

УДК 550.348(100)

СЕЙСМОЛОГИЯ

А. М. Аветисян, И. П. Добровольский

Об оценке эффективности методов определения координат  
 гипоцентров землетрясений на теоретических моделях

(Представлено академиком АН Армянской ССР А. Г. Назаровым 22/VI 1981)

Значения координат гипоцентров землетрясений являются одним из основных видов сейсмической информации. Они важны, в частности, при составлении карт сейсмического районирования и при детальном изучении сейсмичности в процессе подготовки сильных землетрясений. Но если в первом случае анализируются события на больших площадях, то во втором характерные размеры значительно меньше и требования к точности определения координат существенно повышаются. Это один из примеров, когда задача выбора хорошего алгоритма, невзирая на ее трудоемкость, что не столь важно при использовании быстродействующих ЭВМ, становится принципиальной.

Точность определения координат гипоцентров в основном зависит: а) от точности обработки первичной сейсмической информации (нахождение времен первых вступлений и т. п.); б) от расположения сейсмических станций по отношению к очагу землетрясения; в) от степени соответствия применяемого при вычислениях годографа истинному годографу изучаемой области.

Наконец, существенное значение имеет алгоритм обработки. В настоящее время имеется много различных алгоритмов для определения координат гипоцентров землетрясений, в том числе и достаточно сложных (<sup>1</sup>), которые при обработке одного и того же события дают различные результаты.

В этих условиях становится важной задача выбора оптимального алгоритма. Классический способ—сравнение с точным решением, т. е. для нашего случая анализ ситуации, когда положение гипоцентра заведомо точно известно. Такая ситуация может иметь место в двух случаях: в полевых экспериментах со взрывами и при численном моделировании.

Численное моделирование, хотя и уступает в известной степени натурному эксперименту, тем не менее обладает рядом неоспоримых достоинств. Оно экологически чище, менее трудоемко, дешевле и позволяет изучить по единой методике много различных вариантов. Нужно отметить, что в настоящее время такой численный эксперимент можно осуществить для среды с любым заданным распределением скоростей.

Здесь рассматривается простейшая модель землетрясения с точеч-

ным источником, хотя в принципе построение протяженных источников не приведет к чрезмерному усложнению. На этой модели можно исследовать изменение времен пробега сейсмических волн в лучевом приближении в зависимости от геометрических и механических характеристик.

В качестве первого примера берем горизонтально однородное изотропное полупространство. Таким образом, рассматриваются малые области, когда можно пренебречь кривизной Земли.

Лучевая задача с распространением волн в среде с заданным полем скоростей  $V(x)$  сводится к решению следующей системы дифференциальных уравнений:

$$\dot{x}_i = V(x) \alpha_i(x);$$

$$\dot{\alpha}_i = \frac{1}{V} \frac{\partial V}{\partial x_i}$$

с начальными условиями

$$x_i(0) = x_{0i}; \quad \alpha_{0i} = \frac{n_{0i}}{V(x_{0i})} = \left( \frac{\cos \varphi_0}{V_0}, \frac{\sin \varphi_0}{V_0} \right),$$

где  $x_i$  — декартовы координаты точек луча;  $V_0$  — скорость в точке  $x_{0i}$ ;  $n_i$  — единичный касательный вектор к лучу;  $\alpha_i = \frac{n_i}{V}$ ,  $\varphi_0$  — угол между осью  $x_3$  и направлением луча.

Если мы имеем среду с постоянным градиентом, то данная задача допускает точное решение в элементарных функциях. Для полупространства  $x_3 \geq 0$  с  $V = b + ax_3$  решение лучевой задачи в плоскости  $x_1, x_3$  имеет вид

$$x_1 = x_{10} + \frac{V_1 \operatorname{sh} at \cos \varphi_0}{a},$$

$$x_3 = x_{30} + \frac{V_1 - V_0}{a},$$

$$\alpha_1 = \alpha_{01}; \quad \alpha_3 = -(A \operatorname{ch} at + B \operatorname{sh} at)$$

$$A = -\frac{\sin \varphi_0}{V_0}, \quad B = \frac{1}{V_0},$$

где

$$V_1 = \frac{1}{A \operatorname{sh} at + B \operatorname{ch} at}, \quad \left( -\frac{\pi}{2} \leq \varphi_0 \leq \frac{\pi}{2} \right).$$

Эти формулы записаны для случая, когда  $t_0 = 0$ . Отсюда уравнение годографа

$$\Delta = \frac{b}{a} \sqrt{2 \left( 1 + \frac{a}{b} x_{03} \right) \operatorname{ch} at - \left[ 1 + \left( 1 + \frac{a}{b} x_{03} \right)^2 \right]}.$$

В случаях отсутствия точного решения построение лучей и годографа производится каким-либо приближенным методом. При высокой гладкости (кусочной) поля скоростей эффективен метод с экстраполяцией Ричардсона (<sup>2</sup>).

Теоретическое моделирование производится по следующей схеме.

1. Задаются координаты сейсмических станций (исходные данные) и гипоцентра.

2. Строится исходный годограф для дискретных значений глубин гипоцентра—аналог реальных годографов.

3. С помощью годографа для выбранного положения гипоцентра определяются времена прихода  $P$ - и  $S$ - волн на каждую станцию. Совокупность этих значений образует набор, эквивалентный данным наблюдения. В дальнейшем он используется в двух вариантах: точные значения и значения, в которые внесены случайные ошибки на уровне реальных ошибок измерений.

4. По полученным данным с помощью различных алгоритмов определяется положение гипоцентра землетрясения и сравнивается с точным значением.

Предложенная методика позволяет:

1) при определенных условиях выбрать конкретный способ или алгоритм, который при определении координат гипоцентра более надежен, чем остальные. Оценить влияние случайных ошибок наблюдений и измерений на окончательный результат;

2) найти границу отношения глубины гипоцентра к эпицентральному расстоянию, до которой алгоритм достаточно эффективно вычисляет глубину гипоцентра;

3) оценивать методы вычисления распределения скоростных разрезов;

4) проверить надежность современных площадных годографов и трехмерных скоростных моделей.

Институт геофизики и инженерной сейсмологии  
Академии наук Армянской ССР

Ա. Մ. ԱՎԵՏԻՍՅԱՆ, Ի. Պ. ԴՈԲՐՈՎՈԼՍԿԻ

Տեսական մոդելի վրա երկրաշարժի կոորդինատների որոշման էֆեկտիվության մասին

Հոդվածում նշված մեթոդիկան հնարավորություն է տալիս օգտագործելով երկրաշարժերի տարածության մեջ տեղաբաշխման մաթեմատիկական մոդելը, սեյսմիկ կայանների որոշակի դասավորության և արագությունների ցանկացած ձևով բաշխման դեպքում գոյություն ունեցող եղանակներից կամ ալգորիթմներից ընտրել այն, որը կապահովի կոորդինատների ավելի մեծ ճշտություն համեմատած սեյսմիկ ինֆորմացիայի մշակման մյուս եղանակների հետ

#### ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

<sup>1</sup> А. М. Аветисян, И. П. Добровольский, ДАН АрмССР, т. 71, № 3 (1980). <sup>2</sup> Руководство по производству и обработке наблюдений на сейсмических станциях СССР. Часть 2, Изд-во АН СССР, М., 1954. <sup>3</sup> И. П. Добровольский, В. И. Фридман, Изв. АН СССР, «Физика Земли», № 3, 1980.