

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЕСТЕСТВЕННОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ ВЕРТИКАЛЬНО-НАПРАВЛЕННЫХ  
ОБЪЕМНЫХ ВОЛН В ГЕОСРЕДЕ**

М.Р. Камилов\*, В.А. Рыжов\*\*, Е.В. Биряльцев\*\*, Д.В. Бережной\*  
(\* Казанский (Приволжский) Федеральный Университет,  
\*\* ЗАО "Градиент", Казань)

**MODELING OF THE NATURAL VERTICALLY DIRECTED  
BODY WAVES GENERATION PROCESSES  
IN GEOLOGICAL MEDIA**

M.R. Kamilov\*, V.A. Rizhov\*\*, E.V. Birialtsev \*\*, D.V. Berezhnoj\*  
(\* Kazan (Volga Region) Federal University,  
\*\* "Gradient" JSC, Kazan, Russia)

**Аннотация.** В докладе рассматривается междисциплинарная проблема, актуальная для метода поиска углеводородов – низкочастотного сейсмического зондирования, основанного на изучении резонансных свойств геосреды. Проблема заключается в выявлении процесса естественного образования вертикально-направленных объемных волн в геологической среде. Предложен и промоделирован механизм рассеяния поверхностных волн Релея на неоднородностях с коэффициентом Пуассона отличным от вмещающей среды. В результате моделирования верхней части разреза в виде набора слоев, состоящих из элементов со случайным коэффициентом Пуассона, наблюдается естественное образование вертикально-направленных объемных волн.

**Abstract.** The report reviews interdisciplinary problem relevant to the search method hydrocarbon a low-frequency seismic sounding, based on the study of resonance properties of geological media. Problem is in the representation of the process of natural formation of a vertically directed body waves in a geological medium. In this survey was suggested and simulated a scattering mechanism of surface Rayleigh waves on inhomogeneities with Poisson's ratio different from the enclosing environment. The result of simulation of the upper part of the section as a set of layers consisting of elements with a random Poisson's ratio is observed a natural formation of a vertically directed volume waves.

Технология поиска и разведки нефтегазовых залежей низкочастотное сейсмическое зондирование (НСЗ) [1] базируется на анализе спектральных характеристик естественного микросейсмического фона, где предполагается, что в среде естественным образом присутствуют вертикально-направленные объемные Р-волны. Вопрос механизма образования вертикально-направленных объемных волн в среде в настоящее время остается дискуссионным.

Как показано в работе [2] одним из таких механизмов могут быть вариации атмосферного давления, которые имеют пространственную протяженность, а порожденные ими микросейсмы преимущественно наблюдаются на низких частотах (0.01 Гц – 10 Гц). Однако существенные вариации атмосферного давления происходят в течение короткого промежутка времени (около 5-20 мин) при прохождении холодных или теплых фронтов, а устойчивую спектральную характеристику микросейсмы сохраняют практически в течение всего времени наблюдения (за исключением явного зашумления локальными источниками).

Также имеются натурные наблюдения [3], указывающие на связь амплитуды спектральных пиков, определенных частотной характеристикой геосреды, с повышением уровня поверхностного шума, вызванного, например, проезжающим автотранспортом. Данный факт может говорить о том, что источником вертикально-направленных Р-волн могут являться поверхностные волны Релея.

Рассеяние поверхностных волн Рэлея на неоднородностях детально изучено в разделе радиотехники, где применяется, например, для построения фильтров, резонаторов, линий задержки, анализаторов спектра и других элементов [4]. В этих работах показано, что коэффициент трансформации (по энергии) поверхностной волны в объемные зависит от формы поверхностной неоднородности и параметров упругости. Для прямоугольной неоднородности шириной  $\lambda/4$  ( $\lambda$  – длина волны Рэлея) коэффициент трансформации зависит только от коэффициента Пуассона и в некоторых случаях в объем рассеивается на порядок больше энергии, чем отражается. Поэтому в наших исследованиях основным варьируемым параметром был взят коэффициент Пуассона.

### **Моделирование процесса образования вертикально-направленных объемных волн**

Допустим, что в однородной среде имеется неоднородность размером 60 м по вертикали и 500 м по горизонтали с механическими характеристиками, указанными в табл. 1.

Табл. 1.

## Механические характеристики геологической среды

Элемент	Скорость $V_s$ , м/с	Скорость $V_p$ , м/с	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Модуль Юнга, Па	Кэф. Пуассона
Среда	2125,5	4251	2500	30128579082	0.33
Неоднородность	425.1	4251	2500	1351221122	0.49

Для возбуждения волн в среде, которая моделировалась телом Фойгта и решалась методом конечных элементов с размерами ячеек 10 м на 10 м, прикладывался точечный удар на расстоянии 2500 м от неоднородности.

На рис. 1 (а, б) показано распространение волн до подхода к неоднородности. Видно, что после того, как волна Релея (R) доходит до неоднородности (рис. 1 (в)) образуются дополнительные объемные  $P'$  и  $S'$  волны (рис. 1 (г, д, е)), т.е. происходит трансформация части энергии волны Релея в вертикально-направленные  $P'$  и  $S'$  волны.



Рис. 1. Визуализация распространения волн в геологической среде (темным прямоугольником отмечено положение неоднородности)

### Моделирование процесса образования вертикально-направленных объемных волн в приближенной к реальной среде

Для возбуждения волн в среде во всех четырех последующих экспериментах используется точечный удар сверху по поверхности модели в ее правой половине.

1) Однородная модель, с приближенными к реальности сейсмо-механическими свойствами верхней части разреза (ВЧР) (табл. 2).

Табл. 2.

## Механические характеристики геологической среды с ВЧР

Элемент	Скорость $V_s$ , м/с	Скорость $V_p$ , м/с	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Модуль Юнга, Па	Кэф. Пуассона
Слой 1 (0-100м)	1600	540	1958	1568651595	0.43
Слой 2 (100-180м)	1700	545	1988	1696777245	0.44
Слой 3 (180-230м)	1660	450	1976	1124658470	0.46
Слой 4 (230-250м)	1980	760	2065	3171580819	0.42
Слой 5 (250-300м)	3185	1300	2325	11010366731	0.40
Среда (300-20000м)	2125.5	4251	2500	30128579082	0.33

В данном эксперименте проследить образование вертикально-направленных объемных волн сложно в связи с образованием серии обменных волн и их интерференции при наклонном падении Р-волны от источника на контрастные границы слоистой модели. Поэтому, в целях наглядности эксперимента, скорости распространения Р-волн во всей модели задавались одинаковыми, а скорости S-волн подобраны такими, чтобы сохранить коэффициент Пуассона неизменным, что было реализовано в следующем эксперименте.

2) В результате распространения импульса от источника возбуждения Р-волна беспрепятственно прошла все слои, а S-волна в связи с различными скоростями в слоях и интерференцией волн между слоями растянулась в пространстве в виде сложного волнового процесса. Образование вертикально-направленных объемных волн не наблюдается.

3) В третьем эксперименте в слой 3 был вкраплен элемент длиной 50 м со свойствами, указанными в табл. 3.

Табл. 3.

Механические характеристики неоднородности

Элемент	Скорость $V_s$ , м/с	Скорость $V_p$ , м/с	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Модуль Юнга, Па	Кэф. Пуассона
Неоднородность	8	1660	1976	326724	0.49999

Поверхностная волна Релея, достигая данного элемента, дополнительно образовала вертикально-направленные Р и S волны. Второй момент образования вертикально-направленных Р и S волн наступает после того, как поверхностная волна достигает второй границы этого элемента. Поэтому можно сделать вывод о том, что генерация объемных волн происходит на вертикальных гранях элемента с отличным от вмещающего слоя коэффициентом Пуассона.

4) В четвертом эксперименте каждый слой ВЧР задавался элементами с равномерно-распределенными случайными параметрами коэффициента Пуассона относительно его базового значения для слоя с отклонением  $\pm 0.01$ . В результате визуализации моделирования наблюдалось, что ВЧР по мере прохождения поверхностной волны Релея является непрерывным источником вертикально-направленных Р и S волн.

Таким образом, предложен и промоделирован один из возможных процессов естественного образования вертикально-направленных продольных и сдвиговых волн, образованных в результате рассеяния поверхностных волн Релея на зонах с вертикальным контрастом коэффициента Пуассона.

## **Литература**

1. Birialtsev, E.V. The analysis of microseisms spectrum at prospecting of oil reservoir on Republic Tatarstan [Text] / E.V. Birialtsev, I.N. Plotnikova, I.R. Khabibulin, N.Y. Shabalin // EAGE Conference. – Saint Petersburg, Russia, 2006.

2. Рыжов, Д.А. Барические и мкросейсмические процессы на границе земная кора - атмосфера [Текст]. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Казань, 2011. – 18 с.

3. Рыжов, В.А. Обработка микросейсмических сигналов в задаче пассивного низкочастотного сейсмического зондирования Земли [Текст]. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Казань, 2009. – 17 с.

4. Бирюков, С.В. Поверхностные Акустические Волны в Неоднородных Средах / С.В. Бирюков, Ю.В. Гуляев, В.В. Крылов, В.П. Плесский / М.: Наука, 1991.