

ОСОБЕННОСТИ ОЧАГОВЫХ СПЕКТРОВ АФТЕРШОКОВ СПИТАКСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 1988 Г.

© 2011г. А.А.Саакян, С.Н.Назаретян

„ Северная служба сейсмической защиты“ РА
3115, Гюмри, ул. В. Саргсяна, 5^а, Республика Армения
E-mail: snaznssp@mail.ru
Поступила в редакцию 30.11.2010г.

Выполнено массовое определение спектров выборочных частотных кодов афтершоков Спитакского землетрясения 1988г. по записям сейсмической станции “Степанаван”. С их помощью рассчитаны отклонения колебаний и очаговые спектры скоростей и ускорений. Выявлены некоторые характерные особенности очаговых спектров. Очаговые спектры большинства афтершоков имеют одинаковую угловую частоту, в основном низкую. До и после землетрясения качественные и количественные характеристики геологической среды, подвергшейся воздействию сильных землетрясений, практически не изменились.

Исследования проводились по записям частотно-избирательной аппаратуры – ЧИСС на сейсмической станции “Степанаван”, находящейся в 20 км от эпицентра главного толчка Спитакского землетрясения 1988г. Наблюдения были начаты за три года до землетрясения и продолжены после восстановления станции 14-ого декабря 1988г. Обработаны записи 143 землетрясений, энергетические классы которых взяты из каталога сети сейсмических станций Армении и из бюллетеней первичной обработки сейсмической станции “Степанаван” по записям аппаратуры СКМ-3. Проведено массовое определение спектров код, а по ним вычислены очаговые спектры смещения, скорости и ускорения. Выявлены характерные особенности очаговых спектров афтершоков Спитакской зоны.

Количество землетрясений с энергетическим классом $K \geq 7$, для которых спектры определялись по кодам N 1, приведены ниже в табл.1.

Таблица 1

K	6,6-7,5	7,6-8,5	8,6-9,5	9,6-10,5	< 10,5
N	9	49	56	13	6

Измерены данные далеко не всех землетрясений энергетического класса таких уровней, так как из-за высокой активности афтершокового процесса (за год на станции “Степанаван” зарегистрировано более 10 тысяч событий) многие землетрясения перекрываются на записях, кода одного события часто искажена наложением других землетрясений.

Аппаратура ЧИСС-кп “Степанаван” имела восемь полосовых фильтров. У каналов с центральными частотами 0,3; 0,6; 1,25; 2,5; 5,0;

10,0 Гц, относительная ширина полосы равна 0,48, а у высокочастотных каналов 18,0 и 27,0 Гц составляет 0,22.

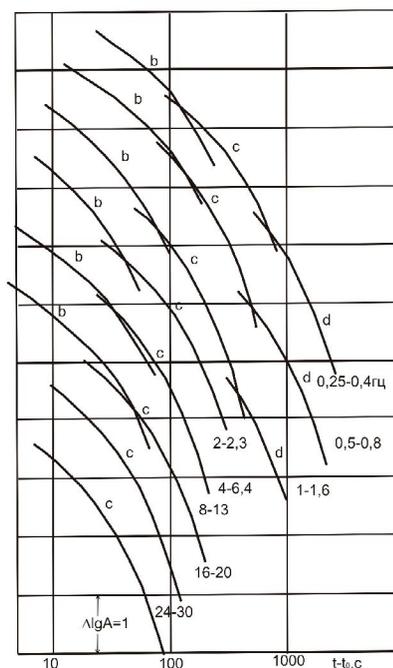


Рис.1. Сводные огибающие ЧИСС-коды по записям станции “Степанаван”.

На рис.1 приведены сводные огибающие коды. Как видно, на них выделяются три сегмента (в, с, d), различающиеся по времени прослеживания на разных частотах и по эффективным добротностям. Сегмент *в* прослеживается для частот 0,3-10 Гц в интервале времени 10-130 сек; сегмент *с* прослеживается на всех частотах, причем с ростом частоты интервал времени сужается: так, при частоте 3,0 Гц на интервале от 150 до 800 сек., для 10,0 Гц - от 50 до 200 сек., при 27,0 Гц- от 10 до 90 сек; сегмент *d* прослеживается для частот от 0,3 до 1,25 Гц при временах от 400-800 сек. до 1000-2500 сек. Для всех сегментов определены значения добротности $Q(f)$. Значимых изменений добротности в афтершоковом периоде по сравнению с предшествующим землетрясению периодом практически не произошло.

Форма спектральных огибающих код, их ветвей сохраняется неизменной в пределах обширного региона, а уровень огибающих определяется интенсивностью очагового излучения в исследуемом диапазоне частот и не зависит от взаимного расположения очага и станции. Это позволяет в аналитическом выражении огибающей $A(f,t)$ разделить функцию очага и функцию среды (Раутиан, Халтурин, 1976). Так как функция, зависящая от среды, одинакова для записей всех землетрясений исследуемого района, то интенсивность коды данного землетрясения на частоте f может быть описана одним числом, например - A_{100} . Эти свойства коды позволяют эффективно применять ее для исследования спектров

очагового излучения, для чего обычно вводится понятие “ЧИСС-спектр коды”, которое для данного землетрясения есть совокупность значений $A_{100}(f)$ для всех исследованных частот. Оно является сечением частотно-временного поля в условно-выбранный момент времени $t = 100$ сек. (Раутиан и др., 1980). Разумеется, значение t может быть взято произвольно. Мы принимаем такое значение t , при котором форма огибающей коды надежно установлена и которое для всех частот находится на регионально-устойчивых ветвях c или d . Для местных землетрясений $t = 100$ сек. удовлетворяет этим условиям (Раутиан и др., 1991).

Переход от ЧИСС – спектров коды $A_{100}(f)$ к очаговому спектру смещения делался как в работе (Rautian, Khalturin, 1978) с помощью трансформной переходной функции $d(f)$.

$$\lg \text{DIS}(f) = \lg A_{100}(f) + d(f)$$

Очаговые спектры, определенные по их ЧИСС-спектрам коды, являются очень существенной характеристикой очага, так как они полностью свободны от влияния среды и гипоцентрального расстояния, а также от функции очагового излучения. Очаговый спектр смещения характеризует только сам очаг землетрясения. В области своего максимума он численно равен сейсмическому моменту M_0 (Раутиан и др., 1985). Из очаговых спектров смещения $\text{DIS}(f)$ вычисляются очаговые спектры скорости $\text{VEL}(f)$ и ускорения $\text{ACC}(f)$ с помощью дифференцирования.

$$\lg \text{VEL}(f) = \lg \text{DIS}(f) + \lg(2\pi f) \quad \text{и} \quad \lg \text{ACC}(f) = \lg \text{DIS}(f) + 2\lg(2\pi f)$$

Максимум очагового спектра скорости приходится на частоты, при которых излучается основная доля сейсмической энергии. Максимум очагового спектра ускорения приходится на высокие частоты.

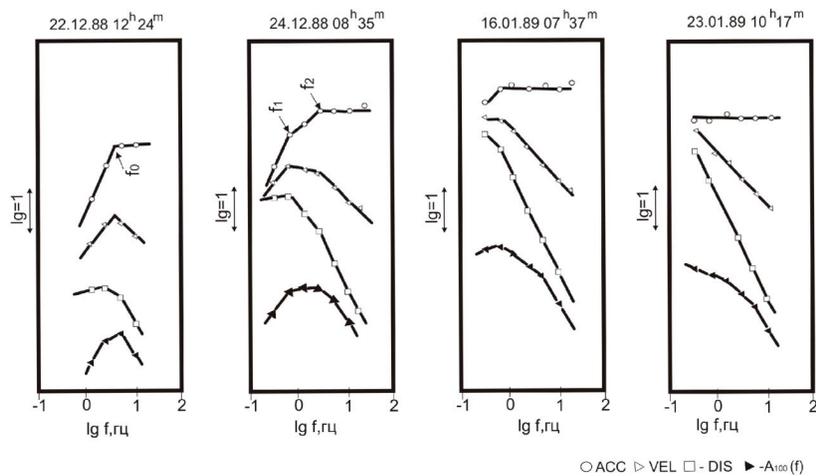


Рис.2. Примеры ЧИСС-спектров коды $A_{100}(f)$ и вычисленных по ним очаговых спектров смещения $\text{DIS}(f)$, скорости $\text{VEL}(f)$ и ускорения $\text{ACC}(f)$.

На рис.2 показано несколько примеров определения ЧИСС-спектров: коды $A_{100}(f)$ - внизу, а сверху приведены полученные очаговые спектры смещения $DIS(f)$, скорости $VEL(f)$ и ускорения $ACC(f)$. Для сравнительно сильных афтершоков ($M > 3$) угловые частоты часто выходили за рамки регистрируемого диапазона частот, то есть ниже $0,3 \text{ Гц}$, из-за чего для таких толчков пришлось определить только уровень спектра ускорения и в некоторых случаях вторую угловую частоту, а плоскую часть спектра смещения проследить не удалось. Поэтому получить полный спектр и оценить очаговые параметры удалось не для всех землетрясений. На рис.2 слева приведен пример полного спектра, то есть такого, для которого прослежены и низкочастотная плоская часть спектра смещения и высокочастотная плоская часть спектра ускорения, где определены угловые частоты. Среди афтершоков, у которых определен полный спектр, около 60% имеют одну угловую частоту. Этим Спитакская зона отличается от других регионов и, в частности, от Средней Азии, Казахстана, Копетдага, где преобладают спектры с двумя угловыми частотами (Раутиан и др., 1985).

Для большинства афтершоков определены спектральные параметры: максимум очаговых спектров смещения F_0 (дислокационный момент) и ускорения F_2 , угловые частоты f_0, f_1, f_2 и соответствующие этим частотам значения очагового спектра скорости F_1, F_{11}, F_{12} . По этим спектральным параметрам, согласно стандартной методике (Раутиан и др., 1985), вычислены очаговые параметры: сейсмический момент $M_0 = mF_0$; сейсмическая энергия $\lg E = 2\lg(F_{12}) + \lg f_2 - 0,35$; кажущееся напряжение $hd = E/F_0$, где m - модуль сдвига, h - сейсмический коэффициент полезного действия, принимающий значения между 0 и 1.

Вычисленные по найденным очаговым спектрам сейсмический момент и кажущееся напряжение являются однозначными, так как не зависят от каких-либо допущений относительно размеров очага и характера связи этих размеров с угловыми частотами спектра. При их вычислении нужно задать лишь значения скорости распространения волн, плотности и модуля сдвига в породах очаговой области.

На рис.3 приведено соотношение между логарифмом энергии, вычисленному по спектру, и энергетическим классом-К. Как известно $\lg E = K$, что соответствует прямой линии на рис.3, но, как видно из этого рисунка, энергетические классы, вычисленные по очаговым спектрам, в среднем завышены примерно на 0,4-0,5 единиц по сравнению с ожидаемыми. Это характерно для зон, где происходящие землетрясения низкочастотны.

Большинство афтершоков Спитакского землетрясения характеризуются низкими значениями кажущихся напряжений: $0,003 \text{ МПа} < \eta \delta > 1 \text{ МПа}$. Как видно из рис.4, кажущиеся напряжения заметно возрастают с энергией землетрясения.

Таким образом можно констатировать, что большинство слабых

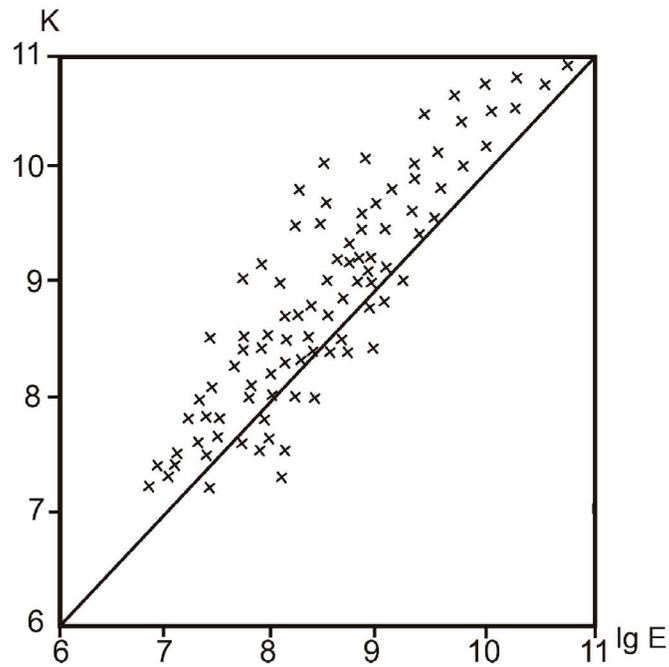


Рис.3. Соотношение между логарифмом энергии, вычисленному по спектру, и энергетическим классом.

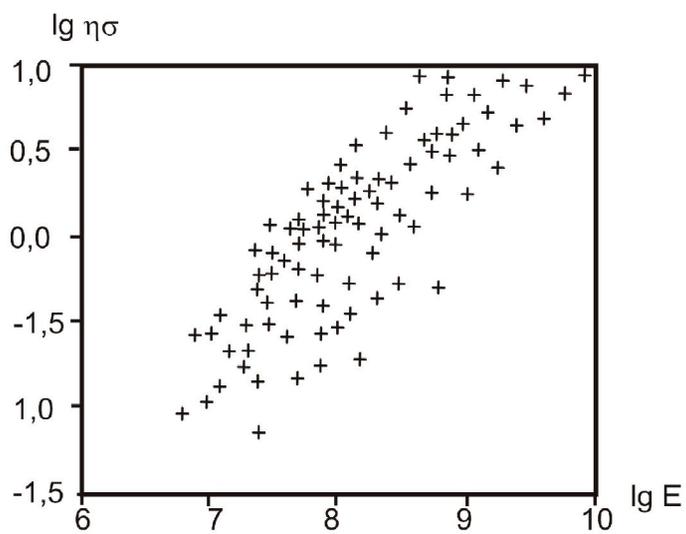


Рис.4. Зависимость кажущихся напряжений от энергии.

афтершоков Спитакского землетрясения имеют одну угловую частоту и в целом низкочастотны. Значимых изменений добротности в афтершоковом периоде, по сравнению с предшествующим периодом, практически не произошло.

Данная статья посвящается светлой памяти известного советского сейсмолога Виталия Ивановича Халтурина, внесшего большой вклад в область исследований очаговых зон землетрясений территории Армении инструментальными методами.

ЛИТЕРАТУРА

- Раутиан Т.Г., Халтурин В.И.** Спектральные свойства коды местных землетрясений как инструмент исследования очагового излучения. ДАН СССР, 1976, 222, N 3, с. 566-569.
- Раутиан Т.Г., Халтурин В.И., Закиров М.С.** Экспериментальные исследования сейсмической коды. М.: Наука, 1981, 142с.
- Раутиан Т.Г., Халтурин В.И., Земцова А.И.** Очаговые спектры и параметры землетрясений Средней Азии, Казахстана, Копетдага и сопредельных областей. Землетрясения в СССР в 1982 г. М.: Наука, 1985, с. 105-110.
- Раутиан Т.Г., Халтурин В.И., Саакян А.А.** Спектральные параметры очагов слабых землетрясений Спитакской зоны. Изв. АН СССР, Физика Земли, 1991, N 2, с. 56-61.
- Rautian T. G., Khalturin V. I.** The use of coda for determination of source spectrum. Bull. Seismol. Soc. Amer., 1978, V. 68, N4, pp. 923-928.

Рецензент Э.Г.Геодакян

ՍՊԻՏԱԿԻ 1988Թ. ԵՐԿՐԱՇԱՐԺԻ ՀԵՏՅՆՑՈՒՄՆԵՐԻ ՕՉԱԽԱՅԻՆ ՍՊԵԿՏՐՆԵՐԻ ԱՌԱՆՁՆԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

Ա.Հ. Սահակյան, Ս.Ն. Նազարեթյան

Ամփոփում

Կատարվել է „Ստեփանավան” սեյսմիկ կայանի հաճախային ընտրովի կողերի սպեկտրների գանգվածային որոշում և նրանց միջոցով հաշվարկվել է տատանման շեղումների, արագության և արագացման օջախային սպեկտրները:

Բացահայտվել են օջախային սպեկտրների որոշ բնութագրող առանձնահատկություններ: Սպիտակի 1988թ. երկրաշարժի հետոնցումների մեծամասնությունը առաջին տիպի է, այսինքն նրանց օջախային սպեկտրներն ունեն մեկ անկյունային հաճախականություն և առավելապես ցածրահաճախային են:

Մինչ երկրաշարժը և երկրաշարժից հետո միջավայրի ամրության բարորակությունը գործնականում չի փոփոխվել:

**PECULIARITIES OF THE AFTERSHOCK SOURCE SPECTERS OF
1988 SPITAK EARTHQUAKE**

A. H. Sahakyan, S. N. Nazaretyan

Abstract

The mass definition of selected frequency cods for seismic station “Stepanavan” is done and with the help of this the source specters of oscillation deflections, velocities and accelerations are calculated.

Some characteristic peculiarities of source specters are revealed. The great part of Spitak earthquake aftershocks are of the first type, that is their source specters have one angle frequency of occurrence and greatly they are of low frequency.

The solidity of the environment practically hasn't changed.