ вдоль границы раздела (2/3) пойдет *скользящая преломленная волна*, которая, согласно принципу Гюйгенса, создает новые волны, называемые *головными*. Отметим, что для скользящей преломленной волны вдоль раздела (2/3) из закона Снеллиуса следует $\sin(\alpha_{\text{кр}}) = V_1/V_3$, т.е. скорость продольных волн в перекрывающей толще должна быть меньше, чем скорость в подстилающей толще. При углах, для которых $\sin(\alpha_2) > V_2/V_3$ на разделе (2/3) выполняется условие полного внутреннего отражения от раздела (2/3). Для отраженной волны верхний раздел (2/1) при определенных условиях также может давать полное внутреннее отражение. Если учесть, что угол падения волны на раздел (2/3) равен углу отражения, то возбуждение скользящей преломленной волны вдоль раздела (2/1) непосредственно падающей из среды 1 волной физически нереализуемо ($\alpha_{\text{кр}} \geq \pi/2$). Следовательно, волновой процесс при полном внутреннем отражении от нижнего и верхнего разделов в слое 2 может возбудить только головная волна, распространяющаяся вдоль раздела (2/3) и возбуждаемая при условии $\sin(\alpha_{\text{кр}}) = V_1/V_3$. Условие для возбуждения волнового процесса на полном внутреннем отражении в слое 2 имеет вид $\sin(\alpha_2) > V_2/V_1$, т.е. угол α_{20} из условия $\sin(\alpha_2) = V_2/V_1$ является критическим для полного внутреннего отражения в слое 2. Совокупность этих условий является необходимыми условиями волноводного распространения сейсмических волн в слое 2 (образования волн Лэмба).

Достаточным является условие Лэмба: для нормальной составляющей продольной волны набег фазы в слое 2 должен быть кратен π (условие резонанса для нормальной составляющей):

$$K_2 \cdot h \cdot \cos(\alpha_2) = n \cdot \pi,$$

где K_2 – волновое число, n – номер моды. Отсюда – критическая частота существования моды n равна:

$$f_{2\text{кр}}(n) = \frac{n \cdot V_2}{2 \cdot h \cdot \cos(\alpha_{20})}$$

На примере сводного геологического разреза для Республики Татарстан рассмотрим условия, при которых может возникнуть полное внутреннее отражение преломленной волны. Для геологического разреза РТ характерно переслаивание терригенных и карбонатных толщ осадочного чехла. Скорости распространения продольных волн лежат в следующих пределах. Для терригенных отложений скорость 3000 м/сек соответствует глинам, 3500 м/сек соответствует алевролитам или переслаиванию глин и песчаников, 4000 м/сек соответствует песчаникам. Скорость 6000 м/сек соответствует плотным карбонатным породам, 5600 м/сек соответствует карбонатным породам с прослойками разуплотненных участков. Для пород кристаллического фундамента скорость имеет значение 7000 м/сек.

Если рассматривать переход продольной волны из терригенной толщи в карбонатную толщу, то при углах падения от 30° до 45° получаем условие полного внутреннего отражения и скольжения преломленной волны по высокоскоростным подстилающим и перекрывающим породам. Расстояние, на котором можно реально наблюдать эту преломленную волну, несравненно больше расстояния наблюдения многократно отраженных волн. Фронт этой волны излучает энергию под разными углами, однако, преобладающая часть энергии сосредоточена в секторе ± 60°, половина этой энергии, направленная вовнутрь терригенной толщи, опять получает полное внутреннее отражение от вышележащей перекрывающей высокоскоростной карбонатной толщи (Рис. 1).

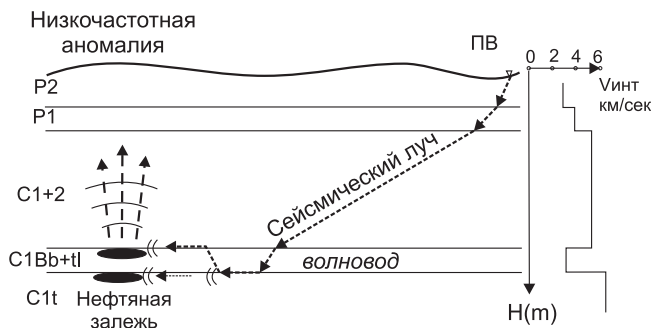


Рис. 1. Схема образования сейсмического волновода в терригенных отложениях.

В волноводе наблюдается повышенный уровень сейсмических волн по сравнению с перекрывающими и подстилающими породами. Таких региональных волноводов в сводном геологическом разрезе три:

- 1) Верейский горизонт среднего карбона с мощностью 20 – 40 м;
- 2) Терригенный комплекс тульско-бобриковских отложений нижнего карбона с мощностью 50 – 100 м;
- 3) Терригенные отложения девона, мощностью 120 – 150 м, залегающие на кристаллическом фундаменте.

Чем больше мощность волновода, тем более низкочастотные волны удерживаются в пределах этой толщи.

На территории РТ мощности терригенных отложений в геологическом разрезе меняются в больших пределах, поэтому для решения конкретных задач необходимо воспользоваться информацией ВСП в скважинах, имеющих на исследуемых площадях и теоретически рассчитать ожидаемые преобладающие группы частот с аномальной энергией спектра.

За период применения технологии НСЗ на лицензионных территориях независимых нефтяных компаний РТ на-

коплен значительный фактический материал. Его анализ позволяет выделить три преобладающих группы частот спектра с аномальной энергией:

1-я группа: $F = 2.0 - 3.5$ гц, соответствующая залежам в терригенном девоне,

2-я группа: $F = 5.0 - 6.5$ гц, соответствующая залежам в нижнем карбоне,

3-я группа: $F = 8 - 11$ гц, соответствующая залежам в среднем карбоне.

Весь объем работ НСЗ, выполненный в РТ, находится в промышленно насыщенных районах. Поэтому основная доля сейсмической энергии, наблюдаемой НСЗ, принадлежит сейсмическим волнам, создаваемым промышленными источниками. По литературным источникам, радиус распространения этих волн достигает до 100 – 300 км. Коэффициент поглощения отраженных волн в многослойной толще осадочных пород достаточно высокий, поэтому многократно отраженные волны полностью исчезают уже на первых километрах и так далеко могут распространяться только преломленные волны, заключенные в сейсмические волноводы.

При отсутствии в геологическом разрезе аномалий, меняющих скоростные и плотностные свойства волновода, эмиссия сейсмической энергии на дневную поверхность минимальная и постоянная. С появлением плотностных аномалий от УВ-залежи в породах, слагающих волновод, меняются углы преломления волн, нарушается равномерность распределения энергии, и некоторая часть сейсмических волн начинает аномально просачиваться вверх, к дневной поверхности. При этом направления распространения сейсмических волн, ввиду неустойчивости местоположения первичных источников, можно считать изометричным. В зависимости от того, в каком волноводе находятся аномальные объекты, энергия сейсмической волны соответствующей частоты начинает превышать фоновый уровень наблюдаемого спектра.

Одним из критериев достоверности предложенной гипотезы является наличие повышенного уровня сейсмического фона в волноводах, образуемых терригенными отложениями, в материалах ВСП. Скважинные сейсмоприемники ВСП не рассчитаны на регистрацию низких частот в диапазоне 1 – 20 гц, но вышеописанные волноводы являются ловушками и для более высоких частот. Высокие частоты отличаются от низких лишь большим коэффициентом затухания. Разница в фоне, записанном в карбонатных и в терригенных отложениях, должна заметно отличаться.

Такой анализ амплитуд сейсмического фона был проведен для нескольких скважин ВСП, вскрывших терригенные отложения нижнего карбона и девона. Для иллюстрации на Рис. 2 приводятся осредненные графики амплитуд (А) сейсмического фона в режиме открытого канала для трех скважин ВСП, расположенных в разных районах Татарстана. Полученные материалы уверенно подтверждают теоретические предпосылки, сейсмический фон в волноводах в 1.5 – 2 раза превышает уровень шума во вмещающих карбонатных породах.

Для полноценного энергетического и частотного анализа выявленного эффекта необходимо в будущем провести скважинные исследования сейсмического фона по специальной программе гидрофонами с широким диапазоном частот в пределах и за пределами нефтяных залежей.

Кроме вышесказанных причин возникновения низкочастотных аномалий могут быть и другие, по интенсивности не уступающие или даже превышающие аномалии, связанные с УВ-залежами в геологическом разрезе:

1. Визейские эрозионные врезы в кровле карбонатных пород турнейского возраста – крутые борта врезов, являются источником дифракционных волн, на поле наблюдений НСЗ эти аномалии будут располагаться в виде вытянутых зон, по частоте и интенсивности практически не будут отличаться от аномалий УВ-залежей в карбонатной толще.

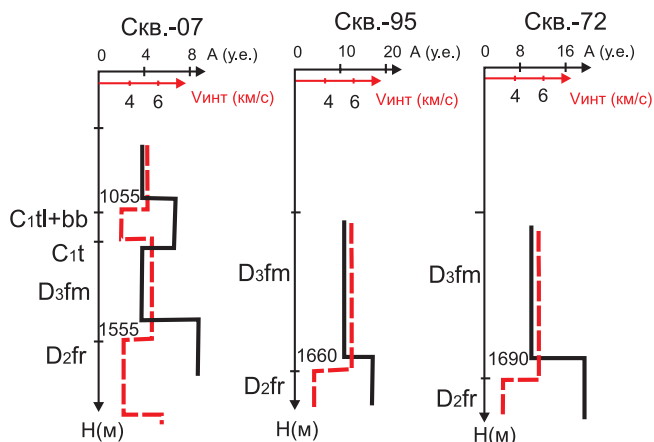


Рис. 2. Интенсивность сейсмического фона в скважинах ВСП.

2. Неоднородности в виде приподнятых и опущенных блоков в кристаллическом фундаменте – дифрагированные волны на границах этих блоков в совокупности с участками резкого увеличения мощностей терригенных отложений будут создавать аномальные сигналы низкой частоты, разделить которые от аномалий УВ-залежей можно лишь по комплексному анализу с сейсмическими материалами (Рис. 1, 2).

Литература

Графов Б.М., Арутюнов С.Л., Казаринов В.Е. и др. Анализ геоакустического излучения низкочастотной залежи при использовании технологии АНЧАР. *Геофизика*. 5. 1996. 24-28.

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*. № 22. Казань. 2005. 113-120.

Зацепин А.Ф. *Акустический контроль*. Екатеринбург. УГТУ. 2005.

**Марсель Шагинурович
Марданов**

Профессия - геофизик. Имеет 15 патентов на изобретения. Область научных интересов: нефтяная геология, физика Земли.



Виктор Леонидович Кипоть

Ведущий научный сотрудник НИИММ им. Н.Г. Чеботарева, канд. технических наук. Область научных интересов – моделирование геолого-геофизических систем и процессов.



Радиофизические исследования природных сред и информационные системы

Май-июнь 2008 г.
Волжская региональная конференция студентов, аспирантов, молодых ученых, преподавателей

Казань, КГУ, Физический факультет: Отв. Насыров А.М. Albert.nasyrov@ksy.ru Тел. 8 (8432) 317152
Зеленодольский филиал: Отв. Изотов В.В. Zf.kgu@ksu.ru Тел. 8 (84371) 32874

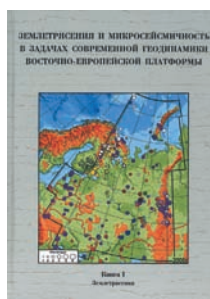
Петрозаводск: научный центр РАН, 2007

Землетрясения и микросейсмичность в задачах современной геодинамики Восточно-Европейской платформы

**Кн. 1: Землетрясения
Кн. 2: Микросейсмичность**

Под ред. Н.В. Шарова,
А.А. Маловичко, Ю.К. Щукина
Коллектив авторов

Карельский научный центр РАН
Институт геологии КарНЦ РАН
Геофизическая служба РАН



В монографии впервые в отечественной и мировой литературе рассматриваются аппаратура, методика и результаты инструментальных сейсмических наблюдений землетрясений и микросейсм на слабосейсмичной территории Восточно-Европейской платформы. Работа состоит из трех частей: методические основы инструментальных сейсмологических наблюдений и особенности строения литосферы Восточно-Европейской платформы; инструментальные данные о региональной сейсмичности; слабые землетрясения и микросейсм как инструмент решения геодинамических задач, проблем геоэкологии и техногенеза. Основное внимание сосредоточено на результатах инструментальных сейсмологических наблюдений, полученных в последние годы, явлениях и процессах, порождающих сейсмичность, и других проявлениях современной геодинамики. Работа подводит итог исследований в этой области и ставит задачи по организации сейсмического мониторинга территории Восточно-Европейской платформы. Монография предназначена для специалистов по наукам о Земле, а также в качестве учебного пособия для студентов и аспирантов геолого-геофизического профиля.

Работа подготовлена и издана при финансовой поддержке
журнала Геофизической службы РАН.

Кн. 1: Научный центр РАН, 2007. 381 с.

Кн. 2: Карельский научный центр РАН, 2007. 96 с.