

Геология

УДК: 550.343

М. А. ГРИГОРЯН, Р. Р. ДУРГАРЯН, Л. Б. МИРЗОЯН

**КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА АФТЕРШОКОВОГО ПРОЦЕССА
СПИТАКСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 1988 г.**

В этой работе представлена количественная оценка процесса афтершокового распределения Спитакского землетрясения 1988 г. с магнитудой $M=7,0$ для определения параметров декластеризации каталога землетрясений. Для этого были сравнены суммарные высвобожденные энергии и суммарные количества землетрясений до сейсмического затишья перед главным толчком и после афтершокового периода за одинаковые интервалы времени. Полученные результаты для выделенной зоны были сравнены с эмпирическими формулами Омори, а также Уцу и Секи.

Введение. Спитакское землетрясение 7 декабря 1988 г. имело магнитуду $M=7,0$, а его глубина составляла в среднем 10–15 км. Очаг его был расположен в зоне сочленения Гарнийского и Памбак-Севанского активных разломов и состоял как минимум из трех, а возможно и пяти субочагов, разнесенных в пространстве. По Караханяну [1], землетрясение сопровождалось поверхностным разрывом (выходом очага на поверхность) общей длиной 35 км с вертикальной амплитудой до 2 м и горизонтальной – до 1,8 м.

По Арефьеву [2], суммарная подвижка составляет 160–200 см, причем вертикальное смещение по разрыву составляет 100–120 см, а горизонтальное – до 100 см. На обоих флангах сейсмогенного разрыва вертикальные смещения сокращаются до 40–55 см, а затем разрыв теряется в рыхлых наносах.

Граничащие со Спитакским сейсмогенным разломом микроблоки, по данным спутниковых геодезических наблюдений GPS, движутся с разной скоростью от 20 до 35 мм в год.

Фокальные механизмы главного толчка Спитакского землетрясения и его 19 сильных афтершоков ($M>3,5$) по геологическим и сейсмологическим данным характеризуются взбросом с правосторонним сдвигом [2].

Много специалистов изучали разные аспекты афтершокового процесса Спитакского землетрясения по данным наблюдений за 1988–1991 гг. Основной целью нашей работы является определение параметров декластеризации каталога землетрясений, т. е. удаление из каталога зависимых событий.

Распределение афтершоков Спитакского землетрясения по глубине и площади. Базовым каталогом для анализа афтершоков Спитакского землетрясения является каталог Национальной службы сейсмической защиты

РА-2004 г. Полный каталог афтершоков с 07.12.1988 г. по 01.01.1993 г. в пределах территории, ограниченной координатами $\varphi=40,60^{\circ}$ – $41,05^{\circ}$ и $\lambda=43,00^{\circ}$ – $44,60^{\circ}$, состоит из 1548 событий без ограничения магнитуды, в том числе 458 событий с $M \geq 2,5$. За последующий период по 31 декабря 2004 г. в пределах афтершоковой области, указанной на рис. 1, зарегистрировано еще 1200 событий с $M \geq 2,5$.

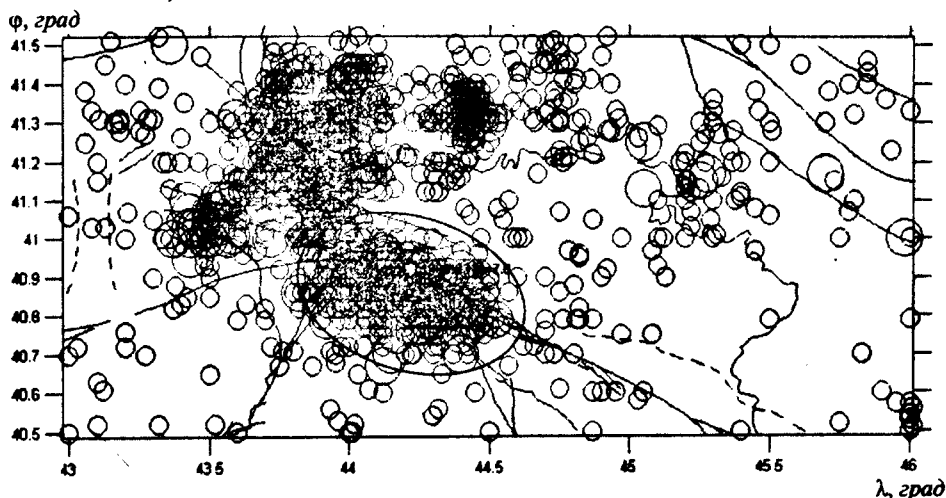


Рис. 1. Область распространения афтершоков Спитакского землетрясения 07.12.1988г. и основные сейсмоактивные разломы территории Армении и сопредельных стран.

Как видно из рис. 2, афтершоковая активность Спитакского землетрясения распространялась по разным разломам. Длина распространения профилей по отдельным разломам менялась от 10 до 25км за период исследований (07.12.1988–01.01.1994гг.).

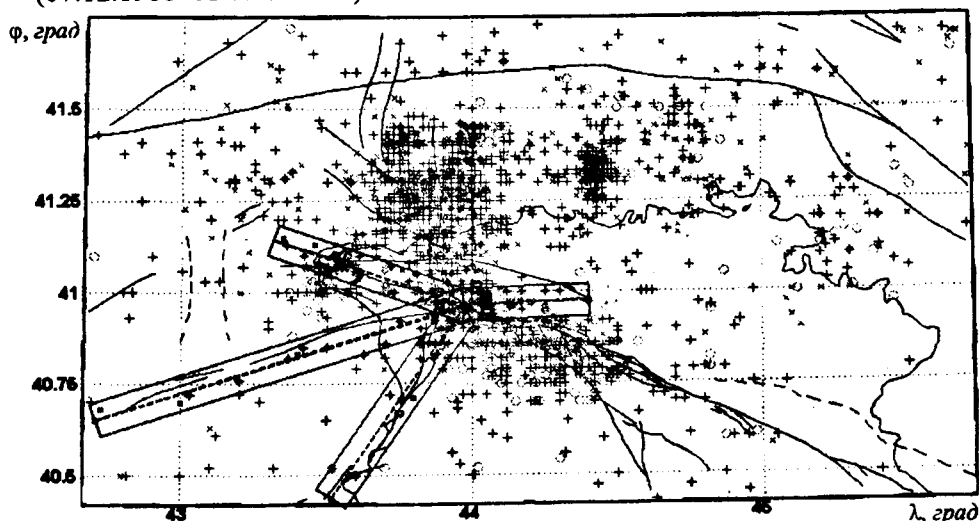


Рис. 2. Четыре разных профиля по активным разломам (кроме Памбак–Севанского и Спитакского) с шириной 10км.

Один из самых сейсмоактивных районов Кавказа – Джавахетское нагорье – примыкает к очаговой области Спитакского землетрясения с севера, и

часть афтершоков попадает в пределы этого нагорья. Сравнение сейсмичности южной части Джавахетии и Спитакской очаговой зоны позволяет установить некоторую согласованность их временного хода, которая проявляется в определенной синхронизации моментов возникновения сильных землетрясений в Джавахетском нагорье (кроме наиболее удаленных участков) и Спитакской зоне. Кроме того, перед Спитакским землетрясением в южной части Джавахетского нагорья начиная с 1984 г. отмечается затишье сейсмической активности [2, 4–6].

Детальный анализ афтершоков по глубине показывает, что если до

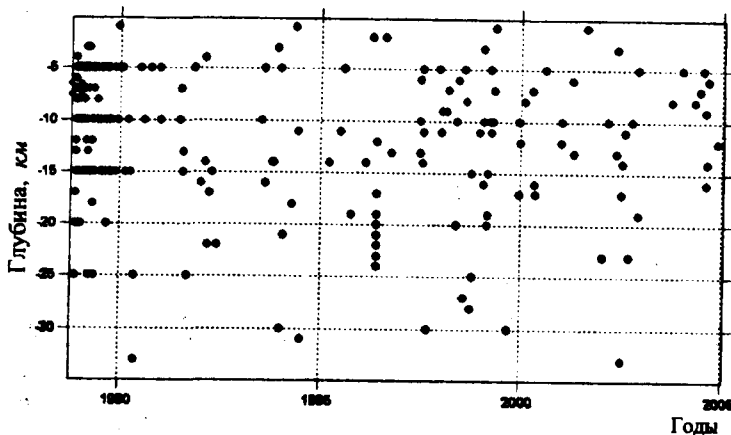


Рис. 3. Распределение афтершоков по глубине (07.12.1988–01.01.2005гг.)

главного толчка 07.12.1988 г. гипоцентры землетрясений были расположены на глубинах до 10 км [1, 4], то после главного толчка – до 30 км (рис. 3). Таким образом, афтершоки сильного для территории Армении землетрясения распо-

ложены в пределах сейсмогенного слоя, который, по мнению специалистов, имеет глубину до 30 км.

Детальные высокоточные полевые сейсмологические исследования афтершоков Спитакского землетрясения показывают, что глубина их гипоцентров на северо-западе афтершоковой области больше (в основном до 15 км), чем на юго-востоке (в основном до 10 км) [2, 3, 7].

Результаты анализа данных. В целом, афтершоковая последовательность Спитакского землетрясения может считаться нормальной, спад сейсмической активности довольно быстрый с периодами стабилизации.

По линиям разломов была построена гистограмма зависимости количества землетрясений от времени и график Бенъофа (рис. 4, 5).

Детальное исследование сейсмического процесса показывает, что завершением активного афтершокового процесса можно считать период до 1993 г., что четко видно из рис. 4. Правда, заметно, что до Спитакского землетрясения в оконтуренной на рис. 1 зоне будущей афтершоковой области имеется определенное количество землетрясений, которые создают некий активный сейсмический фон. Но надо сказать, что эти сейсмические события частично относятся к югу Джавахетской активной области, т. е. отнести их целиком к области афтершоков Спитакского землетрясения, по-видимому, ошибочно. Если опираться на это предположение, то более уверенно можно сказать, что период активного афтершокового процесса Спитакского землетрясения завершился в 1992 г.

После 1993г. можно считать, что исследуемая территория вошла в нормальный для зоны сейсмический режим (рис. 6). На рис. 7 сравниваются суммарные количества землетрясений (а) и суммарные выделенные энергии (б) до сейсмического затишья (1974–1985 гг.) в зоне и после афтершокового процесса (1994–2005 гг.), которые представляют определенный интерес.

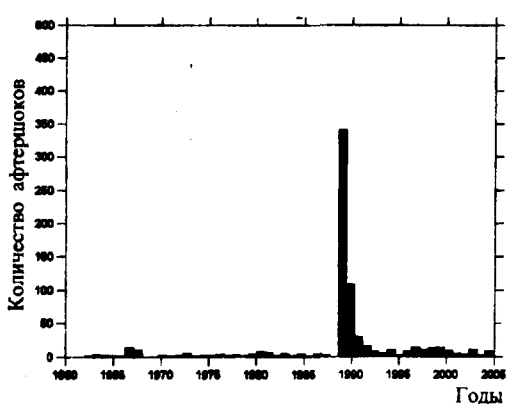


Рис. 4. Гистограмма землетрясений афтершоковой области Спитакского землетрясения.

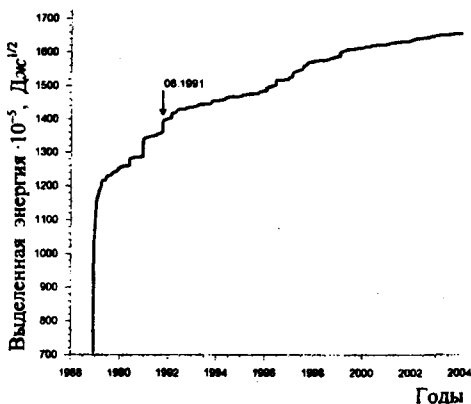


Рис. 5. График Беньюфа для афтершоковой области землетрясения.

Полученные результаты были сравнены с результатами, рассчитанными по эмпирическим формулам Омори (см. [8]), а также Уцу и Секи (см. [8]).

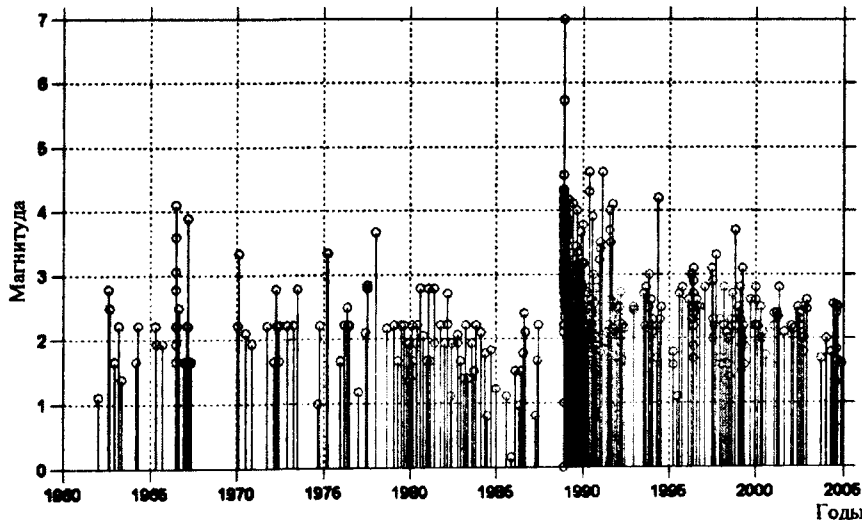


Рис. 6. Сейсмичность в пределах зоны афтершоков Спитакского землетрясения 07.12.1988 г.

По формуле Омори $N(t) = k/(t+c)^{-p}$, где N – количество афтершоков, k и c – константы Омори для конкретной области, p – оценка скорости спада афтершоковой активности, для исследуемой области был построен график (рис. 8).

Площадь афтершоковой активности (A), рассчитанная по формуле Уцу и Секи $LgA = 1,02M + 6,0$, где $M=7,0$, составляет $\approx 1000 \text{ км}^2$ и совпадает с

результатами грубых визуальных расчетов по карте распространения афтершоковой активности.

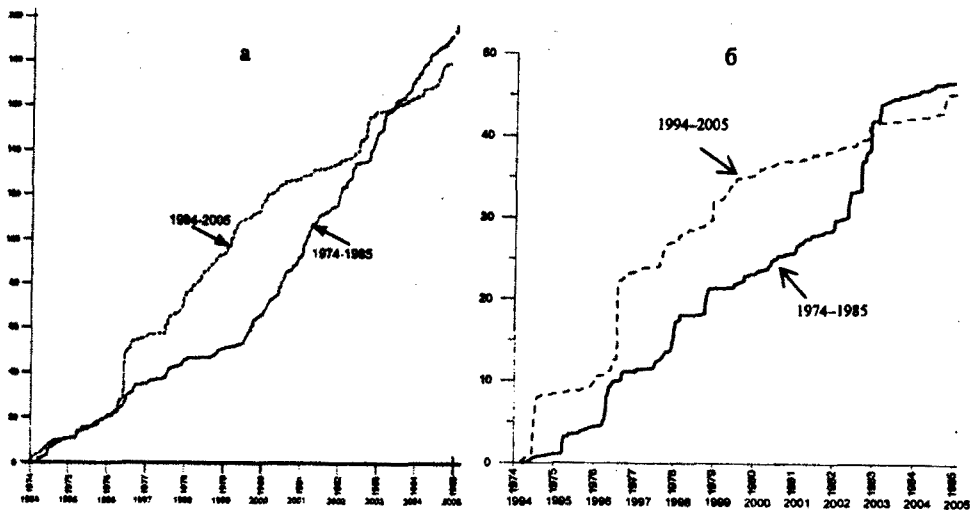


Рис. 7. Суммарные величины количества землетрясений (а) и выделенной энергии $10^{-5} \text{ Дж}^{1/2}$ (б) в пределах зоны афтершоков Спитакского землетрясения 1988 г.

Несмотря на все вышеуказанные оценки и определения, афтершоковый процесс сильных землетрясений зависит от многих факторов (в том числе от особенностей накопления тектонических напряжений) в геологической среде, где было подготовлено и произошло землетрясение. Учесть все факторы практически невозможно, поэтому целесообразно остановиться на наиболее существенных из них. Это, в первую очередь, магнитуда землетрясения, его глубина, тип разлома, частота появления сильных землетрясений в этой очаговой зоне, средняя скорость перемещения крыльев разлома и др. И даже если определены эти параметры, прогнозировать ход афтершокового процесса и дать ему количественные оценки очень трудно. Работ, посвященных этим вопросам, не так много. После Спитакского землетрясения прошло около 16 лет, и на основании накопленных статистических данных можно сделать некоторые выводы о длительности афтершокового процесса, особенностях затухания количества афтершоков, выделенной энергии и т.д. Нами определены время продолжительности афтершоковой активности ≈ 3 года и площадь распространения эпицентров афтершоков $A \approx 1000 \text{ км}^2$.

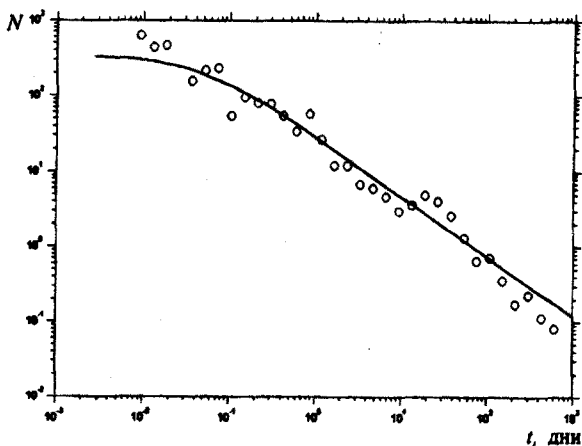


Рис. 8. Зависимость количества землетрясений N от времени (по формуле Омори).

рость перемещения крыльев разлома и др. И даже если определены эти параметры, прогнозировать ход афтершокового процесса и дать ему количественные оценки очень трудно. Работ, посвященных этим вопросам, не так много. После Спитакского землетрясения прошло около 16 лет, и на основании накопленных статистических данных можно сделать некоторые выводы о длительности афтершокового процесса, особенностях затухания количества афтершоков, выделенной энергии и т.д. Нами определены время продолжительности афтершоковой активности ≈ 3 года и площадь распространения эпицентров афтершоков $A \approx 1000 \text{ км}^2$.

Полученные значения временных и пространственных параметров позволяют провести достаточно обоснованную и объективную декластеризацию каталога землетрясений.

Кафедра геофизики

Поступила 30.11.2005

ЛИТЕРАТУРА

1. Караханян А.С. – Известия АН Армении, Науки о земле, 1992, № 1, с. 3–11.
2. Арефьев С.С. Эпицентральные наблюдения геодинамических моделей очагов сильных землетрясений. Автореф. дис. на соискание ученой степени док. физ.-мат. наук, М. ОИФЗ РАН, 2001.
3. Дорба К., Дорба Л., Алтекман Ж. и др. – Физика Земли, 1991, № 11, с. 86–95.
4. Balassanian S.Y., Arakelian A.R., Nazaretian S.N., Avanesian A.S., Martirosian A.H., Igoumnoy V.A., Melkourian M.G., Manoukian A.V. and Tovmassian A.K. – Annali di Geofisica, 1995, v. 38, p. 345–372.
5. Durgaryan R.R. – MANEB, St-Peterburg, 2003, № 4, p. 242–244.
6. Durgaryan R.R. – MANEB, St-Peterburg, 2003, № 7, p. 14–16.
7. Cisternas A., Philip H., Arefiev S. et al – Nature, 1989, v. 339, № 6227, p. 675–679.
8. Reasenberг Paul A. and Jones L.M. – Science, 1989, № 243, p. 1173–1176.
9. Kasahara K. – Earthquake mechanics, by Cambridge University Press, 1981, p. 27.

Մ. Ա. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ, Ռ. Ռ. ԴՈՒՐԳԱՐՅԱՆ, Լ. Բ. ՄԻՐԶՈՅԱՆ

ՄՊԻՏԱԿԻ 1988թ. ԵՐԿՐԱՇԱՐԺԻ ՀԵՏՅՆՑՈՒՄԱՅԻՆ ՓՈՒԼԻ
ՔԱՆԱԿԱԿԱՆ ԳՆԱՀԱՏԱԿԱՆԸ

Ամփոփում

Աշխատանքում ներկայացված է Սպիտակի 1988թ. $M=7,0$ մագնիտուդով երկրաշարժի հետցնցումների բաշխման քանակական գնահատականը երկրաշարժերի կատալոգի զույման պարամետրերը որոշելու նպատակով:

Հետցնցումների բաշխման քանակական գնահատման նպատակով համեմատվել են գլխավոր ցնցման սեյսմիկ անդորրից առաջ և հետցնցումներից հետո միևնույն ժամանակահատվածում երկրաշարժերի զումարային էներգիաները և դրանց զումարային քանակները:

Ուսումնասիրվող տարածքի համար ստացված արդյունքները համեմատվել են Օմորիի և Ուցու–Սեկիի էմպիրիկ քանաձևերի հետ:

M. A. GRIGORYAN, R. R. DURGARYAN, L. B. MIRZOYAN

THE QUANTITATIVE ASSESSMENT OF SPITAK EARTHQUAKE AFTERSHOCK STAGE

Summary

In this paper the quantitative assessment of aftershocks distribution for the Spitak earthquake in 1988 with magnitude $M=7,0$ is presented, to define the catalogue of declusterisation parameters.

Comparing the released summary energy and earthquakes number before the main shock quiescence period with the same period after aftershocks, the aftershocks' real continuation period has been assessed.

Received results for selected area has been compared with empirical equations of Omori and Utsu–Seki.