

УДК 551:550.34

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ФОРШОКОВ СИЛЬНЕЙШИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КУРИЛО-КАМЧАТСКОЙ ДУГИ КАК ПРОГНОСТИЧЕСКИЙ ПРИЗНАК ВРЕМЕНИ ГЛАВНОГО ТОЛЧКА

© 2002 г. Л. С. Чепкунас, Е. А. Рогожин

Представлено академиком В.Н. Страховым 17.04.2002 г.

Поступило 19.04.2002 г.

Подготовка очага главного толчка сильнейшего землетрясения происходит в крупных сейсмогенерирующих структурах и определяется региональным полем напряжений. Любые изменения в характере сейсмичности или в форме записей сейсмических волн от землетрясений, возникающих непосредственно перед главным толчком, могут рассматриваться как важные факторы в предсказании сильного землетрясения. Во многих случаях незадолго до главного землетрясения отмечаются слабые форшоки [1, 2], рост числа слабых толчков в окрестности будущего эпицентра, изменение спектрального состава волн [3].

Как правило, те места, где часто наблюдаются форшоки, неоднородны в тектоническом плане [4, 5]. При этом размещение очагов предваряющих толчков сильного землетрясения в недрах определяется локальными тектоническими условиями и положением в пределах сравнительно небольших геологических структур. Разделение форшоков и обычных роев землетрясений, хотя и представляет большую трудность, но все же не является абсолютно безнадежной задачей. Отмечено, что не перед всеми сильными землетрясениями наблюдаются форшоки. В работах [2, 3] для выделения форшоков предлагается использовать различие в волновых формах форшоков и фоновых сейсмических толчков, а также их спектральные характеристики. Отмечается, что на сейсмограммах у форшоков преобладают высокочастотные колебания, а для фоновых слабых землетрясений более характерен низкочастотный вид записи.

В настоящей работе проведен ретроспективный анализ спектральных параметров форшоков

двух сильных землетрясений, произошедших недавно на Курило-Камчатской островной дуге: Шикотанского 4 октября 1994 г. ($M_S = 8.4$) и Кроноцкого 5 декабря 1997 г. ($M_S = 7.9$). Очаги этих землетрясений возникли в сходной сеймотектонической обстановке – на материковом склоне островной дуги, в верхней части сейсмофокальной зоны Заварицкого–Беньофа. Проведен также сравнительный анализ их волновых форм и сейсмических записей ряда независимых фоновых толчков из той же сеймотектонической провинции.

Оба землетрясения хорошо изучены. Определены параметры очагов главных толчков. Зарегистрировано большое количество повторных толчков региональной и локальными сейсмологическими сетями. Параллельно в эпицентральной области проведены геодезические измерения и изучены сейсмодислокации. В прежние годы геофизическими методами было подробно исследовано строение земной коры и верхней мантии Курило-Камчатской гряды, поэтому оказалось возможным составить довольно ясное представление о структуре среды, в которой возникли очаги этих землетрясений, и о строении самих сейсмических очагов [6, 7].

За форшоки принимались землетрясения из указанных очаговых областей с магнитудой 5 и более и с глубиной очага менее 70 км, происшедшие в течение двух лет перед главным толчком. В табл. 1 приведены основные параметры форшоков и главных толчков Шикотанского (№ 1–7) и Кроноцкого (№ 8–13) землетрясений.

Анализировались записи цифровой аппаратуры IRIS (Z) на сейсмических станциях Арти (ARU) и Обнинск (OBN). Эти станции расположены от эпицентральных зон на расстояниях 53° – 54° и 62° – 65° соответственно. Выбирались интервалы записи между вступлениями продольных волн P и PP. Рассчитывались амплитудные спектры по программе SAC (Service Access Controller). Стационарные спектры исправлялись за влияние амплитудно-частотной характеристики аппаратуры и при-

Геофизическая служба
Российской Академии наук,
Обнинск Калужской обл.

Объединенный институт физики Земли
им. О.Ю. Шмидта
Российской Академии наук, Москва

Таблица 1. Основные параметры рассмотренных землетрясений

№	Дата	ч-мин	Координаты			Магнитуды	
			φ°, N	λ°, E	$H, км$	MS	MPSP
1	17.04.1993	03-43	43.17	147.33	43		5.
2	16.09.1993	00-59	44.56	149.03	43	5.5	6.2
3	15.02.1994	23-46	44.18	149.12	5	4.8	5.6
4	25.06.1994	08-38	43.91	147.31	66	4.7	6.
5	20.08.1994	04-38	44.63	149.03	41	6.3	6.8
6	11.09.1994	23-20	43.16	146.97	35	4.5	5.4
7	04.10.1994	13-22	43.59	147.25	50	8.4	7.6
8	05.08.1996	00-25	54.58	161.77	33	5.1	5.2
9	09.02.1997	18-57	55.14	161.96	65	5.6	6.3
10	04.12.1997	22-41	55.18	162.56	38	5.4	5.4
11	05.12.1997	00-06	55.20	162.48	33	5.0	5.1
12	05.12.1997	08-08	55.33	162.51	22	5.6	5.4
13	05.12.1997	11-26	54.88	161.95	33	7.9	7.0

водились к очагу с учетом геометрического расхождения фронта Р-волн $G(\Delta)$, направленностью излучения из очага $R\theta\phi$, неупругого затухания $m(f)$, частотной характеристики земной коры под станцией $c(f)$ [6]. Первые два фактора $G(\Delta)$ и $R\theta\phi$ не зависят от частоты, они лишь корректируют уровень спектра, а два последних $m(f)$ и $c(f)$ приводят к изменению всей спектральной картины. Одновременно рассчитывались спектры шумов по записям, предшествующим землетрясениям. Длительность анализируемого интервала шума выбиралась такой же, как и для полезного сигнала. В качестве признаков изменения спектрального состава землетрясений при их приближении по времени к главному толчку рассматривались отношения N спектральной плотности на частоте $f = 0.1$ Гц к спектральным плотностям на частотах $f = 0.4, 0.5, 0.6, 0.8, 1.0, 1.5, 2.0$ Гц для одного и того же события.

Отмечено, что при приближении к моменту возникновения главного толчка увеличиваются амплитуды спектра у форшоков в области высокочастотных колебаний. Особенно это проявляется по отношению к величине N на частоте $f = 1.0$ Гц.

На рис. 1 приведена зависимость величины N для Шикотанских (№№ 1–7) и Кроноцких (№ 8–13) землетрясений. С приближением по времени к главному толчку значения N у форшоков уменьшаются, а у главного толчка вновь возрастают, становясь максимальными. Возможно, землетрясения 17.04.1993 г. и 05.08.1996 г. являются фоновыми событиями, а не форшоками.

Дополнительно в качестве фоновых событий были рассмотрены четыре землетрясения Камчатки из другой области за период с 1993 по 1999 г. с магнитудами MS = 7.1–7.4, которые явно не являются форшоками более сильных событий.

Значение N на частоте $f = 1$ Гц по станции ARU составило $N = 9-27$, по станции OBN $N = 14-52$; эти значения близки к таковым для главного толчка 05.12.1997 г. и для фонового землетрясе-

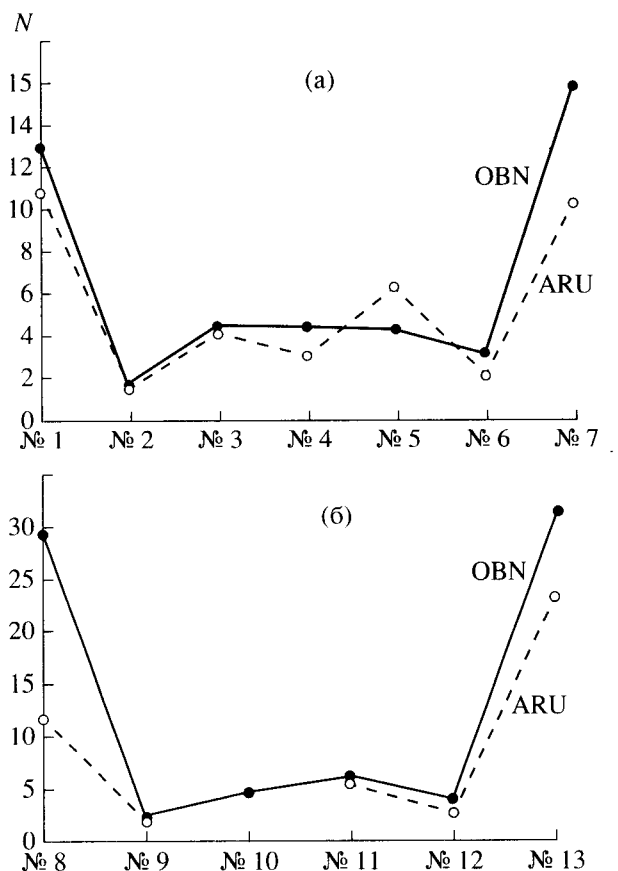


Рис. 1. Отношения спектральных плотностей для Шикотанских (а) и Кроноцких землетрясений (б) (номера – по табл. 1).

ния 05.08.1996 г. Характер изменения величины N с частотой также повторяет поведение этого параметра. Следовательно, эти четыре землетрясения также можно отнести к фоновым.

Таким образом, в процессе созревания очага сильного землетрясения существенно изменяется частотный состав сейсмического излучения от умеренных по магнитуде землетрясений, происходящих в очаговой области будущего сейсмического толчка. Примерно за год до сильного землетрясения сейсмические записи сравнительно слабых землетрясений начинают приобретать высокочастотный характер, не типичный для независимых сильных (в нашем случае главных толчков Шикотанского и Кроноцкого) землетрясений.

Аномально высокочастотный характер сейсмического излучения из очагов форшоков определяется необычно жестким состоянием сейсмогенерирующей среды в период существования барьера, запирающего свободное перемещение по зонам магистральных разломов [9, 10]. Значимые частотные аномалии сейсмических записей форшоковых последовательностей позволяют использовать разработанные авторами приемы для выявления средне- и краткосрочных сейсмологических предвестниковых эффектов.

Авторы выражают благодарность М.И. Рыжиковой за оформление материалов к сообщению.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 02-05-64946), МНТЦ (проект 1121).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Mogi K.* Earthquake Prediction. Tokyo: Acad. Press, 1985. 382 p.
2. *Ishida M., Kanamori H.* // Bull. Seismol. Soc. Amer. 1980. V. 70. P. 509–527.
3. *Utsu T.* // J. Phys. Earth. 1980. V. 28. P. 361–384.
4. *Болдырев С.А.* В сб.: Строение сейсмофокальных зон. М.: Наука, 1987. С. 189–198.
5. *Горячев А.В.* Основные закономерности тектонического развития Курило-Камчатской зоны. М.: Наука, 1966. 236 с.
6. *Рогожин Е.А., Захарова А.И.* Тектоническая природа сейсмической активизации 1994–1996 гг. на восточной активной окраине Азии // Тектоника и геодинамика: общие и региональные аспекты: Материалы совещания. М.: Геос, 1998. Т. 2. С. 118–121.
7. *Рогожин Е.А., Захарова А.И.* // Физика Земли. 2000. № 5. С. 22–27.
8. *Аптекман Ж.Я., Белавина Ю.Ф., Захарова А.И. и др.* // Вулканология и сейсмология. 1989. № 2. С. 66–79.
9. *Захарова А.И., Рогожин Е.А.* Геофизика на рубеже веков: Избр. тр. ученых ОИФЗ РАН. М.: ОИФЗ РАН, 1999. С. 265–275.
10. *Захарова А.И., Рогожин Е.А.* // ДАН. 2001. Т. 381. № 6. С. 825–826.