ЛИТЕРАТУРА

- 1 Ананян В. Л., Араратян Л. А. Атмосферные выпадения, их химический состав и радноактивность в Армянской ССР Ереван: Изд. АН АрмССР, 1990, 91 с
- 2 Давтян Г. С., Варданян I Т. Агрохимия биосферы. (Исследования в Армянскої ССР),—Сообщення ИАПГ АН АрмССР, № 15, 1976. с. 85—89.
- 3. Елпатьевский П. В., Нестеров В. Н. Химический состав атмосферных осадков Сихоте-Алинского биосферного заповедника как показатель фоновых характеристих атмосферы—В кн. Прикладные аспекты программы «Человек и биосфера» МАБ Труды III Совещания..., М., 1983, с. 196—212.
- 4 Петрухин В. А. Буриева Л. В., Лапенко, Чичева Т Б., Вишенский В. А. Камарденкова И. В. Фоновое содержание микроэпсыентов в природных средах (по мировым данным). Сообщение 5, Моннториии фонового загрязнения природных сред Вып. 5 Л.; Гидрометеонздат, 1989, с. 4—30
- 5. Ревазян Ф Г. Бабаян Э. Г., Халифян М. А. Характеристика химического состава стоковых вод с дерєвьев в лесах Дилижанского заповедника —Биологический журнал Армении, т. XXXVI, №3, 1983, с. 219—222.
- 6. Ровинский Ф Я., Чичева Г. Б., Виленский И. Г., Гришина Л. А., Баранооп Т. А., Кондратьева М. П., Макаров М. И., Давидавичене Л. Г., Шонаускен Д. А—В кн.: Влияние кислотных дождней на почвенные растворы и почвы моннторинг фонового загрязнения природных сред. Вып. 5. Л.: Гидрометеоиздат. 1989. с. 136—148
- 7. Учватов В. П. Фоновые и антропогенные потожи вещества в ландшафтах русской равнины—В ки.. Мониторинг фонового загрязнения природных сред Вып 5. Л.: Гидрометеонздат, 1989, с. 180—192
- 8 Шепези Д М. Относительно масштабов различных процессов загрязнения воздуха В ки Комплексный глобальный мониторинг загрязнения окружающей природной среды Тр Международного симпозиума. Гидрометеоиздат, 1980. с. 68—73.

Известия АН Армении, Науки о Земле, 1992, XLV, № 4, 40—56. УДК:550.348.436 098 (479 25)

II K KAPAHETUH

ОЧАГ СПИТАКСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕННЯ 7 ДЕКАБРЯ 1988 ГОДА И МЕХАНИЗМ ЕГО ВОЗНИКНОВЕНИЯ

В статье приводятся результаты изучения хода сейсмического процесса при Спитакском землетрясении 7 декабря 1988 г. в пространстве и во времени. По данным афтершоков определены время релаксации, характер его изменения во времени и среднее его значение, а также коэффициент визкости неупругой среды в очаговой зоне Спитакского землетрясения.

На основании проведенного исследования установлено, что Спитакское земле трясение 1988 г явилось следствием относительного движения двух соседних блоков, причем имело место поднятие северного блока и опускание южного блока. Одновременно с этим северный блок перемещался в восточном, а южный блок—в западном напр«авлениях. Следовательно, при Слитакском землетрясении 7 декабря 1988 г произошел взбросо-сдвиг.

Катастрофическое Спитакское землетрясение произошло 7 декабря 1988 г. в 7 ч. 41 мин. по Гринвичскому времени и явилось самым сильным землетрясением на территории Республики Армения за все историческое время. Магнитуда землетрясения, определенная по поверхностной волне, равна 7,0. Эпицентр землетрясения, определенный нами по инструментальным данным, расположен в 14 км к северо-западу от Спитака и имеет координаты: $\varphi = 40^{\circ} 54'$, $\lambda = 44^{\circ} 08,4'$. Глубина залегания очага равна 12 км [5]. В эпицентральной области землетрясение проявилось с силой 10 баллов.

Ранее, используя полученные результаты изучения сейсмических условии и механизма очагов землетрясений, нами было установлено, что земная кора на территории Армянского нагорья состоит из отдельных блоков, которые движутся друг относительно друга с различной скоростью [4]. При этом вектор скорости движения различных блоков имеет разную величину и направление. Движение блоков может быть как чисто поступательным, так и поступательно-вращательным.

При выделении блоков учитывались расположение эпицентров сильных землетрясений с М≥4, ориентация плоскости разрыва в очатах землетрясений, направление движения верхнего крыла разрыва, напряженное состояние и характер подвижек в очатах землетрясений Выделены блоки трех порядков (рис. 1), на границах которых возможны землетрясения различной силы и определены преимущественные узраждориле вымения различной силы и определены преимущественные

характерные линейные и площадные размеры этих блоков [4]

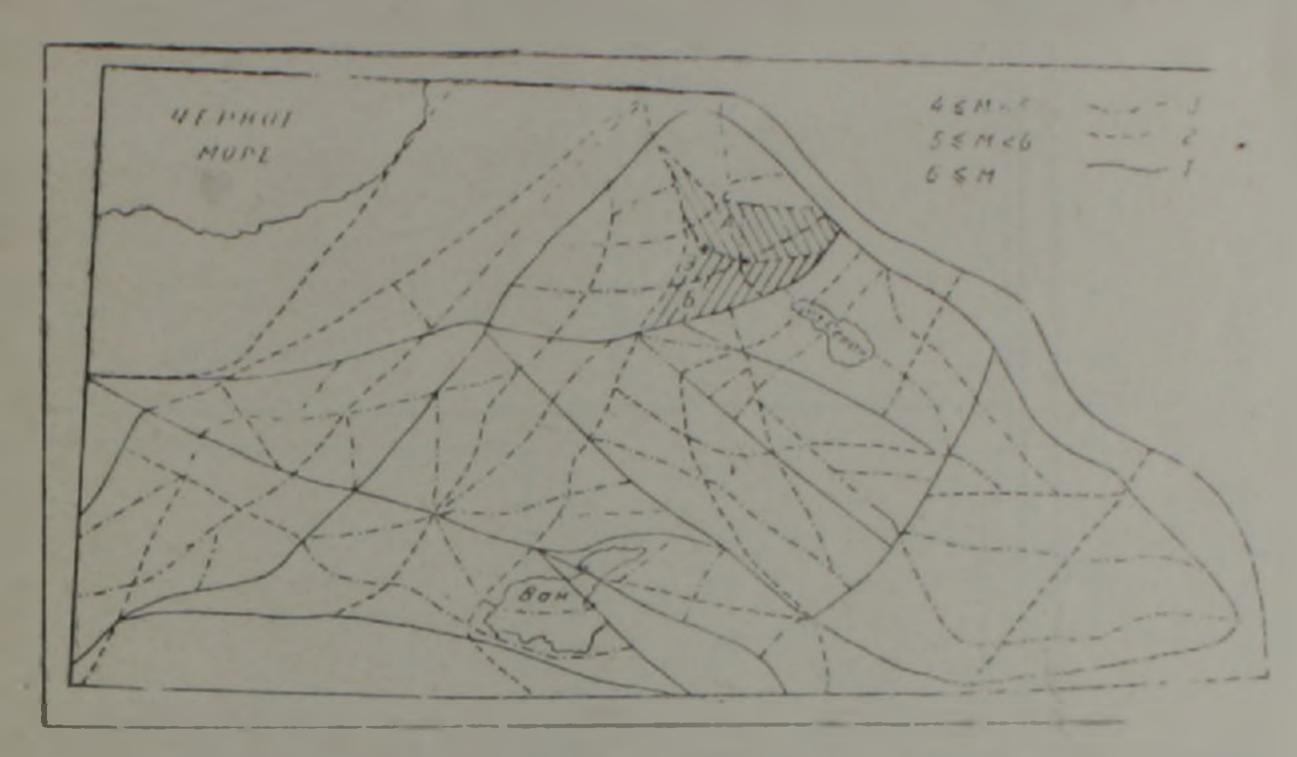


Рис. 1. Схема блокового строения земной коры Армянского нагорья. Границы блоков 1—первого порядка, 2—второго порядка, 3—третьего порядка. Э—эпицентр Спитакского землетрясения 1988 г.А и Б—блоки на границе между которыми произошло Спитакское землетрясение

С точки зрения возникновения землетрясений интересны не только сами блоки и их движение, по и границы блоков и происходящие в них процессы. При этом следует учесть, что границы блоков являются не линиями, а целой областью и между блоками имеет место не просто сцепление и трение, а в этих границах—областях происходят

определенные, иногда весьма сложные процессы.

Эпицентральная область Спитакского землетрясения 7 декабря 1988 года расположена на границе двух блоков. На рис. 1 эти блоки показаны различно направленной штриховкой и отмечены буквами А и Б. Как следует из рис. 1, простирание границы между блоками А и Б имеет северо-западное-ного-восточное направление, азимут которого в районе эпицентра Спитакского землетрясения 7 декабря 1988 г. составляет 112°. Плоскость разрыва в очаге Спитакского землетрясения, согласно нашим определениям, также имеет близширотное направление, с азимутом 101° [5]. При этом в очаге землетрясения преобладали взбросовые движения, что соответствует установленному нами ранее преобладанию взбросовых движений в очагах землетрясений Ленинаканского региона (на территории которого расположена эпицентральная зона Спитакского землетрясения), имеющих плоскость разрыва северо-западного простирания [3].

Спитакское землетрясение сопровождалось многочисленными афтершоками, самый сильный из которых произошел спустя 1 мин 22 после основного толчка и имел магнитуду 6 1/4. За полтора года (с 7 декабря 1988 г. по 7 июня 1990 г.) были отмечены 193 афтершока с

К≥9-10, ощущавшихся в эпицентре силой 3—4 и более баллов. К энергетическому классу К=9-10 отнесены афтершоки с 9,3≤К≤9,7. Почти половина всех афтершоков указанной силы, а именно 49,7% общего числа афтершоков, происшедших в течение полутора лет, отмечены в первые 10 суток песле основного толчка

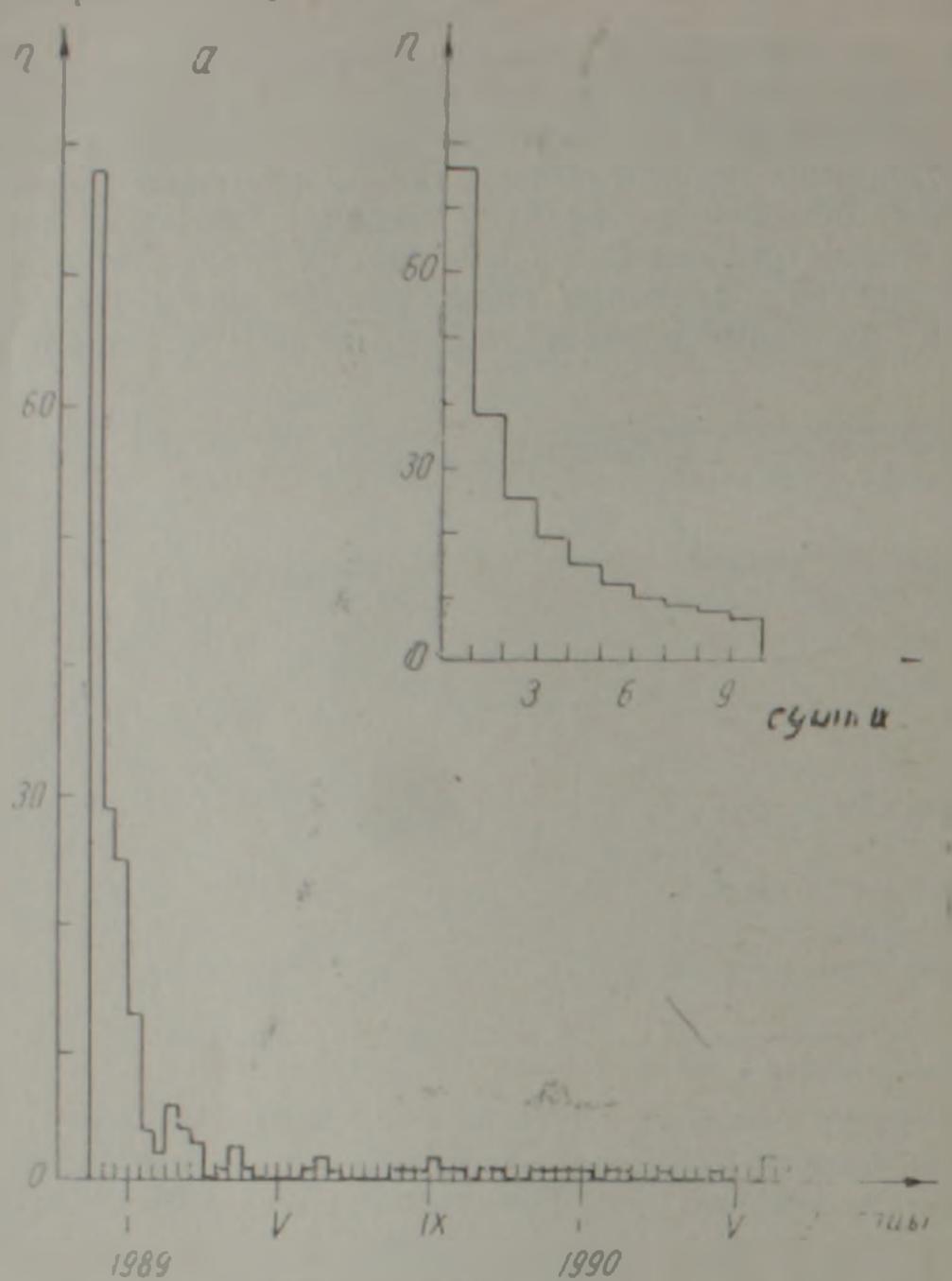


Рис 2. Распределение числа афтершоков Спитакского землетряссиня 1988 г. во времени: а—подекадное распределение числа афтершоков, б—ежесуточное распределение числа афтершоков.

Распределение афтершоков во времени показано на рис. 2*а*, гдз на графике подекадно дано число афтершоков в течение полутора лет после основного толчка Как следует из этого рисунка, число афтершоков сильно уменьшается со временем. На рис. 2*б* дан график ежесуточного распределения числа афтершоков с К≥9—10 в течение перных десяти суток после основного толчка. Спад числа № афтершоков во времени хорошо описывается гиперболическим законом Омори:

$$N = N_0 t^{-p}. \tag{1}$$

Величины параметров N_n и р вычислены по данным афтершоков, происшедших в течение первых десяти суток, методом наименьтих квадратов и имеют значения, соответственно 77,6 и 1,037. Следовательно, формула зависимости числа афтершоков Спитакского землетрясения от времени будет иметь вид:

$$N = 77.6 \cdot t^{-0.37}$$
 (2)

Расположение эпицентров афтершоков с К≥9—10, отмеченных в различные интервалы времени, показано на рис. 3. При этом область расположения эпицентров афтершоков на рис. рис. 3A, 3Б, 3Г ограни-42

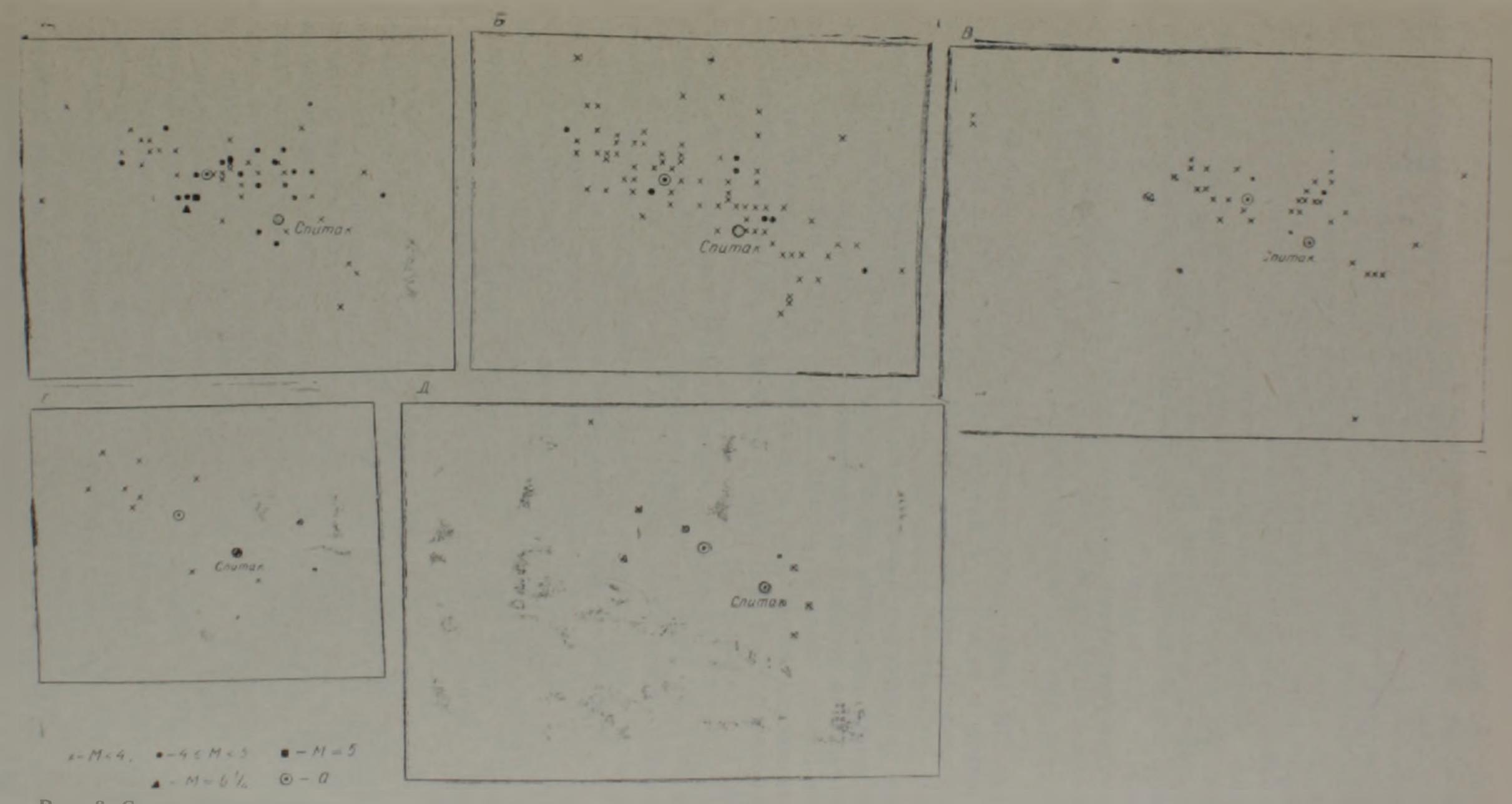


Рис 3. Схема расположения эгицентров афтершоков Спитакского землетрясения, происшедших: А—в течение 24 часов после основного толчка. Б—в период 8/XII 1988 г. 07 ч 41 мин —31/XII 1988 г. 24 ч. В—в период 1/I 1989 г. —7/VI 1989 г. 07 ч 41 мин Г в период 7/VI 1989 г. 07 ч 41 мин —7/XII 1989 г. 07 ч 41 мин —7/VI 1990 го 7 ч 41 мин. ⊙—эпицентр Спитакского землетрясения.

чена 40,6° и 11,1 северной широты, 43,8 и 14,6° восточной долготы, а на рис. рис. 3В, 3Д эта область ограничена 40,5° и 41,15° северной широты, 43,5° и 44,65° восточной долготы.

На рис ЗА дана схема расположения эпицентров афтершоков указанной силы, которые произошли в течение первых суток после основного толчка В этот период имели место 55 афтершоков такой силы, причем магнитуда ЗЗ афтершоков была меньше 4-х. Как следует из этого рисупка, область, занимаемая элицентрами афтершоков, имеет близширотное простирание с северо-запада на юго-восток. При этом большая часть эпицентров расположена восточнее, северо-восточнее и юго-восточнее от эпицентра основного толчка. Однако эпицентры двух наиболее сильных афтершоков с $M = \hat{o}^1/4$ и M = 5 расположены юго-западнее эпэицентра основного толчка.

На рис. 3Б дана схема расположения афтершоков, происшедших в течение последующих суток до конца декабря 1988 года. Область афтершоков после первых суток сохранила направленность своего близширотного простирания, но несколько расширилась в северо-западном и северо-восточном направлениях от основного толчка. В этот период произошло 77 афтершоков с К≥9—10, причем 70 афтершсков имели 1 и только у семи афтершоков магнитуда была в пределах 4—4½.

На рис. ЗВ дано расположение эпицентров афтершоков, которые были отмечены в период с 1 января по 7 июня 1989 г. В этот период произошло всего 40 афтершоков с К≥9—10, причем 35 имели магнитуду М<4 и только 5 афтершоков имели магнитуду 4—4½. Область, охваченная эпицентрами афтершоков, во всех направлениях значительно расширилась, сохраняя при этом близширотное простирание.

Расположение эпицентров афтершоков, происшедших с 7 июня по 7 декабря 1989 г., дано на рис. ЗГ. В этст период имела место меньшая сейсмическая активность афтершоков как по количеству (всего 12 афтершоков с К≥9—10), так и по силе (2 афтершока имели маг-

нитулу 4. а остальные-M<4).

Сейсмическая активность в последующие полгода (с 7 декабря 1989 г. по 7 июня 1990 г.) снова понизилась (рис. 3Д). В этот период были отмечены всего 9 афтершоков с К≥9—10, из которых 8 имели М<4. В этом случае также сохраняется близширотное простирание

области расположения эпицентров афтершоков.

Таким образом, с течением времени количество и сила афтершоков Спитакского землетрясения убывает и, спустя полтора года после основного толчка, афтершоки с К≥9—10 уже почти не наблюдаются. Так, после 7 июня 1990 г. имел место только один афтершок с К≥9—10, а именно 16 августа в 02 ч. 09 мин произошел афтершок с

Из общего числа 193 афтершоков, происшедших в течение полутора лет после основного толчка, 156 имели магнитуду M < 4 и только 37 афтершоков, т. е. 19,2% имели $M \ge 4$. Построен график хода сейсмического процесса во времени при Спитакском землетрясении в течение полутора лет, представленный на рис. 4. На график нанесены все афтершоки с $M \ge 4$. При этом на рис. 4а дан этот график для первых суток после основного толчка, на 16—для периода от основного толчка по 31 декабря 1988 г., а на рис. 11—для периода с 1 января 1989 г. по 7 июня 1990 г. Как следует из рис. 4а, изиболее сильные афтершоки с $M \ge 6$ произошли в течение получаса после основного толчка. Согласно рис. 46 афтершоки с $M \ge 6$ произошли в течение получаса после основного толчка. Согласно рис. 46 афтершоки с $M \ge 6$ произошели в течение получаса после основного толчка. Согласно рис. 46 афтершоки с $M \ge 6$ произошели в течение шести месяцев 1990 г. произошел всего один афтершок такой интенсивности.

Таким образом, в первые сутки после основного толчка произошли 22 афтершока с М≥4, что составляет 59.5% всех афтершоков такой интенсивности, происшедших в течение полутора лет. При этом интервал между сильными афтершоками с М≥4, согласно рис. 4, с течением

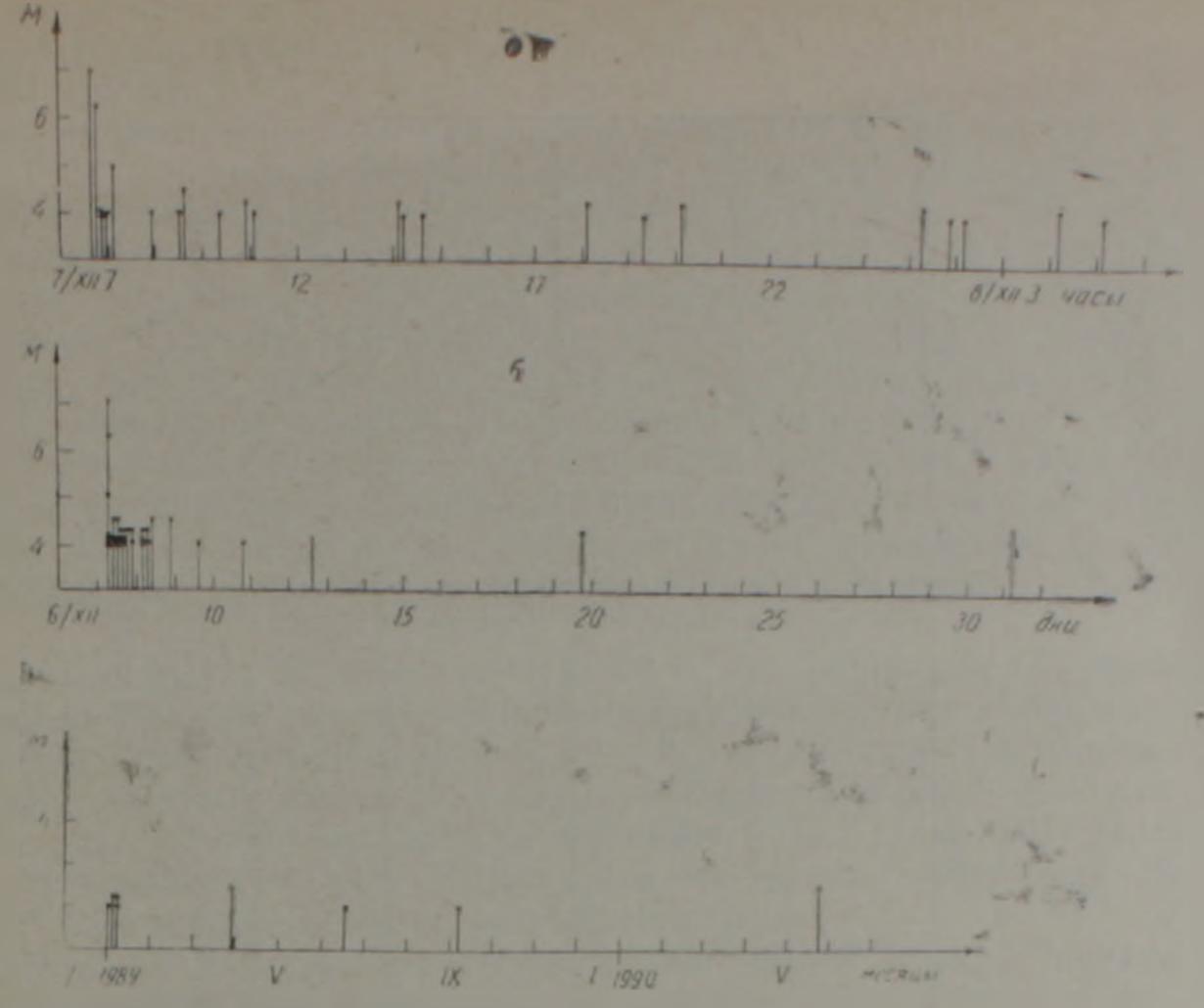


Рис 4. Распределение афтершоков с М≥4 при Спитакском землетрясении: а—в течение 24 часов после основного толчка, б—в период 7 XII 1988 г. 07 ч 41 мин—31 XII 1988 г. 21 ч, в в период 1/I 1989 г.—7 1 1990 г. 07 ч 41 мин.

времени увеличивается. Так, если в перпод с 7 по 9 декабря 1988 этот интервал измеряется в минутах и часах, а в период с 10 декабря 1988 г. до 10 января 1989 г.—днями, то, начиная с 10 января 1989 г, интервал времени между афтершоками с М≥4 составляет уже месяцы.

Построены также схемы распределения афтершоков Спитакского землетрясения в периоды 7-31 декабря 1988 г. и с 1 января 1989 г. по 7 июня 1990 г. во времени и по земной поверхности в широтном направлении (рис. 5А и рис. 5Б) и в мериднональном направлении (рис. 5В и рис. 5Г). На рис. 5 стрелками указаны долгота и широта основного толчка Спитакского землетрясения. После основного толчка афтершоки распространились по обе сторочы от эпицентра землетрясенны Согласно рис. 5А и 5В в период с 7 по 31 декабря 1988 г. долгота афтершоков находится в интервале от 40°50' по 44°34', а широта-от 40°42' по 41°04'. Сенсмический процесс в широтном направлении в первые 18 суток происходил, в основном, в восточном направлении, а в последующие 7 суток-в западном направлении. В мериднопальном направлении эпицентры афтершоков в течение первых четырех суток перемещались примерно одинаково как к северу, так и к югу, после чего в течение последующих четырех суток к северу, а затем в течение двух суток одинаково к северу и к югу, в последующие 6 суток-к югу, после чего до 31 декабря в течение 7 суток-к северу, а 31 декабря-одинаково к северу и к югу.

В период с 1 января 1989 г. по 7 июня 1990 г. интервал долгот эпицентров афтершоков увеличивается в западном направлении от эпицентра основного толчка до 43°33′ (рис. 5Б). При этом до марта 1989 г. количество эпицентров афтершоков, расположенных к востоку от эпицентра основного толчка почти в два раза превышает число эпицентров, расположенных к западу. В период с 1 марта до 7 июня 1989 г. афтершоковой области, а начиная с 7 июня 1989 г. и до 7 июня 1990 г. имеется одинаковое количество афтершоков, расположенных как к западу, так и к

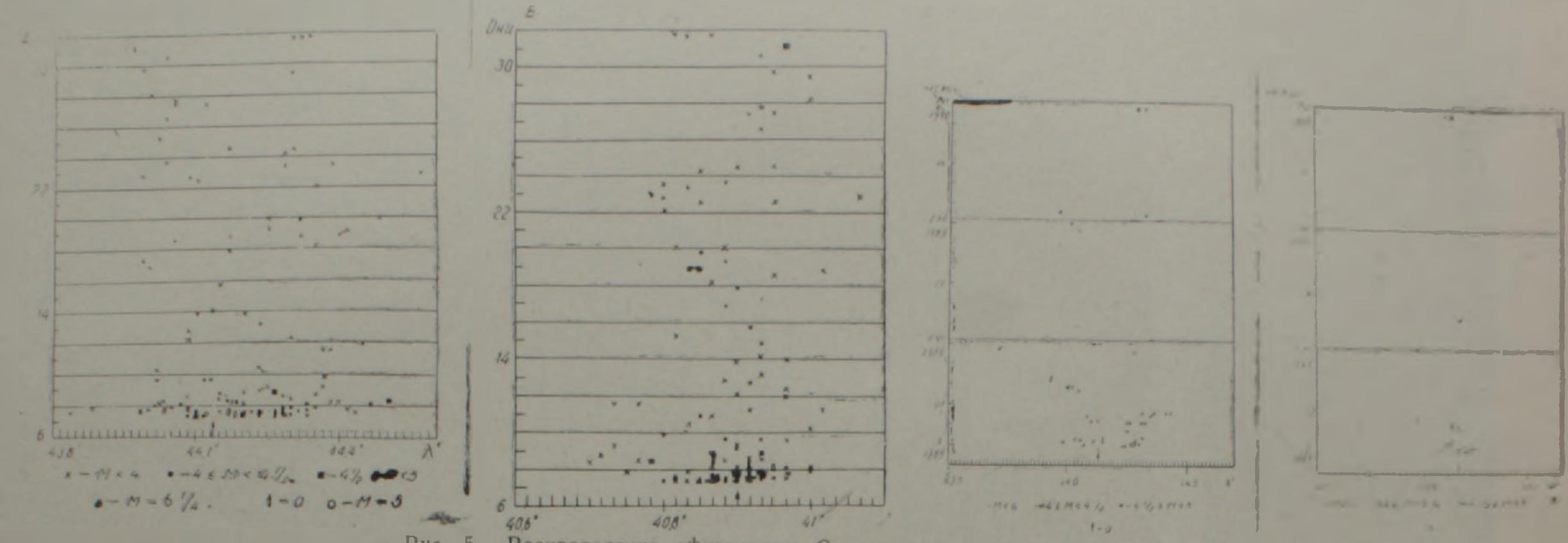


Рис. 5. Распределение афтершоков Спитакского землетрясения во времени и по земной поверхности в широтном направлении в период: А—7/XII 1988г. 07 ч 41 мин—31 XII 1988 г. 24 ч, Б—1/I 1989 г.—7/XII 1990 г. 07 ч 41 мин. в меридиональном направлении в период: В—7/XII 1988 г. 07 ч 41 мин—31/XII 1988 г. 24 ч, Г—1/I 1989 г.—7/XII 1990 г. 07 ч 41 мин. а—долгота (на А и Б) и широта (на В и Г) эпицентра основного толчка.

востоку от основного толчка. При том в последний период эпицентры всех сильных афтершоков с 1 расположены к востоку от эпицентра основного толчка.

Пирота эпицентров афтершоков в период с 1 января 1989 г. по 7 июня 1990 г. имеет значения от 40°32′ до 41°08′ (рис. 51). Следовательно, интервал широт по сравнению с периодами 7—31 декабря 1988 г. несколько увеличился. В период с 1 января по 7 июня 1989 г., как следует из рис. 51, большее количество эпицентров афтершоков расположено к северу от основного толчка, в период с 7 июня до 7 декабря 1989 г. произошло примерно одинаковое количество афтершоков, эпицентры которых расположены как к северу, так и к югу от основного толчка, а в период с 7 декабря 1989 г. по 7 июня 1990 г. эпицентры афтершоков, в основном, переместились к югу от основного толчка. При этом, начиная с февраля 1989 г. эпицентры всех сильных афтершоков с М ≥ 4 расположены к югу от эпицентра основного толчка.

Вся территория, занятая афтершоками, согласно рис. 3, состанляет примерно 5000 кв. км, но основная масса эпицентров афтершоков, в именно 88% всех афтершоков с К≥9—10 сосредоточена в полосе дли ной 53 км, шириной 20 км и с азимутом простирания 112°, что соответствует азимуту границы между блоками 1 и Б (рис. 1). Эпицентр Спитакского землетрясения расположен на линии, проходящей через середину этой полосы вдоль ее простирания.

Полученная по области афтершоков длина очага Спитакского землетрясения в 53 км находится в хорошем соответствии с оценкон горизонтальной протяженности I очага по формуле Н. В. Шебалина

[8], согласно которой

$$lgl=0.5M-1.8=1.7...$$
 (E)
 $l=50\kappa M$

На основании полевых обследований в эпицентральной зоне Спитакского землетрясения 7 декабря 1988 г. и дешифрирования материалов аэросъемки была выявлена сейсмотектоническая дислокация от развалии с. Гетик до с. Алавар общей длиной 35 км [1]. Падение плоскости разрыва, как было установлено, при этом направлено к северо-востоку под углом от 60—80° до 10—15° с взбрасыванием и надвиганием северо-восточного крыла [6]. Азимут простирания дислокации варьирует от 280 до 315° [1].

Эпицентр Спитакского землетрясения находится вблизи северозападного конца этого разрыва, а эпицентры афтершоков расположены в направлении простирания разрыва. При этом очаги афтершоков приурочены к поднимающемуся северо восточному крылу разрыва.

Согласно нашим определениям плоскость разрыва в очаге землетрясения имеет азимут 101°. Плоскость разрыва падает к северо-востоку под углом 50° к горизоптальной плоскости. В очаге преобладали компонента подвижки по падению плоскости разрыва. В очаге землетрясения произошел взброс с правосторонним сдвигом [5] Это находится в хорошем соответствии с указанными выше данными, полученными геологами при обследовании инцентральной области Спитакского землетрясения [1, 6].

Длина видимой на земной поверхности сейсмотектонической дислокации общей длиной 35 км примерно соответствует длине протиженности D очага землетрясения, вычисленной по формуле Токуда Уцу [10], согласно которой для очага Спитакского землетрясения

$$1gD=0.5 M-2=1.5...$$

$$D=32\kappa M.$$
(4)

Для построения графика повторяемости последующих толчков Спитакского землетрясения, нами использованы данные о последующих толчках с K=9-10, 10, 10-11, 11, 11-12, 12, 12-13, происшедших в гечение одного года после основного толчка на герритории площадью 5000 кв. км. Исходные данные для построения графика повторяемости последующих толчков Спитакского землетрясения 7 декабря 1988 г. приведены в табл. 1, где дано распределение числа N афтерщоков по энергетическим классам, а также их значения N*, нормированные по площади и по времени (число землетрясений, приходящееся ежегодно на 1000 кв. км).

Последующие толчки Спитакского землетрясения

Таблица і

K	N N°		lgN*	EN	ΣN°	IgΣN ⁴
9-10	69	13.8	1.1399	189	37.8	1,5775
10	50	10.0	1,0000	120	24.0	1.3802
0-11	33	6.6	0.8195	70	14.0	1.1461
11	21	4.2	0.6232	37	7.4	0.8692
11-12	9	1.8	0.2553	16	3.2	0.5051
12	4	0.8	1.9031	7	1,4	0.1461
12-13	3	0,6	1.7782	3	0.6	1.7782

Графики повторяемости построены в логарифмической системе координат IgN*, IgE Дж двумя способами: распределения и суммирования. Уравнения графиков повторяемости получены методом наименьших квадратов. В случае использования способа распределения уравнение графика повторяемости имеет вид:

$$\lg N = 5.88 - 0.49 K - 0.09 \dots$$
 (5)

а в случае использования способа суммирования:

$$IgN^*=7,46-0,61K\pm0,08...$$
 (6)

Угловой коэффициент у графика повторяемости последующих толчков Спитакского землетрясения 7 декабря 1988 г. в случае способа распределения получился равным:

$$\gamma = 0.49 \pm 0.03....$$
 (7)

а в случае способа суммирования:

$$\gamma = 0.61 - 0.03...$$
 (8)

Согласно графику повторяемости, построенному нами для всего Ленинаканского региона (на территории которого расположена эпицентральная область Спитакского землетрясения) для неличины у получены следующие значения: в случае использования способа распределения $\gamma = 0.46 \pm 0.04$, а в случае способа суммирования $\gamma = 0.53 \pm 0.04$ [2].

Следовательно, имеет место возрастание углового коэффициента графика повторяемости последующих толчков Спитакского землетрясения 1988 г. по сравнению с графиком повторяемости для всей территории Ленинаканского региона ($z=40,5-41,5^{\circ}$, $z=43,5-45,3^{\circ}$).

Определенная из уравнений графиков повторяемости афтершоков Спитакского землетрясения величина сечсмической активности A_{10} равна 9,82 в случае использования метода распределения и 23,93—при использовании метода суммирования. Для всего Ленинаканского региона нами были получены значения A_{10} , соответственно равные 0,18 и 0,35. Поэтому как и следовало ожидать, сейсмическая активность афтершоковой области Спитакского землетрясения значительно выше, чем уровень фоновой сейсмической активности Ленинаканского региона.

Суммарная сейсмическая энергия, выделившаяся при всех афтершоках Спитакского землетрясения в течение полутора лет, с К≥9—10 равна 10329,6·10 Дж, а сейсмическая энергия, выделившаяся при ос-

новном толчке, равна 100000 · 10¹¹ Дж. Следовательно, сейсмическая энергия, выделившаяся при афтершоках, составляет примерно 0.1 сенсмической энергии основного толчка, что соответствует обычно наб

людаемым для этой величины значениям.

На рис. ба дано изменение суммарисй подекадной энергии афтершоков Спитакского землетрясения в течение полутора лет после основного толчка. Наибольшее и основное количество суммарной сейсмической энергии—10193,6·10¹¹ Дж—выделилось в первой декаде декабря 1988 г., когда через 4 мин 22 с. после основного толчка произоше г

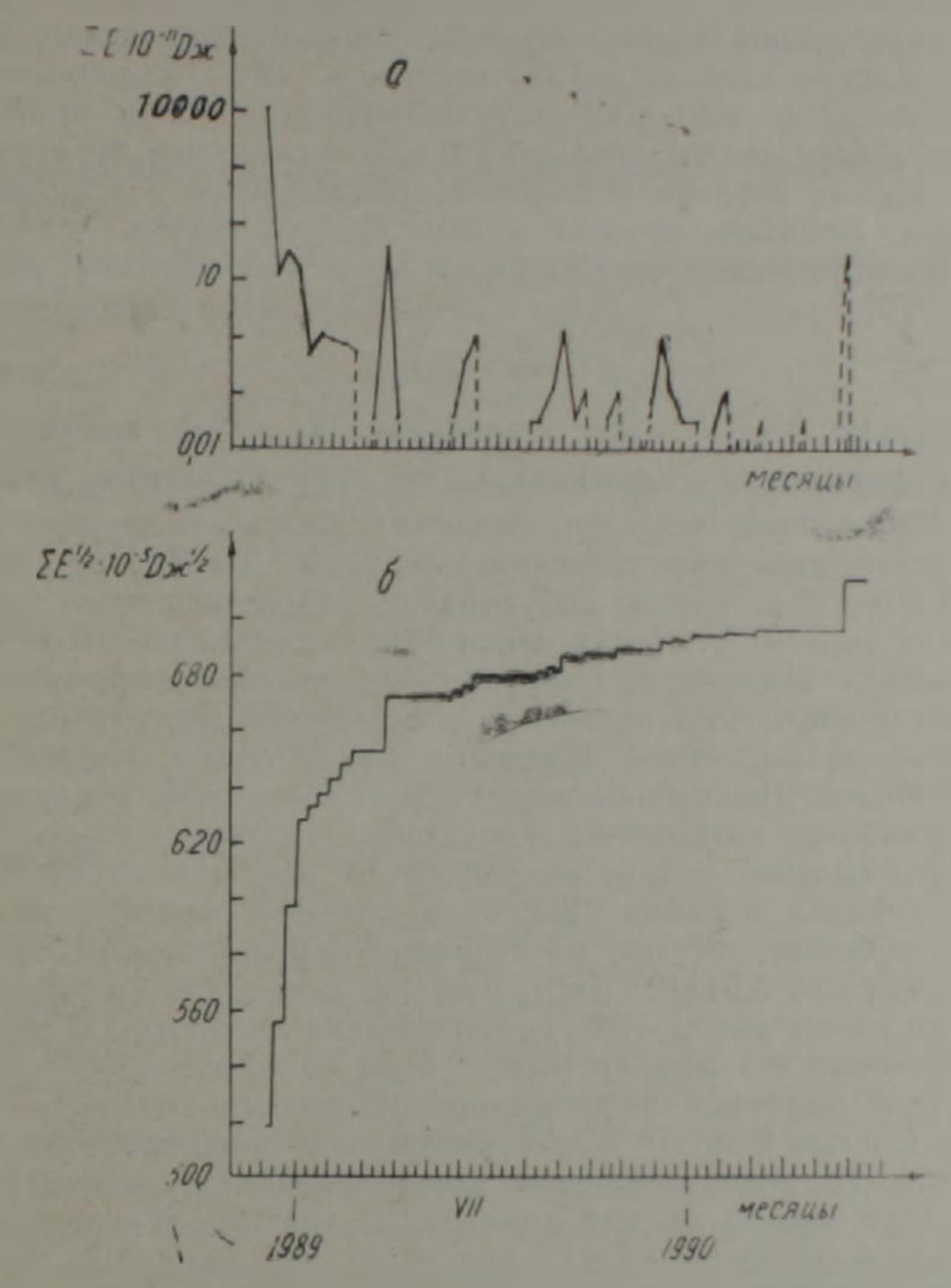


Рис. 6. Характеристика афтершоков Спитакского землетрясения, происшедших в течение полутора лет после основного голчка: а—график изменения суммарной подекадной величины энергии афтершоков, б—график высвобождения суммарной упругой условной деформации по декадам

афтершок с K=10¹⁵. Затем происходит резкий спад сейсмической энергии. Как видно из графика, уменьшение суммарной сейсмической энергии во времени происходит не монотонно, декады наибольшего выделения сейсмической энергии чередуются с декадами низкого или нулевого уровня энергии. При этом интервал между максимумами выделения суммарной подекадной сейсмической энергии в течение первого года после основного толчка составляет 2²/₃ —3 месяца, а следующии затем максимум энергии отмечается уже с интервалом 5²/₃ месяца.

При изучении хода сенсмического процесса после основного толька Спитакского землетрясения, как было сказано выше, нами были учтены афтершоки, начиная с К = 9.3 (К = 9 – 10), так как начиная с этого класса афтершоки Спитакского землетрясения являются пред-

ставительными при определении как силы, так и координат их гипоцентров. При этом более слабые афтершоки не учтены также по той причине, что первый афтершок имел энергию E = 10¹⁵ Дж значительно большую, чем сумма энергии (E 329,6·10¹¹ Дж) всех остальных, происшедших в течение 1,5 лет после основного толчка, афтершоков с К≥9,3. Таким образом, суммарная энергия всех остальных афтершоков с К≥9,3 составляет 0,033 энергии первого афтершока и, следовательно, энергия афтершоков с К<9,3 составит относительно незначительную величину и их неучет не вызовет искажения в ходе сейсмического процесса.

Для определения высвобожденной упругой деформации при Спитакском землетрясении и его афтершоках нами использован метод Беньоффа, сагласно которому модель неупругой среды принимается в виде среды с внутрениим трением [9]. Допуская, что во время землетрясения упругая эпергия полностью превращается в эпергию сейсмических воли, Беньофф пришел к выводу, что корень квадратный из энергии землетрясения пропорционален высвобожденной упругой де-

формации [9]:

$$E^{1/2} = \varepsilon \cdot C \dots \tag{9}$$

Следовательно, $\varepsilon = E^{1/2} - I$ представляет собой высвобожденную упругую деформацию в единицах С, то есть условную деформацию.

Высвобожденная упругая условная деформация при основном голчке Спитакского землетрясения равич 10° Дж^{1/2}. При всех афтершоках с К≥9-10 в течение полутора лет после основного толчка высвобожденная упругая условная деформация составила 716,66 · 105 Дж 1/2. Характеристика высвобождения упругой условной деформации в афтершоковой области Спитакского землетрясения дана на рис. 66. Наклон графика не постоянен. Следовательно, процесс сиятия деформаций не стабилен. Высвобождение упругой условной деформации происходило наиболее интенсивно сразу после главного толчка в течение 3.7 суток со среднеи скоростью $149,23\cdot 10^6$ $A\pi^4/_2$ в сутки. Во второн и третьей декадах декабря 1988 г., а также в первой декаде января 1989 г. высвобождение упругой условной деформации происходило со средной скоростью 3,51·10 Дж1, в сутки, а начиная со второй декады января и де конца марта 1989 г.—со средней скоростью 0,55·105 Дж 1/2 в сутки. Начиная с 1 апреля 1989 г. и по 10 марта 1990 г. высвобождение упругой условной деформации происходило очень медленно со средней скоростью $0.08 \cdot 10^5$ Дж^{1/2}. Затем наступило затишье до третьей декады мая (с незначительным высвобождением деформации 0,56. -10 Дж1 во второй декаде апреля). В трегьей декаде мая 1990 г. высвободилось 18.34 · 105 Дж 1/2 условной деформации.

С целью определения физических свойств среды в очаговой области Спитакского землетрясения 1988 г. нами использован способ, предложенный К. В. Пшенниковым [7]. Модель неупругой среды в гипоцентральной области принимается з первом приближении как упруго-вязкая среда, для которой напряжение и деформация связаны

уравнением:

$$= - + - \int s dt, \tag{10}$$

где =-леформация, о-напряжение, µ-модуль сдвига, д=ит-коэффициент вязкости, т-время релаксации.

Время релаксации и коэффициент вязкости являются основными параметрами, характеризующими физическое состояние упруго-вязкой среды в очаговой области сильного землетрясения.

Допуская, что упруго-вязкая среда деформирована и с некоторого момента деформация поддерживается постоянной, решение уравнения

(10) будет иметь вид [7]:

$$\sigma = \sigma_0 e^{-1/\tau}, \tag{11}$$

откуда определяется время релаксации напряжений:

$$= \frac{t \cdot \lg e}{\lg s_0/s} \tag{12}$$

где σ_0 —напряжение, оставшееся в гипоцентральной зоне после основного толчка, которое приближенно равно сумме напряжений, снятых в процессе всех афтершоков, а σ —напряжение в момент времени t, если начало отсчета принять момент основного толчка землетрясения t_0 .

$$z = z_0 - z_k, \tag{13}$$

где — напряжение, сиятое при K афтершоках, происшедших в интервале времени $t-t_{\rm o}$.

Следуя Беньоффу, о и о выражены через корень квадратный на сейсмической энергии.

$$\sigma_0 = m \sum_{i=1}^n \sqrt{E_i}, \quad \sigma_k = m \sum_{i=1}^k \sqrt{E_i}.$$
 (14)

Тогда выражение (12) для определения времени релаксации напряжений примет вид [7]:

$$\tau = \frac{t \cdot \lg e}{\sum_{i=1}^{n} \sqrt{E_i}}$$

$$\lg \frac{\sum_{i=1}^{n} \sqrt{E_i} - \sum_{i=1}^{k} \sqrt{E_i}}{\sum_{i=1}^{n} \sqrt{E_i}}$$
(15)

где выражение

$$S = \frac{\sum_{i=1}^{n} \sqrt{E_i} - \sum_{i=1}^{k} \sqrt{E_i}}{\sum_{i=1}^{n} \sqrt{E_i}}$$
(16)

является относительным напряжением.

С целью вычисления относительного напряжения и времени релаксации напряжений при Спитакском землетрясении 1988 г. нами выбран полуторалетний афтершоковый период, которын разделен на декады и для каждой декады вычислены значения S и τ и построены кривые зависимости этих величин от времени.

На рис. 76 дана построенная для очаговой зоны Спитакского землетрясения кривая изменения относительного напряжения во времени. Процесс падения остаточного напряжения при афтершоках Спитакского землетрясения, как следует из этого рисунка, в первом приближении имеет монотонно-убывающий характер с незначительным изменением деформации в момент 100 суток после основного голчка.

На рис. 7а показаны в виде точек времена релаксации напряжения для последовательности афтершоков Спитакского землетрясения в гечение полуторалетнего периода после основного толчка. Как следует из этого рисунка, изменение времени релаксации имеет характер т=2+3t. По значениям т, вычисленным для 53 декад после основного толчка метолом наименьших квадратов, определены значения коэффициентов $\alpha=14.3$ и $\beta=0.25$. Следовательно, уравнение времени релаксации для очаговой воны Спитакского землегрясения будет иметь вид:

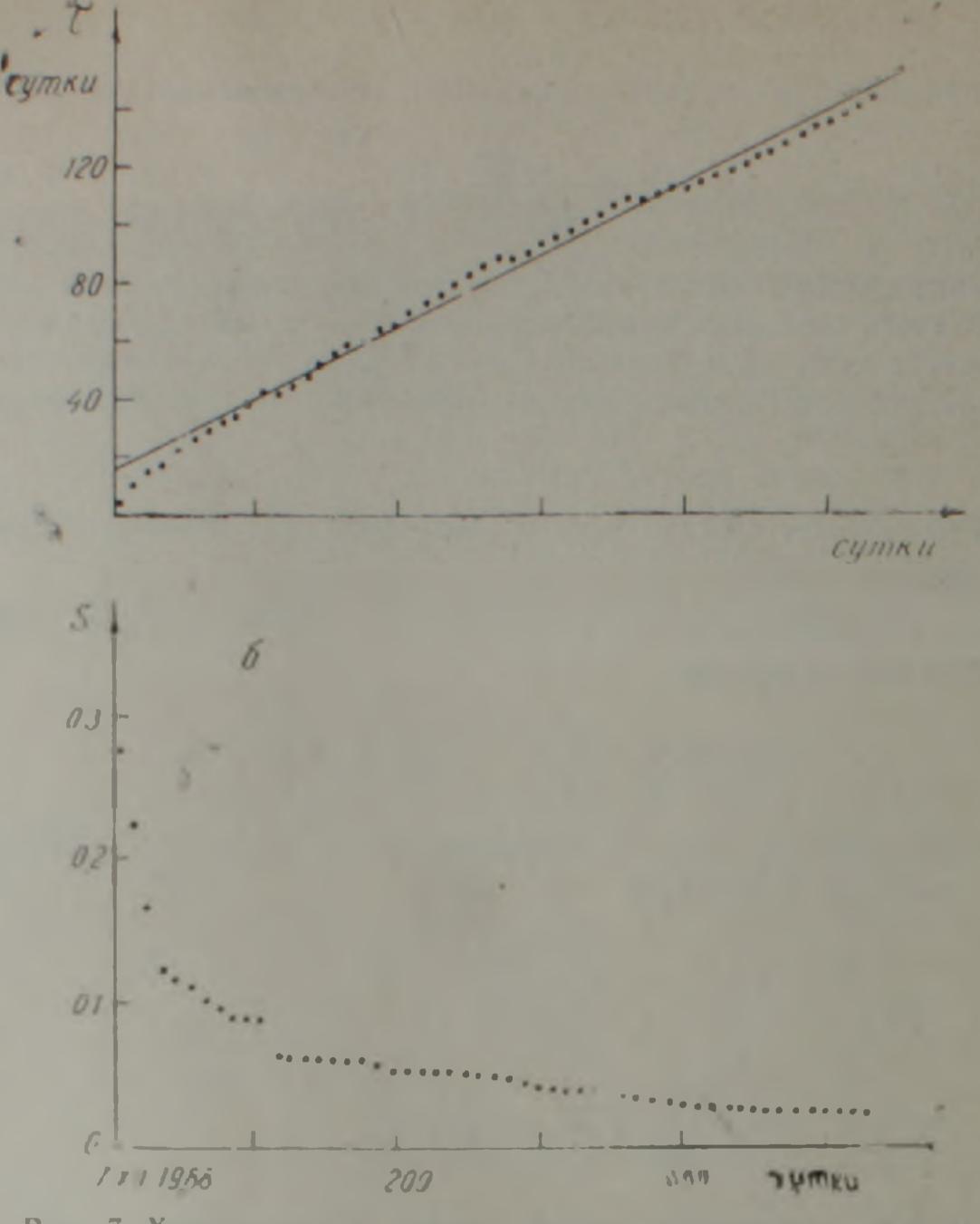


Рис. 7. Характеристика относительного напряжения и времени релаксации в очаговой зоне Спитакского землетрясения в течение голутора лет после основного толчка: а—изменение относительного подекадного напряжения, б—изменение подекадной величины времени релаксации

$$z = 14,3+0,25t...$$
 (17)

На рис. 7а прямая, соответствующая этому уравнению, ноказана сплошной линией. Отмечается незначительный разброс точек от этой прямой. Действительно, имеет место тесная корреляция между т и так как коэффициент корреляции

$$r_{r,i}=0.994....$$
 (18)

Среднее значение τ_{cp} , определенное по вычисленным для 53 декад величинам т, получилось равным 82 суткам. Следовательно, в очаговой зоне Спитакского землетрясения для того, чтобы напряжение уменьшилось в 2,7183 раза, необходим промежуток времени, в среднем равный 82 суткам.

Используя среднее значение времени релаксации напряжений— 82 сутки= $7.08 \cdot 10^{6}$ с и значение модуля сдвига μ = $2.74 \cdot 10^{11}$ дин/см², получим величину коэффициента вязкости среды в очаговой зоне Спитакского землетрясения, примерно равной η = $7.08 \cdot 10^{8} \cdot 2.74 \cdot 10^{11}$ = $-2 \cdot 10^{16}$ ns.

Сопоставляя полученные результаты сейсмологического исследования с геологическими и геофизическими данными региона, приходим к выводу, что Спитакское землетрясение явилось следствием относи-

тельного движения двух соседних блоков, указанных на рис. 1, причем имело место поднятие северного блока (А) и опускание южного блока (Б). Одновременно с этим северный блок перемещался в восточном, а южный блок—в западном направлениях. Следовательно, при Спитакском землетрясении 7 декабря 1988 г. произошел взбросо-сдвиг.

Проведено также сопоставление сейсмологических характеристик Спитакского землетрясения 7 декабря 1988 г. и Чалдыранского землетрясения, имевшего место в Ванском регионе 24 ноября 1976 г. Оба землетрясения имели магнитуду порядка 7. В эпицентре Спитакское землетрясение проявилось силой 10 баллов, а Чалдыранское — 9 баллов. При обоих землетрясениях на земной поверхности образовались разрывы СЗ — ЮВ простирания. Эти разрывы до землетрясений не выходили на земную поверхность и, по-видимому, начинаясь от подошвы литосферы заканчивались в гранитном слое земной коры. Как Чалдыранское, так и Спитакское землетрясения являются следствием относительного движения двух различных блоков, границами которых служат эти разрывы в земной коре. При этом движении разрывы вышли на земную поверхность. В этом схожесть этих двух землетрясений с одинаковой магнитудой порядка 7.

В табл. 2 дано распределение афтершоков с магнитудой 4 и бо-

Распределение по магнитуде и значения эпергии афтершоков разрушительных Спитакского и Чалдыранского землетрясений

Период	Название зем- летрясения	Число афтершоков с М						Энергия афтер-	Энергетиче- ский коэффи- циент сей-		
наблюдений			41/4	41.0	43/4	5	51/4	51/2	61/4	шоков	смичности Е ∑N10 ¹¹ Дж
Одни сутки после основис- го толчка	Спитаксксе Чалдыранское	13		5	-1	5	1	1	1	77 3 5.8 1885.2	351.6 78.6
25 суток после основного толчка	Спитакское Ч аллыр анское	15 27	_	8	1	6	1	1	1	7776.7 2037.7	268 · 2 43 · 4
Один год после основного толчка	Спигакс ое Чалдыранское	19 39			4	7	2	1	1	7799.7 2600.3	216.7 35.6

лее при Спитакском и Чалдыранском землетрясениях в течение первых суток после основного толчка, в течение 25 суток после основного толчка и в течение одного года после основного толчка. В табл. 2 даны также энергия афтершоков и энергетический коэффициент сейсмичности $-E/\Sigma N$. Как следует из этой таблицы, в первые сутки после обоих землетрясений было отмечено примерно одинаковое количество афтершоков с М≥4 (22 афтершока при Спитакском землетрясении и 24-при Чалдыранском). Однако при афтершоках Спитакского землетрясения в этот период выделилось более чем в 4 раза больше энергин, чем при Чалдыранском землетрясении. При этом энергетический коэффициент сейсмичности при Спитакском землетрясении в 4,5 раза больше, чем при Чалдыранском. В течение 25 суток после основного голчка при афтершоках Спитакского землетрясения выделилось почти в 4 раза больше энергии, чем при Чалдыранском, несмотря на то, что при Чалдыранском землетрясении в этот период было отмечено значительно больше афтершоков (47 против 29). Энергетический коэффициент сейсмичности при Спитакском землетрясении в этот период уже в 6,2 раза больше, чем при Чалдыранском. Энергия афтершоков Чалдыранского землетрясення, происшельних в течение года после основного толчка, 2600,3-1011 Дж. почти в 3 раза меньше, чем энергия афтершоков Спитакского землетрясения за первые сутки после основного толчка. Эпергетический коэффициент сеисмичности при Спитакском землетрясении в этот период в 6,1 раза больше, чем при Чал-

дыранском.

Магнитудная ступень между Спитакским землетрясением и его самым крупцым афтершоком составляет 3/4. При Чалдыранском землетрясении магнитудная ступень равна 1,5, что хорошо укладывается в зависимость, полученную нами ранее [2].

Развитие сенсмического процесса при Спитакском землетрясении резко отличается не только от Чалдыранского землетрясения, но так-

же и других землетрясений Армянского нагорья.

Институт геофизики и инженерной сейсмологии АН Армении

Поступила 23.Х. 1990.

ЛИТЕРАТУРА

- I Григорян С. В., Джербашян Р. Т., Карапетяч А. И и др. Геологическое строение и сейсмотектонические особенности области Спитакского землетрясения.—Иза. АН АрмССР, Науки о Земле, 1989, XLII. № 3, с. 3—12.
- 2. Карапетян Н. К. Механизм возникновения землетрясений Армянского нагорья (сейсмические условия) Ерекан: Изд. АН АрмССР, 1986, 228 с.
- 3 Карапетян Н К Особенности механизма и напряженного состояния в очагах емлетрясении Армянского нагорья —Изв АН АрмССР, Науки о Земле, 1988, XLI № 5, с. 31—39
- 4 Карапетян Н. К. Блоковое строение земнон коры Армянского нагорья.—Изв. АН АрмССР, Науки о Земле, 1988, XLI, № 6, с. 19—28.
- 5. Карапетян И. К. Механизм и напряженное состояние очагов Спитакского землетрясения 7 декабря 1988 года, его форшока и афтершоков —Изв. АН АрмССР. Науки о Земле, 1989, XLII, № 4, с. 36—14.
- 6 Карахинян А. С. Результаты наземного и аврокосмического изучения активных разломов и сейсмогенных деформаций Спитакского землетрясения 1988 года.— Изв. АН АрмССР, Науки о Земле, 1989, XL!!, № 3, с. 20—24.
- 7. Пшенников К. В. Механизм возникновения афтершоков и неупругие свойства земной коры. М.: Наука, 1965, 88 с.
- 8 Шебалин Н В Очаги сильных землетрясений на территории СССР М.: Наука, 1974. 54 с.
- 9. Benioff H. Earthquakes and rock creep. bull. selsm. soc. Am., 1951, 41, Ne 1.
- 10. Litsu T. Magnitude of earthquakes and Occurence of their aftershocks. Zizin, 1957, 10, No. 1.

Ն. 4. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ

1988 Թ. ԴԵԿՏԵՄԲԵՐԻ 7-ի ՍՊԻՏԱԿԻ ԵՐԿՐԱՇԱՐԺԻ ՕՋԱԽԸ ԵՎ ԳՐԱ ԱՌԱՋԱՑՄԱՆ ՄԵԽԱՆԻԶՄԸ

Ամփոփում

Սպիտակի ավերիչ երկրաշարժը հանդիսացավ Հայատանի Հանրապետության տարածքում տեղի ունեցած երկրաշարժերից ամենաուժեղը։

Տեկտոնական և երկրաֆիզիկական ուսումնասիրությունների ու տիեզերանկարների միջոցով ի հայտ բերված լինեամենտների և երկրաշարժերի էպիկենտրոնների տեղաբաշխման, ինչպես նաև խզումների Բևերի շարժման ուղղությունների համատեղ վերլուծության հիման վրա Հայկական լեռնաշխարհի տարածքն առանձին բեկորների է բաժանված։ Սպիտակի երկրաշարժի էպիկենտրոնային տիրույթը տեղադրված է երկու բեկորների սահմանում։

Սպիտակի երկրաշարժի օջախում խղման հարթության ազիմուտը կազ-

մում է 101°, իսկ անկման անկյունք, 50° է։ Երկրաշարժի օջախում տեղի է ունեցել վերնետք՝ աջակողմյան կողաշարժի հետ համատեղ։ Դա համապատասխանում է երկրաբանների կողմից ստացված տվյալներին։

Սպիտակի նրկրաշարժը ուղնկցվել է բազմաթիվ աֆտնրշոկնրով։ Հոդվածում բերված են նաև աֆտնրշոկային պրոցնսի ուսումնասիրման արդյունջները։ Մեկ ու կես տարվա ընթացքում տեղի են ունեցել 9-10 և ավելի մեծ
Լներդետիկ դասերի 193 աֆտնրշոկեր։ Բերված է այդ աֆտերշոկերի բաշխումն ըստ ժամանակի։ Բերված են նաև աֆտերշոկերի առաջացման վայրերը տարրեր ժամանակամիջոցների համար։ Ինչսյես պարզվել է,
աֆտնրշոկերով դբաղեցված ամբողջ տարածքը կազմում է մոտ 5000 մ²,
բայց աֆտերշոկերի հիմնական մասը՝ մոտ 88 տոկոսը, կենտրոնացված է
53 մ երկարությամբ և 20 մ լայնությամբ շերտում, որի տարածման ագիմուտը 1120 է։ Սպիտակի երկրաշարժի էպիկենտրոնը գտնվում է այդ շերտի
միջին գծի վրա։

Մեկ ու կես տարվա ընիացքում աֆտերչոկերի սեյսմիկ էներգիան կազմել է 10323,6.10 ՝ ջոուլ։ Բերված է այդ էներգիայի բաշխումն ըստ տասնջրյակների։ Առավելագույն և հիմնական սեյսմիկ էներգիայի քանակն անջատվել է 1988 թ. դեկտեմբերի առաջին տասնօրյակում, երբ գլխավոր ցնցումից 4ր 22 վրկ հետո տեղի ունեցավ ուժեղ աֆտերչոկ (K = 15)։

Մեկ ու կես տարվա ընթացքում Սպիտակի երկրաշարժի օջախալին շրրջանում անջատվել է 716,7.10⁵ տուլ և առաձգական սյայմանական դեֆորմացիա։ Բերված է անջատված գումարային դեֆորմացիաների բաշխումն ըստ տասնօրյակների՝ 1,5 տարվա ընթացքում (7.12.88թ.—7.06.90թ.)։ Ինչպես պարզվել է, տարրեր ժամանակամիջոցներում դեֆորմացիայի անչատումը

Որոշված են Սպիտակի երկրաշարժի օջախային շրջանում ոչ առաձգական միջավայրի ֆիզիկական հատկությունները։ Հաշվարկված են հարաբերական լարումները և կառուցված է հարաբերական լարման անկման կորը։ Հաշվարկված է ռելաքսացիայի ժամանակը լուրաքանչյուր տասնօրյակի համար և որոշված է դրա միջին մեծությունը՝ 82 շուրջօր։ Կառուցված է ռելաքսացիայի գրաֆիկը և ստացված է ռելաքսացիայի առնչությունը ժամանակի հետ։ Հաշվարկված է Սպիտակի երկրաշարժի օջախի միջավայրի մածուցիկության դործակիցը։

Ցույց է տրված, որ Սպիտակի երկրաշարժն իր սելսմիկ պրոցեսի ընթացքով խիստ տարբերվում է Հայկական լեռնաշխարհի մյուս ավերիչ երկրաշարժերից։ Իրրև օրինակ բերված է Սպիտակի և Չալդրանի երկրաշարժերի սևլսմիկ պրոցեսների ընթացքների համեմատությունը։

N. K. KARAPETIAN

THE SPITAK EARTQUAKE, DECEMBER 7, 1988, FOCUS AND THE MECHANISM OF ITS ORIGIN

Abstract

The results of the Spitak earthquake seismic process spatial-temporal investigations are brought. By aftershocks data the time of relaxation, the temporal changes character and the average value, as well as the focal zone non-elastic medium viscosity coefficient are determined in the Spitak earthqake area.

On the basis of carried out investigations it is established, that the

Spitak earthqake has been caused by relative movements of two blocks, the northern one being uplifted. At the same time the northern block is displaced in the eastern direction and the southern one is displaced to the west. Consequently, during the Spitak earthquake, December 7, 1988, there was formed an upthrust-shift.

Известия АН Армении Науки о Земле, 1992, XLV № 4, 56-59

Краткие сообщения

УДК 550 89

D HATAHETSH

О ПРОИСХОЖДЕНИИ РИОЛИТОВОИ МАГМЫ НОВЕИШИХ ВУЛКАНОВ АРМЕНИИ

Новейшне риолитовые куполовидные вулканы Армении (Атис, Артени, Гутансар, Гехасар, Спитаксар, Базенк, Карахач, Сатанакар и др.), изучались многими исследователями [1—10, 12—16]. Особенно детально они изучены С. Г. Карапетяном [7, 8, 9]. Отпосительно возраста риолитовых пород указанных вулканов сведения не однозначны К. Н. Паффенгольц относил их к олигоцену [14], другие исследователи [2, 5, 12]—к неогену, Г. Абих [1], Б. М. Куплетский [10], А. А. Гурцев [15] и А. Н. Назарян [13] считают их возраст четвертичным, а С. Г. Карапетян [8]—верхнеплиоцен-пижнечетвертичным. Трековые определения возраста указывают на их неодновозрастность—от 16 млн лет до 320 тыс. лет [18].

Как известно, верхнеплиоцен-четвертичный вулканизм территории Армении начался излиянием основных по составу расплавов, которые образовали покровы долеритовых базальтов. На верхнеплиоценовый возраст долеритовых базальтов впервые указал А. Т. Асланян [3, 4].

На тех участках, где формировались риолитовые вулканы, основные лавы изливались только в четвертичное время в виде продуктов

ареального вулканизма [6].

Фундаментом для риолитовых вулканов служили вулканические сооружения рание-среднеплиоценового возраста часто завершался излиянием расплавов андезито-дацитового, дацитового, грахиандезитодацитового и трахидацитового составов (табл. 1). Эти породы в основном очень хорошо выкристаллизованы, имеют порфировую структуру, где размеры фенокристаллов полевого шпата доходят до нескольких сантиментров. Количество вкрапленников составляет до 50% от общей массы породы. Породы куполовидных вулканов, в отличие от описанных, очень бедны порфировыми вкрапленниками. Согласно С. Г. Карапетяну [9] количество фенокристаллов в риолит-риолитодацитовых породах варьирует от 0,4 до 4,4%.

Часто риолитовые расплавы были перегреты, в связи с чем на

поверхности затвердевали в виде обсидианов.

Нормативные минеральные и химические составы риолитовых пород (табл. 1) показывают, что расплавы их имели почти эвтектические составы и являются остаточными. Индекс дифференциации риолитов варьирует от 84 до 90 (табл. 1). Гемпература риолитовых расплавов в очаге была намного выше температуры ликвидуса этих пород, очем свидетельствует тот факт, что при подъеме на поверхность риолитовые расплавы, несмотря на частичное охлаждение, все же изливались часто в перегретом виде и на поверхности формировали обсиднаны.

Температурный интервал кристаллизации риолитовых расплавов