

УДК 550.34

КОЛЬЦЕВЫЕ СТРУКТУРЫ СЕЙСМИЧНОСТИ И ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 11.03.2011 г. ($M_w = 9.0$) В РАЙОНЕ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЯПОНИИ

© 2011 г. Ю. Ф. Копничев, И. Н. Соколова

Представлено академиком А.О. Глико 11.05.2011 г.

Поступило 12.05.2011 г.

Исследуются характеристики сейсмичности в районе северо-восточной Японии перед восемью сильными и сильнейшими землетрясениями с $M_w = 7.0-9.0$. Перед всеми событиями выделяются кольцевые структуры сейсмичности в диапазонах глубин 0–33 и 34–70 км. Получены корреляционные зависимости пороговых значений магнитуд для колец сейсмичности от энергии главных землетрясений. Использование данных о параметрах кольцевых структур позволило осуществить прогноз места и магнитуды сильнейшего события 11.03.2011 г.

В работах [1–5] показано, что в зонах субдукции перед сильными и сильнейшими землетрясениями формируются кольцевые структуры сейсмичности в разных диапазонах глубин. Ниже рассматриваются характеристики таких структур в районе северо-восточной Японии, в том числе в зоне очага катастрофического землетрясения 11.03.2011 г. ($M_w = 9.0$). Для сравнения анализируются также некоторые данные о сейсмичности в районе южных Курил.

В рассматриваемом районе (между 34.5° и 44.5° с.ш.) начиная с 1900 г. произошло 18 сильных землетрясений с $M_w \geq 7.7$ [6] (рис. 1). В отличие от районов Суматры и Камчатки здесь до 2011 г. не были зарегистрированы события с $M_w > 8.4$. Отметим, что все землетрясения с $M_w > 8.0$ до 2011 г. происходили к северу от параллели 39° с.ш..

Изучение характеристик кольцевой сейсмичности района северо-восточной Японии по аналогии с работами [1–5] проведено для двух диапазонов глубин: 0–33 и 34–70 км. Проанализированы данные о событиях, произошедших в окрестностях будущих очаговых зон, с магнитудами $M \geq M_{п1}$ и $M \geq M_{п2}$, где пороговые величины $M_{п1}$ и $M_{п2}$ для первого и вто-

рого диапазона глубин соответственно варьировались от 3.9 до 5.8. Рассматривались землетрясения во временных интервалах с 01.01.1964 г. до дня, предшествовавшего главному событию. Обработаны данные о сейсмичности перед восемью сильными и сильнейшими землетрясениями с $M_w = 7.0-9.0$ (табл. 1).

Ранее [5] были предварительно рассмотрены характеристики кольцевых структур, сформировавшихся перед семью сильными землетрясениями в рассматриваемом районе (1989–2008 гг., см.

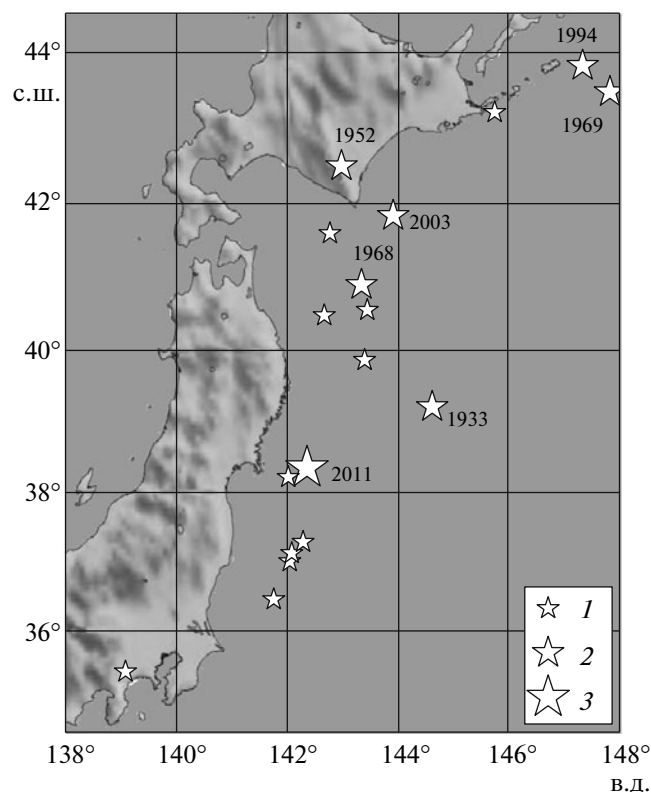


Рис. 1. Эпицентры сильных землетрясений в районе северо-восточной Японии и южных Курил начиная с 1900 г. Величины M_w : 1 – 7.7-7.9, 2 – 8.1-8.4, 3 – 9.0. Годы указаны для событий с $M_w > 8.0$.

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

Институт геофизических исследований
Национального ядерного центра Республики Казахстан,
Алма-Ата

Таблица 1. Характеристики кольцевых структур, сформировавшихся перед сильными и сильнейшими землетрясениями в районах северо-восточной Японии и южных Курил

Дата	с.ш.	в.д.	h , км	M_w	$M_{п1}$	L , км	ΔT_1 , лет	$M_{п2}$	l , км	ΔT_2 , лет
01.11.1989 г.	39.92°	142.79°	29	7.4	4.0	100	18	4.0	95	18
04.10.1994 г.	43.83	147.33	33	8.3	5.0	80	25	5.1	80	27
28.12.1994 г.	40.54	143.44	16	7.8	4.4	130	23	4.4	85	21
25.09.2003 г.	41.82	143.91	13	8.3	5.0	85	28	5.0	40	29
31.10.2003 г.	37.81	142.62	10	7.0	4.0	30	17	4.0	40	26
28.11.2004 г.	43.01	145.12	39	7.0	4.0	65	31	3.9	40	31
19.07.2008 г.	37.55	142.21	22	7.0	4.0	55	34	4.0	40	35
11.03.2011 г.	38.32	142.37	32	9.0	5.8	170	30	5.3	75	35

Примечание. L и l – длины больших осей колец сейсмичности, ΔT_1 и ΔT_2 – длительности их формирования соответственно для первого и второго диапазонов глубин.

табл. 1), а также в зоне сейсмической брешы, образовавшейся перед землетрясением 11.03.2011 г. Перед всеми семью событиями проявились кольцевые структуры эллиптической формы, как и в других зонах субдукции [1–3], при этом эпицентры главных событий находились вблизи соответствующих областей пересечения или касания “мелких” ($h = 0–33$ км) и “глубоких” (34–70 км) колец. На рис. 2 показаны кольца сейсмичности, образовавшиеся до 01.07.2009 г. в центральной части будущей очаговой зоны землетрясения с $M_w = 9.0$. Видно, что за 20 месяцев до этого события сформировались кольцевые структуры – мелкая ($M_{п1} = 5.0$, $L \sim 95$ км) и глубокая ($M_{п2} = 5.0$, $l \sim 100$ км). При этом эпицентр сильного форшока 09.03.2011 г. ($M_w = 7.3$) находился вблизи области пересечения мелкого и глубокого колец, а эпицентр главного события располагался на границе глубокого кольца, на расстоянии около 45 км от этой области. Отметим, что в южной части очаговой зоны (между 36° и 37° с.ш.) образовалась еще одна пара кольцевых структур с такими же параметрами $M_{п1}$ и $M_{п2}$ и близкими величинами L и l [5].

Из табл. 1 следует, что величины L , $M_{п1}$ и $M_{п2}$ закономерно растут с M_w . При этом особенно высокая корреляция наблюдается для зависимостей $M_{п1}(M_w)$ и $M_{п2}(M_w)$. В работе [5] по этим зависимостям была получена прогнозная оценка магнитуды возможного сильнейшего землетрясения в области между 37.5° и 39° с.ш., 142° и 144° в.д. – $M_w = 8.4 \pm 0.1$. Такая же оценка получена и для второй пары колец.

Анализ дополнительных данных, полученных в период 01.07.2009–10.03.2011 гг., позволил существенно уточнить характеристики кольцевой сейсмичности. Из рис. 3 следует, что перед землетрясением 11.03.2011 г. сформировались кольцевые структуры со значительно более высокими пороговыми величинами магнитуд: мелкая ($M_{п1} =$

$= 5.8$, $L \sim 170$ км) и глубокая ($M_{п2} = 5.3$, $l \sim 75$ км). Наибольшие магнитуды M_w событий в областях этих структур составляли соответственно 7.3 (09.03.2011 г.) и 7.7 (12.06.1978 г.). Важно подчеркнуть, что эпицентр главного землетрясения в данном случае снова располагался в области пересечения колец сейсмичности. Отметим также, что большая часть площади кольцевых структур попадает в область максимального сцепления (coupling) океанической и континентальной плит [7]. Использование указанных значений $M_{п1}$ и $M_{п2}$ позволяет по корреляционным зависимостям из

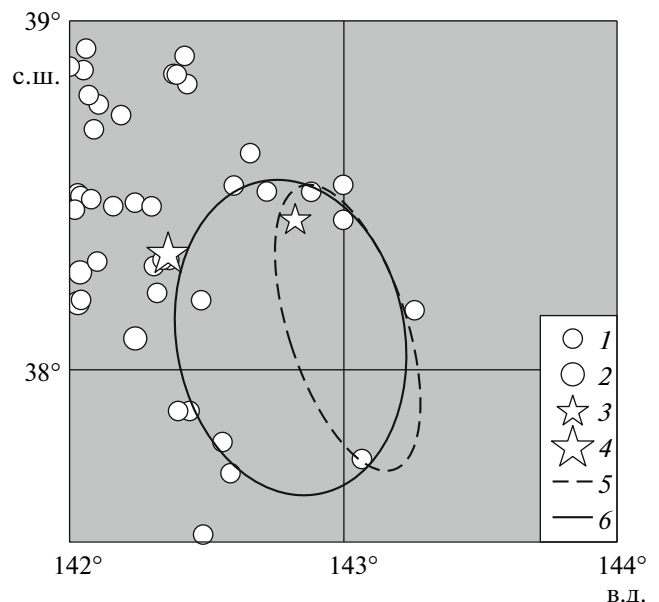


Рис. 2. Кольцевая сейсмичность в области между 37.5° и 39° с.ш. в двух диапазонах глубин (по данным до 01.07.2009 г.). 1 – $5.0 \leq M < 6.5$, 2 – $M \geq 6.5$ (глубины 34–70 км), 3 – эпицентр форшока 09.03.2011 г., 4 – эпицентр землетрясения 11.03.2011 г. ($M_w = 9.0$), 5 – мелкое кольцо, 6 – глубокое [5].

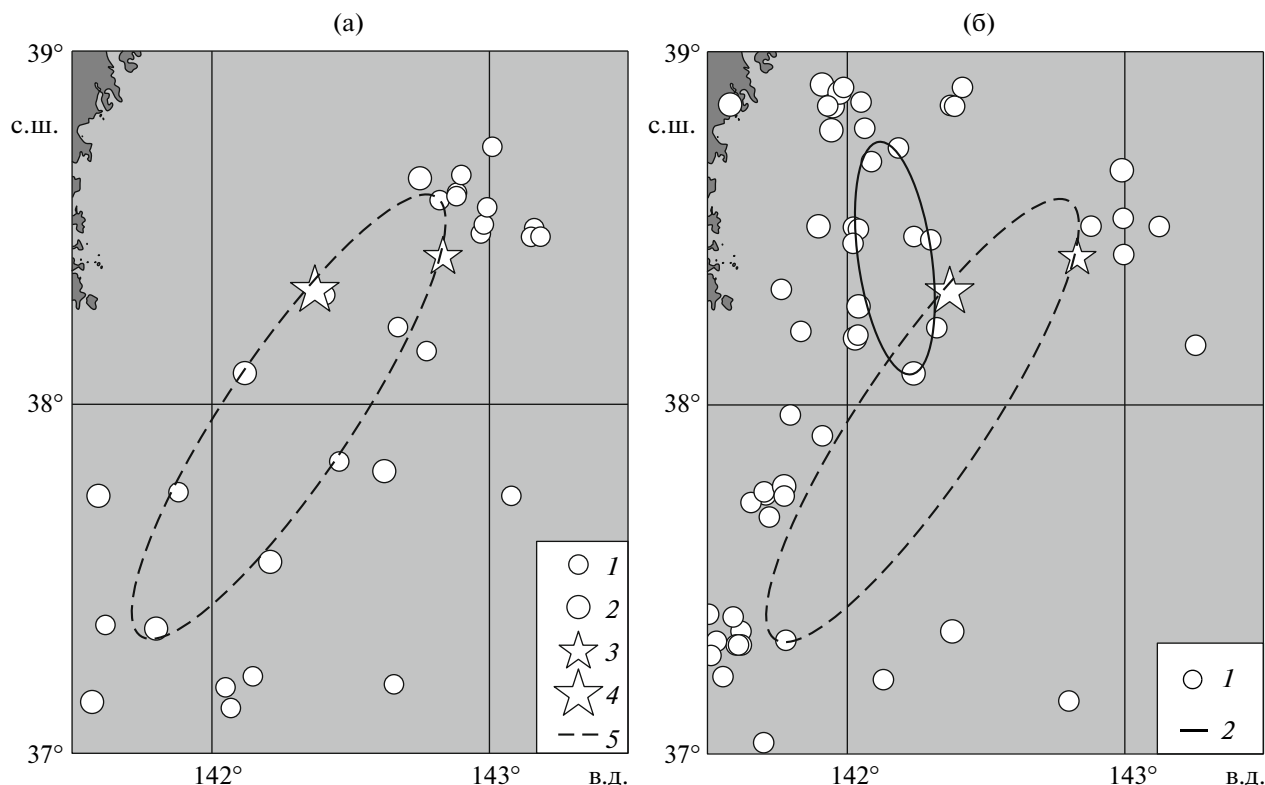


Рис. 3. Кольцевая сейсмичность перед землетрясением 11.03.2011 г. а: глубины 0–33 км, 1 – $5.8 \leq M < 6.5$, 2 – $M \geq 6.5$, 3 – эпицентр форшока 09.03.2011 г., 4 – эпицентр землетрясения с $M_w = 9.0$, 5 – мелкое кольцо. б: глубины 34–70 км, 1 – $5.3 \leq M < 6.5$, 2 – глубокое кольцо, остальные обозначения те же, что на рис. 3а.

[5] дать значительно более точный прогноз величины M_w : 9.1 ± 0.4 .

С учетом новых данных получены следующие формулы, связывающие величины $M_{п1}$ и $M_{п2}$ с M_w :

$$M_{п1} = 0.87M_w - 2.23, \quad r = 0.98, \quad (1)$$

$$M_{п2} = 0.75M_w - 1.30, \quad r = 0.97, \quad (2)$$

где r – коэффициент корреляции.

Сопоставление с данными, полученными в работах [2–4], показывает, что для района северо-восточной Японии величины $M_{п1}$ и $M_{п2}$ растут с M_w гораздо быстрее, а размеры колец L и особенно l значительно медленнее, чем для района Суматры.

Из табл. 1 видно, что длительность формирования кольцевых структур в интервале $M_w = 7.0$ – 9.0 для рассматриваемых диапазонов глубин варьируется соответственно от 17 до 34 и от 18 до 35 лет и практически не зависит от магнитуды. При этом для сильнейших событий ($M_w = 8.3$ – 9.0) разброс данных существенно меньше, чем для более слабых.

Полученные в [4] результаты позволяют считать, что мелкие кольцевые структуры оконтуривают сравнительно жесткие блоки, на границах которых стимулируется постепенный подъем глубинных флюидов. Возможно, что аналогичный

процесс происходит и на границах глубоких колец. (Отметим, что в работах [8, 9] сделан вывод, что подъем флюидов в зонах субдукции происходит в основном в результате землетрясений.) В этом случае в областях пересечения или касания мелких и глубоких колец постепенно достигается максимальная толщина двухфазного слоя с присутствием заметной доли флюидов. Если флюиды формируют связную сеть, то на кровле этого слоя будет происходить концентрация напряжений, которые могут превысить предел прочности горных пород, инициируя подвижку при сильном землетрясении [10]. Косвенным подтверждением такой трактовки природы колец может служить практическая независимость времени их формирования от магнитуды (есть основания предполагать, что это связано с постоянством средней скорости подъема флюидов [11, 12]).

Таким образом, вместо ожидавшихся по данным, полученным до 01.07.2009 г., двух землетрясений с $M_w \sim 8.4$ произошло одно значительно более сильное. Такой ход событий не противоречит общим закономерностям пространственно-временной самоорганизации геологических систем. Как известно, в самоорганизующихся системах, к которым относится и Земля в целом, существует иерархия переменных, связанная с различием их

масштабов [13]. Стоящие на верхних ступенях иерархии наиболее крупные переменные определяют в целом состояние системы, а переменные более низких рангов приспособляются к ним. Можно полагать, что в нашем случае формирование до 01.07.2009 г. двух пар относительно больших кольцевых структур, обеспечивавших подъем флюидов, облегчило подготовку крупнейшего землетрясения (хотя бы потому что благодаря образованию северной пары колец, скорее всего, произошел сильный форшок с $M_w = 7.3$).

Приведенные данные свидетельствуют о перспективности анализа характеристик кольцевой сейсмичности для прогнозирования места и энергии сильных и сильнейших землетрясений в зонах субдукции. Кроме того, текущие величины ΔT_1 и ΔT_2 могут быть использованы для оценки времени таких сейсмических событий (среднесрочный прогноз).

Авторы выражают признательность USGS и ISC за предоставление сейсмических каталогов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н.* // ДАН. 2009. Т. 425. № 4. С. 539–542.
2. *Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н.* // ДАН. 2009. Т. 429. № 1. С. 106–109.
3. *Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н.* // Вестн. НЯЦ РК. 2009. В. 3. С. 67–75.
4. *Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н.* // Вулканология и сейсмология. 2010. № 6. С. 34–51.
5. *Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н.* // Вестн. НЯЦ РК. 2009. В. 3. С. 88–97.
6. *Engdahl E., Villasenor A.* In: Earthquake & Engineering Seismology. N.Y.: Academic Press; Elsevier Sci. 2002. Pt A. P. 665–690.
7. *Suwa Y., Miura S., Hasegawa A., et al.* // J. Geophys. Res. 2006. V. 111. B.04402.
8. *Umeda K., McCrank G., Ninomiya A.* // J. Geophys. Res. 2007. V. 112. B.10206.
9. *Husen S., Kissling E.* // Geology. 2001. V. 29. № 9. P. 847–850.
10. *Gold T., Soter S.* // Pure and Appl. Geophys. 1984/1985. V. 122. P. 492–530.
11. *Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н.* // Физика Земли. 2003. № 7. С. 35–47.
12. *Копничев Ю.Ф., Гордиенко Д.Д., Соколова И.Н.* // Вулканология и сейсмология. 2009. № 1. С. 49–64.
13. *Летников Ф.А.* Синергетика геологических систем. Новосибирск: Наука, 1992. 229 с.