

УДК 550.344 62(479.25)

А. А. САЛКЯН

СТАНЦИОННЫЕ АНОМАЛИИ ВРЕМЕН ПРОБЕГА  $P$  ВОЛН  
ОТ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ АРМЯНСКОГО НАГОРЬЯ

Изучение стационарных особенностей времен пробега  $P$  волн представляет большой интерес как для уточнения основных параметров гипоцентров землетрясений, так и для получения сведений об особенностях внутреннего строения Земли. Наиболее эффективным методом изучения является метод, основанный на детальном анализе стационарных невязок от стандартного годографа. В литературе известно много работ такого рода [3, 5, 7, 9]. Однако до настоящего времени этот метод не был применен для анализа наблюдений над  $P$ -волнами для землетрясений Кавказа.

Используя известный прием расчета параметров функции распределения невязок [3, 4, 5, 6, 11], становится возможным получить представление о поле невязок  $P$  волн как для всего Армянского нагорья, так и для его отдельных зон.

Ранее нами была описана методика изучения стационарных невязок [6], заключающаяся в статистическом расчете параметров кривых распределения невязок

$$f_i = t_p - t_p^*, \quad (1)$$

где  $t_p$  — наблюдаемые времена пробега  $P$ -волн,  $t_p^*$  — времена пробега, рассчитанные по годографу Джеффриса-Буллена (Д-Б).

Как показал Джеффрис, плотность распределения невязок можно выразить формулой

$$P(f_i) = \frac{1-S}{\pi} h \exp[-h^2(f_i - a)^2] + Sg(f_i), \quad (2)$$

где  $h^2 = 1/2\sigma^2$ ,  $\sigma$  — стандартное отклонение одного наблюдения,

$Sg$  — мало меняется сверх области порядка  $1/h$ . Вводя величину  $\omega$  (она называется обычно „вес“)

$$\omega^{-1} = 1 + \mu \exp[h^2(f_i - a)^2], \quad (3)$$

где

$$a = \sum \omega_i f_i / \sum \omega_i; \quad \sigma^2 = \sum (f_i - a)^2 / n - 1$$

можно получить нормально распределенные взвешенные невязки.

В [6] также был дан подход к отбору материала наблюдений.

Целью настоящей работы является обсуждение результатов расчета величин  $\alpha$ —станционных поправок в зависимости от взаимного расположения очагов и станций.

Статистический анализ проводился на материале 474 землетрясений, которые группируются в генетически разных сеймотектонических зонах: Джавахетской, Ардагано-Карсской, Бардог-Котурской и Зангезурской [6].

Анализ параметров функции распределения станционных невязок осуществлялся для всей совокупности землетрясений и для совокупности землетрясений после последовательного деления Армянского нагорья на части.

Анализ значений случайных ошибок по совокупностям землетрясений всего Армянского нагорья и выделенных областей показал, что полученные поправки довольно грубые и плохо отражают их азимутальные неоднородности, поэтому более подробно остановимся на анализе параметров функции распределения невязок для отдельных сеймотектонических зон Армянского нагорья.

В табл. 1 приведены основные параметры функции распределения станционных невязок для отдельных сейсмоактивных зон Армянского нагорья по станциям ЕССН Кавказа.

Возможные зональные особенности индивидуальных станций исследовались путем сравнения  $a_i^{jk}$  на основании следующего критерия:

$$a_i^j - a_i^k > 0,4 \text{ сек.} \quad (5)$$

при  $\delta < \pm 0,15 \text{ сек.}$

Здесь  $i$ —номер станции,  $j, k$ —номера сейсмоактивных зон, а

$$\delta = \sigma / \sqrt{n} \quad (6)$$

есть ошибка в среднем значении.

Величина 0,4 сек является статистически значимым и более чем в два раза перекрывает ошибку в среднем значении и точность снятия первых вступлений на сейсмограмме.

Анализируя всю систему станционных поправок на основе критерия (5), мы нашли станции, поправки которых оказались инвариантными по отношению ко всем рассматриваемым зонам и станциям, поправки которых оказались существенно различными для одной и нескольких зон. В первом случае станция характеризуется одной станционной поправкой и принимается за станцию первого рода.

В других случаях каждая станция, в зависимости от числа значимых станционных поправок, принимается за станцию второго, третьего и четвертого рода соответственно.

На основании этой классификации составлена табл. 2.

Как показывает таблица 2, лишь станции Абастумани, Кировабад, Леникан и Степанаван являются станциями четвертого рода. С целью выяснения вопроса о количестве деления Армянского нагорья на зоны, нами вышеуказанные зоны делились на части и для них рассматрива-

Таблица 1

Основные параметры функции распределения стационарных невязок по отдельным сейсмоактивным зонам Армянского нагорья

№№ п,п	Название станции	а, сРК.				б, сек				в, сек			
		а	б	в	г	а	б	в	г	а	б	в	г
1	Абастумани	-0,25±0,16	0,65±0,28	2,42±0,26	2,02±0,28	1,02	1,47	1,13	0,91	0,87	0,80	0,85	0,93
2	Ахалкалаки	0,64±0,14	1,15±0,33	2,71±0,32	2,52±0,22	1,0	1,68	1,19	0,87	0,85	0,75	0,81	0,95
3	Баку	0,91±0,43	0,98±0,52	1,45±0,39	1,33±0,38	1,04	1,02	1,05	1,02	0,80	0,81	0,81	0,81
4	Бакуриани	0,81±0,20	1,00±0,20	2,62±0,22	2,39±0,21	1,26	1,43	1,01	0,81	0,81	0,74	0,88	0,96
5	Богдановка	0,74±0,15	1,04±0,30	2,76±0,18	2,61±0,24	0,98	1,52	1,16	0,97	0,83	0,77	0,83	0,86
6	Вагденис	2,03±0,19	2,22±0,19	1,69±0,24	-0,03±0,20	1,02	1,02	1,01	0,91	0,82	0,77	0,89	0,88
7	Горис	2,42±0,29	2,37±0,26	1,46±0,22	1,29±0,17	1,12	1,16	1,10	0,82	0,75	0,76	0,81	0,90
8	Грозный	2,23±0,23	1,87±0,26	1,75±0,33	1,90±0,41	0,84	0,98	1,09	1,08	0,85	0,85	0,86	0,79
9	Гегечкори	0,89±0,21	1,94±0,22	1,98±0,37	1,44±0,60	1,23	0,96	1,04	1,54	0,80	0,84	0,88	0,72
10	Гори	0,87±0,16	2,42±0,24	2,32±0,38	2,29±0,28	1,02	1,14	1,11	1,01	0,85	0,89	0,84	0,86
11	Душети	0,76±0,22	2,31±0,21	2,45±0,27	2,34±0,30	1,31	0,95	1,45	1,13	0,78	0,88	0,79	0,85
12	Ереван	-0,16±0,29	0,91±0,40	0,51±0,33	0,84±0,30	1,72	1,51	1,78	1,34	1,68	0,69	0,70	0,78
13	Зугдиди	1,99±0,20	2,01±0,21	1,75±0,35	1,96±0,46	0,94	1,01	0,95	0,99	0,86	0,88	0,91	0,89
14	Кировабад	0,87±0,22	1,27±0,32	1,88±0,25	0,42±0,27	1,42	1,40	1,36	1,03	0,79	0,77	0,76	0,81
15	Лагодехи	1,08±0,20	1,36±0,29	1,63±0,25	1,66±0,28	1,12	1,21	1,14	1,10	0,82	0,80	0,84	0,87
16	Ленинакан	0,35±0,19	1,00±0,33	2,26±0,20	2,76±0,24	1,21	1,68	1,14	0,94	0,79	0,72	0,87	0,88
17	Ленкорань	0,88±0,55	1,07±0,48	1,16±0,45	1,12±0,37	1,13	0,99	1,27	1,22	0,80	0,84	0,80	0,79
18	Мингечаур	1,08±0,34	1,23±0,39	1,20±0,35	0,88±0,41	0,86	0,94	1,68	1,17	0,88	0,88	0,84	0,78
19	Макачкала	1,67±0,47	1,91±0,38	1,74±0,41	1,84±0,44	1,63	1,23	0,96	0,87	0,72	0,82	0,88	0,93
20	Нахичевань	1,74±0,23	1,81±0,24	0,00±0,24	0,30±0,15	0,82	0,86	1,61	0,84	0,93	0,94	0,88	0,91
21	Острой Жил.	0,86±0,59	0,84±0,58	1,25±0,48	1,50±0,43	1,13	1,06	0,99	1,05	0,79	0,81	0,91	0,82
22	Они	0,76±0,16	2,18±0,27	2,20±0,28	2,16±0,31	1,03	1,08	1,05	0,97	0,81	0,82	0,83	0,88
23	Пятигорск	1,53±0,22	1,71±0,32	1,58±0,39	1,73±0,38	1,01	0,93	1,20	0,82	0,83	0,83	0,80	0,90
24	Саберно	2,07±0,19	2,24±0,24	1,98±0,22	1,84±0,41	1,10	1,11	0,99	1,18	0,86	0,85	0,88	0,82
25	Степанаван	0,42±0,21	1,53±0,24	2,14±0,21	2,61±0,22	1,36	1,22	1,22	0,87	0,76	0,78	0,84	0,91
26	Сочи	0,33±0,38	0,67±0,33	1,16±0,50	1,16±0,56	0,95	0,81	1,03	0,90	0,83	0,96	0,84	0,86
27	Тбилиси	0,04±0,22	1,26±0,23	1,75±0,29	1,52±0,28	1,36	1,02	1,33	1,09	0,78	0,89	0,81	0,85
28	Ткибули	0,58±0,22	2,27±0,29	2,17±0,39	2,08±0,41	1,07	1,08	1,24	1,13	0,85	0,83	0,81	0,83
29	Цебельда	1,42±0,26	1,44±0,37	1,46±0,38	1,31±0,49	1,23	1,41	1,26	1,36	0,78	0,74	0,76	0,85
30	Ханши	1,98±0,16	1,95±0,26	1,88±0,33	1,78±0,41	0,98	1,02	1,07	0,99	0,90	0,86	0,87	0,86
31	Шемаха	1,24±0,51	1,41±0,48	1,42±0,58	1,85±0,26	1,39	1,28	1,32	1,30	0,78	0,79	0,76	0,78

Примечание: а, б, в, г—соответственно для Джавахетской, Ардагано-Карсской, Бардог-Котурской и Загелурской зон.

лись параметры кривых распределения невязок. Несмотря на тенденцию к новой регионализации этими станциями, деление Армянского нагорья на основании имеющегося исходного материала на четыре очаговые зоны будем считать оптимальным, т. к. полученные поправки для этих частей зон не удовлетворяют критерий (5).

Таблица 2

Региональные эффекты стационарных поправок

Классификация станций по родам			
I	II	III	IV
Грз. Згд. Лнк. Мнг. Мхч. Птг. Сбр. Хши. Цбд.	Гор. Душ. Ерв. Они. Гбл. Ткб. Шмх. Бку. Бкр. Бгд. Грс. Лгд. Нхч. Ожл. Соч.	Ахл. Врд. Гчр.	Абс. Крб. Лен. Стп.

Значения стационарных поправок для Джавахетской. Ардагано-Каросской, Бардог-Котурской и Зангезурской зон в виде изолиний приведены на рис. 1. Как видно, имеют место следующие закономерности:

1. Станции, расположенные в Рионской, Куринской низменностях, в долинах и на береговых частях Черного и Каспийского морей, обладают низкими значениями поправок и наоборот.

Как отмечает ряд авторов [2, 8], для землетрясений Джавахетского нагорья, при определении координат эпицентров сейсмическая станция Кировабад дает отклонение, причем она систематически «притягивает» эпицентр. Из рис. 1 следует, что это явление характерно не только для сейсмической станции Кировабад и не только по отношению к Джавахетской зоне, но и для всех станций, расположенных в низменностях, т. к. их стационарные поправки значительно меньше, чем следовало бы ожидать на этих эпицентральных расстояниях.

2. Когда сейсмический луч распространяется на север, т. е. в антикавказском направлении, то наблюдается некоторое увеличение в значениях поправок.

Аналогичное явление, т. е. распространение сейсмической волны вкост простиранию тектонических структур, наблюдалось и в дальней зоне [7].

Полученные стационарные поправки могут быть использованы для определения координат эпицентров землетрясений Армянского нагорья для  $h=0$ . Для этой цели мы предлагаем следующий порядок операций.

1. По  $S-P$  по близким станциям определяется время в очаге.
2. Делается коррекция в наблюдаемые времена пробега.

$$t_p = t_{pнаблj} - a_{ij}, \quad (7)$$

где  $i$ —номер станции,  $j$ —номер зоны.

3. По  $t_p$  по годографу Д-Б, для  $h=0$ , определяются эпицентральные расстояния и по ним делаются засечки.

На рис. 2 приведены примеры определения координат эпицентров землетрясений по годографу Левицкой-Лебедевой с применением стационарных поправок.

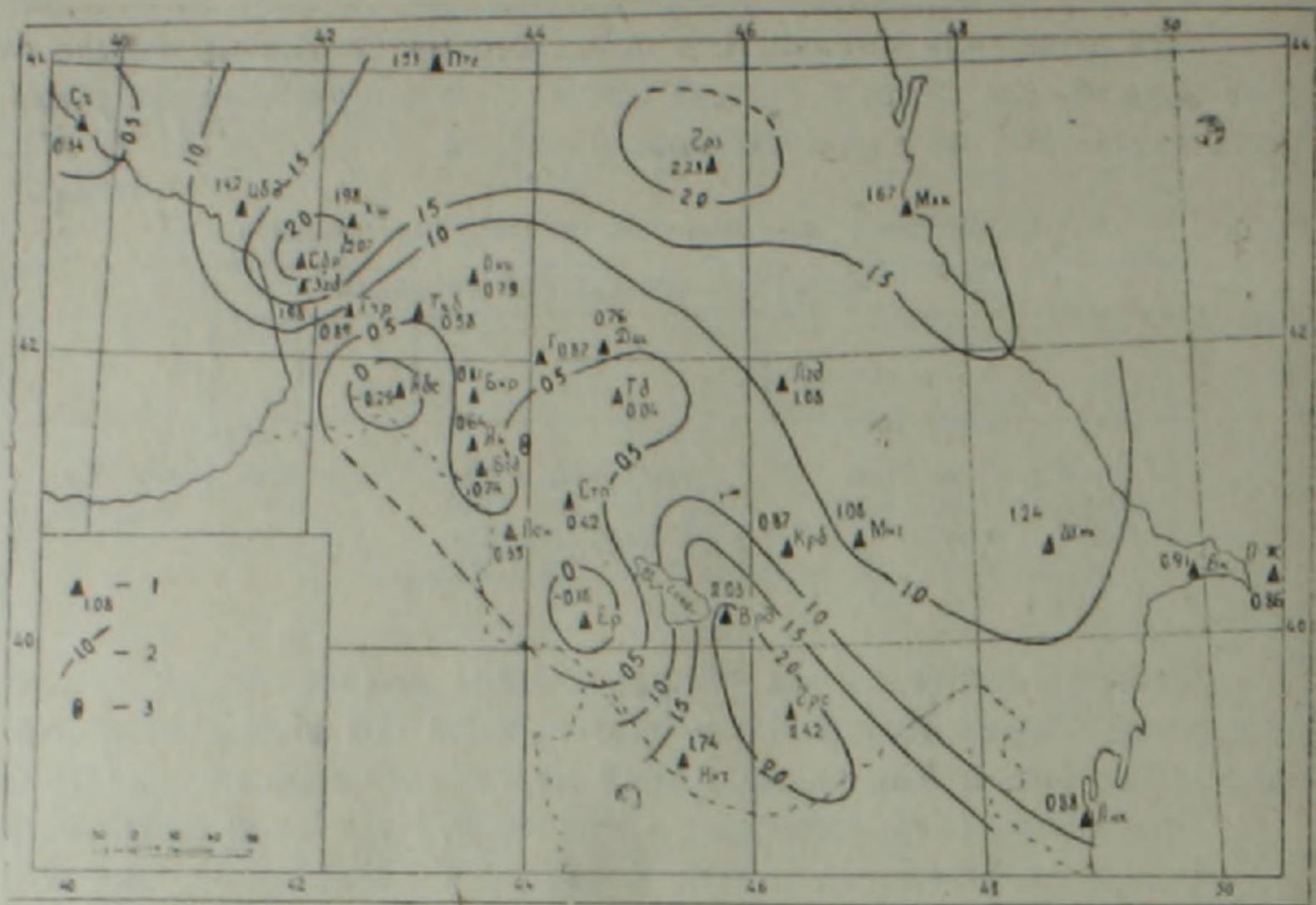


Рис. 1а.

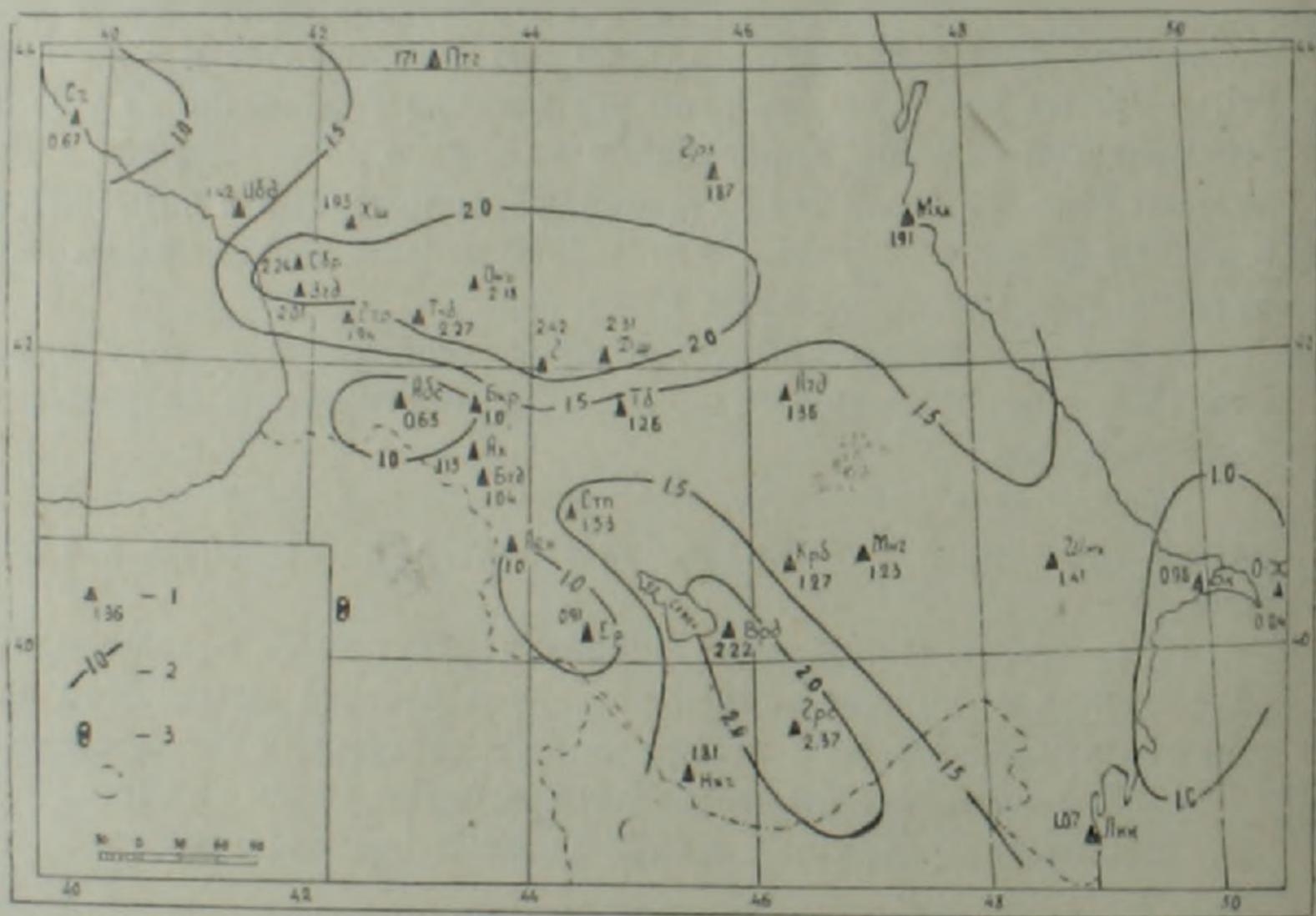


Рис. 1б.

Рис. 1. Изолнии станционных поправок а, б, в, г—для Джавахетской, Ардагано-Карсской, Бардог-Котурской и Зангезурской зон соответственно. 1—Сейсмические станции со значениями поправок. 2—Изолнии станционных поправок. 3—Среднестатистический центр эпицентральной зоны.

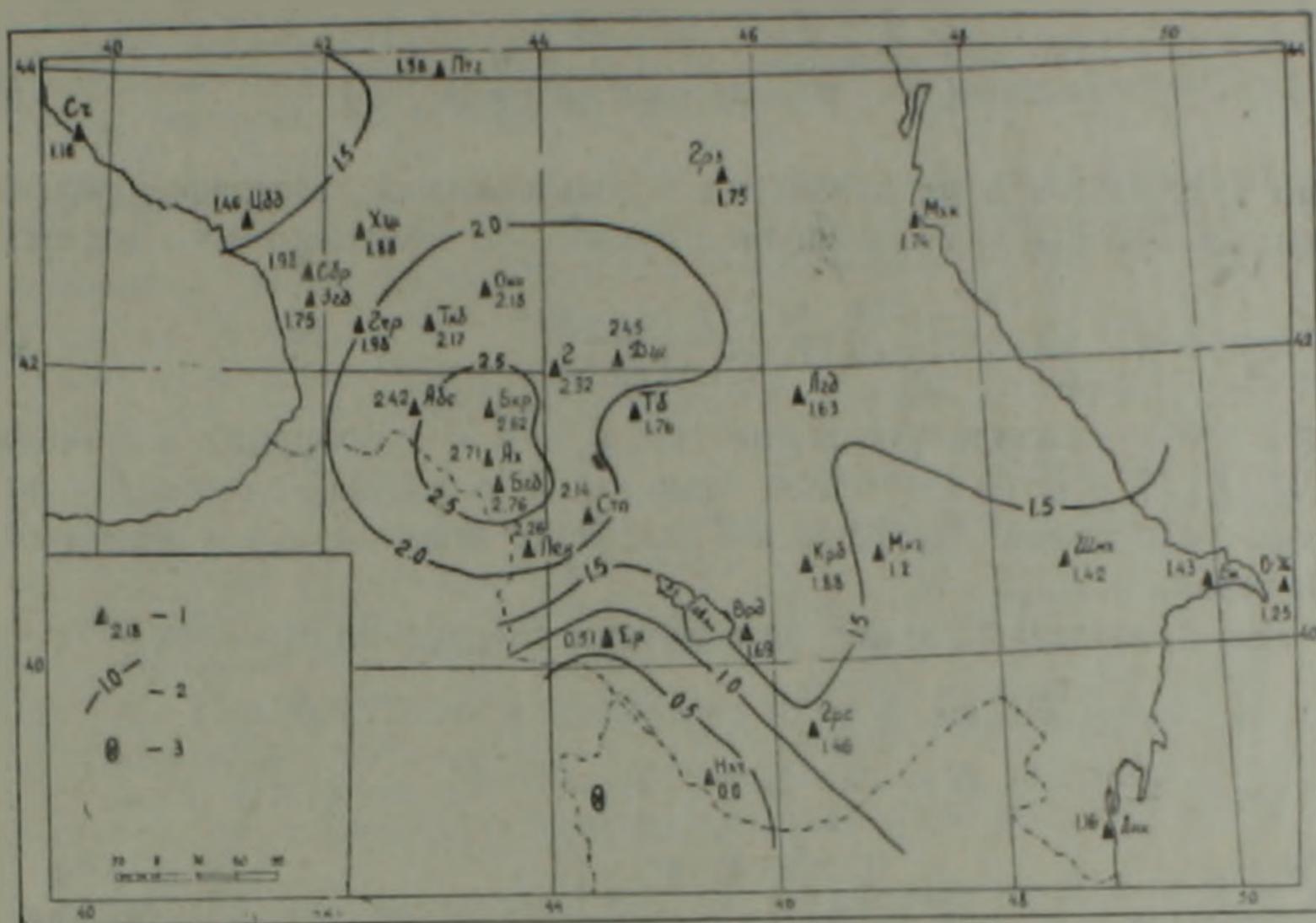


Рис. 1в.

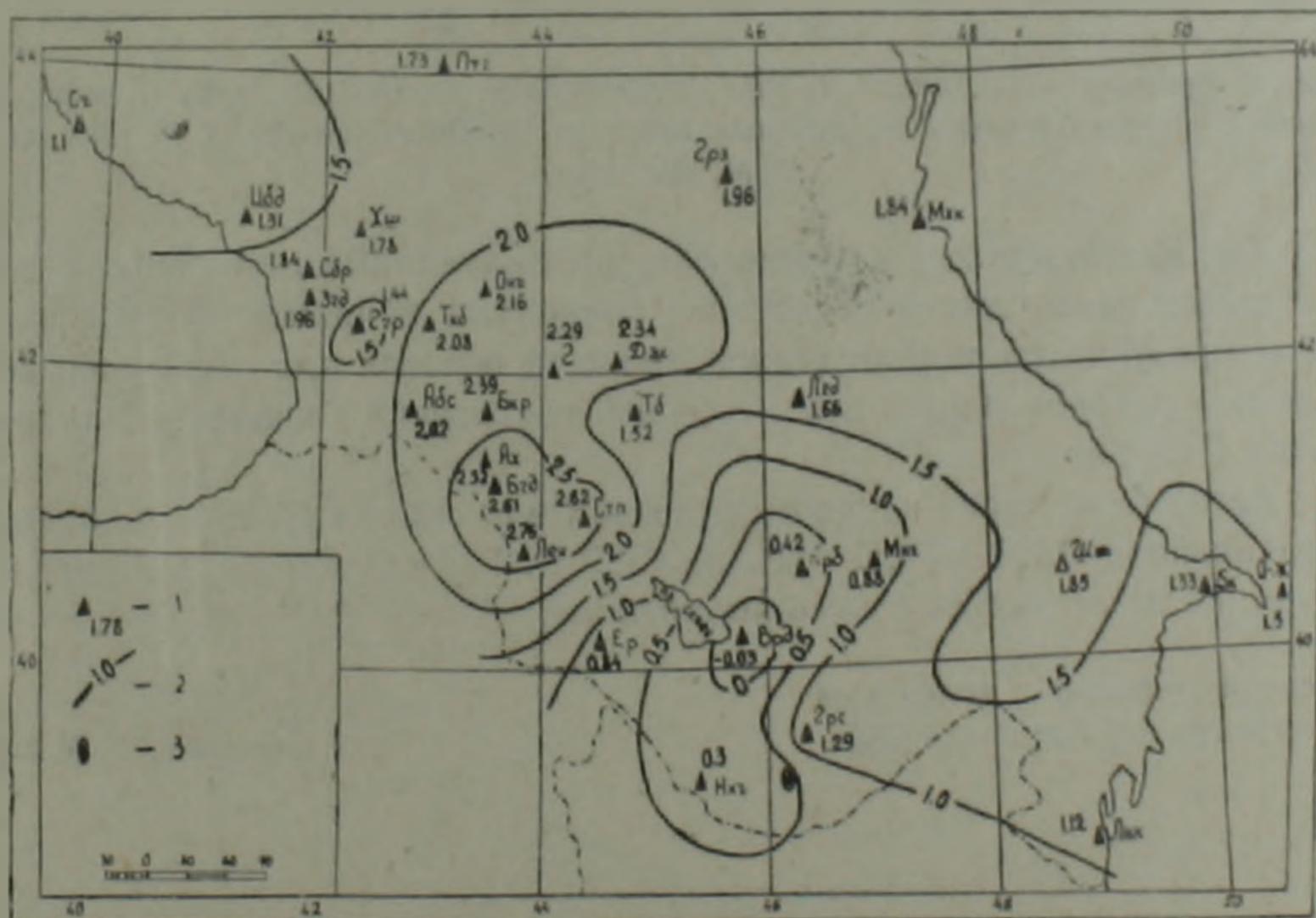


Рис. 1г.

С целью оценки правдоподобия полученных координат сравнивались суммы абсолютных значений невязок. Для каждого эпицентра и каждой пары очаг-станция вычислялись эпицентральные расстояния [1]

$$\Delta^2 = (\lambda - \lambda')^2 + (\varphi - \varphi')^2 \sin^2 \frac{1}{2} (\lambda + \lambda') \quad (8)$$

и по полученным  $\Delta$  на основании использованных годографов рассчитывались невязки и сравнивались суммы их абсолютных значений

$$\xi = \frac{\sum |f_i|_{\text{д-б}}}{\sum |f_i|_{\text{л-л}}} \quad (9)$$

В (8)  $\varphi$  и  $\lambda$  — координаты эпицентра, а  $\varphi'$  и  $\lambda'$  — координаты станции. В (9)  $|f_i|_{\text{д-б}}$  и  $|f_i|_{\text{л-л}}$  — суммы значений абсолютных невязок по отношению годографов Джеффриса-Буллена (с поправками) и Левицкой-Лебедевой.

Для приведенных примеров получены следующие значения  $\xi$ :

$$\xi_a = 0,58 \text{ по } N=20 \text{ станциям, } \xi_b = 0,51, N=17$$

$$\xi_{\text{д-б}} = 0,52, N=19, \xi_{\text{л-л}} = 0,54, N=21.$$

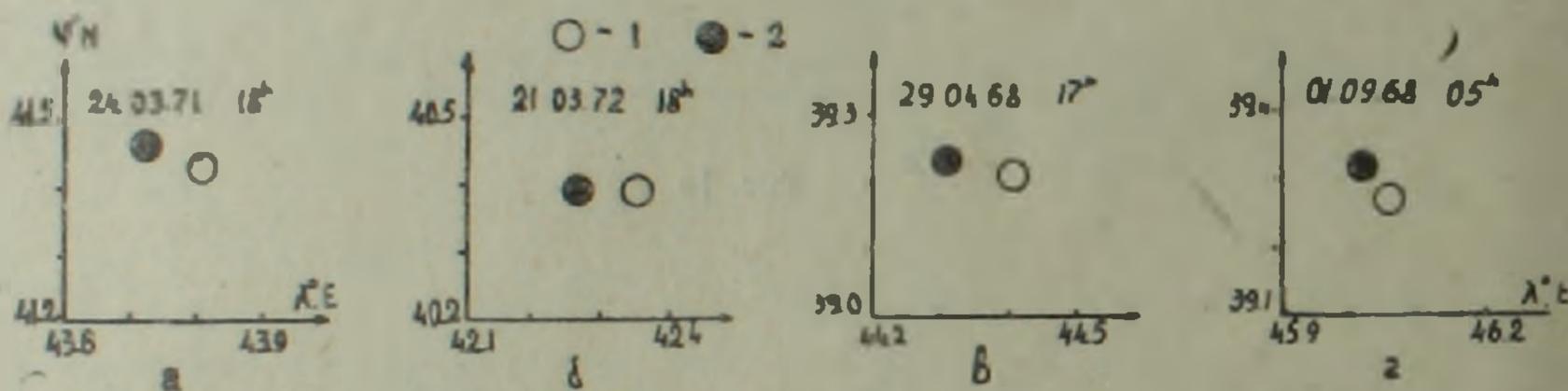


Рис. 2. Примеры определения координат эпицентров. 1—По годографу Джеффриса-Буллена с использованием станционных поправок. 2—По годографу А. Я. Левицкой, Т. М. Лебедевой.

Как видно, лучшее согласование индивидуальных станционных данных имеет место при применении станционных поправок. Следовательно, эти результаты могут служить хорошей основой для получения скоростного разреза земной коры с целью построения годографа для различных глубин

Автор благодарит научного руководителя работы Н. В. Кондорскую и начальника ОМЭ ИГИС АН Арм.ССР Э. Г. Гедакяна за ценные указания и помощь в процессе ее выполнения.

Институт геофизики и инженерной сейсмологии АН Армянской ССР

Поступила 21. V. 1981.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Буллен К. Е. Введение в теоретическую сейсмологию. «Мир», М., 1966.
2. Джибладзе Э. А., Гоцадзе О. Д. Общие осредненные годографы Кавказа. Тр. Ин-та геофизики АН Груз. ССР, т. XX, Тбилиси, 1962.
3. Кондорская Н. В., Желанкина Т. С. и др. Некоторые результаты применения ЭВМ при обобщении сейсмических наблюдений. Работы по вычислительной сейсмологии. Вып. 1, «Наука», 1966.
4. Кондорская Н. В., Захарова А. И. Об унификации определения координат очагов землетрясений Средней Азии. Известия АН СССР, сер. Физика Земли, № 9, 1970.
5. Кондорская Н. В. Кинематические особенности первых вступлений сейсмических волн. *Vorträge der KPD—Tagung, Berlin, 14, 1969.*
6. Саакян А. А. Эпицентральные поправки к стандартному годографу Джеффриса-Буллена для Армянского нагорья. Известия АН Арм ССР, сер. Науки о Земле, № 5, 1981.
7. Славина Л. Б. О зависимости определения положения эпицентра землетрясения от расположения станций и от особенностей времени пробега Р-волн. Известия АН СССР, сер., Физика Земли, № 2, 1971.
8. Твалтвадзе Г. К. Строение земной коры в Грузии и построение систем теоретических годографов. Изд. АН Груз ССР, Тбилиси, 1960.
9. *By Kaila K. L., Reddy P. R. and Haril Narain, P-wave travel times from shallow earthquakes recorded in India and inferred upper Mantle Structure, Bull. of the Seism. Soc. of Am., vol. 58, № 6, december, 1968.*
10. *Jeffreus H., Bullen K. E. Seismological tables. Brit. Ass, Gray—Milne Trust, 1940, 1958.*
11. *Jeffreus H. The times of P in Japanese and European earthquakes, Mon. Not, R. Astr. Soc., Geophys. Suppl., 6, 557. 1954.*