Известия АН Арм.ССР, Науки о Земле, XXXVI, № 6, 80—85, 1983

УДК: 550.34.052 : 681.3

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

А. А САЛКЯН, Э. Г. ГЕДАКЯН, Г. В. САРГСЯН

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ОСРЕДНЕННОГО РЕГИОНАЛЬНОГО ГОДОГРАФА АРМЯНСКОГО НАГОРЬЯ

В работах [5, 6] были подробно изучены кинематические особенности времен пробега P—волн на основе данных землетрясений Армянского нагорья, записанных на стационарных сейсмических станциях Кавказа. В результате была разработана методика систематизации кинематичеоких параметров P—волн, на основании анализа невязок времен первых вступлений от землетрясений, представляющая собой многоэтапный цикл с обратными связями. Одним из этапов предложенной нами методики явился расчет осредненной скоростной модели земной коры и построение осредненного регионального годографа Армянского нагорья (ОРГАН). Рассчитанные на ЭВМ соответствующие времена пробега приведены в табл. 1.

ОРГАН непосредственно может быть применен в сейсмологической практике. Однако, имея в виду, что он является годографом лишь первых вступлений, а поиск гипоцентров является трудоемким процессом, и нет возможности использовать его по наблюдениям одной станции, то возникает необходимость определения времени в гипоцентре (T_0) способом, не зависящим от годографа. Мы прежде всего обратились к широко известному методу Вадати, с помощью которого определили T_0 для 100 землетрясений Армянского нагорья.

Оказалось, что наклон графика Вадати меняется в зависимости от эпицентрального расстояния (или от $t_s - t_p$). Величину наклона можно охарактеризовать угловым коэффициентом ($tg\varphi$):

$$tg\varphi = \frac{t_s}{t_p} - 1. \qquad (1)$$

Далее эта величина определялась при различных интервалах эпицентрального расстояния путем осреднения всех экспериментальных данных внутри каждого интервала. Ниже приводятся поинтервальные значения величины $tg\varphi$.

Δ, км	0–40	50–90	100–180	190–220	230–600
$t_s - t_p$ с.	0–5	6–12	13–22	23–27	27
$tg\varphi$	0,708±0,005	0,721±0.007	0,733±0.010	0,749±0,016	0,738±0.009

Таблица 1

Осредненный региональный годограф Армянского нагорья

Времена пробега t_p, с	Эпицентральные расстояния для глубин гипоцентров										
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	9	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	14	12	11	2	0	0	0	0	0	0	0
4	18	18	17	14	7	0	0	0	0	0	0
5	23	23	23	22	18	12	0	0	0	0	0
6	28	29	29	28	26	22	7	0	0	0	0
7	32	35	35	34	33	30	21	21	11	0	0
8	37	40	41	41	40	37	35	31	25	16	0
9	42	46	46	47	46	41	42	40	35	30	22
10	48	51	52	53	51	51	50	47	44	40	35
11	54	57	58	59	58	57	56	53	52	49	45
12	59	63	64	65	65	64	63	62	60	57	54
13	65	68	70	72	71	70	70	69	67	65	63
14	71	74	76	78	77	77	77	76	74	72	71
15	76	80	82	84	84	83	83	83	81	79	79
16	82	86	88	90	90	90	90	89	88	87	87
17	87	92	95	96	96	96	97	96	95	94	95
18	94	98	101	103	102	103	104	103	102	101	103
19	100	104	107	109	109	110	110	111	109	109	111
20	106	110	113	115	115	116	117	116	116	117	119
21	112	117	119	121	121	123	124	123	123	125	126
22	119	123	126	127	128	130	130	130	129	132	134
23	125	129	132	134	134	136	137	137	137	140	142
24	131	135	138	140	141	143	144	143	145	148	150
25	137	141	144	146	148	149	150	150	153	156	158
26	143	148	150	152	154	156	157	158	161	164	166
27	150	154	157	159	161	163	164	166	169	172	174
28	156	160	163	166	168	170	171	174	177	180	181
29	162	169	172	174	176	178	182	185	188	190	190
30	168	172	176	179	181	183	186	190	193	196	198
31	174	179	183	186	188	191	194	197	201	204	206
32	181	186	189	192	195	199	202	205	209	212	214
33	187	192	196	199	203	207	210	213	217	220	222
34	194	199	203	207	211	215	218	221	225	228	230
35	201	206	210	215	219	223	226	229	233	236	238
36	207	212	218	223	227	231	234	237	240	244	246
37	214	219	226	230	235	239	242	245	248	252	253
38	221	228	234	238	242	247	250	253	256	259	261
39	229	236	241	246	250	255	258	261	264	267	269
40	237	244	249	254	258	263	266	269	272	275	277
41	245	252	257	262	266	271	274	277	280	283	285
42	253	260	265	270	274	279	282	285	288	291	293
43	261	268	273	278	282	286	290	293	296	299	301
44	269	275	281	286	290	294	297	301	304	307	309
45	277	284	289	294	298	302	305	309	312	315	317
46	285	292	297	302	306	310	313	317	320	323	325
47	293	300	305	310	314	318	321	325	328	331	333
48	301	308	313	318	322	326	329	332	336	339	341
49	309	315	321	326	330	334	337	340	344	347	349
50	316	323	329	331	338	342	345	348	352	355	357
51	324	331	337	342	346	350	353	356	359	363	365
52	332	339	345	350	354	358	361	364	368	371	373
53	340	347	353	358	362	366	369	372	375	379	381
54	348	355	361	365	370	374	377	380	383	387	388
55	356	363	369	373	377	382	385	388	391	394	396
56	364	371	376	381	385	390	393	396	399	402	404
57	372	379	384	389	393	398	401	404	407	410	412
58	380	387	392	397	401	406	409	412	415	418	420
59	388	395	400	405	409	413	417	420	423	426	428

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
60	396	403	408	414	417	421	425	428	431	434	436
61	404	111	416	421	425	429	432	436	439	442	444
62	412	419	424	429	433	437	440	444	447	450	452
63	420	427	432	437	441	445	448	452	455	458	460
64	428	435	440	445	449	453	456	460	463	466	468
65	436	443	448	453	457	461	464	467	471	474	476
66	444	451	456	461	465	469	472	475	479	482	484
67	451	458	464	467	473	477	480	483	487	490	492
68	459	466	472	477	481	485	488	491	495	498	500
69	467	474	480	485	489	493	496	499	503	506	508
70	475	482	488	492	497	501	504	507	510	514	516
71	483	490	496	500	505	509	512	515	518	521	523
72	491	498	504	508	512	517	520	523	526	530	531
73	499	506	511	516	520	525	521	531	534	537	539
74	507	514	519	524	528	533	536	539	542	545	547
75	515	522	527	532	536	541	544	547	550	553	555
76	523	530	535	540	544	548	552	555	558	561	563
77	531	538	543	548	552	556	560	563	566	569	571
78	539	546	551	556	560	564	567	571	574	577	579
79	547	554	559	564	568	572	575	579	582	585	587
80	555	562	567	572	576	580	583	587	590	593	595
81	563	570	575	580	584	588	591	594	598	601	603
82	571	578	583	588	592	596	599	602	606	609	611
83	579	585	591	596	600	604	607	610	614	617	619
84	586	593	599	604	608	612	615	618	622	625	627
85	591	601	607	612	616	620	623	626	630	633	635

Принимая во внимание, что $t_p = T_p - T_0$ и $t_s - t_p = T_s - T_p$, где T_s и T_p — времена вступлений поперечных и продольных сейсмических волн на станции, получаем формулу для определения времени в гипоцентре с учетом особенностей графика Вадати на отдельных интервалах эпицентральных расстояний:

$$T_0^i = T_p^i - \frac{T_s^i - T_p^i}{tg\,\varphi}. \tag{2}$$

Преимущество предложенной нами формулы заключается в том, что она дает возможность определить время в гипоцентре по данным лишь одной станции. Кроме того, возникает возможность осуществления контроля по данным наблюдений отдельных станций, а именно: в рассмотрение принимаются данные тех станций, которые удовлетворяют определенным критериям. В качестве критерия принималось

$$\delta_{T_0} \leqslant 0{,}3c., \tag{3}$$

где

$$\delta_{T_0} = \sigma / \sqrt{n}, \tag{4}$$

а

$$\sigma = \left\{ \frac{1}{n-1} \sum (T_0^i - T_0)^2 \right\}^{1/2}, \tag{5}$$

где

$$T_0 = \frac{1}{n} \sum T_0^i. \tag{6}$$

В процессе счета T_0 аномальные значения T_0^i выбрасываются до выполнения критерия (3).

Количественная оценка точности определения координат эпицентров проводится с помощью расчетов радиуса области ошибок.

$$\bar{r} = \frac{1}{n} \sum r_i . \tag{7}$$

Со стандартной ошибкой

$$\sigma_r = \left\{ \frac{1}{n-1} \sum (r_i - \bar{r})^2 \right\}^{1/2}, \tag{8}$$

где

$$r_i = | \Delta_i - \Delta_i^* | . \tag{9}$$

Δ_i — наблюдаемые эпицентральные расстояния отдельных станций, а Δ_i^* — их значения, рассчитанные от полученного эпицентра.

В итоге выбирается та глубина гипоцентра, для которой $\bar{r}$ оказывается минимальным.

При помощи ОРГАН--а, с использованием предложенного выше модифицированного способа Вадати определения T_0, были определены основные параметры гипоцентров 474 землетрясений Армянского нагорья, происшедших за период с 1968 по 1973 г.г., с $K \geqslant 9$.

Следующим этапом явилось изучение параметров функции плотности распределения невязок к ОРГАН-у. В итоге были рассчитаны станционные поправки к ОРГАН-у для ранее выделенных четырех зон— Джавахетской, Ардагано-Карской, Бардог-Котурской и Зангезурской [6].

Используя полученные станционные поправки, были уточнены основные параметры гипоцентров вышеуказанных 474 землетрясений.

На рис. 1 приведено распределение землетрясений по глубинам для различных энергетических классов. Исходя из статистической представительности, кривые распределения землетрясений по глубинам построены для энергетических классов $9 \leqslant K < 10$ и $K \geqslant 10$ в отдельности. Как видно, более сильные землетрясения имеют и большие глубины. Для Джавахетской и Ардагано-Карской зон максимум приходится на глубину 15 *км*. Однако, если для землетрясений с $K \geqslant 10$ для Джавахетской зоны имеем один отчетливый максимум, то для землетрясений с $9 \leqslant K < 10$ максимум захватывает более широкую полосу глубин (5—15 *км*). Для землетрясений с $9 \leqslant K < 10$ для Бардог-Котурской и Зангезурской зон максимум находится на глубинах 10 и 5 *км* соответственно, тогда как для землетрясений с $K \geqslant 10$ этот максимум на 5 *км* глубже.

К сожалению, нами не рассматривались более слабые землетрясения ($K < 9$). Однако, судя по тенденции распределения землетрясений по глубинам, можно полагать, что они будут приурочены к более верхним слоям земной коры, в частности для Джавахетской зоны это подтверждается данными Г. Я. Мурусидзе [4].

Применимость ОРГАН—а с соответствующими станционными поправками хорошо демонстрирует результаты определения параметров источника для взрыва 17.07.1977 г., 11 *ч* 59 *мин* по Гринвичу. Этот взрыв, мощностью 50 *т* ВВ, был произведен недалеко от г. Кировакана (с коор-

динатами $\varphi = 40°86$, $\lambda = 44°44$) Институтом геофизики и инженерной сейсмологии АН Арм.ССР. Данный взрыв был зарегистрирован большинством сейсмических станций Кавказа как землетрясение с $K = 9$, однако четкие первые вступления оказались лишь на 13 станциях Кавказа ($\Delta = 0—250$ *км*, азимутальный створ $\approx 300°$).

На рис. 2 приведены координаты взрыва по различным годографам Кавказа [1, 2, 3, 4, 7] и по ОРГАН-у с применением станционных поправок.

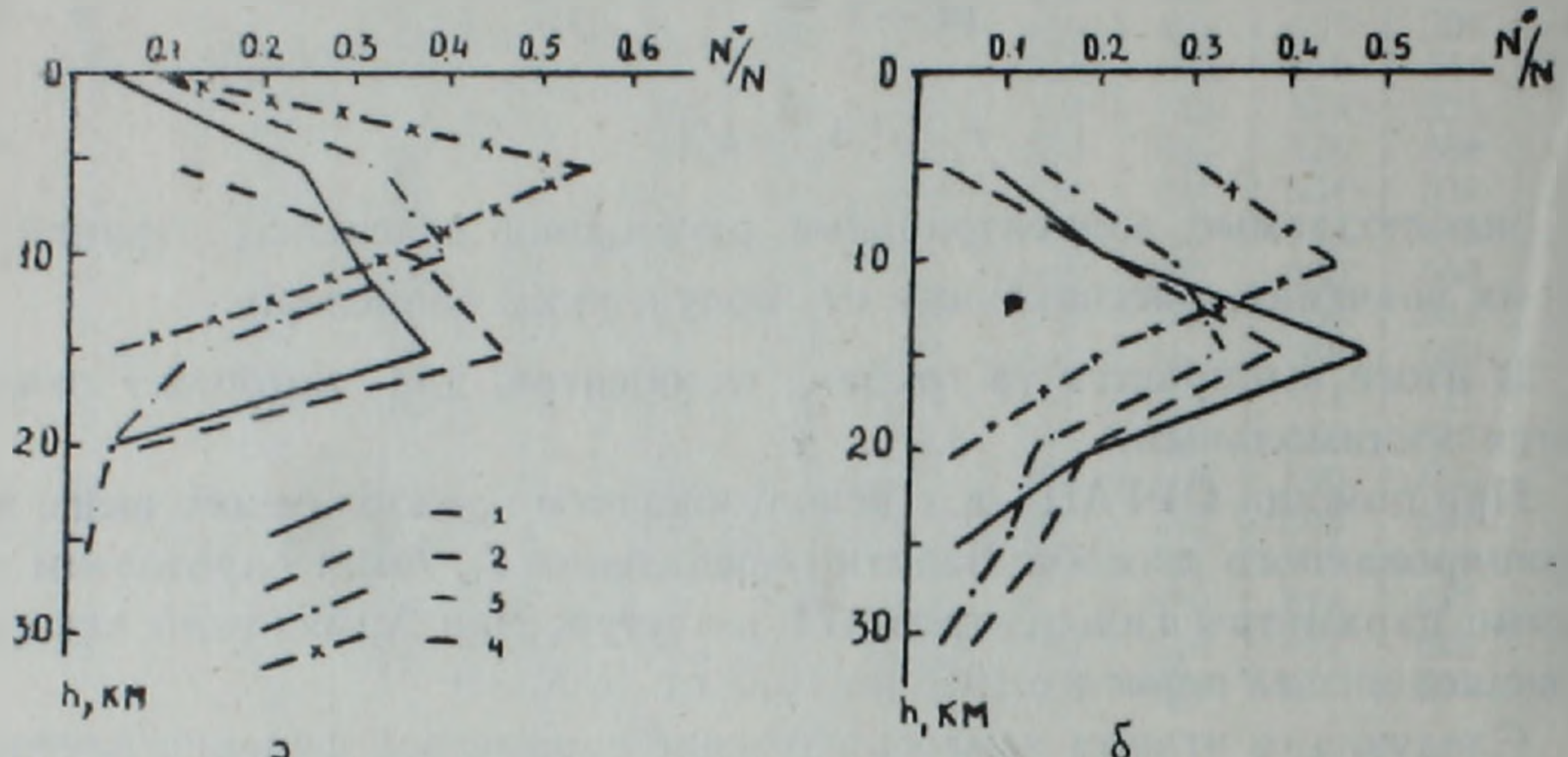

Рис. 1. Распределение землетрясений по глубинам. а—для землетрясений с $9 < K < 10$; б— для землетрясений с $K > 10$; 1, 2, 3, 4—для Джавахетской, Ардагано-Карсской, Бардог-Котурской и Зангезурской зон соответственно.

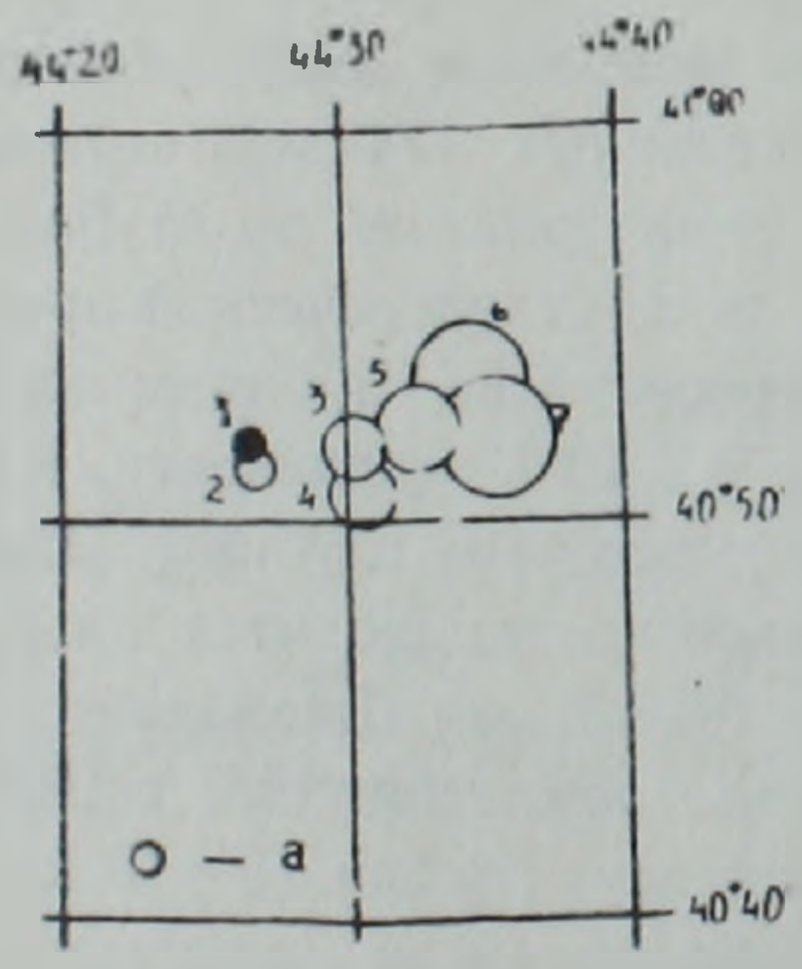

Рис. 2

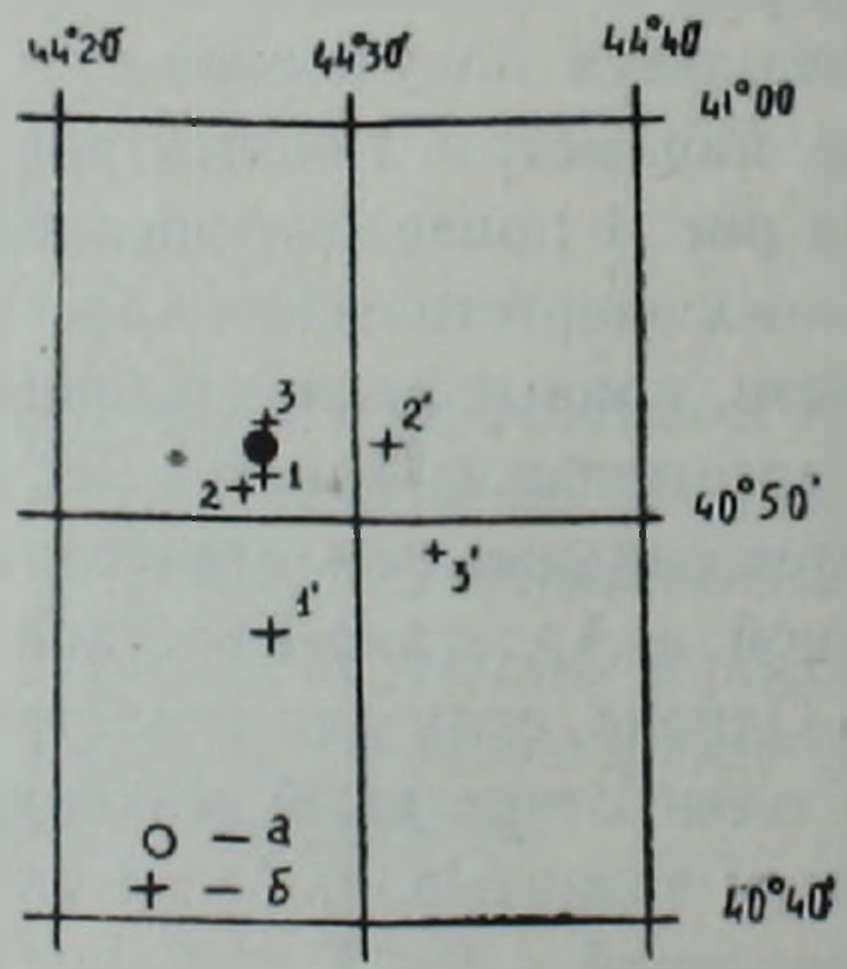

Рис. 3

Рис. 2. Пример определения координат взрыва 17.07.1977 г. по различным годографам. 1—истинные координаты взрыва; 2,3,4,5,6,7—координаты взрыва по годографам Саакяна А. А. (ОРГАН); Левицкой А. Я., Лебедевой Т. М. [3]; Твалтвадзе Г. К. [7]; Мурусидзе Г. Я. [4]; Джибладзе Э. А., Гоцадзе О. Д. [1]; Карапетян Н. К. [2] соответственно. а—радиус области ошибок, соответствующий 1 *км*.

Рис. 3. Пример определения координат взрыва 17.07.1977 г. по данным различных систем наблюдений. а—истинные координаты взрыва; б—координаты взрыва по различным системам наблюдений. 1,2,3—координаты взрыва по ОРГАН-у (Саакян А. А.); 1′,2′,3′—координаты взрыва по региональному годографу Кавказа (Левицкая А. Я., Лебедева Т. М.); 1.—1′—по данным станций «Степанаван», «Ахалкалаки», «Бакуриани», «Они», «Тбилиси»; 2—2′—по данным станций «Варденис», «Горис», «Ереван», «Кировабад», «Лагодехи»; 3—3′—по данным станций «Ахалкалаки», «Бакуриани», «Кировабад», «Ленинакан», «Тбилиси».

Как видно, результаты определения всех параметров гипоцентров по ОРГАН-у оказались определенными с высокой степенью точности, а именно: отличия от истинных параметров следующие—координаты эпицентра—1 *км*, время в очаге—0,3 *с.*, глубина—0 *км*.

Из остальных годографов Кавказа наилучшую согласованность с наблюденными данными показал региональный годограф Кавказа, построенный А. Я. Левицкой, Т. М. Лебедевой [3]. Поэтому на рис. 3 приведено сравнение координат взрыва, определенных по годографам А. Я. Левицкой, Т. М. Лебедевой и ОРГАН-у по данным различных систем наблюдений.

Как видно, независимо от систем наблюдений, применение ОРГАН-а с использованием станционных поправок позволяет получить координаты взрыва с высокой степенью точности (максимальное отклонение менее 3 *км*).

Таким образом, проведенные исследования создают возможность накопления необходимых сейсмологических данных, которые могут быть основой для дальнейшей детализации строения земной коры Кавказа.

ИГИС АН Армянской ССР,
Сейсмическая станция «Степанаван»

Поступила 23. IX. 1983.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Джибладзе Э. А., Гоцадзе О. Д.* Общие осредненные годографы Кавказа. Труды Ин-та геофизики АН Груз. ССР, т. XX, Тбилиси, 1962.
2. *Карапетян Н. К.* Годографы сейсмических волн для землетрясений Армянского нагорья. Изд. АН Арм.ССР, Ереван, 1974.
3. *Левицкая А. Я., Лебедева Т. М.* Годографы сейсмических волн Кавказа. Квартальный сейсмологический бюллетень, 21, № 1—4, Тбилиси, 1953.
4. *Мурусидзе Г. Я.* Строение земной коры и верхней мантии в Грузии и сопредельных районах по сейсмологическим и сейсморазведочным данным. Мецниереба, Тбилиси, 1976.
5. *Саакян А. А.* Эпицентральные поправки к стандартному годографу Джеффриса-Булена для Армянского нагорья. Известия АН Арм. ССР, Науки о Земле, № 5, 1981.
6. *Саакян А. А.* Станционные аномалии времен пробега Р-волн от землетрясений Армянского нагорья. Известия АН Арм.ССР, Науки о Земле, № 1, 1982.
7. *Твалтвадзе Г. К.* Строение земной коры в Грузии по сейсмическим данным и построение систем теоретических годографов. Мецниереба, Тбилиси, 1960.