

СИЛЬНЫЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ ЗЕМЛИ

Н.В. Шаторная

Каталог сильных землетрясений мира с $MPSP$, $MS \geq 6.0$ за 1998 г. составлен по материалам ежедекадных оперативных сейсмологических каталогов и бюллетеней, выпускаемых в Центральной опытно-методической экспедиции Геофизической службы Российской академии наук (в ЦОМЭ ГС РАН [1]). Географическое положение сильных землетрясений показано на рис. 1. В основном оно соответствует известной мировой статистике наблюдаемых на земном шаре землетрясений.

Распределение сильных землетрясений мира в зависимости от их магнитуды приведено в табл. 1, где данные 1998 г. сравниваются с соответствующими значениями за десять предыдущих лет. Из табл. 1 видно, что в 1998 г. повторяемость землетрясений в разных интервалах магнитуд близка к средней.

Величина суммарной сейсмической энергии, выделившейся в 1998 г. при сильных землетрясениях в различных сейсмических поясах, представлена в табл. 2. Более 97.7% всей энергии выделилось в Тихоокеанском сейсмическом поясе, где произошло 88 сильнейших землетрясений года, и менее 2.3% приходится на другие сейсмические пояса.

Таблица 1. Распределение числа землетрясений в различных интервалах магнитуд M ($MPSP$, $MS \geq 6.0$)

Год	Число землетрясений в интервале M			Всего
	$6.0 \leq M < 7.0$	$7.0 \leq M < 8.0$	$M \geq 8.0$	
1988	89	8	–	97
1989	92	6	1	98
1990	102	10	1	113
1991	84	9	–	93
1992	117	13	–	130
1993	97	7	–	104
1994	136	14	1	151
1995	242	28	–	270
1996	217	15	–	232
1997	151	5	–	156
Среднее за 10 лет	133 ± 37	12 ± 5	–	145 ± 43
1998	113	12	–	125

Таблица 2. Распределение суммарной сейсмической энергии ΣE

Сейсмический пояс	Число землетрясений		$\Sigma E \cdot 10^{15}$, Дж
	$6.0 \leq M < 7.0$	$M \geq 7.0$	
Тихоокеанский	88	12	178.72
Трансазиатский	15	–	3.50
Атлантический	8	–	0.70
Индийского океана	2	–	0.02
Восточно-Африканские грабены	–	–	–

Ниже приводятся имеющиеся макросейсмические данные и краткий обзор исследований о сильных землетрясениях 1998 г., описанных в Реферативных журналах серии «09.Г. Физика Земли» за 1999–2002 и 2004 гг. [2–6].

В [7] получены решения тензоров моментов центроидов для 204 землетрясений 1998 г. с $M \geq 5.5$ с использованием теории оптимальных фильтров. Описан метод определения тензоров, исходные данные и принятые при расчетах некоторые ограничения. В [8] по первым вступлениям P -волн исследуется фокальный механизм землетрясения с $MS=8.0$, произошедшего 10 января

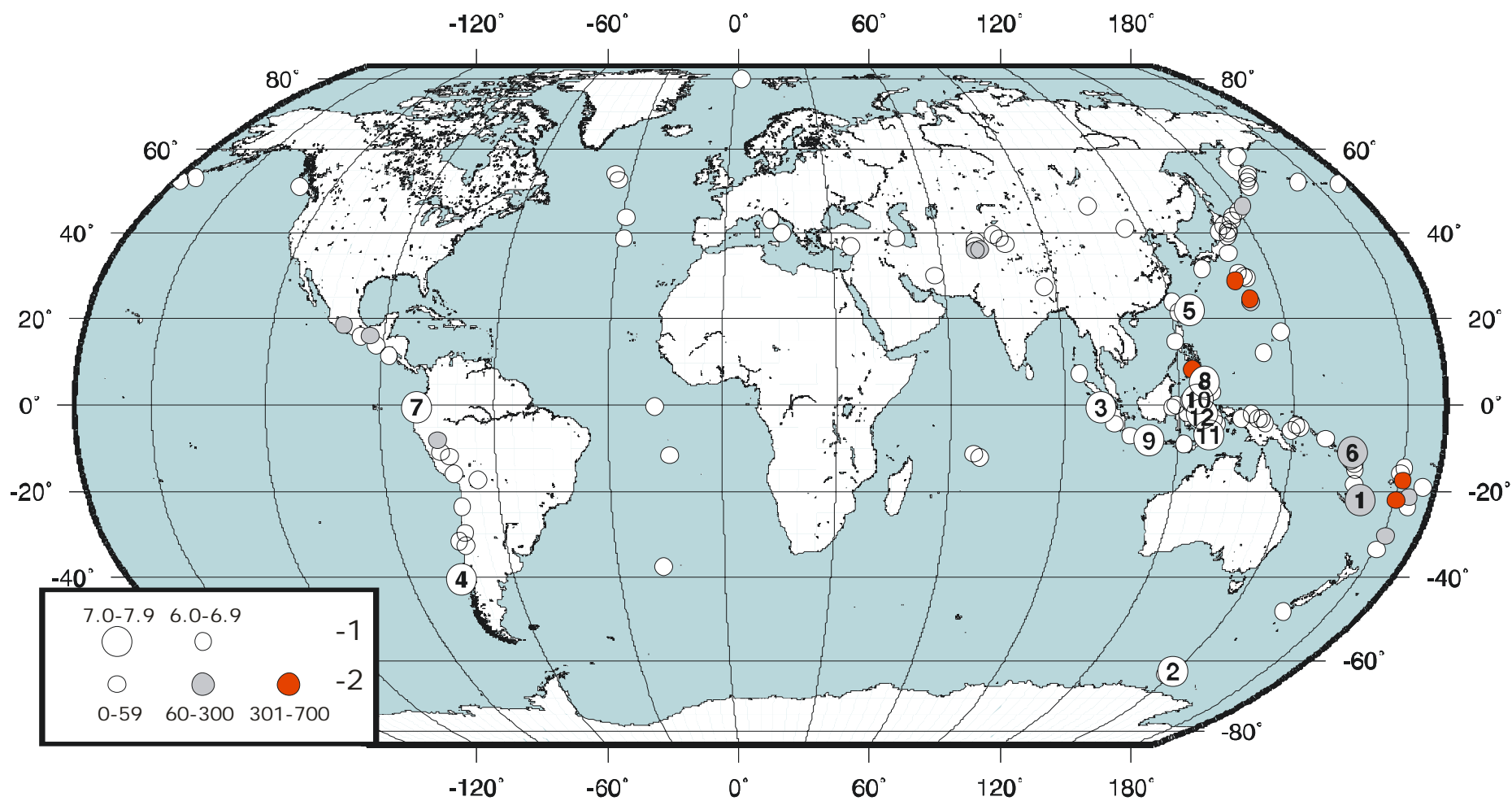


Рис. 1. Карта эпицентров сильных землетрясений мира с $MPSP$, $MS \geq 6.0$

1 – магнитуда; 2 – глубина h гипоцентра, км. Цифры соответствуют номерам землетрясений в графе 1 каталога [9].

в провинции Хэбэй, Китай, вызванного надвигом. В [10] исследуются взаимосвязи процесса дегазации земной коры и сейсмической активности и возможности их использования для среднесрочного и краткосрочного прогноза на примере указанного землетрясения. Используя данные наблюдений в 90 скважинах, расположенных в северных районах Китая (уровень воды и ее температура, содержание различных газов), в [11] исследуются особенности аномального поля подземных флюидов и его взаимосвязь с землетрясением 10 января.

Землетрясение в пределах Антарктической плиты 25 марта ($MS=7.9$) произошло на расстоянии около 250 км от границы плиты. Анализ распределения афтершоков указывает, что в результате землетрясения образовался единый разрыв протяженностью 250–300 км с шириной зоны 15 км. Простирание образовавшихся разломов практически перпендикулярно к простиранию древней разломной зоны. Высвобождение сейсмического момента произошло за счет двух субтолчков, отстоявших друг от друга на расстоянии ~ 220 – 280 км и разделенных во времени ~ 65 с. Механизм этих двух землетрясений различен. Возможно, что землетрясение было связано с перестройкой границы плиты, происходившей вблизи тройного соединения в области Маскаренского хребта [12]. Первый субтолчок был простым, распространялся в западном направлении, длина участка вспарывания ~ 140 км, длительность ~ 45 с, средняя скорость вспарывания $v > 3$ км/с, $M_0 = 1.2 \cdot 10^{21}$ Н·м, $M_w = 8.0$, $\frac{3}{4}$ величины M_0 высвободилось в интервале 10–27 с, сброс давления ~ 240 бар [13].

Второй субтолчок с $M_0 = (0.3-0.6) \cdot 10^{21}$ Н·м, $M_w = 7.6-7.8$ произошел на продолжении разлома на участке 210–270 км к западу от эпицентра первого субтолчка. Сложное распределение афтершоков связано с существовавшей на дне океана системой разломов. Для определения деталей разрывообразования использован метод инверсии разрыва конечных размеров и данные о телесеизмических объемных волнах [14], зарегистрированных Глобальной сейсмической сетью. За 273 дня после землетрясения было зарегистрировано 67 афтершоков [15]. Анализ их распределения указывает, что плоскость разрыва имеет широтное простирание, а протяженность может достигать 600 км.

Сильное землетрясение с $MS=6.6$ произошло 22 мая в Боливии в департаменте Кочабамба. В [16] приводится карта эпицентров. Наибольшие разрушения произошли в городах, расположенных в высокогорьях Анд. Погибло не менее 100 человек. Землетрясения добавили несчастий жителям, уже пострадавшим от засухи. В городах Тотора и Айкиле было разрушено около 80% зданий. Дополнительные разрушения вызвали афтершоки. Оползни нарушили работу линий жизнеобеспечения.

В [17] приводятся параметры землетрясения с $MS=6.8$, произошедшего 17 июля на побережье Папуа (Новая Гвинея), и данные о механизме очага этого землетрясения, в результате которого возникло цунами. Максимальная высота волны цунами была 15 м, средняя высота – 10.5 м, амплитуды волн резко убывали к востоку и западу. Эпицентр землетрясения локализован в западно-юго-западной части лагуны Сиссано. Отмечают сильное затухание колебаний поверхности земли, характерное для Северной береговой сейсмической зоны. Через 20 мин после основного толчка произошел афтершок с $m_b=5.7$. Отмечены оползни. Составлена модель механизма очага. Полагают, что в центре разлома дислокации составляли 5–7 м, резко уменьшаясь к обоим его краям. Цунами в Алтапе было самым разрушительным в истории страны. Причина цунами, унесшего жизни 2100 человек, до последнего времени оставалась неясной [18], т.к. обычное землетрясение, описываемое моделью дислокации, не могло вызвать наблюдавшихся амплитуд. Использование сейсмических отражений с высокой степенью разрешенности позволило получить новые изображения крупного подводного оползня, движение которого привело к генерированию цунами. Момент оползания уверенно зарегистрирован с помощью T -фазовых записей гидрофоном на о. Уайк. С помощью геологических и гидродинамических данных и на основе моделирования подтверждаются наблюдаемые амплитуды цунами и развитие процесса во времени. В [19] приведено уточнение координат эпицентров афтершоков землетрясения. Построены их глубинные распределения и получены параметры сейсмогенного разлома. Ущерб от цунами и сдвига морского дна представлен в [20].

Сильное ($M=7.1$) землетрясение произошло 4 августа в 08^h59^m в 10 км к северо-западу от прибрежного г. Байя-де-Каракес (Эквадор). Зарегистрирован форшок с $m_b=5.4$, произошедший за 1^h24^m до главного толчка в нескольких километрах к востоку от его эпицентра. Оба очага относятся к субдукционному типу, их глубины ~ 35 км. Очаги лежали на границе плит Наска

и Южно-Американской. До конца августа и в первую неделю сентября зарегистрировано ~510 афтершоков. «Вспоролся» 80-километровый разрыв, параллельный желобу. Приводятся результаты анализа разрушений [21].

В [22] исследуются временные изменения строения земной коры путем анализа сейсмограмм, полученных в результате двух сейсмических экспериментов. Искусственные взрывы были проведены за месяц и через два месяца после близповерхностного землетрясения 3 сентября 1998 г. в Японии с магнитудой $M=6.1$. Установлено, что скорости сейсмических волн в фокальной области землетрясения и в области вулкана Ивате уменьшились на ~0.3–1.0% в течение 3 месяцев. Эти изменения скоростей вызваны изменениями напряжений в верхней части коры, связанными с подготовкой и произошедшим затем землетрясением.

Л и т е р а т у р а

1. Сейсмологический бюллетень (ежедекадный) за 1998 год / Отв. ред. О.Е. Старовойт. – Обнинск: ЦОМЭ ГС РАН, 1998–1999.
2. Реферативный журнал за 1999 год. 09. Геофизика. 09Г. Физика Земли. – М.: ВИНТИ, 1999.
3. Реферативный журнал за 2000 год. 09. Геофизика. 09Г. Физика Земли. – М.: ВИНТИ, 2000.
4. Реферативный журнал за 2001 год. 09. Геофизика. 09Г. Физика Земли. – М.: ВИНТИ, 2001.
5. Реферативный журнал за 2002 год. 09. Геофизика. 09Г. Физика Земли. – М.: ВИНТИ, 2002.
6. Реферативный журнал за 2004 год. 09. Геофизика. 09Г. Физика Земли. – М.: ВИНТИ, 2004.
7. Sipkin Stuart A., Bufe Charles G., Zildes Madeleine D. Решения тензоров моментов центроидов с использованием теории оптимальных фильтров: глобальная сейсмичность в 1998 г. [Moment-tensor solutions estimated using optimal filter theory: global seismicity // Phys. Earth and Planet. Inter. – 2000. – V. 118. – № 3–4. – P. 169–179.] ⇒РЖ «Физика Земли». – 2000. – № 4. – С. 14.
8. Ma Shu-zhing, Chen Hui-zhong, Wang Song, Zhao Wei, Luo Jian-ming. Предварительные результаты изучения фокального механизма землетрясения с магнитудой $M_S=6.2$, произошедшего 10 января 1998 г. в районе Чжанбэй-Шань (Китай) // [Diqu wuli [uebao=Acta geophys. Sin. – 1998. – V.41. – № 5. – P. 724–728.] ⇒РЖ «Физика Земли». – 1999. – №3. – С. 9.
9. Шаторная Н.В. (отв. сост.). Каталог сильных землетрясений Земли с магнитудой $M \geq 6.0$ (См. раздел I (Обзор сейсмичности) в наст. сб.).
10. Che Yongtai, Tu Jinzi, Liu Wuzhou. Динамический мониторинг процесса дегазации земной коры и прогноз землетрясений на примере землетрясения с магнитудой $M=6.2$ в районе Чжанбэй-Шань, Китай // [Dizhi lunping=Geol. Rev. – 1999. – V.45. – №1. – P. 59–65.] ⇒РЖ «Физика Земли». – 2000. – № 1. – С. 12.
11. Che Yong-Tai, Yu Jin-Zi, Liu Wu-Zhou, Yi Li-Xin. Аномальное поле подземных флюидов и генезис землетрясений в районе Чжанбэй-Шань (Китай) [The subsurface fluid anomaly field and its genesis of Zhangbei-Shangyi earthquake // Acta seismol. sin. – 1999. – V.12. – №2. – P. 215–223.] ⇒РЖ «Физика Земли». 2000. – №1. – С. 12.
12. Nettles Meredith, Wallace Terry C., Beck Susan L. Землетрясение в пределах Антарктической плиты 25 марта 1998 года [The March 25, 1998 Antarctic plate earthquake // Geophys. Res. Lett. – 1999. – V.26. – №14. – P. 2097–2100] ⇒РЖ «Физика Земли». – 2001. – №2. – С. 12.
13. Henry C., Das S., Woodhouse J.H. Сильное землетрясение 25 марта 1998 г. на Антарктической плите: тензор моментов и процесс разрывообразования [The great March 25, 1998, Antarctic Plate earthquake: moment tensor and rupture history // J. Geophys. Res. B. – 2000. – V.105. – №7. – P. 16097–16118.] ⇒РЖ «Физика Земли». – 2001. – №12. – С. 14.
14. Antonik Michael, Kaverina Asya, Dreger Dougla S. Сложный разрыв во время сильнейшего землетрясения 1998 г. в Антарктической плите [Compound rupture of the great 1998 Antarctic Plate earthquake // J. Geophys. Res. B. – 2000. – V.105. – №10. – P. 23825–28838.] ⇒РЖ «Физика Земли». – 2000. – №6. – С. 16.
15. Kaminuma Katsutada, Kobayashi Reiji, Nogi Yoshifumi, Kanao Masaki. Афтершоковая активность сильного землетрясения 1998 года в Антарктической плите [Aftershock activity of the great 1998 earthquake in the Antarctic Plate] // Polar Geosci. – 1999. – №12. – P. 183–191.] ⇒РЖ «Физика Земли». – 2004. – №1. – С. 11.
16. Olson Robert A., Sarmiento Juan Pablo, Olson S. Richard, Grande Jorge, McAfee Scott. Боливийские землетрясения 22–23 мая 1998 г. [Bolivian earthquakes of May 22–23, 1998: a summary report // EERI Newlett. – 1998. – V.32. – №12. – P. 6–7.] ⇒РЖ «Физика Земли». – 2000. – №6. – С. 14.

17. **McCue Kevin, Somerville Malcolm.** Данные AGSO о цунамигенном землетрясении 17 июля 1998 г. в Папуа (Новой Гвинее) [An AGSO perspective of PNG's tsunamigenic earthquake of 17 July 1998 // AUSGEO News. – 1998. – №49. – P. 1–2.] ⇒РЖ «Физика Земли». – 2002. – №1. – С. 12.
18. **Synolakis Costas E., Bardet Jean-Pierre, Borrero Jose C., Davies Hugh L., Okal Emile A., Silver El A., Sweet Suzanne, Tappin David R.** Цунами 1998 г. в Папуа (Новой Гвинее), вызванное подводным оползнем [The slump origin of the 1998 Papua New Guinea tsunami // Proc. Roy. Soc. London. A. – 2002. – V.458. – P. 763–789.] ⇒РЖ «Физика Земли». – 2002. – №12. – С. 12.
19. **Horukawa Nobuo.** Плоскость разлома землетрясения 1998 г. в Папуа (Новая Гвинея) согласно повторному анализу афтершоков по данным Международного центра данных СТВТ [J. Seismol. Soc. Jap. Ser. 2. – 1999. – V.52. – №1. – P. 95–99.] ⇒РЖ «Физика Земли». – 2000. – №1. – С. 9.
20. **Итики Масаэ.** Ущерб от цунами в Папуа (Новая Гвинея) и сдвиг морского дна [землетрясение 17 июля 1998 г.] [// Yobo jiho. – 1999. – №196. – P. 8–14.] ⇒РЖ «Физика Земли». – 1999. – №4. – С. 5.
21. **Fernandez Jeannette, Yepes Hugo.** Землетрясение 4 августа 1998 г. в городе Байя-де-Каракес (Эквадор) [The Bahia de Caraquez, Ecuador, earthquake of August 4, 1998 // EERI Newslett. – 1998. – V.32. – №11. – P. 1–12.] ⇒РЖ «Физика Земли». – 2000. – №6. – С. 14.
22. **Nishimura Takeshi, Uchida Naoki, Sato Haruo, Ohtake Masakazu, Tanaka Satoru, Hamaguchi Hiroyuki.** Изменения строения земной коры во времени, связанные с землетрясением с магнитудой $M=6.1$, происшедшим 3 сентября 1998 г., а также активностью вулкана Иват, Япония [Temporal changes of the crustal structure associated with the $M=6.1$ earthquake on September 3, 1998, and the volcanic activity of Mount Iwate, Japan // Geophys. Res. Lett. – 2000. – V.27. – №2. – P. 269–272.] ⇒РЖ «Физика Земли». – 2001. – №9. – С. 12.