

УДК 550.34

КОЛЬЦЕВАЯ СЕЙСМИЧНОСТЬ В РАЗНЫХ ДИАПАЗОНАХ ГЛУБИН ПЕРЕД СИЛЬНЫМИ И СИЛЬНЕЙШИМИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ В ЗОНАХ СУБДУКЦИИ

© 2009 г. Ю. Ф. Копничев, И. Н. Соколова

Представлено академиком В.Н. Страховым 18.09.2008 г.

Поступило 18.09.2008 г.

Изучены характеристики сейсмичности перед восемью сильными и сильнейшими неглубокими землетрясениями в зонах субдукции (в районах Суматры, Новой Британии, Мексики, Хоккайдо и Перу). Рассмотрены данные о землетрясениях в двух диапазонах глубин: 0–33 и 34–70 км. Установлено, что в обоих диапазонах перед сильными землетрясениями формировались кольцевые структуры сейсмичности. Эпицентры главных событий находились вблизи областей пересечения или наибольшего сближения “мелких” и “глубоких” колец. Предлагается интерпретация обнаруженных эффектов, связанная с миграцией глубинных флюидов.

В различных районах земного шара перед многими сильными землетрясениями часто появляются кольцевые структуры сейсмичности [1, 2]. Следует заметить, что при анализе кольцевых структур в зонах субдукции до сих пор, как правило, не проводилось дифференциации сейсмичности по глубине (так, например, в работе [1] рассматривались все землетрясения с глубинами до

80 км). В настоящей работе проводится более детальное изучение кольцевой сейсмичности в районах очагов сильных и сильнейших землетрясений в зонах субдукции с глубинами гипоцентров менее 40 км (табл. 1).

Мы рассматривали характеристики сейсмичности для разных участков зон Беньофа в диапазонах глубин 0–33 и 34–70 км. Анализировались данные о землетрясениях, произошедших в окрестностях будущих очаговых зон, с магнитудами $M \geq M_{n1}$ и $M \geq M_{n2}$, где M_{n1} варьировалось от 5.0 до 5.5 для первого, а M_{n2} от 4.5 до 5.5 для второго диапазона глубин (табл. 1). При этом выбирался временной интервал, как правило, с 01.01.1973 г. до дня, предшествовавшего главному событию. Обработаны данные о сейсмичности перед восемью сильными и сильнейшими землетрясениями с $M_w = 7.6–9.0$ в районах Суматры, Новой Британии, Мексики, Хоккайдо и Перу (табл. 1).

Наибольшее количество данных получено для района Суматры. На рис. 1 представлены карты сейсмичности в районе очага Суматринского зем-

Таблица 1. Характеристики кольцевой сейсмичности перед сильными землетрясениями

Дата	Координаты		h , км	M_w	L , км	M_{n1}	l , км	M_{n2}	Район
04.06.2000 г.	4.72°S	102.09°E	7	7.9	150	5.5	60	5.5	Суматра
17.11.2000 г.	5.50 S	151.78 E	37	7.8	110	5.5	45	5.5	Нов. Британия
22.01.2003 г.	18.77 N	104.10 W	9	7.6	200	5.0	110	4.5	Мексика
25.09.2003 г.	41.82 N	143.91 E	13	8.3	85	5.0	40	5.0	Хоккайдо
26.12.2004 г.	3.30 N	95.98 E	30	9.0	700	5.5	200	5.5	Суматра
28.03.2005 г.	2.09 N	97.11 E	21	8.6	190	5.0	190	5.0	Суматра
15.08.2007 г.	13.39 S	76.60 W	39	8.0	170	5.0	65	5.0	Перу
12.09.2007 г.	4.44 S	101.37 E	34	8.5	290	5.0	100	5.0	Суматра

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

Институт геофизических исследований

Национального ядерного центра Республики Казахстан, Талгар, Алма-Ата

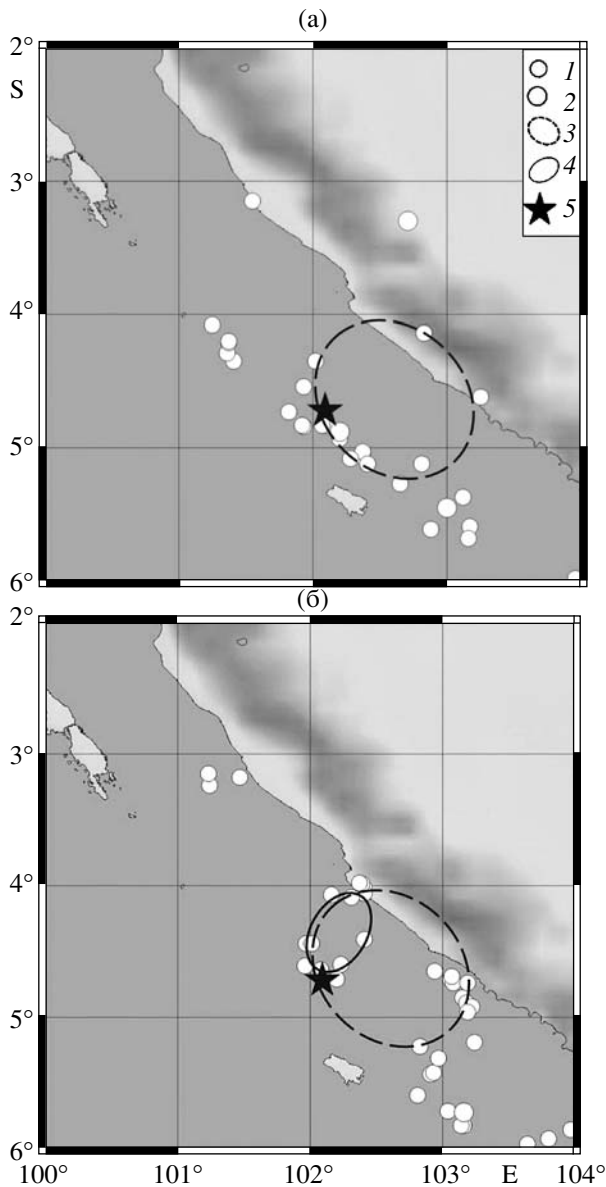


Рис. 1. Кольцевая сейсмичность перед Суматринским землетрясением 04.06.2000 г. Здесь и на рис. 2: а – глубины 0–33 км, б – глубины 34–70 км; 1, 2 – эпицентры сильных землетрясений с $5.5 \leq M < 6.5$ (1) и $M \geq 6.5$ (2); 3 – мелкое кольцо; 4 – глубокое кольцо; 5 – эпицентры землетрясений 04.06.2000 г. (рис. 1) и 17.11.2000 г. (рис. 2).

летрясения 4 июня 2000 г. Отобраны землетрясения за период с 01.01.1973 г. по 03.06.2000 г. Видно, что неглубокие события ($h \leq 33$ км) сформировали, в частности, кольцевую структуру с большой осью размером $L \sim 150$ км, вытянутую вдоль береговой линии. Землетрясения с глубиной очагов $h = 34$ –70 км образовали кольцо меньшего размера ($l \sim 60$ км), расположенное на северо-западной окраине неглубокого кольца. Отметим, что эпицентр главного события находился на расстоянии

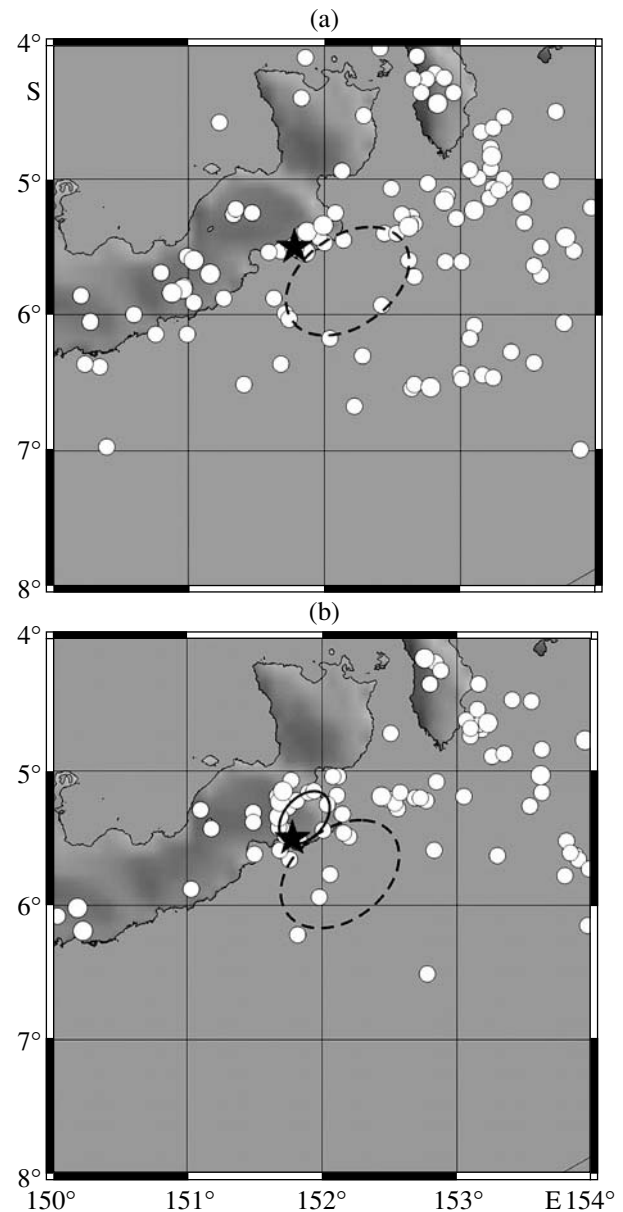


Рис. 2. Кольцевая сейсмичность перед землетрясением в районе о. Новая Британия 17.11.2000 г.

около 10 км от южной области пересечения кольцевых структур. Для удобства далее будем называть кольца первого типа “мелкими”, а второго – “глубокими”.

Землетрясение 17 ноября 2000 г. произошло югу от о. Новая Британия. Анализ сейсмичности показывает, что здесь в период 01.01.1973 г.–16.11.2000 г. землетрясения с $M \geq 5.5$ образовали мелкое и глубокое кольца с размерами больших осей соответственно ~ 110 и 45 км (рис. 2). В данном случае глубокое кольцо находилось к северо-западу от мелкого, а эпицентр сильного земле-

трясения 17.11.2000 г. располагался вблизи области касания колец.

В районах очагов остальных шести сильных землетрясений также сформировались мелкие и глубокие кольца сейсмичности (табл. 1), пересекающиеся или почти касающиеся друг друга (расстояния между непересекающимися кольцами не превышали 10–15 км). Интересно, что мелкие кольца в некоторых случаях (в первую очередь для землетрясения 26.12.2004 г.) пересекали глубоководные желоба, в то же время глубокие кольца всегда находились между желобами и вулканическими цепями. Важно отметить, что во всех случаях эпицентры главных событий находились вблизи областей пересечения или наибольшего сближения колец сейсмичности. В табл. 1 обобщены данные о размерах мелких и глубоких колец в рассмотренных районах. Видно, что величины L варьируются от 85 до 700, а l – от 40 до 200 км. Отношения $\frac{L}{l}$ изменяются в интервале от 1.0 до 3.5, в среднем $\frac{L}{l} \sim 2.4$.

Полученные данные говорят о том, что в зонах субдукции перед сильными и сильнейшими неглубокими землетрясениями в течение нескольких десятков лет формируются кольцевые структуры сейсмичности. Существенно, что такие структуры образуются в двух диапазонах глубин. В рассматриваемых районах мощность континентальной коры составляет в среднем около 30 км [3, 4], поэтому в первом приближении можно считать, что мелкие кольца формируются в коре, а глубокие – в верхах мантии (главным образом в мантийном клине).

В работах [5, 6] показано, что контурам мелких колец соответствует высокое поглощение короткопериодных поперечных волн, в то время как внутри колец наблюдается сравнительно слабое поглощение. Отсутствие современного вулканизма в районах колец говорит о том, что они не связаны с присутствием частично расплавленных пород. В связи с этим наиболее естественное объяснение обнаруженных эффектов связано с миграцией глубинных флюидов. Повидимому, мелкие кольца оконтуривают относительно жесткие блоки, по границам которых и происходит подъем флюидов [5, 6]. Можно предполагать, что аналогичная ситуация имеет место и в районах глубоких колец. Сейсмичность по контурам глубоких колец, скорее всего, обусловлена охрупчиванием пород океанической коры и верхов мантии в результате процессов дегидратации [7, 8].

Ранее было показано, что в случае существования двухфазного слоя со связанной сетью трещин и пор, заполненной флюидом, на кровле слоя наблюдается концентрация напряжений [9]. При этом величина избыточных напряжений растет с мощностью слоя. В рассматриваемых нами случаях максимальные напряжения должны наблюдаться в областях, где граничат флюидные сети, соответствующие мелким и глубоким кольцам, и отмечена наибольшая мощность двухфазного слоя. Это позволяет объяснить приуроченность эпицентров сильнейших землетрясений к областям пересечения или наибольшего сближения мелких и глубоких колец. (В тех случаях, когда кольца не пересекаются, флюидные сети могут соединяться в нижней коре, которая в сейсмоактивных районах, как правило, характеризуется высокой электропроводностью и сильным поглощением поперечных волн, что связывается с присутствием флюидов [10, 11].) Новые данные согласуются также с обнаруженным ранее эффектом подъема мантийных флюидов в земную кору после сильных и сильнейших землетрясений [12–14].

Полученные результаты имеют существенное значение для решения проблем сейсмозонирования и среднесрочного прогноза землетрясений. В дальнейшем для выделения кольцевых структур в областях подготовки сильных землетрясений целесообразно дополнительно использовать характеристики поля поглощения короткопериодных поперечных волн, наиболее чувствительных к присутствию жидкой фазы [5, 6]. Это должно позволить более надежно картировать сейсмически активные районы, поскольку при использовании данных только по сейсмичности возможно выделение ложных кольцевых структур, так же как и ложных зон затишья [15].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Mogi K.* // *Tectonophysics*. 1990. V. 175. № 1/3. P. 1–33.
2. *Соболев Г.А.* Основы прогноза землетрясений. М.: Наука, 1993. С. 313.
3. *Simoes M., Avouac J., Cattin R. et al.* // *J. Geophys. Res.* 2004. V. 109. № B10. doi: 10.2929/2003JB002958.
4. *Zhao D., Horiuchi S., Hasegawa A.* // *Tectonophysics*. 1990. V. 181. P. 135–149.
5. *Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н.* // *ДАН*. 2008. Т. 422. № 5. С. 672–676.
6. *Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н.* В сб.: *Геодинамика внутриконтинентальных орогенов и геоэкологические проблемы*. Бишкек, 2008. С. 331–335.
7. *Nakajima J., Hasegawa A.* // *Geophys. Res. Lett.* 2006. V.33. L16309. doi: 10.1029/2006GL026773.

8. *Yamasaki T., Seno T.* // J. Geophys. Res. 2003. V.109. № B4. doi: 10.1029/2002JB001918.
9. *Gold T., Soter S.* // Pure and Appl. Geophys. 1984/1985. V. 122. P. 492–530.
10. *Ваньян Л.Л., Хайндман Р.Д.* // Физика Земли. 1996. № 4. С. 5–11.
11. Земная кора и верхняя мантия Тянь-Шаня в связи с геодинамикой и сейсмичностью / Под ред. А.Б. Бакирова. Бишкек: Илим, 2006. С. 115.
12. *Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н.* // Физика Земли. 2003. № 7. С. 35–47.
13. *Husen S., Kissling E.* // Geology. 2001. V. 29. № 9. P. 847–850.
14. *Гордиенко Д.Д., Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н.* // ДАН. 2006. Т. 408. № 2. С. 238–242.
15. *Rong Yu., Jackson D., Kagan Ya.* // J. Geophys. Res. 2003. No B10. doi: 10.1029/2002JB002130.