

УДК 550.344.2

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Л. Б. СЛАВИНА, А. Х. БАГРАМЯН, М. Б. МКРТЧЯН

# ПРИМЕНЕНИЕ ПЛОЩАДНОГО ГОДОГРАФА ДЛЯ УТОЧНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭПИЦЕНТРОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ АРМЯНСКОГО НАГОРЬЯ

При определении координат эпицентров Кавказа из-за недостаточности инструментальных данных долгое время использовались годографы, построенные для других сейсмических районов.

В связи с расширением сети сейсмических станций, оснащением их высокочувствительной аппаратурой и получением качественного инструментального материала появилась возможность более детальных исследований и построения годографов для Кавказа.

По инструментальным данным А. Л. Левицкой и Т. М. Лебедевой был построен годограф для всего Кавказа, который позволил сравнительно уточнить определение сейсмических параметров землетрясений данного региона [4].

Для территории Армянского нагорья годограф был построен Н. К. Карапетян в 1957 г. Ею были рассчитаны таблицы времен пробега и построены годографы сейсмических волн для глубины залегания очага 0, 10, 20, 30, 40, 50 км [3].

С целью согласования результатов обработки при определении координат эпицентров кавказских землетрясений и составления сейсмологического бюллетеня Кавказа практически использовался годограф Левицкой-Лебедевой, рассчитанный для глубины в среднем 25 км. По мнению авторов, годограф осреднял глубины от 0 до 25 км. Был еще рассчитан ряд годографов для отдельных регионов Кавказа: семейство теоретических годографов Западного Кавказа построено Г. К. Твалтвадзе для различных глубин залегания очагов землетрясений и  $\Delta = 0—300$  км.

А. Д. Цхакая в 1957 году опубликованы годографы сейсмических волн для Джавахетского нагорья при  $h = 0—10$  км, Г. Я. Мурусидзе построен годограф сейсмических волн для Западной Грузии и др. Все указанные годографы в дальнейшем не имели широкого практического применения при обработке землетрясений, кроме годографа Левицкой-Лебедевой, но по нему невозможно было определить глубину залегания очага землетрясения.

Так как вышеуказанные годографы не дают глубины землетрясений, возникает необходимость расчета такого годографа, по которому можно уточнить определение координат эпицентра и, что главное, определить глубину залегания очага, учитывая при этом блоковое строение земной коры.



Такие годографы были рассчитаны Л. Б. Славиной и Н. Б. Пивоваровой для Кавказа. На основании данных глубинного сейсмического зондирования, Кавказ был условно разделен на 6 блоков, в каждом из которых была задана скоростная модель. Годографы были подсчитаны для различных положений гипоцентра и станции как в одном, так и в разных блоках.

Для расчета теоретических времен пробега с учетом блокового строения коры и мантии Земли в трехмерной неоднородной среде была разработана методика расчета луча (Н. Б. Пивоварова, 1980).

Среда была задана в виде трехслойных моделей: осадочный слой, консолидированная кора и мантия.

В осадочной толще и консолидированной коре были заданы свои градиенты скорости. В мантии скорость задавалась константой. В каждом блоке была своя скоростная модель.

Годографы имеют вид таблиц, где рассчитаны теоретические времена пробега для различных взаимных положений гипоцентра и станции.

Для решения вопроса применимости рассчитанного площадного годографа и проверки его на экспериментальном материале, нами были подобраны землетрясения различных сейсмоактивных районов Армянского нагорья: северной части, прилегающей к Джавахетскому нагорью, Греванского, Зангезурского и Варденисского районов.

Землетрясения выбирались с энергетическим классом  $K \geq 9$ . Для того, чтобы провести сравнительный анализ окончательных результатов, мы решили определить параметры гипоцентров различными методами: 1) методом, не зависящим от регионального годографа (метод изохрон, Исикава, Вадати), 2) по региональному годографу (годограф Левицкой-Лебедевой), 3) по новому площадному годографу.

По независимому от годографа методу для определения координат эпицентра применялся метод изохрон [2]. Время и глубина очага определялись по графику Вадати и по Исикава [5]. Данные выбранных землетрясений брались из «Бюллетеня сети сейсмических станций Кавказа» за период с 1971 по 1976 гг. [1] и из сейсмограмм.

По зависимому от годографа методу координаты эпицентра определялись по методу засечек и при этом использовался годограф Левицкой-Лебедевой для глубины очага 25 км.

Для проверки площадного годографа параметры эпицентра определялись методом засечек на основании площадного годографа. Для каждого землетрясения вычислялось время пробега волны Р и соответственно бралось эпицентральное расстояние из площадного годографа. Засечки производились для всех глубин по отдельным станциям и потом выбиралась та глубина, при которой отклонение засечек было минимальным.

На рис. 1,2 приведены примеры определения положения очага методом засечек на основании площадного годографа. Ввиду большого объема расчетного и графического материала приведены не все графики, а только некоторые из них. В табл. 1 приведен список землетрясений, данные которых использованы в работе.

Рассмотрим несколько примеров землетрясений.

Из землетрясений Джавахетского нагорья и прилегающей к ней се-



верной части Армянского нагорья рассмотрим землетрясение 23/III—1972 г. 0 : 03—26—46.

По независимому методу и площадному годографу получилась глубина  $h=10$  км. Для остальных землетрясений Джавахетского нагорья и прилегающей к ней северной части Армянского нагорья также получе-

Таблица 1

# СПИСОК

землетрясений, использованных при уточнении параметров очагов землетрясений по площадному годографу

| Дата<br>землетря-<br>сения | Время в<br>очаге<br>ч. м. с. | Координаты по кат. |           | Энергия<br>к | Район землетрясения            |
|----------------------------|------------------------------|--------------------|-----------|--------------|--------------------------------|
|                            |                              | $\varphi$          | $\lambda$ |              |                                |
| 30/I—1967                  | 01—20—24,3                   | 40,9               | 44,1      |              | Армянское нагорье              |
| 18/I—1971                  | 07—28—21                     | 41,17              | 43,73     | 10           | Джавахетское нагорье           |
| 8/IX—1971                  | 22—35—09                     | 41,28              | 43,98     | 12           | Джавахетское нагорье           |
| 9/IX—1971                  | 22—54—00                     | 41,27              | 43,95     | 10,5         | Джавахетское нагорье           |
| 23/X—1971                  | 03—20—07                     | 41,01              | 43,95     | 9            | Восточная часть Малого Кавказа |
| 24/X—1971                  | 07—39—32                     | 41,0               | 43,9      | 9            | Восточная часть Малого Кавказа |
| 24/X—1971                  | 09—35—10                     | 41,0               | 44,0      | 9            | Восточная часть Малого Кавказа |
| 20/III—1972                | 15—52—09                     | 39,0               | 45,7      | 10,5         | Восточная часть Малого Кавказа |
| 23/III—1972                | 03—26—46                     | 41,3               | 43,8      | 10,5         | Джавахетское нагорье           |
| 2/I—1973                   | 21—02—29,2                   | 40,2               | 45,8      | 10           | Восточная часть Малого Кавказа |
| 14/V—1973                  | 15—10—11,3                   | 41,3               | 44,05     | 10           | Джавахетское нагорье           |
| 13/VI—1973                 | 01—23—50,6                   | 40,4               | 46,1      | 10,5         | Восточная часть Малого Кавказа |
| 16/VI—1973                 | 08—59—08,3                   | 40,4               | 44,5      | 11,0         | Армянское нагорье              |
| 27/VI—1973                 | 23—24—30,2                   | 41,1               | 43,9      | 10,2         | Восточная часть Малого Кавказа |
| 3/IX—1973                  | 08—19—37,5                   | 41,3               | 45,7      | 10           | Куринская депрессия            |
| 12/IV—1975                 | 01—05—19,1                   | 39,8               | 45,3      | 9            | Армянское нагорье              |
| 4/X—1976                   | 21—24—02,9                   | 41,13              | 44,0      | 10           | Восточная часть Малого Кавказа |
| 10/I—1977                  | 12—26—18,7                   | 41,0               | 43,8      | 10           | Армянское нагорье              |
| 17/VII—1977                | 11—59—20,7                   | 40,8               | 44,3      |              | Армянское нагорье              |
| 25/II—1978                 | 08—25—20,9                   | 40,3               | 44,3      | 11,5         | Армянское нагорье              |
| 7/III—1978                 | 19—55—39,9                   | 40,2               | 41,3      |              | Армянское нагорье              |

на хорошая согласованность между данными по независимому от годографа методу и по площадному годографу. Для убеждения в этом приведем результаты по Кироваканскому взрыву 17/VII—1977 г. 0 : 11—59—20,7 (рис. 1).

По площадному годографу получилась удовлетворительная засечка и наименьшая невязка для глубины  $h=0$ , что соответствует глубине, полученной по независимому от годографа методу и реальной глубине. Таким образом, по площадному годографу мы можем определить координаты и, что самое главное, глубины залегания очага для землетрясений Джавахетского нагорья и северной части Армянского нагорья.

Рассмотрим землетрясение Варденисского района 2/I—1973 года 0 : 21—02—29,2. Хорошее пересечение засечек и наименьшая невязка по площадному годографу получены при глубине  $h=10$  км, а по независимому методу получена  $h=21$  км. И для других землетрясений Варденис-



ского района 13/VI—1973 г, 12/IV—1975 г. (см. табл. 2) получается несогласие между независимым методом и площадным годографом.

Для Ереванского землетрясения 25/II—1978 г. 0:08—25—20,8 по

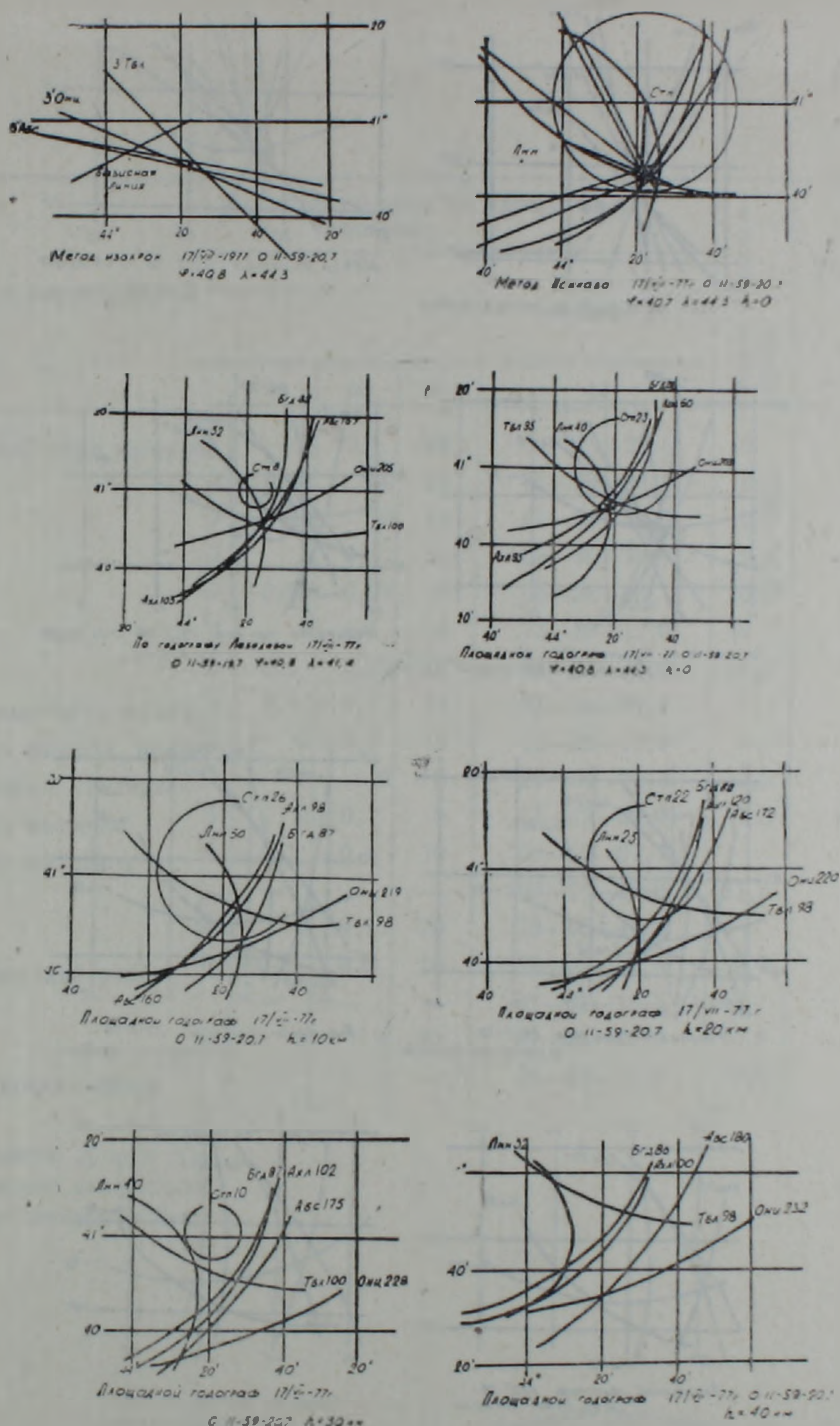


Рис. 1.

независимому от годографа методу получена глубина  $h=8$  км. (рис. 2). По площадному годографу невозможно было определить координаты и глубину очага, так как при всех глубинах невязка была большая и хоро-



шего пересечения засечек не получилось. Для других землетрясений Ереванского района (см. табл. 2) получается несогласие между глубинами по независимому методу и площадному географу. Для разных зем

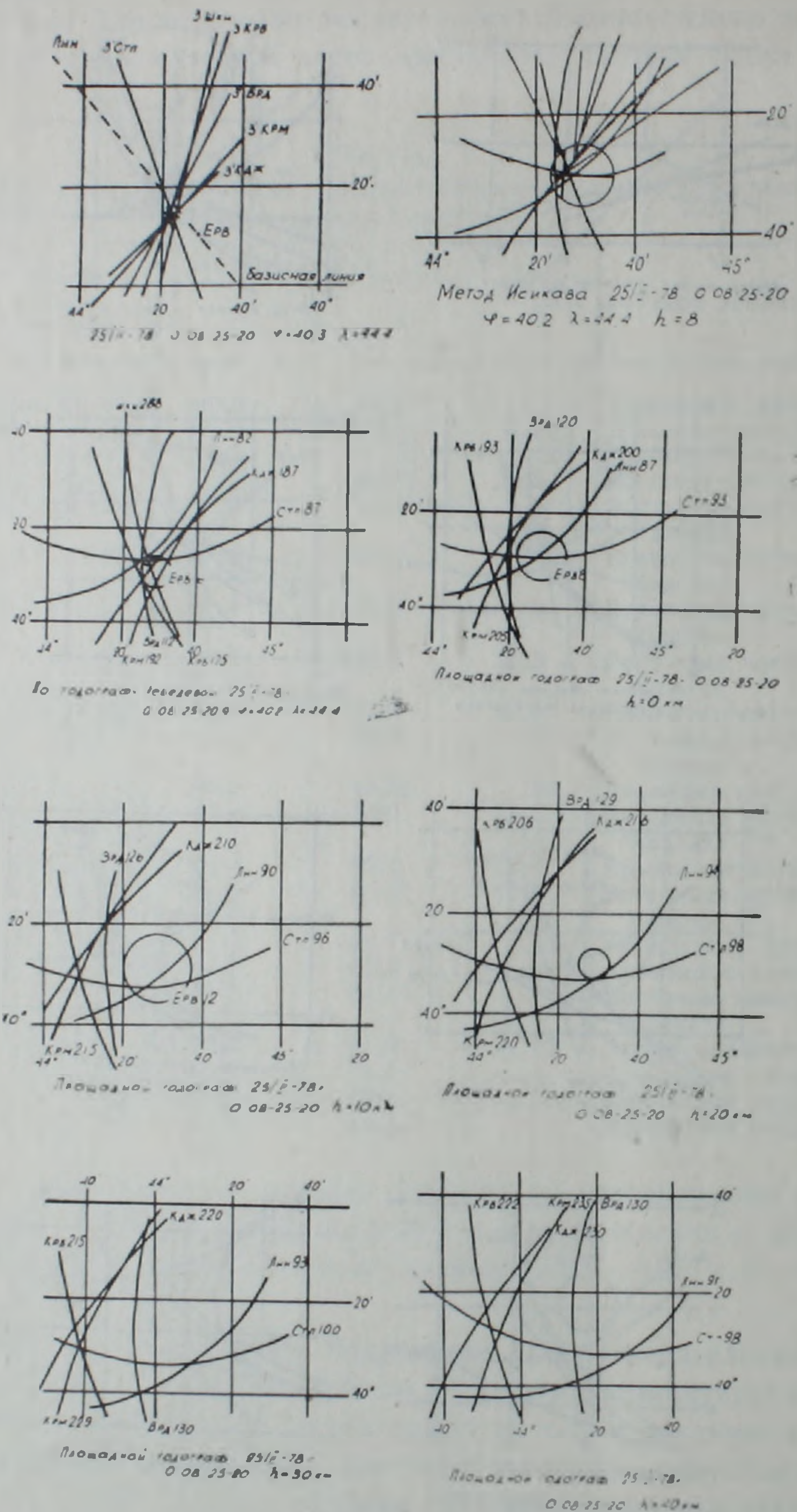


Рис. 2.

летрясений графически построены невязки при определении эпицентра землетрясения разными способами и невязки времен пробега волн Р



## СВОДНАЯ ТАБЛИЦА

для уточнения параметров землетрясений Армянского нагорья

| Район землетрясения                                                    | Дата землетрясения | Параметры, определенные по независимому от годографа методу |           |                 |                 |             |            | Параметры, определенные по стандартному годографу Левицкой-Лебедевой |           |     |              | Параметры, определенные по площадному годографу |           |                 |                 |     |            | Класс землетрясения | Примечание |
|------------------------------------------------------------------------|--------------------|-------------------------------------------------------------|-----------|-----------------|-----------------|-------------|------------|----------------------------------------------------------------------|-----------|-----|--------------|-------------------------------------------------|-----------|-----------------|-----------------|-----|------------|---------------------|------------|
|                                                                        |                    | метод изохрон                                               |           |                 |                 | по Иси-кава | по Вадати  | метод засечек                                                        |           |     | по годографу |                                                 |           |                 |                 |     | по Вадати  |                     |            |
|                                                                        |                    | $\varphi$                                                   | $\lambda$ | $\Delta\varphi$ | $\Delta\lambda$ | $h$         | $l_0$      | $\varphi$                                                            | $\lambda$ | $h$ | $t_0$        | $\varphi$                                       | $\lambda$ | $\Delta\varphi$ | $\Delta\lambda$ | $h$ | $t_0$      |                     |            |
| Джавахетское нагорье                                                   | 18/I—1971 г.       | 41,2                                                        | 43,7      | 0               | 0               | 14          | 07—28—22,5 | 41,2                                                                 | 43,7      | 25  | 07—28—21,0   | 41,2                                            | 43,8      | 0               | 0,1             | 20  | 07—28—22,5 | 10                  |            |
|                                                                        | 23/X—1971 г.       | 41,0                                                        | 43,9      | -0,05           | 0               | 17          | 03—20—08,5 | 41,05                                                                | 43,9      | .   | 03—20—07,0   | 41,0                                            | 43,9      | -0,05           | 0               | 20  | 03—20—08,5 | 9,0                 |            |
|                                                                        | 24/X—1971 г.       | 40,9                                                        | 44,0      | -0,2            | 0,1             | 8           | 07—39—33,5 | 41,1                                                                 | 43,9      | ..  | 07—39—32,0   | 41,0                                            | 43,9      | -0,1            | 0               | 10  | 07—39—33,5 | 9,0                 |            |
|                                                                        | 24/X—1971 г.       | 40,9                                                        | 44,1      | -0,2            | 0,2             | 19          | 09—35—10,9 | 41,1                                                                 | 43,9      | .   | 09—35—10,0   | 41,1                                            | 44,0      | 0               | 0,1             | 20  | 09—35—10,9 | 9,0                 |            |
|                                                                        | 23/III—1972 г.     | 41,4                                                        | 43,8      | 0,1             | 0,05            | 11          | 03—26—45   | 41,3                                                                 | 43,85     | .   | 03—26—46,0   | 41,25                                           | 43,9      | -0,05           | 0,05            | 10  | 03—26—48   | 10,5                |            |
|                                                                        | 14/V—1973 г.       | 41,3                                                        | 44,0      | 0               | -0,1            | 8           | 15—10—12,0 | 41,3                                                                 | 44,1      | .   | 15—10—11,3   | 41,3                                            | 44,0      | 0               | -0,1            | 10  | 15—10—12,0 | 10                  |            |
|                                                                        | 27/VI—1973 г.      | 41,0                                                        | 43,8      | 0               | 0,05            | 10          | 23—24—31,8 | 41,0                                                                 | 43,85     | .   | 23—24—30,2   | 41,1                                            | 43,9      | 0,1             | 0,05            | 10  | 23—24—31,8 | 10,2                |            |
| Северная часть Армянского нагорья, прилегающая к Джавахетскому нагорью | 4/X—1976 г.        | 41,1                                                        | 44,0      | 0,1             | 0               | 10          | 21—24—04,4 | 41,0                                                                 | 44,0      | ..  | 21—24—03,4   | 41,1                                            | 43,9      | 0,1             | 0,1             | 10  | 21—24—04,4 | —                   |            |
|                                                                        | 10/I—1977 г.       | 41,0                                                        | 43,8      | 0               | 0               | 7           | 12—26—18,0 | 41,0                                                                 | 43,8      | .   | 12—26—18,7   | 41,0                                            | 43,6      | 0               | -0,2            | 10  | 12—26—18,0 | —                   |            |
|                                                                        | 9/IX—1971 г.       | 41,3                                                        | 43,48     | 0               | -0,15           | 8           | 22—54—01,3 | 41,3                                                                 | 44,0      | .   | 22—54—00     | 41,3                                            | 44,0      | 0               | 0               | 5   | 22—54—01,3 | 10,5                |            |
| Ереванский район                                                       | 17/VII—1977 г.     | 40,8                                                        | 41,3      | 0               | -0,1            | 0           | 11—59—20,7 | 40,8                                                                 | 44,4      | .   | 11—59—19,7   | 40,8                                            | 44,3      | 0               | -0,1            | 0   | 11—59—20,7 | 11,5                | взрыв      |
|                                                                        | 16/VI—1973 г.      | 40,3                                                        | 44,4      | -0,1            | -0,1            | 11          | 08—59—07,7 | 40,4                                                                 | 44,5      | .   | 08—59—08,3   | 40,3                                            | 44,4      | -0,1            | -0,1            | 30  | 08—59—07,7 |                     |            |
|                                                                        | 25/II—1978 г.      | 40,3                                                        | 44,3      | 0,1             | -0,1            | 8           | 08—25—20,0 | 40,2                                                                 | 44,4      | ..  | 08—25—20,9   | —                                               | —         | —               | —               | —   | 08—25—20,0 | 11,5                |            |
| Варденисский район                                                     | 7/III—1978 г.      | 40,3                                                        | 44,3      | 0,1             | 0               | 7           | 19—55—41,9 | 40,2                                                                 | 44,3      | .   | 19—55—40,0   | 40,2                                            | 44,4      | 0               | 0,1             | 20  | 19—55—41,9 | —                   |            |
|                                                                        | 2/I—1973 г.        | 40,3                                                        | 45,8      | 0               | 0,1             | 21          | 21—02—28,5 | 40,3                                                                 | 45,7      | .   | 21—02—29,4   | 40,2                                            | 46,0      | -0,1            | 0,3             | 10  | 21—02—28,5 | 9,0                 |            |
|                                                                        | 12/IV—1975 г.      | 39,9                                                        | 45,3      | 0               | 0               | 35          | 01—05—18,5 | 39,9                                                                 | 45,3      | .   | 01—05—18,4   | —                                               | —         | —               | —               | —   | 01—05—18,5 | 10                  |            |
| Зангезурский район                                                     | 13/VI—1973 г.      | 40,3                                                        | 46,0      | -0,1            | 0               | 13          | 01—23—49,9 | 40,4                                                                 | 46,0      | .   | 01—23—50,6   | 40,4                                            | 46,0      | 0               | 0               | 20  | 01—23—49,9 | 10,5                |            |
|                                                                        | 20/III—1972 г.     | 39,1                                                        | 45,8      | 0,1             | 0,1             | 12          | 15—52—10,5 | 39,0                                                                 | 45,7      | .   | 15—52—09,0   | —                                               | —         | —               | —               | —   | 15—52—10,5 | 9,0                 |            |

Примечание:  $\Delta\varphi$  и  $\Delta\lambda$ —отклонения определенных разными методами координат эпицентров землетрясений по сравнению с координатами, полученными по годографу Левицкой—Лебедевой.





относительно теоретического. Землетрясению приписывалась та глубина, для которой невязка по площадному годографу минимальная.

Отсюда мы пришли к следующему выводу.

Модель среды, вложенная в основу для расчета площадного годографа для районов северной части Армянского нагорья, более близка к реальной. Для этого района получена хорошая согласованность данных по различным способам определения параметров гипоцентра. Координаты эпицентра, полученные разными способами, не отличаются более, чем на 0,1 градуса. Полученные численные значения глубин очагов близки.

Для других районов Армянского нагорья, так например, Ереванского, Варденисского и Зангезурского результаты по разным способам определения параметров гипоцентра землетрясения различные. Координаты эпицентра отличаются на 0,3 градуса, особенно большая несогласованность при определении глубины очага землетрясений, и, как показано на примерах, для некоторых землетрясений невозможно было определить координаты эпицентра и глубину очага по площадному годографу (табл. 2).

Таким образом мы решили, что площадной годограф можно использовать для определения координат и глубины залегания очага для северной части Армянского нагорья и прилегающих районов. Для использования площадного годографа при определении параметров очагов землетрясений Ереванского, Варденисского, Зангезурского районов в годограф нужно ввести поправки. Особенно необходимо пересмотреть скоростные разрезы верхних слоев коры. Работа будет продолжена в этом направлении.

Институт физики Земли АН СССР,  
Институт геофизики и инженерной  
сейсмологии АН Арм.ССР

Поступила 5. VIII. 1981.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Бюллетень сети сейсмических станций Кавказа за 1971—1976 гг. Изд. «Мецниереба», Тбилиси, 1971—1976.
2. Голенецкий С. П., Тресков А. А. Метод изохрон. Тр. Геофиз. института АН СССР, № 21, 1953.
3. Карапетян Н. К. Годографы сейсмических волн для землетрясений Армянского нагорья. Изд. АН Арм.ССР, Ереван, 1974.
4. Левицкая А. Я., Лебедева Т. М. Годограф сейсмических волн Кавказа. Квартальный сейсмический бюллетень, т. XXI, № 1—4, 1948. Изд. АН Груз. ССР, Тбилиси, 1953.
5. Руководство по производству и обработке наблюдений на сейсмических станциях СССР. Часть 1,2. Изд. АН СССР, М., 1954.