

СОПОСТАВЛЕНИЕ МЕТОДА «TIME REVERSE MODELING» И МЕТОДА ДИФРАКЦИОННОГО СУММИРОВАНИЯ В ЗАДАЧЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ЛОКАЛИЗАЦИИ МИКРОСЕЙСМИЧЕСКОГО СОБЫТИЯ

THE COMPARISON OF TIME REVERSE MODELING AND DIFFRACTION STACKING FOR THE TIME-SPATIAL LOCALIZATION OF MICROSEISMIC EVENTS

Е.В. МОКШИН
Е.В. БИРЯЛЬЦЕВ
Д.В. БЕРЕЖНОЙ

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

Казань
zhen-moks@yandex.ru

E.V. MOKSHIN
E.V. BIRIALTSEV

master, Kazan (Volga) Region Federal University, student 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:

восстановление местоположения микросейсмического источника, сопоставление методов, метод реверсирования по времени, метод дифракционного суммирования и метод корреляционного суммирования

KEYWORDS:

recovery locations of microseismic source, comparison of methods, Time Reverse Modeling, Diffraction stacking, Stacking correlation

Рассматриваются вопросы восстановления местоположения источника в вязко-упругой среде по результатам сейсмологических наблюдений на поверхности. Исследуется применение трех технологий: метода реверсирования по времени, метода дифракционного суммирования и метода корреляционного суммирования. Расчет проводится на основе МКЭ.

This article is referred to the problem of source localization in visco-elastic medium using the results of surface seismological observation. There were investigated three technologies: Time Reverse Modeling, Diffraction stacking and Stacking correlation. The calculation is based on FEM.

Введение

В последнее время все большую актуальность приобретают задачи определения пространственного положения и момента возникновения микросейсмических событий в геологической среде. Задачи такого типа возникают при определении зон повышенной трещиноватости в пласте-коллекторе, продвижения фронта вытеснения при мониторинге разработки, контроле дизайна трещины гидроразрыва пласта и ряда других геологических и технологических мероприятий в нефтяной и газовой промышленности. Данная задача является одной из обратных задач сейсмологии [1, с. 605]. Известно несколько подходов к ее решению.

Существует хорошо известный метод дифракционного суммирования, основанный на вычислении временных задержек у принимаемых сигналов к анализируемым точкам геосреды до приемников сейсмических сигналов. Принятые в точках приема сигналы далее суммируются с учетом вычисленных задержек [2, с. 1287], [3].

Известен метод корреляционного суммирования, являющийся вариацией первого [4, с. 43]. Отличие заключается в предварительной деконволюции принятых сигналов с модельным импульсом, дошедшим до точки приема из некоторой точки геосреды. Метод отличается большими требованиями к вычислительным ресурсам, так как требует моделирования вида импульса, дошедшего от большого количества анализируемых точек геосреды до приемников.

Существует также метод решения задачи обнаружения источника процессом обращения сигналов по времени [5, с. 67]. Данный метод отличается исключительно большими требованиями к вычислительным ресурсам, так как требует численного решения задачи распространения упругих волн на протяжении всего времени наблюдения [6, с. 276], [7, с. 11].

Поскольку все перечисленные методы способны восстановить время и место возникновения сейсмического импульса, но предъявляют различные требования к вычислительной мощности, представляет интерес сопоставить точность данных методов в некоторых реальных геологических условиях. В данной статье рассматривается применение трех технологий для решения обратной задачи локализации времени и местоположения сейсмического события. Цель исследования – сопоставить технологии по критерию точности пространственной - временной локализации источника.

Методика сопоставления

В качестве модели среды была принята вязко - упругая модель Фойгта, у которой зависимость между напряжениями и деформациями имеют вид

$$\{\sigma\} = [D] \left(\{\varepsilon\} + \alpha \left\{ \frac{d\varepsilon}{dt} \right\} \right) \quad (1)$$

где [D] – матрица упругих постоянных, α – коэффициент демпфирования.

Для модельных расчетов была

использована скоростная модель, характерная северной части Бузулукской впадины (Рис. 1). На разработанном программном комплексе [8] было произведено численное моделирование процесса обнаружения точечного источника. Расчет проводился методом конечных элементов по явной схеме интегрирования матричных уравнений движения с шагом по времени 0,0005 сек. Размер конечных элементов 20 x 20 м. Модельное время составило 6 секунд.

В прямой задаче в качестве источника возмущения внутри модели прикладывалась сила в течение одного шага моделирования. На верхней границе расчетной области были расположены приемники в количестве 19 штук. Записывались скорости вертикальных и горизонтальных перемещений. Затем решалась обратная задача, обнаружения местоположения источника.

При исследовании технологии «Time Reverse Modeling» сигналы, полученные из прямого моделирования, инвертировались по времени и использовались в качестве источников возбуждения в месте расположения соответствующих приемников. К концу времени моделирования волны сфокусировались в месте расположения первоначального источника.

При рассмотрении метода дифракционного суммирования в обратной задаче был промоделирован ряд случаев с различным расположением точечного удара. Во всех случаях у регистрируемых сигналов вычислялись временные задержки. ►

Затем сигналы, полученные в прямой задаче, сдвигались на эти задержки и складывались друг с другом. Таким образом, была получена картина суммированных сигналов для каждого случая модельного расположения сигнала. За местоположение источника бралась модельная точка, суммированный сигнал в которой содержал глобальный максимум.

При использовании методики корреляционного суммирования в обратной задаче проводился расчет модельных случаев, так же как и в предыдущем примере. Далее модельные сигналы коррелировались с сигналами из прямой задачи и суммировались:

$$K = \frac{\sum r_{AB}(t)}{Np} \quad (2)$$

$$r_{AB}(t) = \frac{cov_{AB}}{\sigma_A \sigma_B} = \frac{\sum_n (A_n - \bar{A}_n)(B_{n+t} - \bar{B}_{n+t})}{\sqrt{\sum_n (A_n - \bar{A}_n)^2 \sum_n (B_{n+t} - \bar{B}_{n+t})^2}} \quad (3)$$

где A – сигнал из прямой задачи, B – модельный сигнал, Np – количество приемников.

В результате были получены суммированные взаимно-корреляционные функции для каждого модельного случая. Местоположение первоначального события определялось также как и в методе дифракционного суммирования, по максимальной амплитуде взаимно-корреляционной функции в соответствующей точке.

Результаты сопоставления

Анализируются восстановленные сигналы на точке точки, в которой производился импульс. В качестве метрики временной локализации события принята полуширина пика на уровне мощности 0,5 от максимума, что соответствует амплитуде на уровне 0,707.

На Рис. 2 приведена временная локализация события для каждого метода. Видно, что у технологии реверсирования по времени значение полуширины амплитуды минимально.

Исследуемые методики также сопоставлены по пространственной локализации искомого объекта. Сравнивались сигналы по горизонтальному и вертикальному профилю. Использовался тот же критерий скорости спада амплитуды восстановленного сигнала по уровню 0.707 от максимальной амплитуды. У метода дифракционного суммирования амплитуда спадает к 70% на 210 м от источника по горизонтали, у метода корреляционного суммирования к 170 м и у технологии реверсирования – к 120 м. (Рис. 3)

По вертикальному профилю у технологии реверсирования сигнала по времени полуширина составляет 270 метров, у корреляционного суммирования порядка 400 и у дифракционного суммирования – более 500 метров. (Рис. 4).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам выявлено, что все ►

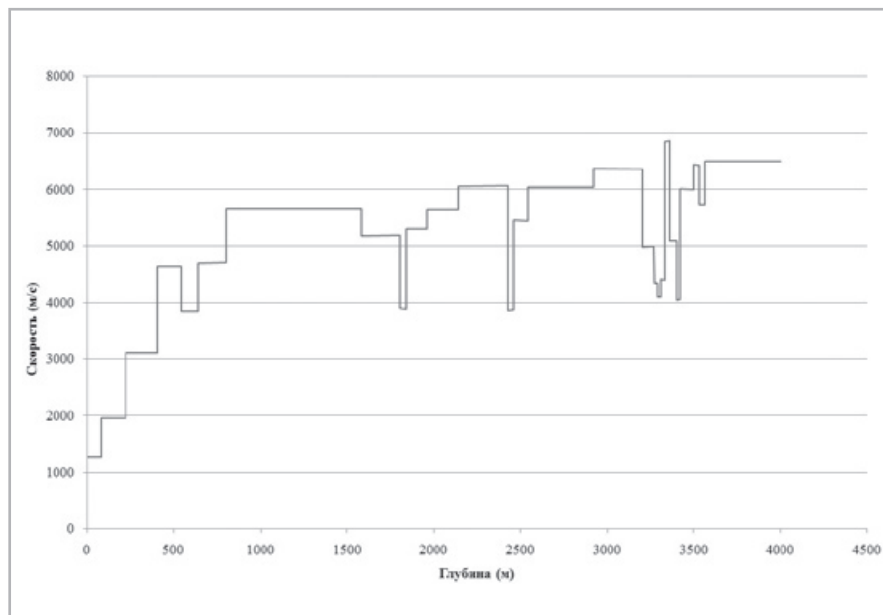


Рис. 1. Скоростная модель, характерная для северной части Бузулукской впадины

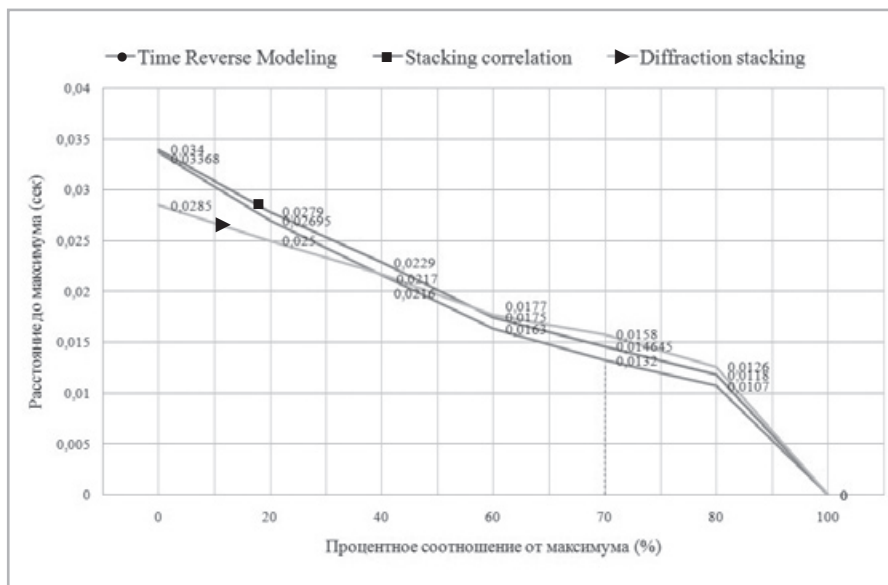


Рис. 2. Временная локализация

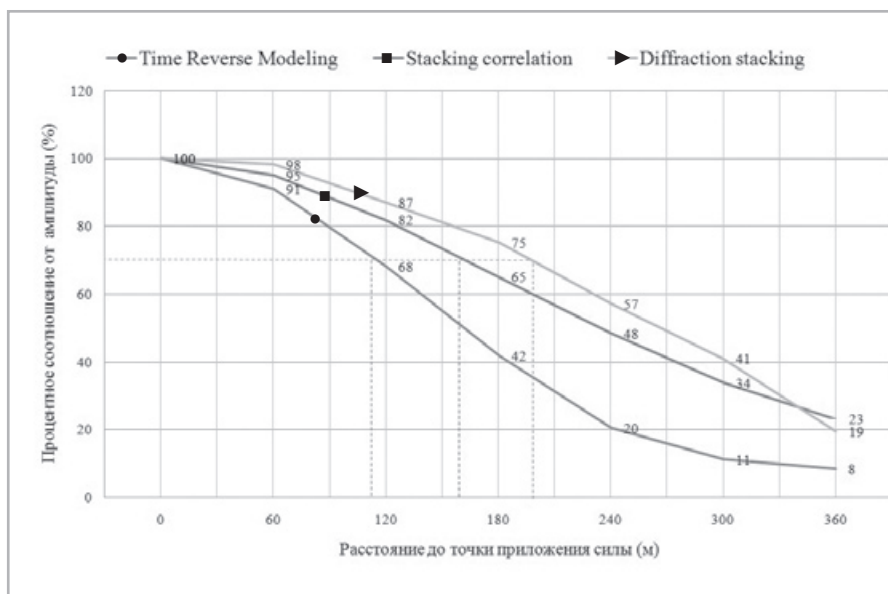


Рис. 3. Горизонтальная пространственная локализация

технологии в вязко-упругой среде с затуханием принципиально работоспособны. Технология «Time Reverse Modeling» по сравнению с другими методами показала наивысшую точность во всех рассмотренных случаях. На втором месте идет по точности метод корреляционного суммирования, технология дифракционного суммирования показала наихудшую точность в пространственной – временной локализации сейсмического события.

Поскольку для расчетов в качестве модели среды была взята достаточно

типичная скоростная модель, то можно предположить, что выявленные точностные характеристики методов будут аналогичными и в других средах. Однако для достоверности данного вывода требуется проведение экспериментов с различными скоростными моделями.

Представляет также интерес выявление чувствительности методов к поверхностным шумам, к неточности знания геологической среды и к пределам разрешения нескольких источников во времени. ■

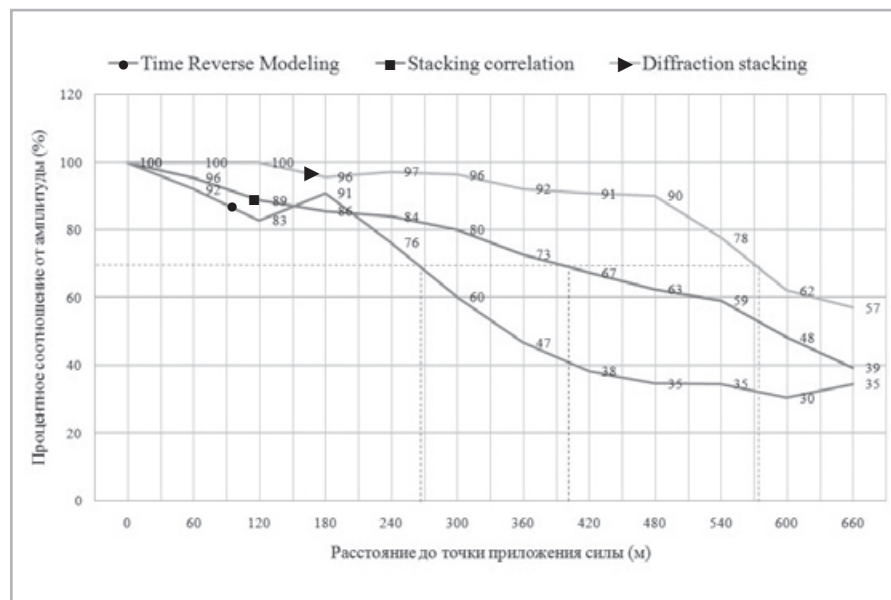


Рис. 4. Вертикальная пространственная локализация

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Аки К. Количественная сейсмология. Т. 1. 2. [Текст] / Аки К., Ричардс П. / Москва: Мир, 1983.
2. Gajewski D., Source localization by diffraction stacking [Text] / Gajewski D., Vanelle C., Anikiev D., Kashtan B., Tessmer E., Tislar M. / SEG Expanded Abstracts 26, 2007.
3. Anikiev D. Localization of low-frequency microtremors by a modified diffraction stack [Text] / Anikiev D., Gajewski D., Kashtan B., Tessmer E., Vanelle C. / 71st EAGE Conference & Exhibition incorporating SPE EUROPEC, 2009.
4. Guochang L. Stacking seismic data using local correlation [Text] / Guochang L., Sergey F., Long J., Xiaohong C. / Geophysics, 2009.
5. Fink M. Time-reversed acoustics [Text] / Scientific American, 1999.
6. Gajewski D., Reverse modelling for seismic event characterization [Text] / Gajewski D., Tessmer E. / Geophys, 2005.
7. Steiner B. Time reverse modeling of low-frequency tremor signals [Text]. Synopsis a dissertation submitted to the degree of doctor of natural sciences. Zurich, 2009.
8. Галимов М.Р. Некоторые технологические аспекты применения высокопроизводительных вычислений на графических процессорах в прикладных программных системах [Текст] / Галимов М.Р., Биряльцев Е.В. / Вычислительные методы и программирование Т 11, 77, 2010.