

УДК: 550.348.04

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

А. М. АВЕТИСЯН, И. П. ДОБРОВОЛЬСКИЙ, Н. В. ОГАНЕСЯН

ПРИМЕНЕНИЕ КОНКРЕТНЫХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
КООРДИНАТ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА МОДЕЛЯХ

Совершенствование методов определения координат землетрясений по наблюдениям сейсмической сети является одной из важнейших задач современной сейсмологии. С их помощью находятся другие параметры очага, время его возникновения и т. п. Эти результаты, в свою очередь, служат основой для решения других важных задач сейсмологии:

1) изучение сейсмичности для проведения сейсмического районирования; 2) прогнозирование землетрясений по сейсмической активности; 3) изучение природы очага; 4) изучение внутреннего строения Земли.

Аналогичная работа для точности определения координат эпицентра с использованием осредненного годографа Джеффриса-Буллена была проделана в работах [2, 4].

В настоящей заметке приводятся некоторые результаты оценки точности методов определения координат землетрясений по методике, описанной в работе [1].

Сущность предложенной методики заключается в том, что для заранее заданных гипоцентров разными методами определяются их координаты и сравниваются с известными. Оценка точности методов определения производится с помощью теоретического моделирования по следующей схеме.

В качестве сети сейсмических станций была использована современная сеть Арм.ССР с координатами:

С/с	φ	λ
Гри	40,1	44,7
Мим	40,2	44,1
Ерв	40,2	44,5
Кдж	39,1	46,1
Крм	39,4	46,4

С/с	φ	λ
Грс	39,5	46,3
Врд	40,2	45,7
Лин	40,8	43,8
Бвр	41,1	43,8
Стп	41,0	44,4

а в качестве координат гипоцентров—следующие точки, находящиеся на территории Армении глубиной $h=0$:

№ п.п.	φ	λ
1	40,7	44,9
2	40,8	44,2
3	40,7	34,0
4	40,3	44,7

№ п.п.	φ	λ
1	40,0	44,7
2	40,0	44,3
3	40,0	44,0
4	39,0	46,0

Выбор сейсмических станций и гипоцентров случаен. По предложенной методике можно рассчитать времена пробега сейсмических волн от любого гипоцентра и любой точки, находящейся на поверхности Земли, которая соответствует сейсмической станции.

Для градиентного полупространства $Z \geq 0$ с источником на глубине h и лучевой скоростью

$$V_i = b_i + a_i Z,$$

где $i=1$ соответствует продольной волне, а $i=2$ — поперечной; $b_1 = 5,8$ км/с, $b_2 = 3,39$ км/с, $a_1 = 0,03$ 1/с, $a_2 = 0,01$ 1/с, с помощью формулы

$$\Delta(t; h) = \frac{b}{a} \sqrt{2 \left(1 + \frac{a}{b} h\right) \operatorname{ch} at - \left(1 + \left(1 + \frac{a}{b} h\right)^2\right)} \quad (1)$$

вычислены годографы для следующих значений глубины $h = 0; 5; 10; 15; 20; 25$ км. На рис. 1 приводятся годографы Р-волн для разных глубин,

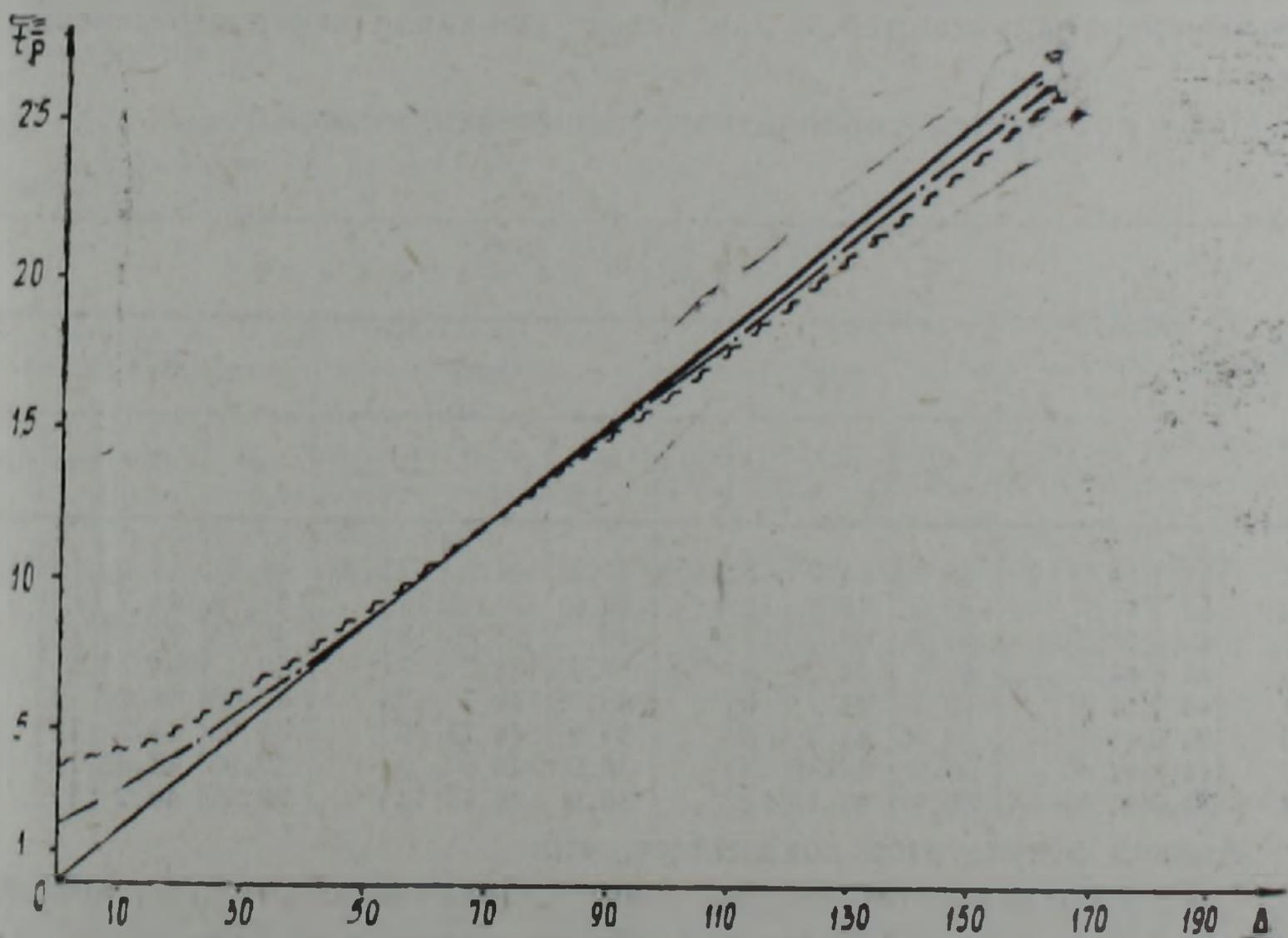


Рис. 1. Годограф Р-волн для глубин $h = 0, 15, 25$ км.

Теоретически от разных точек, находящихся на поверхности Земли, рассчитывается эпицентральное расстояние до станций по формуле

$$L = 2 R \arcsin \frac{1}{2} \times \sqrt{2 \sin^2 \frac{\Delta\varphi}{2} + 2 \cos(\varphi_1 + \varphi_2) \sin^2 \frac{\Delta\lambda}{2} + \sin^2 \frac{\Delta\varphi - \Delta\lambda}{2} + \sin^2 \frac{\Delta\varphi + \Delta\lambda}{2}}, \quad (2)$$

которая получается из формулы

$$l = 2 R \arcsin \sqrt{\frac{1 \cos \varphi \cos \varphi_2 \cos \Delta\lambda - \sin \varphi_1 \sin \varphi_2}{2}} \quad (3)$$

с помощью некоторых элементарных преобразований, R —средний радиус Земли, а Δ —разность соответствующих координат.

Сделанное преобразование позволяет уменьшить потери точности при вычислении расстояний между близкими точками.

Далее по формуле для обратного теоретического годографа

$$t(\Delta_i; h_j) = \frac{1}{a_i} \operatorname{arch} \frac{a_i^2 \Delta^2 + b_i^2 + (b_i + a_i h_j)^2}{2 a_i (b_i + a_i h_j)}, \quad (4)$$

где $h_j = 0, 5, 10, 20, 25$ км, подсчитываются времена пробега сейсмических волн для разных глубин.

По формуле (4) подсчитываем времена пробега сейсмических волн $h=0$ и с помощью этих времен определяем координаты гипоцентра методами засечек и Исикава, используя годографы для разных глубин $h=0; 5; 10; 15; 20; 25$.

Как координаты эпицентра при методе засечек принимаем центр пересеченных окружностей, а при методе Исикава—центр пересеченных хорд.

Ниже приводится таблица полученных результатов.

Таблица 1.

№ п.п.	Модель			Метод засечек											
				$h=0$				$h=5$				$h=10$			
	φ	λ	h	φ	λ	Δl	Δl_{cp}	φ	λ	Δl	Δl_{cp}	φ	λ	Δl	Δl_{cp}
1	40,7	44,9	0	40,75	44,95	5	6,3	40,8	44,9	7	9	40,8	44,9	10	11,9
2	40,8	44,2	—	40,9	44,2	10		40,9	44,15	10		40,95	44,2	15	
3	40,7	44,0	—	40,7	43,9	9		40,75	43,85	13		40,75	43,85	13	
4	40,3	44,7	—	40,3	44,7	3		40,35	44,7	7		40,4	44,75	11	
5	40,0	44,7	—	40,0	44,7	0		39,95	44,7	3		40,05	44,7	3	
6	40,0	44,3	—	39,95	44,3	6		39,95	44,25	9		39,95	44,2	12	
7	40,0	44,0	—	39,95	43,95	6		39,95	43,9	9		39,95	43,85	12	
8	39,0	46,0	—	38,9	46,15	12		38,9	46,15	14		38,9	46,2	17	

Анализ результатов показывает, что:

1. При оптимальном расположении сейсмических станций, координаты эпицентра практически (при методе засечек) не зависят от годографа, т. е. разные ошибки существенно компенсируются, а точность увеличивается.

2. В методе засечек максимальная величина ошибки, при определении эпицентра, не превосходит 25 км при глубине 0÷25.

№ п.п.	Метод засечек												Метод Исикава		
	h=15				h=20				h=25				φ	λ	h
	φ	λ	l	Δl _{ср}	φ	λ	Δl	Δl _{ср}	φ	λ	Δl	Δl _{ср}			
1	40,8	44,9	10	12,5	40,8	44,9	12	13,8	40,8	44,9	14	15,5	40,65	44,9	0
2	40,95	44,15	18		40,95	44,2	19		40,95	44,1	20		40,8	44,15	0
3	40,8	43,85	14		40,8	43,85	16		40,85	43,85	20		40,65	44,0	11
4	40,4	44,8	12		40,4	44,7	12		40,4	44,8	16		40,3	44,7	0
5	39,95	44,7	3		39,95	44,7	3		39,95	44,7	3		39,95	44,7	0
6	39,95	44,2	12		39,9	44,2	13		39,9	44,7	14		39,95	44,3	0
7	39,9	43,85	12		39,9	43,85	12		39,95	43,85	13		39,95	44,0	8
8	38,9	45,15	19		38,9	45,25	23		38,9	46,25	24		—	—	—

3. При соответственном годографе координаты эпицентра определяются в среднем с точностью до 7 км. Причинами таких ошибок являются как ошибки, возникающие при использовании графических методов, так и неточности планшетов и ошибки, возникающие при вычислениях.

4. При расхождении от истинного годографа на 5 км ошибка увеличивается в среднем на 3 км.

5. Точность определения гипоцентра методом Исикава более высока, чем методом засечек, и ошибка, в среднем, не превосходит 5 км, а глубина в большинстве случаев определяется точно.

6. При одностороннем расположении сейсмических станций от эпицентра (землетрясение под номером 8) метод Исикава результата может не дать, а метод засечек дает максимальное расхождение от истинного эпицентра.

Институт геофизики и инженерной
сейсмологии АН Арм. ССР

Поступила 10. V. 1983.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аветисян А. М., Дзбровольский И. П. Об оценке эффективности методов определения координат гипоцентров землетрясений на теоретических моделях. ДАН Арм. ССР, т. XXIX, № 2, 1982.
2. Аронович З. И., Кондорская Н. В. К вопросу об оптимальной системе сейсмических наблюдений. «Вопросы оптимизации и автоматизации сейсмических наблюдений». Изд. «Мецниереба», Тбилиси, 1977.
3. Карапетян Н. К. Годографы сейсмических волн для землетрясений Армянского нагорья. Изд. АН Арм. ССР, Ереван, 1974.
4. Кондорская Н. В. Анализ ошибок при определении координат эпицентров на ЭВМ. Тез. доклада на Сессии Совета по сейсмологии, Кишинев, 1966.