

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЕСТЕСТВЕННОГО ОБРАЗОВАНИЯ ВЕРТИКАЛЬНО-НАПРАВЛЕННЫХ ОБЪЕМНЫХ ВОЛН В ГЕОСРЕДЕ

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

М.Р. КАМИЛОВ
В.А. РЫЖОВ
Е.В. БИРЯЛЬЦЕВ
Д.В. БЕРЕЖНОЙ

Казанский (Приволжский) Федеральный Университет, магистр
к.ф.-м.н., ЗАО «Градиент», руководитель ИАЦ
к.т.н., ЗАО «Градиент», заместитель генерального директора по науке
к. ф.-м.н., Казанский (Приволжский) Федеральный
Университет, доцент

Казань
marselk@mail.ru

M.R. KAMILOV
V.A. RYZHOV
E.V. BIRIALTSEV

master, Kazan (Volga) Region Federal University, student
PhD, Gradient JSC, head of analytic center
PhD, Gradient JSC, deputy general director on
science and innovative technologies

Kazan

D.V. BEREZHNOJ

PhD, Kazan (Volga) Region Federal University, associate professor

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

метод низкочастотного сейсмического зондирования, вертикально-направленные объемные волны, рассеяние поверхностных волн

KEYWORDS:

low-frequency seismic sounding method, vertically-directed body waves, surface waves scattering

В статье 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 с вариацией коэффициентов Пуассона относительно средних значений, наблюдается естественное образование вертикально-направленных объемных волн, которые регистрируются в сигнале.

The article 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.

Низкочастотное сейсмическое зондирование (НСЗ) [1] – технология поиска и разведки нефтегазовых залежей, 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 микросейсмсы преимущественно наблю-

даются 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 микросейсмсы 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 Релея 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 волны зависит от формы поверхностной неоднородности и параметров упругости. Для прямоугольной неоднородности шириной $\lambda/4$ (λ – длина волны Релея) коэффициент трансформации зависит только от ▶

Элемент	Скорость V_s , м/с	Скорость V_p , м/с	Плотность, кг/м ³	Модуль Юнга, Па	Кэф. Пуассона
Среда	2125.5	4251	2500	3.01E+10	0.33
Неоднородность	19	4251	2500	2.71E+06	0.49

Таб. 1. Механические характеристики геологической среды

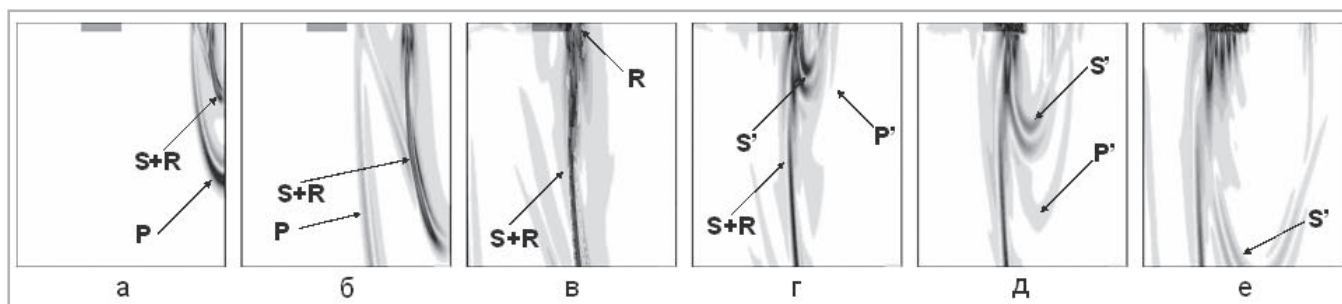


Рис. 1. Визуализация распространения волн в геологической среде (темным прямоугольником отмечено положение неоднородности)

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 имеет неоднородность размером 60 м по вертикали и 500 м по горизонтали с механическими характеристиками, указанными в табл. 1.

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.

Вертикальная и горизонтальная компоненты колебаний однородной среды в точке регистрации на расстоянии 2 км от места удара на глубине 1 км показаны на рис. 2(а). На графиках наблюдаются P и R+S волны. А для случая однородной среды с неоднородностью, помимо P и R+S волн, наблюдаются также и дополнительные P' и S' волны, которые образовались в результате рассеяния волны Рэлея на неоднородности (рис. 2(б)).

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

Для возбуждения волн в среде в последующих двух экспериментах используется точечный удар сверху посередине поверхности модели.

1) Однородная модель со слоистой структурой верхней части разреза (ВЧР), данные для которой были получены методом вертикального сейсмического профилирования (ВСП) одного из геологических разрезов республики Татарстан (табл. 2).

В данном эксперименте дополнительные P' волны образуются порциями только под точкой удара (рис. 3) в связи с резонансом P-волны между дневной поверхностью и нижним слоем ВЧР. Сигнал вертикальной компоненты приведен на рис. 4.

В этом случае проследить за образованием масштабных вертикально-направленных объемных волн сложно. Поэтому, чтобы избавиться от резонанса в ВЧР положим скорости продольных волн одинаковыми и внесем дополнительные неоднородности в виде равномерно-распределенного параметра относительно базового значения в слое.

2) Во втором эксперименте каждый слой ВЧР задавался элементами с равномерно-распределенными случайными параметрами коэффициента Пуассона относительно его базового значения для слоя с отклонением ± 0.02 (табл. 3).

В результате выявилось, что такая среда непрерывно образует шумоподобные вертикально-направленные P' и S' волны (рис. 5), ►

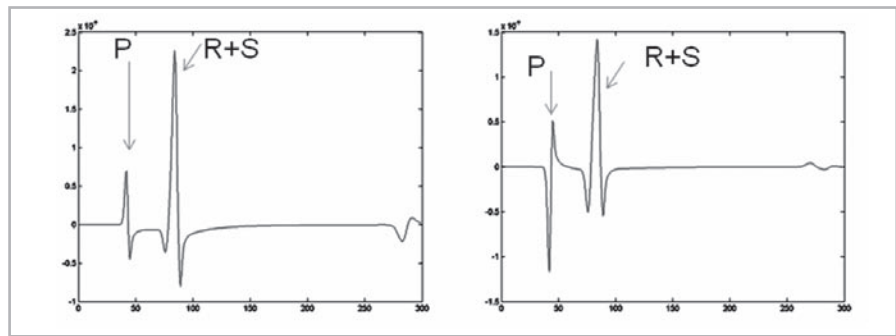


Рис. 2(а). Сигналы для однородной среды (вертикальная компонента - слева, горизонтальная компонента - справа)

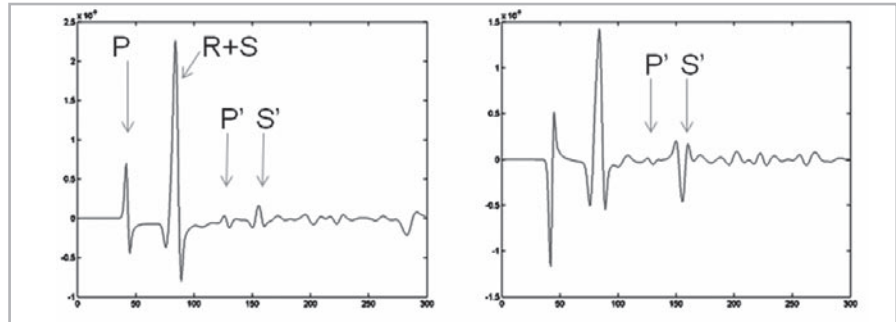


Рис. 2(б). Сигналы для однородной среды с неоднородностью (вертикальная компонента - слева, горизонтальная компонента - справа)

Элемент	Скорость Vs, м/с	Скорость Vp, м/с	Плотность, кг/м³	Модуль Юнга, Па	Коеф. 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

Таб. 2. Механические характеристики геологической среды с ВЧР

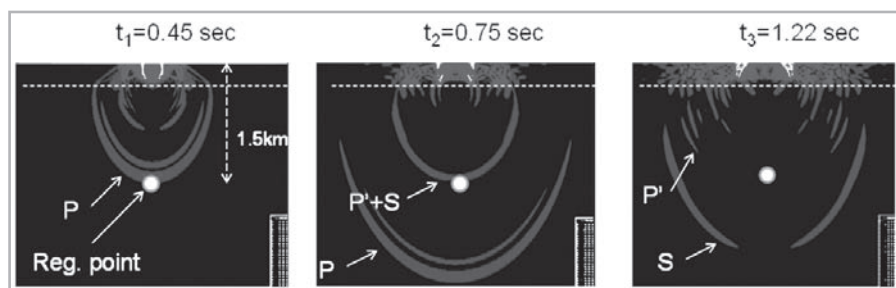


Рис. 3. Эксперимент 1: однородная среда со слоистой структурой ВЧР (белая штриховая линия - предел слоистой структуры)

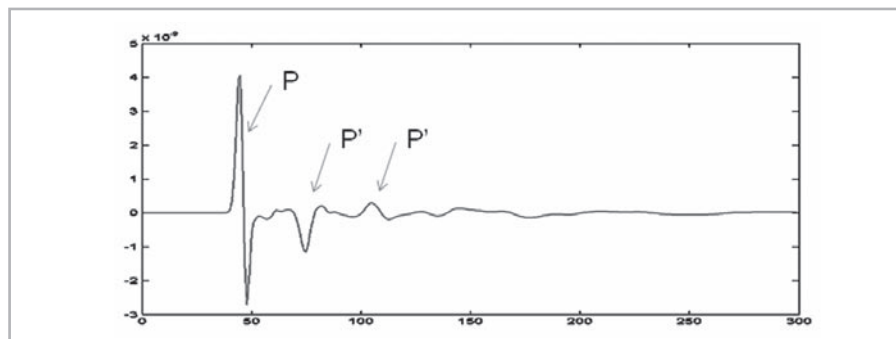


Рис.4. Сигнал для однородной среды со слоистой структурой ВЧР (вертикальная компонента)

Элемент	Скорость Vs, м/с	Скорость Vp, м/с	Плотность, кг/м³	Модуль Юнга, Па	Коэф. Пуассона (±0.02)
Слой 1 (0-100м)	1489	4251	2500	1.59E+10	0.43
Слой 2 (100-180м)	1391	4251	2500	1.39E+10	0.44
Слой 3 (180-230м)	1157	4251	2500	9.77E+09	0.46
Слой 4 (230-250м)	1579	4251	2500	1.77E+10	0.42
Слой 5 (250-300м)	1735	4251	2500	2.11E+10	0.40
Среда (300-20000м)	2125.5	4251	2500	3.01E+10	0.33

Таб. 3 Механические характеристики геологической среды с ВЧР

которые регистрируются в сигнале вертикальной компоненты (рис. 6).

Заключение

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

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ 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.

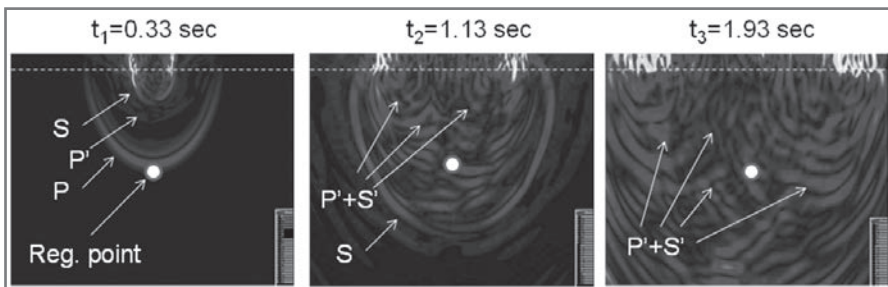


Рис. 5. Эксперимент 2: однородная среда со слоистой структурой ВЧР и вариацией коэффициента Пуассона (белая штриховая линия - предел слоистой структуры)

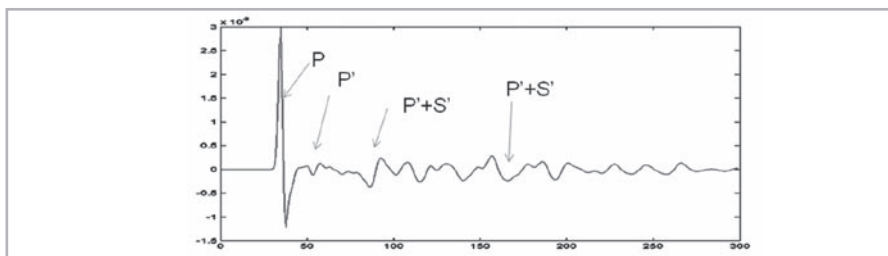


Рис. 6. Сигнал для однородной среды со слоистой структурой ВЧР и вариацией коэффициента Пуассона (вертикальная компонента)

ЭКСПОЗИЦИЯ НЕФТЬ ГАЗ

ЖУРНАЛ ВХОДИТ В ПЕРЕЧЕНЬ ВАК

РАСПРОСТРАНЯЕТСЯ по ПОДПИСКЕ, на ВЫСТАВКАХ и КОНФЕРЕНЦИЯХ

В ГОРОДАХ РОССИИ и СНГ

Альметьевск, Анапа, Волгоград, Воскресенск, Геленджик, Екатеринбург, Ижевск, Иркутск, Казань, Краснодар, Красноярск, Москва, Нов. Уренгой, Наб.Челны, Нижневартовск, Нижнекамск, Новосибирск, Ноябрьск, Оренбург, Пермь, Салехард, Самара, Саратов, С-Петербург, Сочи, Сургут, Томск, Тюмень, Усинск, Уфа, Ухта, Челябинск, Якутск
 Казахстан: **АЛМАТЫ, АТЫРАУ, АКТАУ** Туркменистан: **АШХАБАД**
 Азербайджан: **БАКУ** Узбекистан: **ТАШКЕНТ** Украина: **КИЕВ** Грузия: **ТБИЛИСИ**

**ДОБЫЧА • БУРЕНИЕ • БЕЗОПАСНОСТЬ • ГЕОЛОГИЯ • ГЕОФИЗИКА
 ТРУБЫ • АРМАТУРА • НАСОСЫ • КИПиА • ПЕРЕРАБОТКА • ЭНЕРГЕТИКА**

+7 (8552) 38-51-26 +7 (499) 681-04-25
www.runeft.ru