

## **О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МОДЕЛИ СЛАБОЙ АНИЗОТРОПИИ СРЕДЫ В ЗАДАЧЕ ЛОКАЛИЗАЦИИ ГИПОЦЕНТРОВ ПРИ МИКРОСЕЙСМИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ ГРП**

*Сергей Владимирович Яскевич*

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник лаборатории динамических проблем сейсмологии, e-mail: yaskevichsv@gmail.com

*Антон Альбертович Дучков*

Новосибирский государственный университет, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2, кандидат физико-математических наук, зав. лабораторией динамических проблем сейсмологии, e-mail: duchkovaa@ipgg.sbras.ru

*Артём Вениаминович Мясников*

Сколковский институт науки и технологий, 143026, Россия, г. Москва, ул. Нобеля, 3, e-mail: A.Myasnikov@skoltech.ru

Скважинный микросейсмический мониторинг предполагает использование или построение некоторой скоростной модели среды. В данной работе рассматривается возможность использования модели слабой анизотропии среды для целей локализации событий и оценки анизотропных параметров среды. Показано, что в случае несильной анизотропии среды использование приближения слабой анизотропии позволяет точно локализовать гипоцентры событий и, более того, определять анизотропные параметры среды.

**Ключевые слова:** микросейсмический мониторинг, обработка данных, скоростная модель, слабая анизотропия.

## **WEAK ANISOTROPY APPROXIMATION TESTING FOR THE PURPOSES OF DOWNHOLE MICROSEISMIC MONITORING**

*Sergey V. Yaskevich*

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3 Koptuyug Prospect, Ph. D., Researcher, e-mail: yaskevichsv@gmail.com

*Anton A. Duchkov*

Novosibirsk State University, 630090, Russia, Novosibirsk, 2 Pirogova St., Ph. D., Associate Professor, e-mail: duchkovaa@ipgg.sbras.ru

*Artem V. Myasnikov*

Skolkovo Institute of Science and Technology, 143026, Russia, Moscow, 3 Nobel St., e-mail: A.Myasnikov@skoltech.ru

The downhole microseismic monitoring assumes the use of a velocity model. In this paper we consider the way of using weak anisotropy approximation for events localization and for assessment the media anisotropic parameters. It is shown that in the case of weak anisotropy of the medium - the use of weak anisotropy approximation allows to localize accurately microseismic events hypocenter, and, moreover, to determine the anisotropic parameters of the medium.

**Key words:** microseismic monitoring, data processing, anisotropy, thomsen parameters.

## Введение

Скважинные системы применяются сегодня для микросейсмического мониторинга достаточно часто. Подход микросейсмического мониторинга опирается на то, что слабые землетрясения сопутствуют многим процессам, вызванным человеком. То, что разработка любых месторождений сопровождаются такими слабыми землетрясениями, было показано уже достаточно давно: в начале 30-х годов прошлого столетия сейсмологические датчики начинали устанавливаться в районах горных выработок [1] и велась работа по развитию безопасной добычи. При добыче углеводородов такой очевидной сейсмичности долго не наблюдалось, в одной из наиболее ранних работ по мониторингу нефтегазовых месторождений [2] констатировали наличие сейсмичности, отнесенной к области резервуара, наблюденной стандартным сейсмологическим оборудованием, расположенным на поверхности. С момента первых работ по мониторингу сейсмичности потребовалось почти столетие, чтобы в условиях современного развития аппаратуры и систем обработки использовать сейсмичность, возникающую при гидроразрыве пласта (ГРП), для получения претендующих на высокую достоверность изображений трещины ГРП [3]. Кстати, данные, использованные в этой работе, были получены с помощью скважинной системы наблюдений, геометрическим параметрам которой могут позавидовать почти все системы наблюдений, примененные на сегодняшний день, насколько нам известно, в России и не только. После работы [3] микросейсмический мониторинг ГРП стал популярным, получили развитие как скважинный, так и наземный, при котором вместо редко расставленных сейсмологических датчиков начали использовать расстановки стандартных сейсмических сейсмоприемников, включающие в себя тысячи датчиков.

В данной работе речь пойдет о скважинном микросейсмическом мониторинге и конкретно о построении скоростной модели среды. Построение скоростной модели является необходимым шагом в обработке данных и считается одним из факторов, контролирующих точность локализации гипоцентров микросейсмических событий. В этой работе мы проанализируем возможность использования аппроксимации слабой анизотропии [4] для локализации гипоцентров микросейсмических событий. Использование модели слабой анизотропии уменьшает вычислительные затраты и не позволяет волновому фронту образовывать сложные каустики, по крайней мере, в однородных средах. Основным недостатком этого приближения является то, что траектории лучей не совсем соответствуют распространению волн в упругих средах. Интересным для исследования является изучение влияния этого несоответствия на точность локации.

## Метод

В работе осуществляем локацию микросейсмических событий одновременно с определением параметров среды. Мы будем исследовать случай однородной VTI модели и использовать томсеновскую параметризацию среды

$c = \{V_{P0}, V_{S0}, \varepsilon, \delta, \gamma\}$ , где  $V_{P0}, V_{S0}$  – скорости продольной и поперечной волн в направлении оси симметрии,  $\varepsilon, \delta, \gamma$  – параметры анизотропии. Также неизвестными являются координаты событий  $x_e$  и времена их возникновения  $\tau_e$ , где индекс  $e=1, \dots, N$ ,  $N$  – общее число событий.

Для решения обратной кинематической задачи (локации микросейсмических событий) мы используем оптимизационную постановку, т. е. минимизируем функцию невязки:

$$\|t_{obs} - t_{syn} (m)\| \rightarrow \min,$$

где  $t_{obs}$  – измеренные времена прихода волн,  $t_{syn}$  – времена прихода, рассчитанные лучевым методом (двухточечное лучевое трассирование) для модели. Синтетические времена пробега рассчитываются посредством двухточечного лучевого трассирования. В этой работе результаты получены только на синтетических данных, поэтому  $t_{obs}$  – это тоже синтетические времена, представленные перед рассчитанным набором времен, для придания им реалистичности в них добавляется гауссовский шум. Рассчитывается множество инверсий с внесенным различным шумом в данные. И изображение результатов этих инверсий предлагается воспринимать как оценку устойчивости определения параметров модели.

### Пример

Мы используем здесь реалистичную систему наблюдений [5] из двух наблюдательных скважин и набор 100 микросейсмических событий примерно той же геометрии наблюдений (рис. 1). Большинство событий ближе (приблизительно на расстоянии 130–160 м) к скважине 1, длиной 170 м и включающей в себя 14 сейсмоприемников; скважина 2 имеет длину 210 м, включает в себя 18 сейсмоприемников (рис. 1) и удалена на 250–300 м от большинства событий.

Мы выполнили наше исследование для однородной VTI модели, полученной в работе [5], с параметрами  $V_{P0} = 4,69$ ;  $V_{S0} = 2,66$ ;  $\varepsilon = 0,1$ ;  $\delta = 0,07$ ;  $\gamma = 0,02$ . Мы рассчитали данные, не предполагая аппроксимации слабой анизотропии. В синтетические данные входят все  $P$ -  $SH$ - и  $SV$ -волны, которые, как известно, существуют в однородных VTI средах.

Естественным выглядит начать с изотропной модели среды, которая широко применяется на практике. На рис. 2 круглыми маркерами показаны результаты инверсии в однородной изотропной модели среды (их в 50 раз больше, так как каждое микросейсмическое событие лоцировалось 50 раз с различной реализацией шума со стандартным отклонением 0.5 мс, внесенным во времена продольной и поперечной волн).

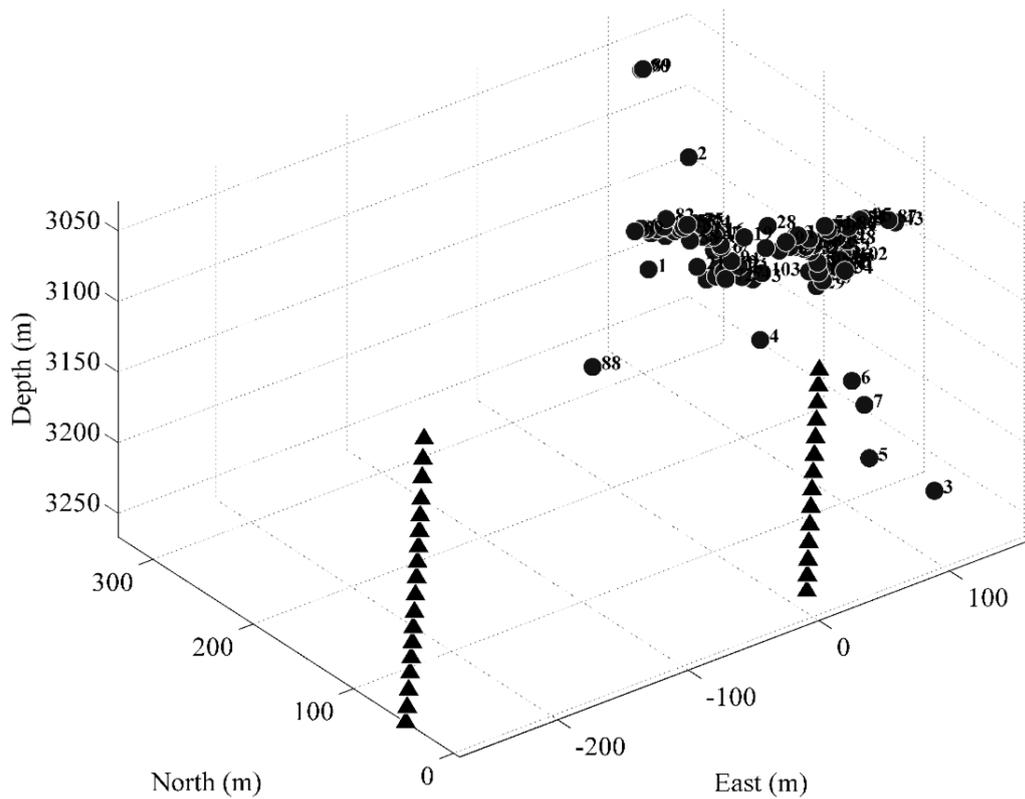


Рис. 1. Исследуемый синтетической геометрии тест. Круглые маркеры отмечают положения гипоцентров событий, треугольные маркеры показывают положения сейсмоприемников

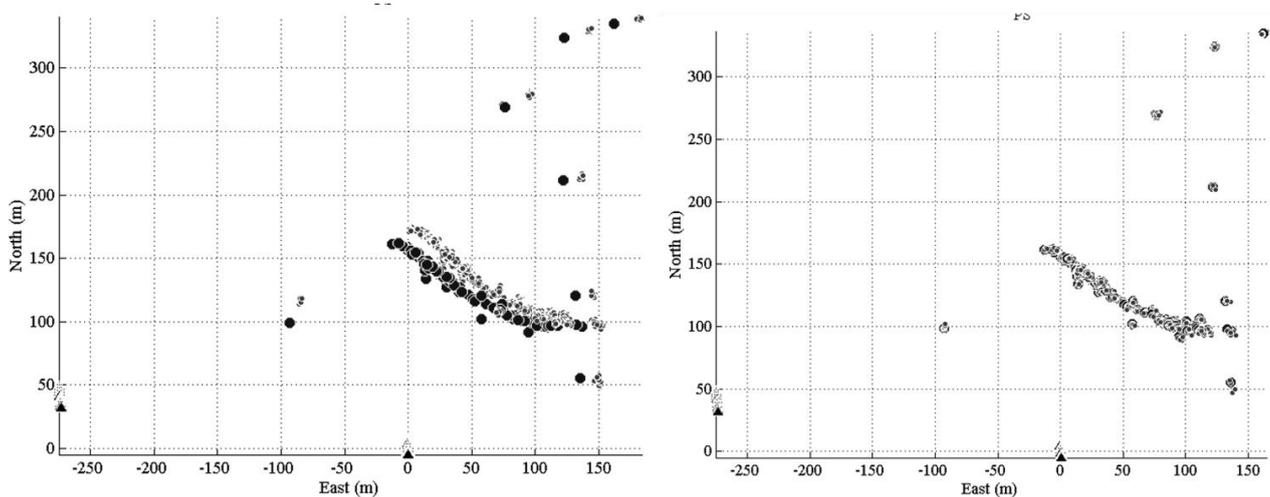


Рис. 2. Результаты решения обратной задачи в модели изотропной среды (слева), в модели слабой анизотропии (справа); крупные маркеры – действительные положения событий, маленькие маркеры – результаты инверсии зашумленных данных. Вид в плане

Получаемые локации в этом случае достаточно сильно отличаются от действительных. На том же рис. 2 показаны результаты локации в приближении модели слабой анизотропии среды, которые практически совпадают с действительными (отклонения от действительных составляют первые метры).

### **Выводы**

При микросейсмическом мониторинге построение скоростной модели среды является существенным шагом. Понимание влияния ошибок, связанных с неизбежной неточностью ее построения, важно для последующей интерпретации данных. В работе на примере достаточно слабо анизотропной среды была изучена возможность использования приближения модели слабой анизотропии среды.

Было показано, что пренебрежение даже слабой анизотропией среды и использование изотропной модели может приводить к систематическим ошибкам при локации микросейсмических событий. Соответствующие систематические ошибки при локализации могут приводить к ошибкам определения азимута трещины порядка 5 градусов и к ее смещению. Существенных систематических ошибок в определяемой глубине событий не наблюдается.

Для изученной модели среды оказалось, что использование в обратной задаче модели слабой анизотропии не приводит к значительным погрешностям локации. В дальнейшем мы рассчитываем провести большее множество экспериментов и определить, до какой степени анизотропии среды приемлема аппроксимация слабой анизотропии при решении обратной задачи.

### **Благодарности**

*Исследование поддержано грантом Сколтех (Соглашение # 711-MRA).*

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Gibowicz S.J., Kijko A. An introduction to mining seismology. – Elsevier, 1994. – Vol. 55. – P. 1–399.
2. Raleigh C.B., Healy J.H., Bredehoeft J.D. An experiment in earthquake control at Rangely, Colorado: Science, 1976. – Vol. 191, N 4233. – P. 1230–1237.
3. Rutledge J. Phillips W. Hydraulic stimulation of natural fractures as revealed by induced microearthquakes, Carthage Cotton Valley gas field, East Texas // Geophysics. – 2003. – Vol. 68, N 2. – P. 441–452.
4. Thomsen L. Weak elastic anisotropy // Geophysics. – 1986. – Vol. 51, N 10. – P. 1954–1966.
5. Grechka V. Yaskевич S. Azimuthal anisotropy in microseismic monitoring: A Bakken case study // Geophysics. – 2013. – Vol. 79, N 1. – P. KS1–KS12.

© С. В. Яскевич, А. А. Дучков, А. В. Мясников, 2017