

ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ И ДИНАМИКИ РАЗВИТИЯ АФТЕРШОКОВОЙ ЗОНЫ СПИТАКСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 1988 ГОДА

© 2008 г. Л. Б. Мирзоян*, С. Н. Назаретян**

*Ереванский государственный университет, 0025, Ереван, ул. А. Манукяна, 1, Республика Армения

**Северная служба сейсмической защиты РА

3115, Гюмри, ул. В. Саркисяна, 5а, Республика Армения, E-mail: ndnssp@shirak.am

Поступила в редакцию 25.06.2007 г.

На основе статистической обработки сейсмических данных определены границы афтершоковой зоны, а с помощью комплекса сейсмологических и сеймотектонических данных – внутренняя структура афтершоковой области Спитакского землетрясения 1988г. Опираясь на данные за 1988-2007гг., даются особенности затухания афтершоковой активности, выделенной энергии. Считается, что активность области продолжается. Полученные данные имеют важное значение для решения многих практических сейсмологических и сеймотектонических задач.

Изучение внутреннего строения афтершоковой зоны Спитакского землетрясения 1988г. и динамики ее развития имеет исключительное значение для ответа на несколько важных практических вопросов, связанных с определением геометрических параметров зоны, продолжительностью афтершокового процесса, ее активных периодов и др. Следует отметить, что ряд специалистов пытались ответить на эти вопросы (Арефьев и др., 1991; Баласанян и др., 2004; Гедакян и др., 1989; Годзиковская и др., 1990; Дорбат и др., 1991; Караханян, 1989; Москвина и др., 1991; Dorbath et al., 1992). Однако, эти исследования основывались только на данных 1-3-летних наблюдений сразу после Спитакского землетрясения. Специальные исследования, охватывающие более продолжительный период, не проводились. С этой точки зрения, нижеизложенные исследования и их результаты ценны тем, что основываются на данных 18-летних сейсмических наблюдений.

Сначала несколько слов о надежности записей афтершоков и определения их параметров. Известно, что сразу после Спитакского землетрясения сейсмологи Франции, США и СССР организовали в эпицентральной зоне записи слабых толчков ($K > 6,0$), что позволило до 1992г. определить координаты эпицентров с точностью до ± 1 км и глубины гипоцентров с точностью до ± 3 км (Арефьев и др., 1991, Dorbath et al., 1992). До 2007г. эти станции и региональная сеть Национальной службы сейсмической защи-

ты (НССЗ) РА зарегистрировали около 13500 толчков. После демонтажа временных сейсмических станций резко снизилась точность определения параметров толчков. Однако, после организации НССЗ РА сейсмических телеметрических систем с центрами в городах Ереване (1993г), Гюмри (1995) и Ванадзоре (1997г), имеющих в своем составе общим числом 20 станций, задача определения основных параметров афтершоков в достаточной степени урегулировалась, поскольку из этих сейсмических станций 11 находятся либо в эпицентральной зоне Спитакского землетрясения, либо в прямопримыкающих к ней областях. Практически, с 1995г. координаты афтершоков определялись с точностью до ± 3 км.

Таким образом можно считать, что каталог землетрясений НССЗ РА, который содержит в себе данные почти всех наблюдений, несмотря на определенные недостатки и неоднородности, может служить основой для решения вышепоставленных задач.

Границы афтершоковой зоны

Определение границ афтершоковой зоны Спитакского землетрясения 1988г. представляет собой довольно сложную задачу, в частности по двум основным причинам: а) точность определения координат некоторой части эпицентров афтершоков и глубин их гипоцентров низка; б) афтершоковая зона прямо граничит с Джавахетской активной сейсмической зоной, что затрудняет определение у северо-западной границы (рис 1).

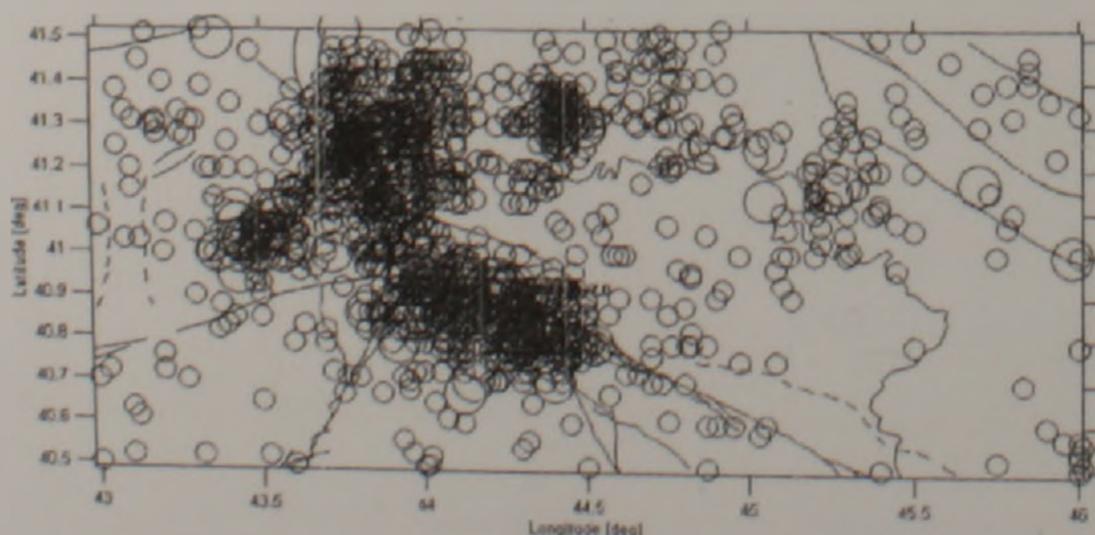


Рис 1. Карта эпицентров афтершоковой зоны Спитакского землетрясения 1988г. и прилегающих районов за 1988-2007гг.

Основным путем решения задачи может являться использование достоверных данных о параметрах афтершоков, хотя бы для коротких промежутков времени. На рис. 2 приведена карта 708 эпицентров только на основе двухнедельных записей. Точность определения эпицентров составляет $\pm 0,5$ км. Записи проведены с помощью 30-40 сейсмических станций Франции и АН СССР. Границы облака афтершоков достаточно надежно и многосторонне определены разными исследователями, причем с учетом глубины афтершоков (Арефьев и др., 1991; Тейтельбаум и др., 1991; Дорбат и др., 1991). В данной работе, с учетом этих данных, дается более упрощенная картина предельного контура облака, которая использована для исследования динамики развития зоны до 2007 г (рис. 3).

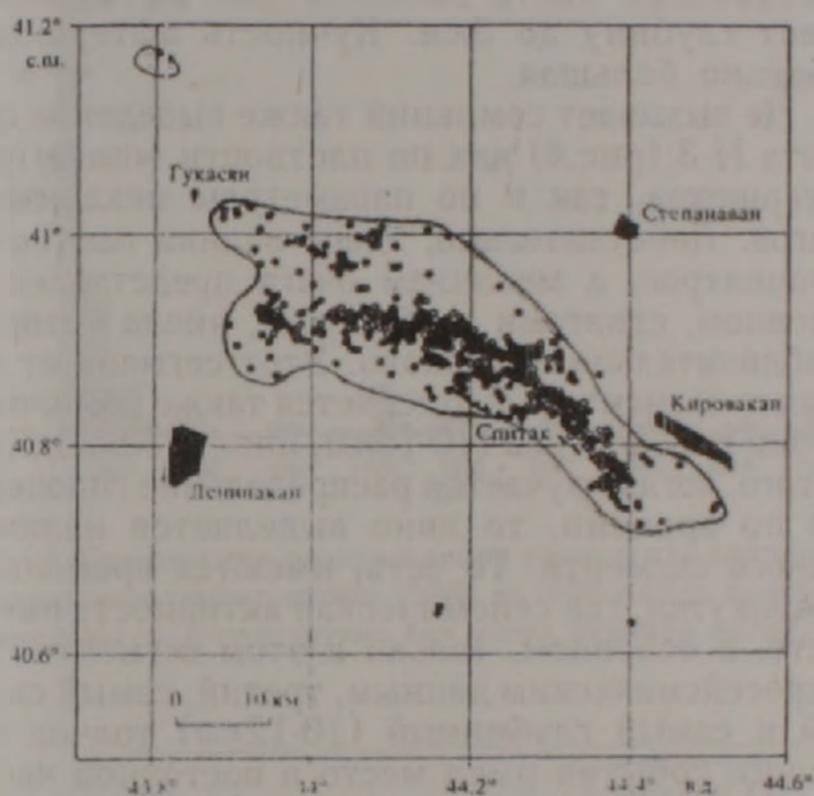


Рис. 2. Карта точных эпицентров афтершоков Спитакского землетрясения 1988 г. для периода 24.12.1988 - 08.01.1989 гг. (Арефьев и др., 1991; Dorbath et al., 1992) и границ афтершоковой зоны.

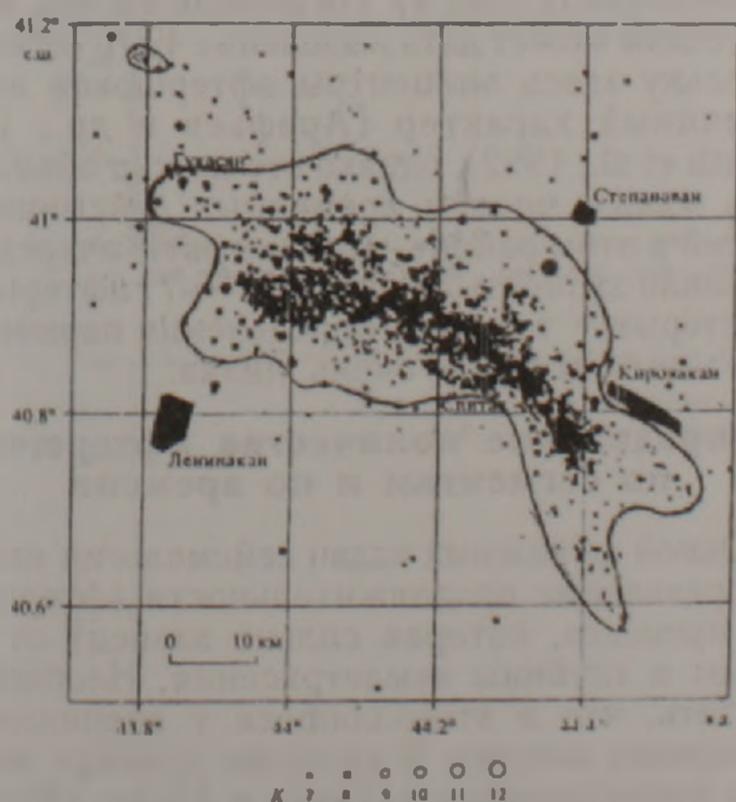


Рис. 3. Карта эпицентров афтершоков Спитакского землетрясения 1988 г. по сводному каталогу ИФЗ АН СССР за 07.12.1988 - 31.12.1989 г. (точность большей части эпицентров составляет до $\pm 1,0$ км, Арефьев и др., 1991) и границ афтершоковой зоны.

В основном, обе границы афтершоковой зоны, проведенные нами в первом приближении, близки друг другу. Однако, как длина, так и ширина зоны на рис. 3 больше. Особенно протяженна зона по юго-восточному направлению, что может быть связано как с ошибкой определения местоположения эпицентров, так и с сейсмической активностью разлома, действующей в этом направлении. Если основываться на скоплении эпицентров, то ширина зоны от юго-востока к северо-западу возрастает, что, в основном, обусловлено несколькими факторами, в первую очередь, глубиной гипоцентров и падением в $60-80^\circ$ на северо-восток зоны сейсмогенного разлома (Караханян, 1989; Баласанян и др., 2004), поскольку при глубине гипоцентров в 10-20 км увеличивается ширина эпицентральной зоны к северо-востоку. Учитывая отмеченное, общая ширина афтершоковой зоны по обе стороны оси сейсмогенного разлома составляет около 8-10 км, причем облако афтершоков расположено асимметрично по отношению к оси разлома. Очевидно также, что афтершоковая зона обособляется от Джавахетской активной сейсмической зоны. Северо-западная граница афтершоков ограничивается населенным пунктом Ашоцк. Важно, что границы афтершоковой зоны в основном формируются афтершоками до 1992 г., а в этот период Джавахетская зона не отличалась особой активностью (рис. 2, 3).

Отсюда следует также, что генетически афтершоковая зона не имеет связи с активной Джавахетской сейсмической зоной. Протяженность афтершоковой зоны, по тем же данным, составляет до 60 км (если опираться на картину плотности эпицентров, то она составит 50 км). Площадь эпицентральной зоны составляет около 1000 км^2 .

Важные особенности наблюдаются при изучении распределения «облака» гипоцентров афтершоков. Несомненно также, что большая часть гипоцентров имеет глубину около 5 км и только их небольшая часть расположена на глубинах 10-15 км. Глубина некоторых гипоцентров оценивается в 15-20 км. Видно, что к северо-западу глубина гипоцентров возрастает.

Внутреннее строение афтершоковой зоны

Известно, что специалисты «облако» эпицентров афтершоков Спитакского землетрясения 1988 г. разделяют от 3-х до 14-и сегментов (Арефьев и др., 1991; Годзиковская и др., 1990; Dorbath et al., 1992). С нашей точки зрения, разделение афтершоковой зоны на сегменты, исходя только из особенностей распределения эпицентров, не совсем правильно. Результаты такого подхода в решении этого вопроса со стороны специалистов вызывают резкие разногласия. Несомненно, что для обоснованного решения данного вопроса необходимо использование и других данных. Надо принять во внимание, что афтершоки по происхождению зависят непосредственно от основных событий, в том числе от их магнитуды и глубины, а также от сейсмогенного разлома.

Нами предпринята попытка определения внутреннего строения эпицентральной зоны, опираясь на ряд таких важных данных, как: а) пространственное распределение очагов отдельных сотрясений основного события; б) особенности сейсмогенных разломов, образовавшихся вследствие землетрясения; в) механизмы очагов афтершоков; г) проявление эпицентров во времени и т.д.

Кратко остановимся на этих данных и с их помощью на выделенных сегментах. Специалисты единогласны в том, что Спитакское землетрясение 07.12.1988г. имело мультиплетный характер, т.е. основной толчок представлял собой несколько, более 3-х, чередующихся толчков (Арефьев и др., 1991; Баласанян и др., 2004; Грайзер и др., 1991; Караханян, 1989; Назаретян, Аракелян, 1993; Dorbath et al. 1992). А. Караханян и С. Назаретян, основываясь на макросейсмические, сеймотектонические данные и на сейсмические записи, выделили 3 толчка (Караханян, 1989; Назаретян, Аракелян, 1993), которые имели место в 35-секундном интервале продолжительности землетрясения. По их мнению, первый толчок произошел возле г. Спитака, имея глубину гипоцентра 8-10 км и среднюю силу (по сравнению с дзумя другими толчками). Во время этого толчка активизировался проходящий через окраину г. Спитака 11-километровый сейсмогенный разлом, который вышел на поверхность. В Спитаке удар землетрясения был вертикальным. По реакции населения, землетрясение началось сразу, без слабых толчков. Мы склонны эту часть афтершокового «облака» выделить в качестве отдельного сегмента (N1, рис. 4). Тем более, что в пользу этого мнения говорят механизмы очагов афтершоков, поскольку в этом сегменте, в отличие

от других соседних сегментов, равномерно распределены как сбросы, так и сдвиги (Гедакян и др., 1989). Преобладающая глубина гипоцентров составляет 5-10 км (Арефьев и др., 1991; Dorbath et al. 1992; Cisternas et al., 1989; Pacheco et al., 1989).

К юго-востоку от этого сегмента довольно точно выделяется сегмент N 2 (рис. 4). Для такого заключения основой служат следующие факты. Второй толчок основного события, который произошел через 5 сек. после первого и с которым связаны афтершоки этого сегмента, по силе был наиболее слабым и близповерхностным (глубина гипоцентра около 5 км). Во время этого толчка возник проходящий вблизи села Алавар 10-километровый разлом. Здесь явно преобладают афтершоки сдвигового механизма. Преобладающая часть гипоцентров афтершоков имеет глубину до 5 км. Кучность афтершоков довольно большая.

Не вызывает сомнений также выделение сегмента N 3 (рис. 4) как по плотности эпицентров афтершоков, так и по параметрам механизмов очагов. Действительно, здесь велика плотность гипоцентров, а механизм очага представлен, в основном, сдвигами и сбросами, число которых приблизительно одинаково. Этот сегмент от соседнего сегмента N 2 отделяется также различием глубин гипоцентров (10-15 км, иногда 20 км). Кроме того, когда изучается распределение гипоцентров по времени, то явно выделяется наличие данного сегмента. То есть, имеются временные промежутки, где сейсмическая активность имела место, в основном, только в этом сегменте. По макросейсмическим данным, третий, самый сильный и самый глубинный (10-12 км) толчок основного события имел место в восточной части этого сегмента, около села Дзорашен, через 14 сек. после второго толчка. По нашему мнению, от расположения очага этого толчка берет начало также 4-й сегмент, который протягивается на северо-запад (рис. 4). На первый взгляд, место дискуссиям может дать выделение 4-ого сегмента, поскольку здесь эпицентры афтершоков имеют рассеянный характер (Арефьев и др., 1991; Dorbath et al., 1992), однако это можно объяснить очень малым числом временных сейсмических станций в этом районе, что, в первую очередь, не позволило записать слабые ($K = 6-7$) афтершоки, а во-вторых – точность определения параметров записанных толчков очень низка.

Распределение количества афтершоков по сегментам и по времени

Одной из важных задач сейсмологии является определение продолжительности афтершокового процесса, которая сильно зависит от магнитуды и глубины землетрясения. Необходимо отметить, что в этом вопросе у специалистов нет единого мнения. В качестве примера можно взять землетрясение в Токио в 1923г. ($M=8,2$). Многие сейсмологи считают, что его афтершоковый процесс прекратился через 10-15 лет, однако К. Моги утверждал, что процесс продолжался более 50 лет (Рикитакэ, 1979).

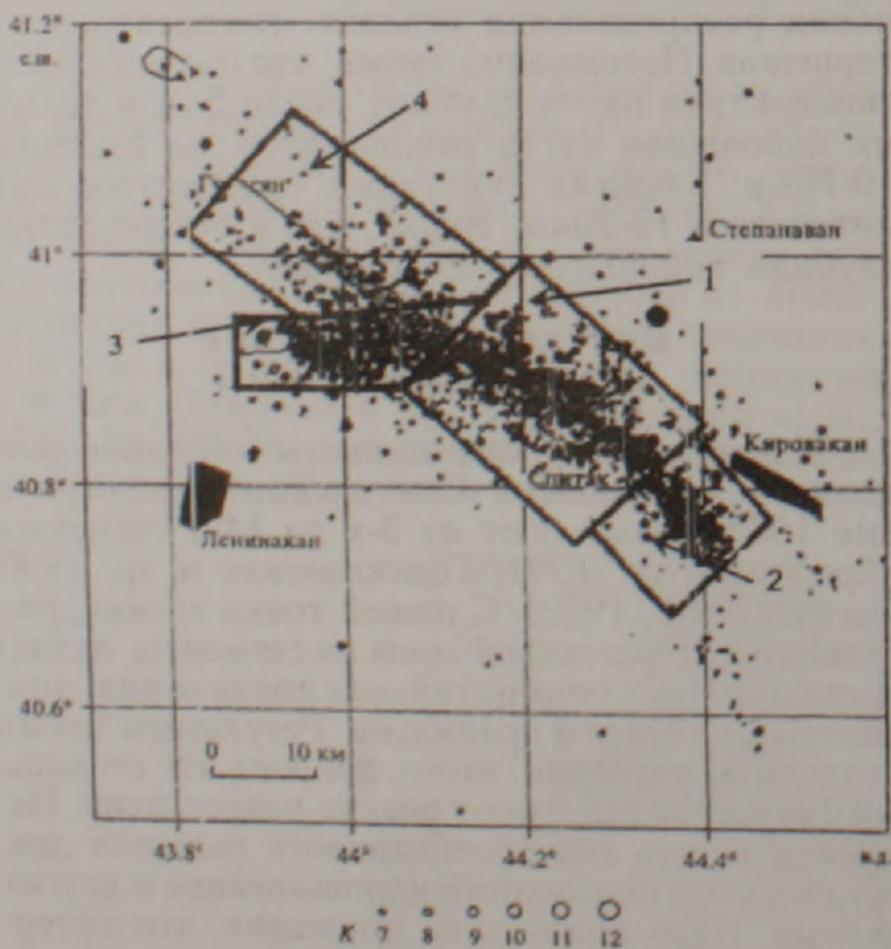


Рис. 4. Сегменты эпицентров афтершоковой зоны Спитакского землетрясения 1988г. по комплексным сейсмическим и геологическим данным. Сплошной линией проведены оси сегментов, а арабскими цифрами пронумерованы сегменты.

После Спитакского землетрясения 1988г. прошло более 18 лет, и у нас имеются достаточные основания для утверждения, что афтершоковый процесс еще продолжается. Факты для такого заключения следующие: а) из рис.5 очевидно, что до 2007г. афтершоковая активность Спитакского землетрясения не затухла, не было относительно длительного периода (например, полгода), в течение которого отсутствовали бы сейсмические сотрясения; б) в афтершоковой зоне сейсмичность еще не дошла до фоновых значений, установленных по данным за 1962-1988гг; в) за-

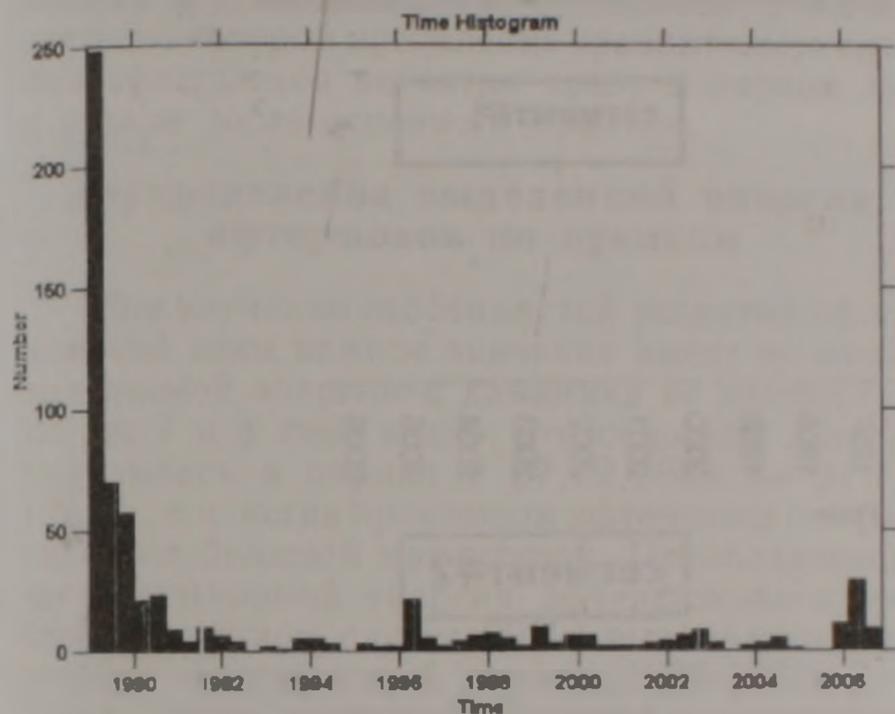


Рис.5. Гистограмма распределения количества афтершоков Спитакского землетрясения 1988г за 1988-2007гг. Количество землетрясений подсчитано без учета величин магнитуд.

метно, что за последние годы выделенная энергия и количество даже слабых землетрясений в прилегающих к эпицентральной зоне областях несравненно меньше, чем в самой эпицентральной зоне. Таким образом, нет существенных перерывов в сейсмической активности афтершоковой зоны Спитакского землетрясения 1988г. до настоящего времени, а активность территории вокруг афтершоковой зоны значительно уступает активности в самой зоне.

Следующий важный вывод относится к выделению временных периодов с высокой и слабой активностью афтершокового процесса. Резкое изменение количества афтершоков так велико, что явно можно считать активным период времени после Спитакского землетрясения до 1992г., когда имело место преобладающее большинство зарегистрированных толчков. 1993-2007гг. является периодом слабой активности, поскольку в афтершоковой зоне не имели места процессы, сравнимые с 1988-1992 годами. Вплоть до 2007г. в афтершоковой зоне зарегистрированы многочисленные землетрясения. В периоде слабой активности сравнительно активными были первые полугодия 1996 и 2006 годов.

Поскольку Спитакское землетрясение 1988 года имело мультиплетный характер и три важных толчка основного события различались друг от друга силой и глубиной гипоцентров, которые, в основном, соответствуют выделенным с нашей стороны сегментам афтершоковой зоны, то становится важным изучение процесса затухания сейсмической активности после землетрясения в этих 4-х сегментах. Из рис.6 следует, что за-

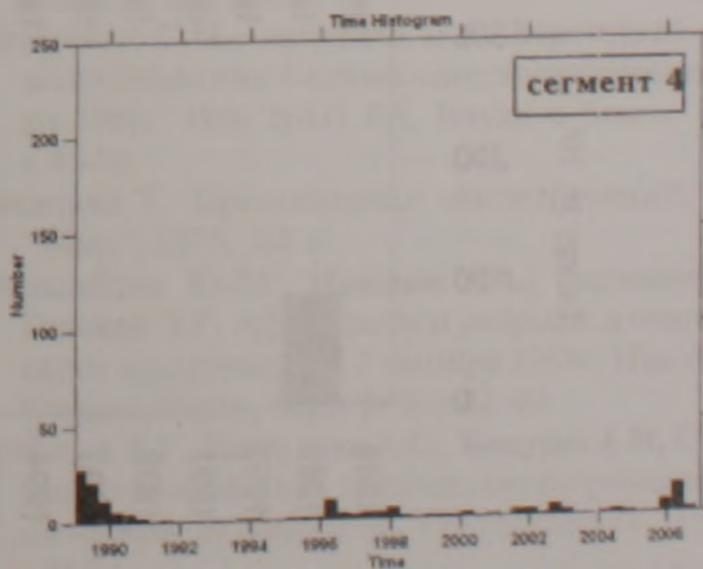
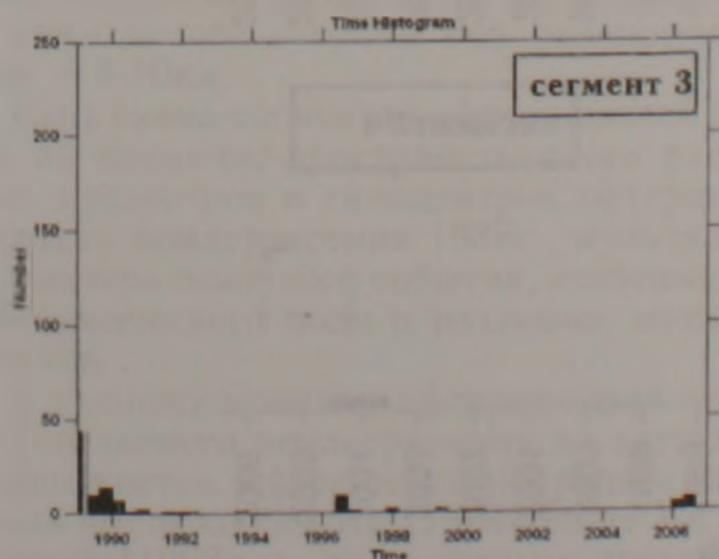
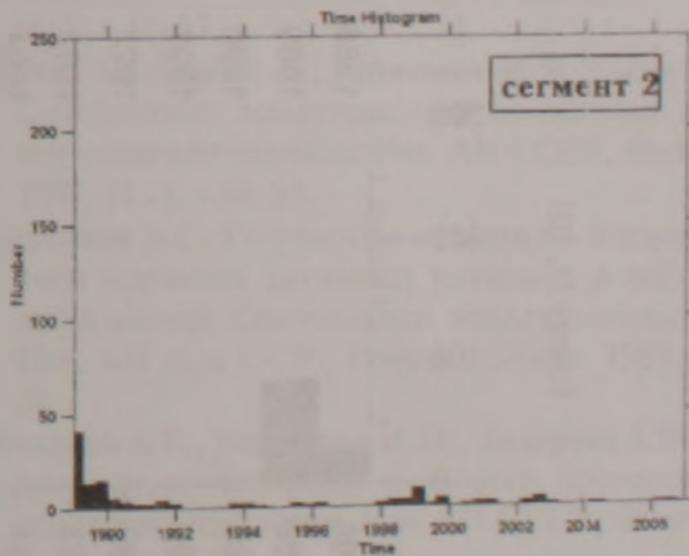
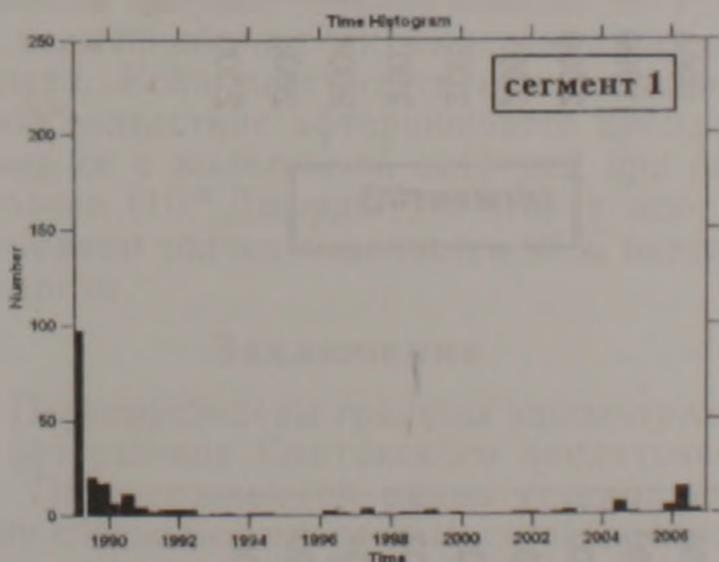


Рис.6. Гистограммы распределения количества афтершоков Спитакского землетрясения 1988г. по сегментам за 1988-2006гг.

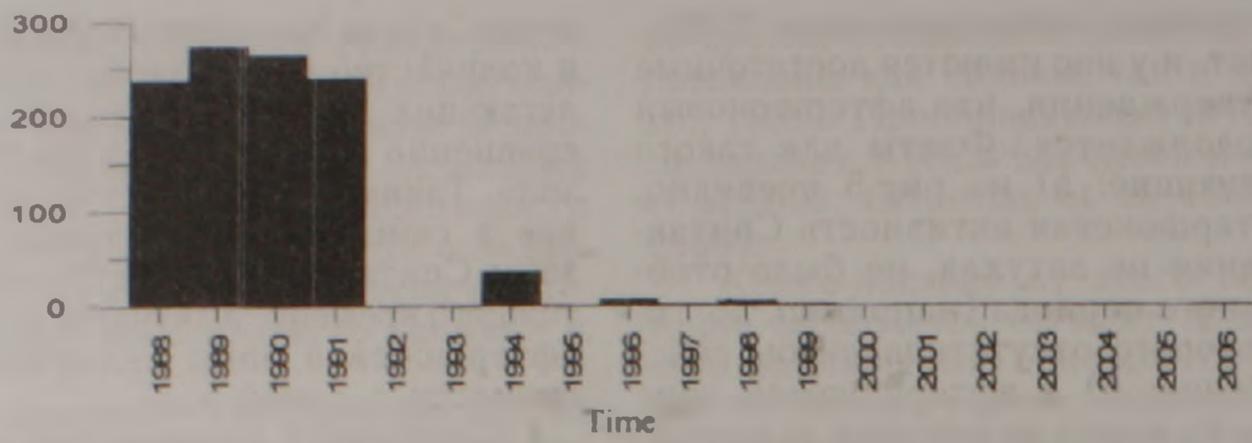


Рис.7. Гистограмма распределения выделенной энергии вследствие афтершоков Спитакского землетрясения 1988г. по годам. Вертикальная ось показывает выделенную суммарную энергию в 10^5 Джоулях.

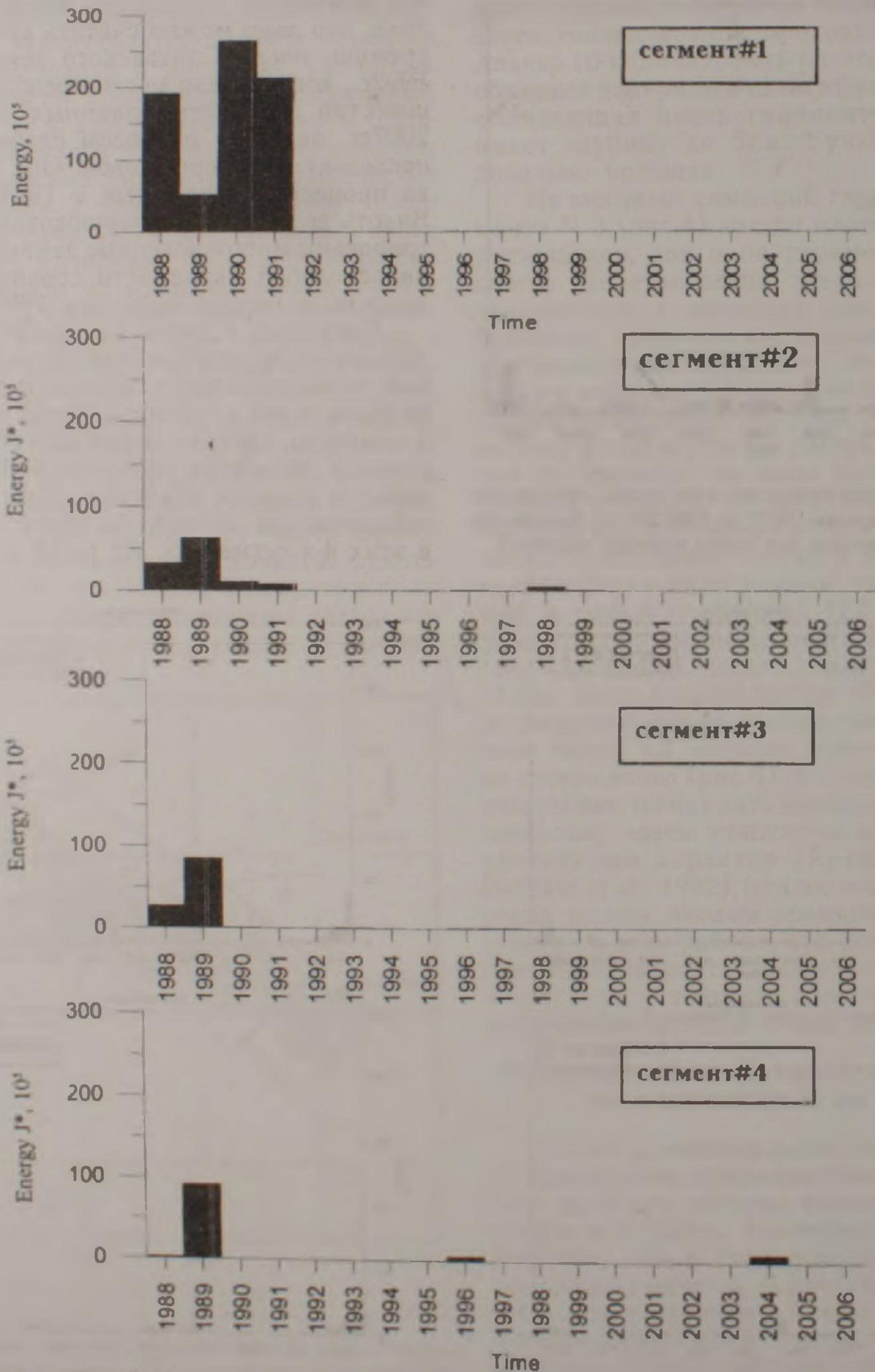


Рис.8. Гистограммы распределения выделенной энергии афтершоков Спитакского землетрясения 1988г. за 1988-2006гг. по сегментам

тухание количества афтершоков сравнительно одинаково во всех сегментах. Заметна небольшая сейсмическая активизация сегментов в 2006г., кроме сегмента 2. Наблюдается также, что в сегментах, соответствующих глубоким и сильным толчкам основного события, больше количество афтершоков с $M \geq 3,0$.

Закономерность проявления сравнительно сильных афтершоков на общем фоне затухания количества и силы афтершоков не наблюдается. Таким образом, прогноз сильных толчков только по сейсмическим данным обречен на неудачу. Можно подтвердить лишь ту известную мысль, согласно которой проявление сравнительно сильных афтершоков вероятно сразу в первые дни и недели после основного события.

Распределение выделенной энергии афтершоков по времени

При изучении особенностей развития афтершоковой зоны важное значение имеет величина выделяемой энергии и динамика ее изменения. Из рис.7 и 8 явно видно, что основная энергия выделилась в период с 07.12.1988 по 31.12.1991гг., т.е. когда произошли афтершоки со сравнительно большой магнитудой. Преобладающая часть суммарной энергии афтершокового процесса (в данном случае 99%) выделилась в активный афтершоковый период (1988-1992гг.). С точки зрения выделения энергии сравнительно активным был также 1994 год.

Определенный интерес представляет распределение выделенной афтершоковой энергии по сегментам (рис.8). Заметно, что в сегменте N 1 выделенная энергия гораздо больше по сравнению с величиной энергии, выделенной в других сегментах. Если рассчитать всю выделенную энергию вследствие афтершокового процесса и сравнить ее с выделенной энергией при основном толчке (10^{16} Джоуль), то станет ясно, что при основном толчке выделяется 96% накопленной энергии.

Заключение

1. Переопределены границы эпицентральной зоны афтершоков Спитакского землетрясения 1988г. Подтверждаются ранее установленные многими специалистами данные, согласно которым ее длина составляет до 60км, а ширина афтершоковой зоны по обе стороны оси сейсмогенного разлома – 8-10км.

2. Дана схема сегментов афтершоковой зоны исходя из временно-пространственного распределения эпицентров и гипоцентров афтершоков Спитакского землетрясения 1988г., мультиплетного характера основного события, особенностей макросейсмического поля и разломов, механизмов очагов.

3. К данному моменту афтершоковая активность Спитакского землетрясения не затухла и она продолжается. Афтершоковый процесс разделяется на высокоактивный (1988-1992гг.) и слабоактивный (1993г. – по настоящее время) периоды.

4. На общем фоне затухания количества аф-

тершоков и их силы не наблюдается определенная закономерность проявления сильных афтершоков. Только можно подтвердить известное мнение, что вероятность проявления сравнительно сильных афтершоков больше непосредственно после основного события.

5. Общая выделенная энергия афтершоков Спитакского землетрясения 1988г. составляет незначительный процент от выделенной во время основного события энергии. Преобладающая часть суммарной афтершоковой энергии (98%) выделилась в активный афтершоковый период (1988-1992гг.).

ЛИТЕРАТУРА

- Арефьев С.С., Алтекман Ж.Я., Госбатова И.П., Гедакян Э.Г. и др. Каталог афтершоков Спитакского землетрясения 7 декабря 1988г. Изв. АН СССР, Физика Земли, 1991, N 11, с.7-14
- Баласанян С.Ю., Назаретян С. Н., Амирбекян В.С. Сейсмическая защита и ее организации. г.Гюмри: Изд. Эльдorado, 2004, 437 с.
- Гедакян Э.Г., Агаронян В.Ж., Данилова М.А., Юнга С.Л. Особенности фокальных механизмов афтершоков Спитакского землетрясения. Изв. АН АрмССР, Науки о Земле, 1989, N 3, с. 71-77.
- Годзиковская А.А., Гедакян Э.Г., Товмасян А.К. Афтершоковый процесс в Спитакской очаговой зоне по данным региональных станций за период 7.12.1988 – 24.01.1989 гт. Вопросы инженерной сейсмологии, М.: Изд. «Наука», 1990, вып. 31, с.29-35
- Грайзер В.М., Систернас А., Дорбат Л., Филип Э. Моделирование очага Спитакского землетрясения 7 декабря 1988 г. Изв. АН СССР, Физика Земли, 1991, N12, с.45-55.
- Дорбат К., Дорбат Л., Алтекман Ж.Я. Геометрия очага Спитакского землетрясения по данным детального изучения афтершоков. Изв. АН СССР, Физика Земли, 1991, N 11, с.86-95.
- Караханян А.С. Результаты наземного и аэрокосмического изучения активных разломов и сейсмогенных деформаций Спитакского землетрясения 1988 года. Изв. АН Арм ССР., Науки о Земле, 1989, N 3, с 20-24.
- Москвина А.Г., Госбатова И.П., Захарова А.И. и др. Некоторые особенности очагового процесса Спитакского землетрясения. Изв. АН СССР, Физика Земли, 1991, N 11, с.39-55.
- Назаретян С.Н., Аракелян Л.А. Вероятный механизм возникновения Спитакского землетрясения 7 декабря 1988г. Изв. НАН РА, Науки о Земле, 1993, N 1, с.45-52.
- Рикитаке Т. Предсказание землетрясений. М.: Изд. "Мир", 1979, 388 с.
- Тейтельбаум Ю.М., Никонов А.А., Годзиковская А.А., Гедакян Э.Г. Афтершоки и разрывы в очаге Спитакского землетрясения 7 декабря 1988г. Изв. АН СССР, Физика Земли, 1991, N 5, с.42-49.
- Трифонов В.Г., Караханян А.С., Кожурин А.И. Спитакское землетрясение, как проявление современной тектонической активности. Геотектоника, 1990, N 6, с.46-61.
- Шебалин Н.В., Арефьев С.С. Макросейсмическое поле. Природные опасности России: Сейсмические

опасности. М.: Крук, 2000, т. 2, с.30-35.

Cisternas A., Philip H., Arefiev S.S., Bousquet J C. The Spitak(Armenia) earthquake of 7 December 1988: Field observations, seismology and tectonics , Nature, 1989, Vol. 339, N 6227, p. 675-679.

Dorbath L., Dorbath C., Rivera L., Fuenzalida A., Cisternas A., Tatevossian R., Aptekman J., Arefev S. Geometry,

segmentation and stress regime of the Spitak(Armenia) earthquake from the analysis of the aftershock sequence. Geophys. J. Intern. 1992, vol.108, p. 309-328

Pacheco J. F., Eatabrook C. H., Simpson D.Z., Nabelek J.L. Teleseismic body wave analysis of the 1988 Armenian earthquake, Geophys. Res. Lett. 1989. Vol.16, N 12, p.1425-1428.

Рецензент Э.Г.Геодакян

**ՍՊԻՏԱԿԻ 1988թ. ԵՐԿՐԱՇԱՐԺԻ ՀԵՏՑՆՑՈՒՄՆԱՅԻՆ ԳՈՏՈՒ
ԿԱՌՈՒՅՎԱԾՔԻ ԵՎ ՉԱՐԳԱՅՄԱՆ ԴԻՆԱՄԻԿԱԻ ԱՌԱՆՉՆԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ**

Լ. Բ. Միրզոյան, Ս. Ն. Նազարեթյան

Ա մ փ ո փ ու մ

Հենվելով 1988-2006թթ. սեյսմիկ վիճակագրական տվյալների վրա ուսումնասիրված է Սպիտակի 1988թ. երկրաշարժի հետցնցումների էպիկենտրոնների գոտու սահմանները, սեզմենտային կառուցվածքը, տարիների ընթացքում հետցնցումների քանակի նվազեցման և դրանց ժամանակ անջատված էներգիայի տարածա-ժամանակային բաշխման առանձնահատկությունները և այլն: Ապացուցվում է, որ հետցնցումնային գործընթացները չեն բաղադրվում, պարզապես 1988-1992թթ. սեյսմիկ ակտիվ փուլին հաջորդած պասիվ փուլը դեռևս շարունակվում է: Ստացված տվյալները կարևոր նշանակություն ունեն ՀՀ տարածքի ուժեղ երկրաշարժերի հետցնցումնային գործընթացների մարման օրինաչափությունները բացահայտելու, սեյսմաակտիվ բեկվածքների երկրաչափական պարամետրերը որոշելու, նույն օջախում նոր երկրաշարժի նախապատրաստման հնարավորությունը գնահատելու և այլ հարցերում:

**THE PECULIARITIES OF THE STRUCTURE AND DEVELOPMENT
DYNAMICS OF THE AFTERSHOCK ZONE
OF THE SPITAK EARTHQUAKE OF 1988**

L. B. Mirzoyan, S. N. Nazaretian

Abstract

Through statistical treatment of seismic data we defined the aftershock zone bounds; through a complex of seismological and seismotectonic data determined was the inner structure of aftershock zone of the Spitak earthquake of 1988. Based on data for 1988-2007 the article provides peculiarities of attenuation of aftershock activity and released energy. The activity is considered to be progressing. The obtained data are valuable for solution of major practical seismological and seismotectonic problems.