

УДК 551.34

## ВАРИАЦИИ ПОЛЯ УПРУГИХ НАПРЯЖЕНИЙ И ОСНОВНЫЕ СЕЙСМОДИСЛОКАЦИИ В ОЧАГОВОЙ ЗОНЕ ШИКОТАНСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 04(05) ОКТЯБРЯ 1994 г.

© 2008 г. Т. К. Злобин, Л. Н. Поплавская, член-корреспондент РАН Б. В. Левин,  
Д. А. Сафонов, А. Ю. Полец, М. И. Рудик

Поступило 16.08.2007 г.

Сейсмологические исследования механизмов очагов землетрясений представляют большой интерес для изучения тектонических структур, сейсmodинамики и новейшей тектоники, особенно в самой сейсмоактивной зоне перехода от Евразийского материка к Тихому океану [1–3]. Исключительно важно для этих целей изучение напряженного состояния и сейсmodислокаций в очаговых зонах катастрофических землетрясений.

Предметом нашего исследования явилась очаговая область катастрофического Шикотанского землетрясения 04(05) октября 1994 г. с гипоцентром восточнее Малой Курильской гряды ( $t_0 = 13$  ч 23 мин по Гринвичу;  $\varphi = 43.5^\circ$  N;  $\lambda = 147.3^\circ$  E;  $h = 26$  км;  $M = 8.1$ ).

Экспериментальный материал исследования составили: решения механизмов очагов землетрясений 1991–1994 гг., предшествовавших возникновению Шикотанского землетрясения, механизма главного толчка, его форшоков [4–7] и частичного афтершоков [7].

Решения механизмов получены по единой методике [2, 8], что существенно. Сравнительному анализу подвергались как пространственно-временные характеристики поля упругих напряжений, так и соответствующие им сейсmodислокации (табл. 1, рис. 1).

В рассмотренный нами период времени (1991–1994 гг.) наблюдалось пять видов сейсmodислокаций, для удобства анализа объединенных в три группы (табл. 1): в условиях преобладающего сжатия (Р) – взбросы и пологие надвиги (тип 1); в условиях преобладающего растяжения (Т) – сбросы, поддвиги (тип 2); в условиях равнодействия сжатия и растяжения (Р = Т) – сдвиги (тип 3).

Анализ табл. 1 и рис. 1 показывает, что несмотря на кажущуюся хаотичность прослежива-

ется четкая закономерность (цикличность) в смене пространственно-временных характеристик поля упругих напряжений и соответствующих ему сейсmodислокаций.

За начало цикла нами принято состояние равновесия поля упругих напряжений, действующих в очаге землетрясения (Р = Т). Далее анализ проводился в хронологическом порядке.

Впервые за период наблюдений 1991–1994 гг. равновесное состояние среды, вмещающей изучаемые очаги землетрясений, отмечено 21.07.1991 г. (событие № 40 на рис. 1 и в табл. 1). Дислокация в очаге – сдвиг (тип 3), глубина гипоцентра  $H = 47$  км.

Следующая по времени подобная ситуация в очаговой зоне Шикотанского землетрясения 04(05).10.1994 г. отмечалась только через 3.5 года – 25.06.1994 г. (событие № 16 на рис. 1 и табл. 1). Дислокация в очаге – сдвиг (тип 3), глубина гипоцентра  $H = 65$  км.

Между этими событиями на всех глубинах наблюдалось постоянное чередование условий сжатия и растяжения (типы дислокаций 1 и 2). Этот период наблюдений, в течение которого поле упругих напряжений было нестабильным (отмечен в табл. 1 курсивом), закончился 21.12.1992 г.

С 21.12.1992 г. (событие № 66 на рис. 1 и в табл. 1), т.е. за 1 год и 9 месяцев (21 месяц до основного события), сменился характер дислокаций. Далее вплоть до главного толчка и позже наблюдалась смена дислокаций только типа 3 и 1, т.е. сдвиг или пологий надвиг и взброс. Это говорит о том, что начиная с 21.12.1992 г. в очаговой зоне Шикотанского землетрясения поле напряжений стабилизировалось и имели место условия только преимущественного сжатия (Р). Причем эти условия продолжались до 25.06.1994 г. (событие № 16 в табл. 1 и на рис. 1), когда наступило равновесное состояние среды с дислокацией в очаге типа сдвиг.

Такая обстановка наблюдалась в течение 3.5 мес., после чего 04.10.1994 г. в 13 ч 23 мин произошел взброс, явившийся главным толчком разрушительного Шикотанского землетрясения. Че-

**Таблица 1.** Характер напряженного состояния и типы сейсмодислокаций в очагах землетрясений, предшествовавших главному событию

Номер по рабочему каталогу	Дата	Время (по Гринвичу), ч мин	Глубина очага $H$ , км	Сейсмодислокация	Группа сейсмодислокаций (тип)	Главное напряжение
3	20.01.1991 г.	11 07	59	взброс	1	P
19	04.04.1991 г.	09 00	39	пол. надвиг	1	P
21	13.04.1991 г.	01 38	73	пол. надвиг	1	P
37	10.07.1991 г.	05 52	97	поддвиг	2	T
40	21.07.1991 г.	14 20	47	сдвиг	3	P=T
7	07.02.1992 г.	00 06	51	взброс	1	P
17	18.03.1992 г.	16 25	32	сброс	2	T
24	06.04.1992 г.	03 35	95	сброс	2	T
28	05.05.1992 г.	08 55	38	взброс	1	P
32	23.05.1992 г.	09 48	58	поддвиг	2	T
61	07.12.1992 г.	02 11	48	взброс	1	P
62	07.12.1992 г.	05 49	44	поддвиг	2	T
66	21.12.1992 г.	18 43	80	пол. надвиг	1	P
18	08.03.1993 г.	08 01	72	взброс	1	P
8	12.04.1994 г.	00 17	128	пол. надвиг	1	P
16	25.06.1994 г.	08 38	65	сдвиг	3	P=T
41	31.08.1994 г.	09 07	78	сдвиг	3	P=T
45	04.10.1994 г.	13 23	26	взброс	1	P
51	04.10.1994 г.	15 24	32	взброс	1	P
67	05.10.1994 г.	04 00	36	сдвиг	3	P=T

Примечание. P, T – оси близгоризонтального сжатия и растяжения соответственно. Равенство P=T означает, что оси P и T наклонены к горизонту под одинаковыми углами в пределах точности их локализации.

рез 2 ч (в 15 ч 24 мин 04.10.1994 г.) взбросовая дислокация повторилась, а через сутки (05.10.1994 г.) после главного толчка вновь установилась обстановка равновесия ( $P = T$ ) и снова отмечен сдвиг (событие № 67, табл. 1). Затем наблюдалось большее число афтершоков, которые происходили преимущественно в условиях сжатия [7].

Таким образом, в цикле, предшествовавшем главному толчку, выделяются две фазы. В первой фазе длительностью 1.5 года наблюдались только дислокации типа 1, 2, что соответствовало постоянному чередованию условий сжатия и растяжения. Во второй фазе длительностью 1 год и 9 мес. наблюдались дислокации типа 3 – 1 в условиях сжатия, после чего произошел сдвиг в условиях равновесия P и T и затем главный толчок.

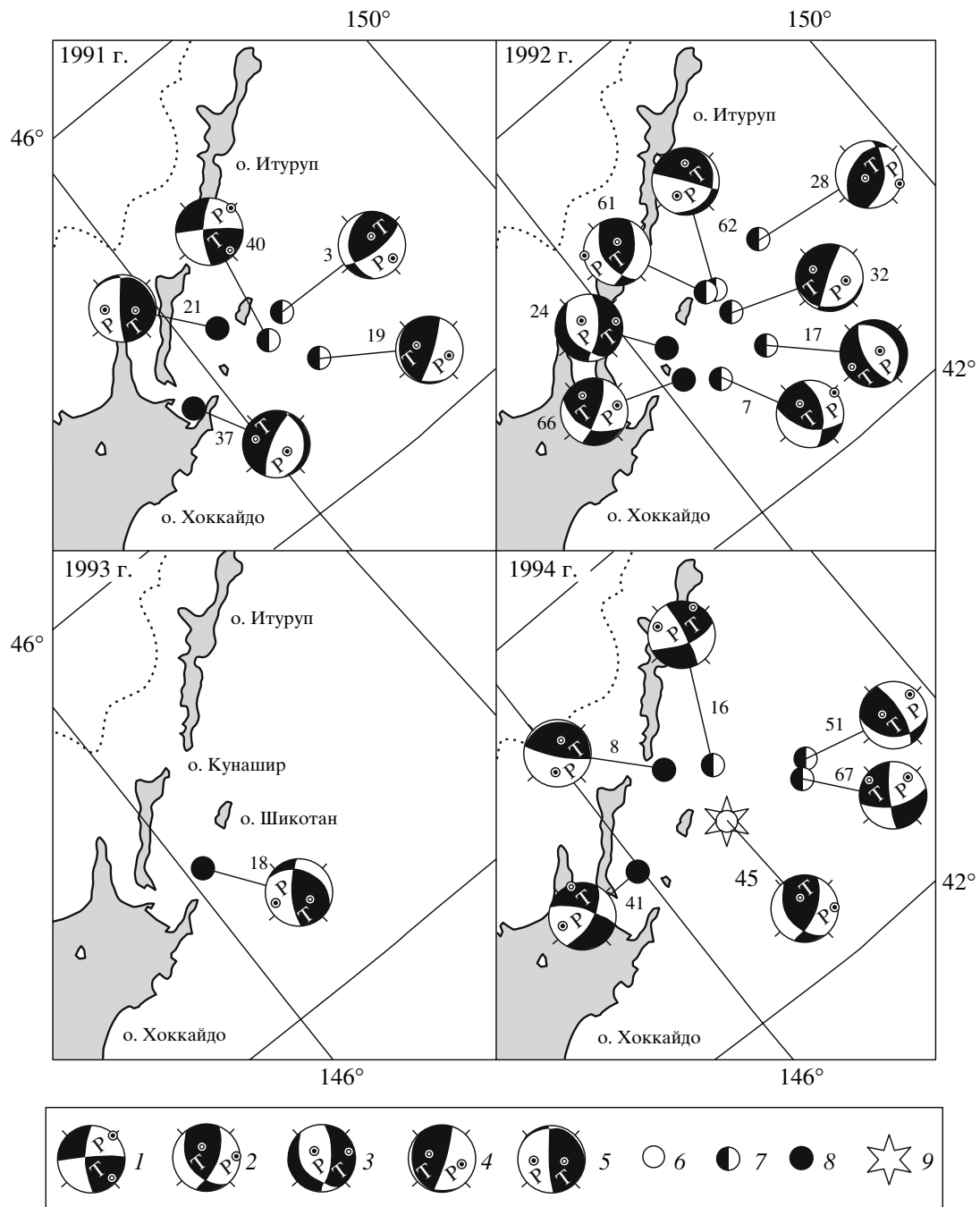
Сравнительный анализ типов сейсмодислокаций и глубин гипоцентров землетрясений показал, что перед наступлением равновесного состояния поля напряжений происходит толчок на существенно большей глубине. Так, 10.07.1991 г.

(т.е. за 11 сут до начала цикла – сдвига 21.07.1991 г., событие № 40 на рис. 1 и в табл. 1) произошло землетрясение, гипоцентр которого был определен на глубине 97 км, при средних глубинах предшествующих землетрясений 57 км. На еще на большей глубине ( $H = 128$  км) произошло землетрясение (№ 8 на рис. 1 и табл. 1), предвещающее следующий цикл, приведший к катастрофическому Шикотанскому землетрясению 1994 г.

Поскольку глубина последующего главного толчка была определена в 26 км, то можно говорить о передаче упругой деформации с больших глубин в верхние части литосферы.

В результате исследований можно сделать следующие выводы.

1. Впервые установлена цикличность в смене характера напряженного состояния литосферы и соответствующих ему сейсмодислокациях в очаговой зоне катастрофического землетрясения (Шикотанского 04.10.1994 г.,  $M = 8.1$ ) на глубинах 0–150 км.



**Рис. 1.** Очаги землетрясений 1991–1994 гг., предшествующих Шикотанскому землетрясению 04.10.1994 г. 1–5 – основные сейсмодислокации: 1 – сдвиг, 2 – взброс, 3 – сброс, 4 – поддвиг, 5 – пологий надвиг; 6–8 – классификация по глубине залегания гипоцентра: 6 –  $H < 30$  км, 7 –  $H = 30\text{--}70$  км, 8 –  $H > 70$  км, 9 – катастрофическое землетрясение 04(05).10.1994 г.

2. Цикл начинается и заканчивается установлением равновесия главных действующих напряжений ( $P = T$ ). В нем выделяются две фазы длительностью 1.5 и 1.9 года. В первую фазу цикла отмечается чередование условий сжатия и растяжения, а во второй фазе ситуация стабилизируется, устанавливаются условия сжатия.

3. Перед наступлением равновесного состояния поля напряжений происходит толчок на существенно большей глубине, что говорит о передаче упругой деформации с больших глубин в верхние слои литосферы, после чего возникает главный толчок катастрофического землетрясения 04.10.1994.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аверьянова В.Н.* Глубинная сеймотектоника островных дуг (северо-запад Тихого океана). М.: Наука, 1975. 220 с.
2. *Аптекман Ж.Я., Желанкина Т.С., Кейлис-Борок В.И. и др.* // Вычисл. сейсмология. 1979. В. 12. С. 45–59.
3. *Балакина Л.М.* // Физика Земли. 1981. № 8. С. 3–24.
4. *Балакина Л.М., Введенская А.В., Голубева Н.В. и др.* Поле упругих напряжений Земли и механизм очагов землетрясений. М.: Наука, 1972. 192 с.
5. *Рудик М.И.* В кн.: Землетрясения в СССР в 1991 году. М.: Наука, 1997. С. 178–181.
6. *Рудик М.И.* В кн.: Землетрясения Северной Евразии в 1992 году. М.: ГС РАН, 1997. С. 289–293.
7. *Рудик М.И.* В кн.: Землетрясения Северной Евразии в 1993 году. М.: ГС РАН, 1999. С. 241–245.
8. *Рудик М.И.* В кн.: Землетрясения Северной Евразии в 1994 году. М.: ГС РАН, 2000. С. 292–297.