

УДК 55:574

Л. А. Ахвердян, Р. В. Амирбекян, В. Ж. Агаронян, М. Андриос  
Г. Г. Сарксян

Пространственно-временное развитие и энергетические характеристики  
афтершокового процесса землетрясения «Спитак-88»

(Представлено академиком АН Армении А. А. Габриеляном 31/VII 1990)

Землетрясение 7 декабря 1988 г., происшедшее в Армении около города Спитак (рис. 1), явилось одним из самых разрушительных землетрясений в истории Кавказа. По данным сети сейсмических станций Кавказа его магнитуда достигла  $M=6,9$ , время в очаге 07 ч 41 мин 23,13 с по Гринвичу. Координаты основного толчка, рассчитанные с помощью программы NURO71PC<sup>(1)</sup> с использованием горизонтально-слоистой модели, полученной на основе осредненного регионального годографа Армянского нагорья А. А. Саакяна<sup>(2)</sup>, таковы:  $\varphi=40^{\circ}52'07''$ ;  $\lambda=44^{\circ}13'08''$ ; глубина  $D=8$  км. Основному толчку предшествовала серия слабых форшоков, самый сильный из которых произошел 6 декабря 1988 г. в 15 ч 27 мин 34,9 с с координатами:  $\varphi=40^{\circ}54'38''$ ;  $\lambda=44^{\circ}13'06''$ ; глубина  $D=44$  км; магнитуда  $M=3,0$ .

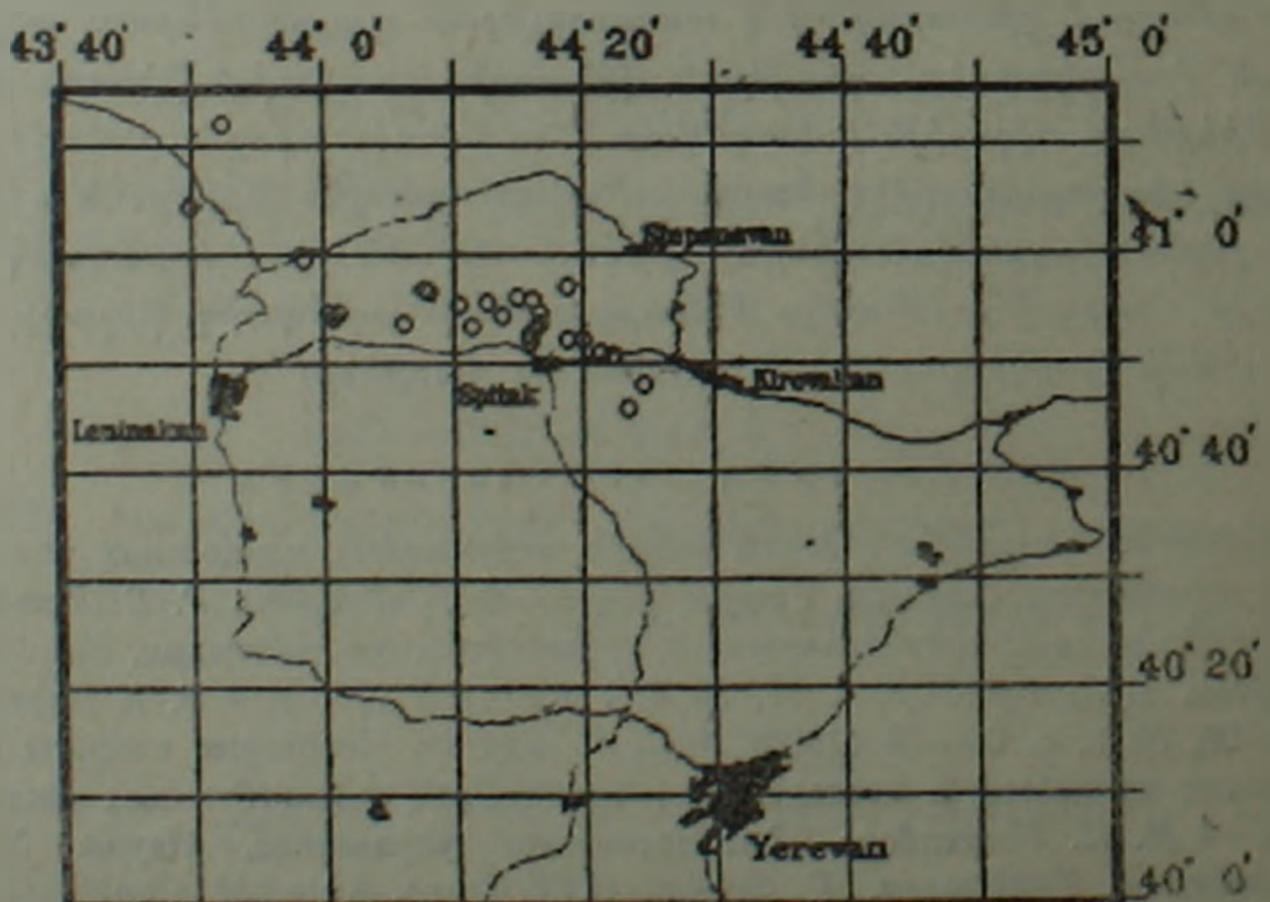


Рис. 1. Карта эпицентральной зоны с нанесенными на нее эпицентрами толчков с энергетическим классом  $K > 11$

За основным толчком в 07 ч 45 мин 44с последовал главный афтершок с координатами:  $\varphi = 40^{\circ}50'18''$ ;  $\lambda = 44^{\circ}11'09''$ ; глубина  $D = 8$  км; магнитуда  $M = 5,8$ . Впоследствии различными временными и стационарными сейсмическими станциями было записано более 3 тысяч землетрясений (с классами начиная с четвертого в период работы французской телеметрической сети).

Наблюдение за афтершоковым процессом велось самым детальным образом благодаря большому количеству временных стаций, которые были установлены в эпицентральной зоне. При обработке данных для расчета эпицентров использовались первичные данные как стационарной сети сейсмологических наблюдений Кавказа, так и временных телеметрических и автономных станций, установленных французской и американской экспедициями.

Точность службы времени французской и американской сетей была выше, чем региональной сети Кавказа (ошибка при синхронизации часов по сигналам точного времени не превышала 5 м/с). В связи с этим при расчетах гипоцентров землетрясений данные о вступлениях Р-волн и S-волн с американских и Р-волн с французских станций учитывались в расчетах с большим весом, чем данные кавказских станций. Вступления S-волн на французских станциях (исключая центральную телеметрическую) не были достаточно надежными в связи с наличием регистрации только вертикальной компоненты, поэтому они также учитывались с меньшим весом. Исходя из вышесказанного, вступления S-волн в целом по данным всех станций учитывались при расчетах гипоцентров с меньшим весом, чем соответствующие вступления Р-волн. В результате описанного подхода к совместному использованию всех имеющихся в нашем распоряжении данных удалось достичь следующих параметров точности: средняя ошибка расчета эпицентра не превышает 1 км, а средняя ошибка расчета глубины не превышает 2,5 км.

На рис. 2 изображена карта эпицентров толчков с  $K > 11$  в период с 7 декабря по 31 марта. Таблица содержит их каталог. Приведенные в таблице ошибки по глубине и координатам эпицентра характеризуют точность расчета гипоцентра в рамках использованного горизонтально-слоистого приближения скоростной модели. 19 апреля в эпицентре главного толчка был произведен калибровочный взрыв. Расчет его гипоцентра, сделанный по данным Кавказской региональной сети, показал, что реальная ошибка в определении гипоцентров не превосходит рассчитываемую в рамках используемой модели.

Афтершоковая активность, последовавшая вслед за главным толчком, имела неоднородный характер как во времени, так и в пространстве. Эпицентр главного толчка попадает на изгиб облака афтершоков в районе Спитака. Это, по-видимому, не является случайным совпадением, так как изгибы разломов играют особую роль в аккумуляровании напряжений и в процессах инициации и затухания сейсмического процесса (3).

Как видно из рис. 2, основная часть афтершоковой области имеет форму дуги с двумя плечами, одно из которых короче другого. Кроме того, можно выделить ответвление, берущее начало в центре основной области и простирающееся на северо-запад к Джавахетскому нагорью. Плотность очагов в этой (Лукасянской) зоне заметно ниже. Что касается основной афтершоковой области, то необходимо отметить, что ее также можно разделить на три пространственные зоны, условно называемые Ленинаканской, Спитакской и Кироваканской, отличающиеся друг от друга по глубине, плотности очагов афтершоков и выделенной энергии.

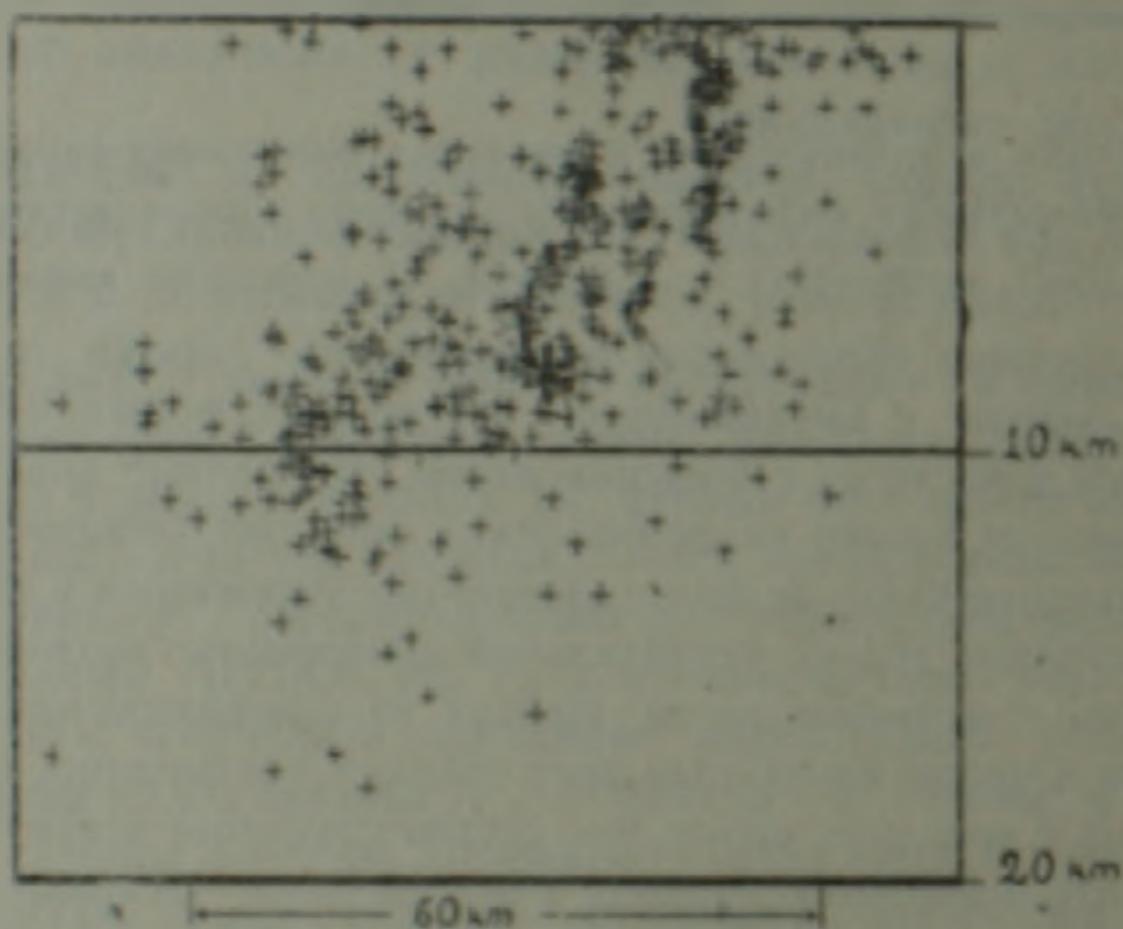


Рис. 2. Карта эпицентральной зоны с нанесенными на нее эпицентрами за период с 1 декабря 1948 г. по 31 марта 1950 г.

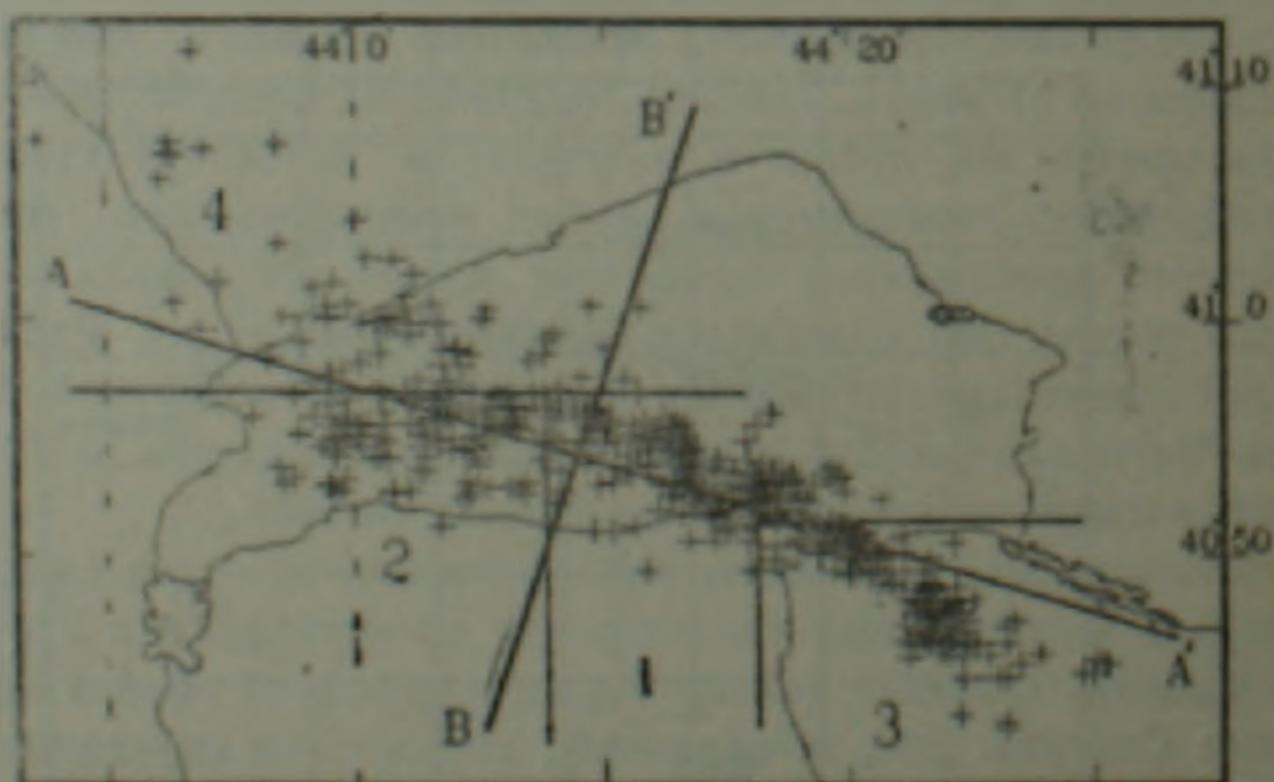


Рис. 3. Вертикальный разрез облака афтершоков по оси А—А' и В—В'

На рис. 3 показан вертикальный разрез облака по оси А—А' и В—В'. Из него видно, что в Кироваканском крыле облака афтершоков

уплотняется и приближается к поверхности. Ленинаканская же зона отличается наибольшей глубиной толчков и их наибольшей рассеянностью.

Каталог афтершоков с энергетическим классом  $K > 11$  за период с 7 декабря 1988 г. по 31 марта 1989 г.

Дата	Время	Широта, °	Долгота, °	ЕРН, км	Глубина, км	ЕРЗ, км	RMS, с	Энергетический класс
881207	8 6 27,01	40-55,76	41-14,73	1,4	12,07	2,4	0,24	11,8
881207	857 2,71	40-53,99	43-59,28	1,4	5,00	2,0	0,29	11,0
881207	934 33,69	41-54,10	41-12,46	0,9	11,69	1,1	0,24	12,2
881207	1056 49,60	40-53,25	54-15,36	0,9	10,26	1,5	0,28	11,5
881207	18 5 42,03	40-56,85	44-17,52	2,8	9,88	4,4	0,25	11,4
881207	20 7 28,60	40-53,12	44-9,91	1,9	9,91	1,5	0,15	11,5
881208	115 55,86	40-55,31	44-11,23	1,2	12,99	2,1	0,40	11,5
881208	149 37,02	40-56,47	44-6,18	1,0	0,76	1,8	0,25	11,4
881208	4 9 36,01	40-55,04	44-9,02	1,0	10,68	1,9	0,30	11,5
88 208	536 28,96	40-56,33	44-6,78	1,6	13,48	1,9	0,28	11,0
881208	2032 5,02	40-55,94	44-13,52	0,8	7,36	2,0	0,28	11,7
881208	22 8 32,20	40-52,47	41-14,62	0,5	6,13	1,0	0,20	11,1
881210	1913 57,38	40-50,35	44-21,05	0,9	7,63	1,8	0,33	11,3
881212	1536 16,36	40-51,93	41-18,68	0,8	10,88	2,5	0,16	11,0
881219	1729 33,88	40-51,89	44-17,50	0,9	6,61	1,3	0,20	11,4
881230	1328 48,28	40-51,20	43-59,37	0,7	14,09	0,8	0,18	11,2
881231	4 7 9,81	40-54,34	43-58,92	0,5	13,58	0,7	0,17	12,0
890104	729 40,00	40-54,33	44-15,40	0,5	7,36	0,4	0,21	12,0
890105	815 13,19	40-50,59	41-20,03	0,6	9,65	0,6	0,27	11,0
890108	13 9 21,10	40-53,30	44-4,84	0,5	7,21	0,7	0,25	11,4
890109	20 1 29,16	41-3,94	43-48,04	2,1	22,63	2,1	0,49	11,4
890124	231 8,38	40-51,55	44-14,63	0,5	8,14	0,6	0,15	11,0
890219	524 4,91	40-52,82	44-15,15	0,6	5,68	0,9	0,20	11,0
8 0220	22 6 53,50	40-45,57	41-22,29	0,7	6,61	0,8	0,20	11,0
890321	2041 34,20	41-11,44	43-50,41	0,7	9,34	1,7	0,21	11,0
890330	1636 22,73	40-59,29	43-56,72	0,7	9,35	1,0	0,20	12,4

Примечания: ЕРН — радиус ошибки в определении эпицентра; ЕРЗ — ошибка в определении глубины; RMS — среднеквадратичная невязка времен вступления  $P$  и  $S$  волн.

При рассмотрении графика выделения энергии (рис. 4) можно заметить определенную синхронность в активизации Спитакской и Ленинаканской зон, а также их асинхронность по отношению к срабатываниям в Кироваканской зоне. Так, например, 8 декабря, когда в Ленинаканской и Спитакской зонах было выделено более чем по  $10^{12}$  Дж энергии, в Кироваканской зоне наблюдалось относительное зати-

ше. В период относительного затишья в двух основных зонах с 10 по 27 декабря в Кироваканской зоне произошло одно из наиболее значительных для нее землетрясений с классом  $K=11,4$ . Отметим также, что затухание активности процесса в трех основных зонах афтершоковой области начиная со второй половины января сопровождалось активизацией четвертой Гукасянской зоны (рис. 4), а также расползанием процесса в целом.

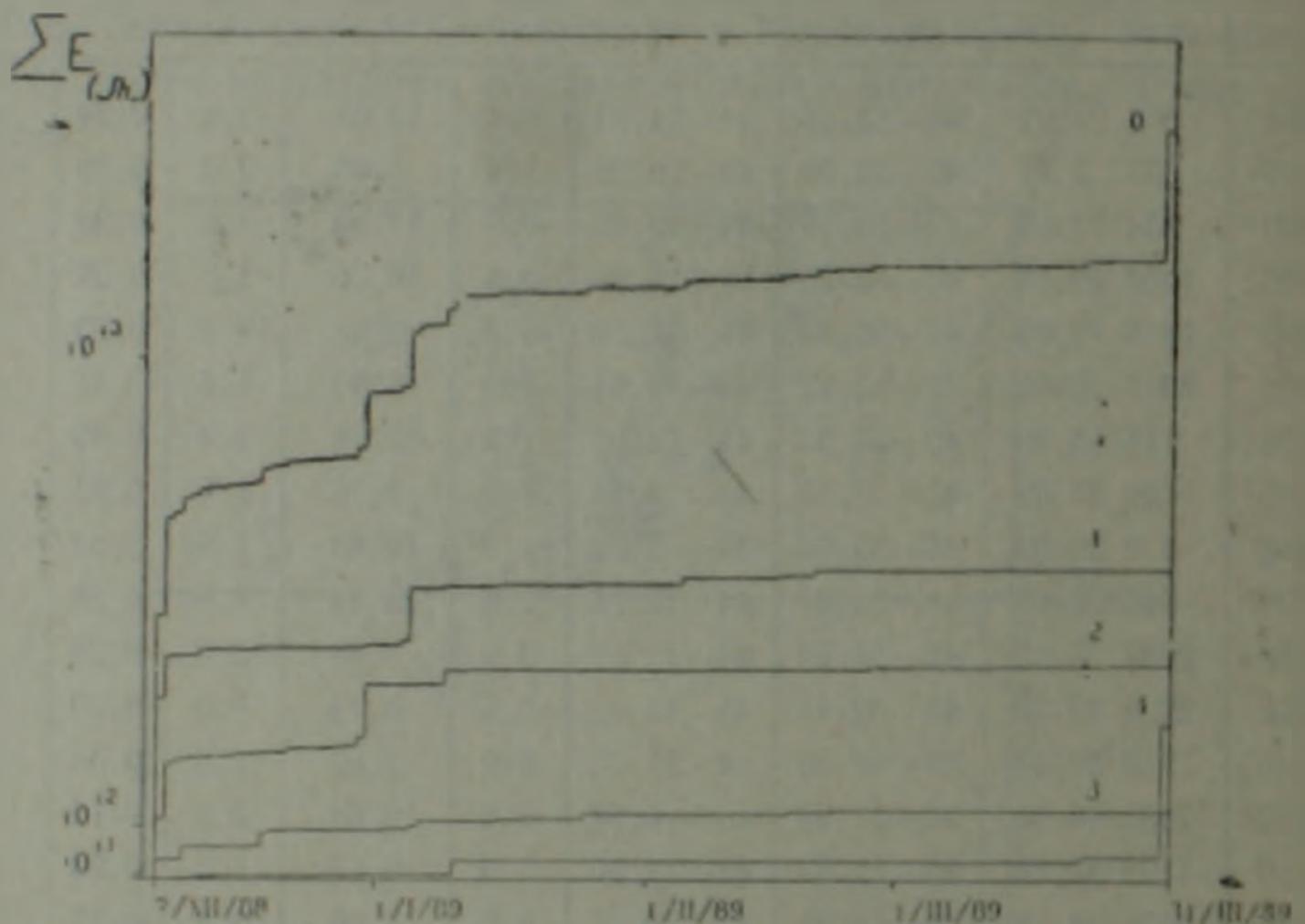


Рис. 4. График выделения энергии (Дж.). 1 — Спитакская зона; 2 — Ленинканская зона; 3 — Кироваканская зона; 4 — Гукасянская зона; 0 — суммарно

Одновременно анализ механизмов землетрясений за период с 7 декабря по 31 января указывает на определенные закономерности во времени и в пространстве изменений направления подвижки в очагах (4). По типам механизмов эпицентральная зона может быть разбита на те же четыре участка. Таким образом, разбиение афтершоковой области на участки на основе характерных особенностей пространственно-временного хода афтершоков и выделения энергии согласуется с распределением типов механизмов, а также с гипотезой о трех субочагах главного толчка.

Вышеизложенное позволяет предположить, что поле напряжений вдоль разлома имело сложную пространственную структуру. Вследствие этого выделение энергии, как и релаксация напряжений в ходе процесса проходили неравномерно и во времени и в пространстве. Причиной же неоднородности сложившегося к моменту главного толчка поля напряжений явилась, по-видимому, сложность геометрической формы участка разлома, проявившего себя в сейсмическом процессе Спитакского землетрясения. Наиболее характерной особенностью фор-

мы этого участка можно считать достаточно крутой изгиб вблизи Спитака, явившийся, как можно предположить, основным аккумулятором «упругой» энергии.

Таким образом, эпицентральная зона естественным образом распадается на три основные области Спитакскую, Ленинаканскую, Кировиканскую, а также проявившуюся на позднем этапе Гукасянскую, условно называемую постафтершоковой. Каждая из этих областей характеризуется активизацией и затишьем, глубинами гипоцентров, их плотностью, величиной сечения облака гипоцентров, а также типами механизмов. Из всего этого можно предположить, что напряженное состояние среды вокруг разлома имело сложную пространственную структуру. Причиной этого явилась, по-видимому, сложная геометрическая форма активизировавшегося участка разлома с характерным изгибом в центре эпицентральной зоны вблизи Спитака.

Авторы выражают благодарность экспедициям Страсбургского Института Физики Земли (руководитель А. Систернас) и Института Физики Земли АН СССР (руководитель С. С. Арефьев) за предоставление данных, а также Э. Крэнзвинку и Р. Бочерту за программное обеспечение.

Гарнийская геофизическая  
обсерватория ОМСЭ ИГИС Академии наук Армении

Լ. Ա. ՀԱՆԿՆԵՐԳՅԱՆ, Ռ. Վ. ԱՄԻՐԵՅԿՅԱՆ, Վ. Ժ. ԱՎԱՐՈՆՅԱՆ, Խ. ԱՆԻՐՅՈՒՄ,  
Հ. Հ. ՍԱՐԳՍՅԱՆ

«Ուպրոտակ-88» երկրաշարժի կրկնվող հարվածների ժամանակատարածային  
զարգացումը և էներգետիկ բնութագիրը

Կրկնվող հարվածների գրանցումից ստացված սեյսմոլոգիական նյութերի մշակումը, որոնք ստացվել են Կովկասի սեզիոնալ, մշտական գործող սեյսմիկ ցանցի, ինչպես նաև ամերիկյան և ֆրանսիական արշավախմբերի կողմից տեղադրված սեյսմիկ կայանների օգնությամբ, ստացվել է, որ ըստ կրկնվող հարվածների, օջախի տարածական մակերեսը կարելի է բաժանել 3 հիմնական գոտիների, որոնք իրարից տարբերվում են ակտիվացման և լոռոթյան շրջանով, հիպոկենտրոնի խտությամբ օջախների խորությամբ, կրկնվող հարվածների մակերեսային կտրվածքով, էներգիայի գումարային անշատոամով, ինչպես նաև մեխանիզմների տեսակներով:

Արված է եզրակացություն, կապված խզման զոնայի ակտիվացման և շարվածա-ալյաձևափոխության վիճակի բարդ կառուցվածքի մասին:

#### ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

1 IASPEI software library, v. 1. Edited by W. K. Lee. Published by IASPEI in collaboration with Seismological Society of America, 1974. P. A. A. Cozzani. Изв. АН АрмССР. Научн о Земле, т. № 5, с. 75—81 (1981). 2 G. Kiss, J. Nabelek, Science, v. 228, p. 984—987 (1995). 3 Э. Г. Глобалин, В. К. Аветисян, М. А. Данилова и др. Изв. АН АрмССР Научн о Земле, т. № 3, с. 71—77 (1969).