

СИЛЬНЫЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ ЗЕМЛИ

Н.В. Шаторная

Каталог сильных землетрясений мира с M_{SPS} , $M_S \geq 6.0$ за 1996 г. составлен по материалам ежегодных оперативных сейсмологических каталогов и сейсмологических бюллетеней, выпускаемых в ЦОМЭ ГС РАН [1]. Географическое распределение гипоцентров сильных землетрясений показано на рис. 1. В основном, оно соответствует таковому в предыдущие годы.

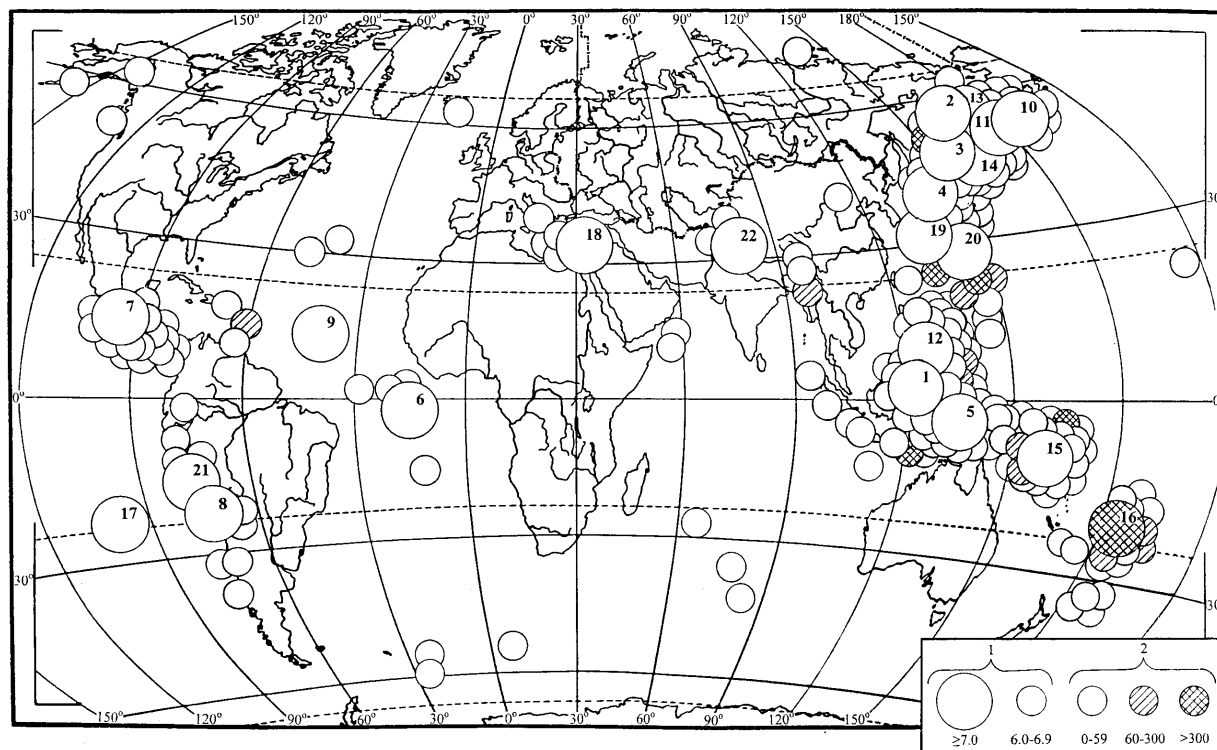


Рис. 1. Карта эпицентров землетрясений мира с $M_S \geq 6$

1 – магнитуа M_S ; 2 – глубина гипоцентра h , км.

Распределение сильных землетрясений мира в зависимости от их магнитуды приведено в табл. 1, где данные 1996 г. сравниваются с соответствующими значениями за десять предыдущих лет. Из табл. 1 видно, что в 1996 г. число землетрясений в двух интервалах магнитуд близко к среднему, а в интервале $M=6-7$ увеличилось почти в два раза. Распределение суммарной сейсмической энергии за 1996 г. в различных сейсмических поясах представлено в табл. 2. Более 97.4% всей энергии выделилось в Тихоокеанском сейсмическом поясе, где произошло 197 сильнейших землетрясений года, и менее 3% приходится на другие сейсмические пояса.

Ниже приводятся имеющиеся макросейсмические данные и краткий обзор исследований, проведенных по сильным землетрясениям 1996 г.

В [2] на основании алгоритма, использующего теорию оптимального фильтра, представлены решения тензоров моментов для всех землетрясений на земном шаре в 1996 г. с m_b или $M_s \geq 5.5$.

Разрушительное землетрясение с $M_S=7.4$ произошло 1 января в 08^h05^m на севере о. Сулавеси в Индонезии в 160 км к северу от Палу [3]. Погибло не менее 8 человек. Разрушено около 400 деревянных домов. Максимальная высота цунами по предварительным данным составляла 5 м [4].

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

Год	Число землетрясений в интервале магнитуд			Всего
	$6.0 \leq M < 7.0$	$7.0 \leq M < 8.0$	$M \geq 8.0$	
1986	91	5	-	96
1987	103	6	-	109
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
Среднее за 10 лет	115 ± 47	11 ± 3	-	126 ± 43
1996	217	15	-	232

Таблица 2. Распределение суммарной сейсмической энергии

Сейсмический пояс	Число землетрясений		$E \cdot 10^{15}$, Дж
	$6.0 \leq M < 7.0$	$M \geq 7.0$	
Тихоокеанский	182	18	211.66
Трансазиатский	13	2	4.58
Атлантический	11	2	0.88
Индийского океана	3	-	0.08
Восточно-Африканские грабены	-	-	-

В [5,6] анализируются извержения в Карымском вулканическом центре на Камчатке в 1996 г. и связанные с ними явления. 1 января в 09^h57^m здесь начался сильный рой землетрясений с главным толчком с $MS=7.0$. Исследование сейсмичности, предвалявшей и сопровождавшей извержения в Карымском вулканическом центре, позволило определить взаимосвязь между сейсмическими процессами, вызванными локальными тектоническими условиями и извержениями вулкана Карымский и в кальдере Академии наук [7].

3 февраля в 11^h14^m в провинции Юньнань произошло землетрясение с $MS=6.6$, которое было предсказано в 1993 г. с приблизительным указанием величины магнитуды, местоположения эпицентра и времени возникновения. Этот прогноз базировался на наблюдениях в период 1988-1991 гг. изменений размеров линий с помощью GPS, когда были обнаружены два активных участка (на разломе по р. Красная и на разломе Цзяньчуань-Лицзян). Описана методика прогноза. Приводятся результаты исследования изменений напряжения вследствие предвестниковых подвижек по активным участкам разломов. Асейсмическая активность на разломах в течение 1988-1991 гг. привела к значительной концентрации кулоновских напряжений на разломе Цзяньчуань-Лицзян, а в гипоцентре землетрясения 1996 г. перед его возникновением кулоновское напряжение выросло на 2.6 бара. Вывод: асейсмические подвижки на разломе под сейсмогенным слоем играют важную роль в процессе концентрации региональных напряжений и приводят к землетрясению на окружающих разломах [8]. Землетрясение вызвало многочисленные жертвы и разрушения зданий (до 80% всех сооружений). В [9] рассмотрены геотехнические аспекты катастрофы, характер разрушения зданий, систем жизнеобеспечения и транспортных объектов, поведение колонн и балок из армированного бетона, социальные аспекты, чрезвычайная реакция властей, процессы восстановления в течение двух-трех недель сразу после землетрясения и более длительное трехстадийное восстановление. В [10,11] изучен механизм основного толчка землетрясения в Лицзяне. Показано, что основной толчок этого землетрясения является результатом двух больших разрывов при расстоянии между ними в 26 км и временным сдвигом 12 с. Первый разрыв носит характер сдвига по простиранию в направлении север-юг, механизм второго разрыва изучается. Очаги субтолчков находились друг от друга на расстоянии 15 км, разница во временах в очагах 7 с, общий сейсмический момент $3.81 \cdot 10^{18}$ Н·м.

Средняя величина дислокации 0.18 м, площадь разрыва 720 км². Для обоих случаев определены направления разрыва.

Сильное землетрясение с MS=7.9 произошло 17 февраля в 05^h59^m около о. Биак, близ о. Новой Гвинеи (Индонезия). Длина зоны разрыва 180 км, ширина 50 км. Подвижка в очаге – пологий надвиг. В течение суток было зарегистрировано огромное количество афтершоков с различными механизмами очагов (надвиги, сбросы, сдвиги). В деревне Босник на о. Биак при землетрясении разрушены почти все дома. Наблюдалось "вскипание" песчаных грунтов. На побережье Ириан-Джая (о. Новая Гвинея) обрушилось цунами высотой 5-7 м. Максимальная высота цунами 7.7 м была в Фаруси на западе о. Биак. Всего погибло 110 человек (из них 64 из-за цунами), пропал без вести 51 человек, ранено около 100, остались без крова больше 10 000. Сообщения об увеличении высоты уровня прилива на 0.5-1.0 м указывает, что в этой области при землетрясении произошло оседание [12,13].

Землетрясение, происшедшее в Перу 21 февраля в 12^h51^m с MS=6.6, вызвало волну цунами. Высота цунами вдоль 400-километровой береговой линии от 1 до 5 м [14]. Такая волна цунами может быть смоделирована с использованием сейсмического момента $2 \cdot 10^{20}$ Н·м и жесткости $2 \cdot 10^{10}$ Н/м². Описаны методы моделирования распределения высот цунами. Площадь разрыва при землетрясении составляла 30x30 км², скорость вспарывания на некоторых участках составляла 1.5-2.0 км/с. Осредненные временные очаговые функции для поверхностных и объемных волн подобны и по форме и по длительности (~50 с). Землетрясение затронуло район, считавшийся малоактивным [15].

В [16] исследуется механизм землетрясения, происшедшего 3 мая в 03^h32^m с MS=6.2 в западной части Баотоу, Внутренняя Монголия (Китай). Нодальные плоскости: (40°,70°,–174°) и (308°,84°,–20°). Землетрясение вызвано левосторонним сдвигом с небольшой компонентой сброса по падению. Вторая нодальная плоскость связана с положением плоскости разлома, обрисованной по афтершокам. Глубина очага оценивается ~21 км.

В [17] уточняются некоторые параметры Алеутского землетрясения 10 июня в 04^h03^m с MS=7.8, очаг которого располагался в районе островов Деларова Алеутской островной дуги. Механизм очага – сдвиг со слабым углом (20°) наклона плоскости срыва, длительность возмущения 54 с, сейсмический момент $\sim 7.3 \cdot 10^{20}$ Н·м, глубина очага 18 км. Анализируется связь разрыва с разрывами при землетрясениях 1957 г. и 1986 г. Используются данные о цунами, возникших от землетрясения 10 июня и записанных на приливной станции "Адак". Ширина разрывной зоны достигает в некоторых местах 30 км, смещение около 4 м.

Сильное глубокое землетрясение 17 июня в 11^h22^m с MPLP=6.8 произошло в море Флорес на границе асейсмичной зоны шириной 150 км в самой нижней части Индонезийской плиты и характеризовалось длительной афтершоковой последовательностью [18]. Очаги многих афтершоков составили полосу протяженностью до 90 км. Лишь два афтершока произошли в 10-25 км в стороне от плиты. Параметры очага этого землетрясения соответствуют параметрам землетрясения Тонга 1994 г., но отличаются от параметров землетрясения в Боливии этого же года. Делается вывод о зависимости характера механизма очага от температурных характеристик той или иной части плиты. В [19] рассмотрены процессы в очагах и механизмы очагов глубокофокусных землетрясений 1996 г. (17 июня) с MPLP=6.8 в море Флорес и 1994 г. с MPLP=7.0 в районе Фиджи-Тонга. Оба очага имели во времени сложный характер и состояли из нескольких отдельных субтолчков. Установлено, что в море Флорес и в районе Фиджи-Тонга реализовались относительно высокие скорости разрывов и средние значения сброшенных напряжений. Предложены объяснения этому явлению.

Сигналы, предшествующие землетрясениям в Японии 10 августа в 18^h12^m (MS=6.1) и 11 сентября в 02^h37^m (MS=5.7), исследуются в [20]. Предлагается модель, в которой предполагается электризация газов, выделяющихся при растрескивании горных пород непосредственно перед моментом главного толчка.

Землетрясение 9 октября в 13^h10^m (MS=6.6) к юго-западу от Кипра в восточной части Средиземного моря характеризовалось длительной (свыше 4 месяцев) афтершоковой активностью. Некоторое число афтершоков было записано акселерографами цифровой сети сильных движений, оснащенной 5 приборами. Такого рода записи были получены на Кипре впервые; они позволили сравнить характер затухания сейсмической энергии в этом регионе с таковыми в других районах мира со схожим тектоническим режимом. Хотя количество данных невелико, тем не менее по ним можно

сделать заключение о заниженных величинах ускорений в регионе Кипра по сравнению с другими регионами [21]. По результатам обработки сейсмических волн Р- и SH-, возникших от Кипрского землетрясения 9 октября и его наиболее сильного афтершока 10 октября, были определены магнитуды M_w и глубины h этих землетрясений, для главного толчка $M_w=6.8$, $h\sim 32$ км, для афтершока $M_w=5.8$, $h\sim 27$ км. Полученные результаты интерпретируются с позиций тектоники плит. Предполагается, что землетрясение относится к зоне разрывного нарушения между Африканской и Анатолийской плитами (Кипрский желоб). Его очаг локализован на участке изменения стиля конвергенции плит: западнее о. Кипр происходит субдукция Африканской плиты, южнее – коллизия указанных плит. Смещение на разломе сбросо-сдвиговое, направление смещений – северо-северо-восточное близ меридиана 30°E , северо-восточное – на 32°E и восточное – на $35-36^\circ$. Скорость движения плит 23 мм/год близ меридиана 29°E и ~ 14 мм/год на 34°E . Отмечено вращение Анатолийской плиты против часовой стрелки и опускание Африканской плиты [22].

Л и т е р а т у р а .

1. **Сейсмологический каталог и бюллетень (ежедекадный) за 1996 г. 1996-1997.** / Отв. ред. О.Е. Старовойт. Обнинск: ЦОМЭ ИФЗ РАН.
2. **Sipkin Stuart, Zirbes Madeleine D., Bufe Charles G. 1998.** Тензоры моментов, полученные с помощью теории оптимального фильтра: глобальная сейсмичность в 1996 г. [Moment-tensor solutions estimated using optimal filter theory: global seismicity, 1996. // Phys. Earth and Planet. Inter. V.109. №1-2. P. 65-77.] \Rightarrow РЖ "Физика Земли". 1999. 11Г-97.
3. **Индонезийское землетрясение 1 января 1996 г. 1996.** [The January 1,1996, Indonesia earthquake // EERI Newslett. V.30. №2. P. 5] \Rightarrow РЖ "Физика Земли". 1996. 8Г-146.
4. **Современные землетрясения и цунами: 1 января 1996 г., $M_w=7.8$, около Сулавеси, Индонезия. 1996.** [Recent tsunamis and earthquakes January 1,1996, $M_w=7.8$, Sulawesi, Indonesia // Tsunami Newslett. V.28. №1. P. 15] \Rightarrow РЖ "Физика Земли". 1996. 9Г-169.
5. **Федотов С.А. 1997.** Об извержениях в кальдере Академии Наук и Карымского вулкана на Камчатке в 1996 г., их изучении и механизме // Вулканология и сейсмология. №5. С. 3-37 \Rightarrow РЖ "Физика Земли". 1998. 9Г-62.
6. **Zobin V.M., Levina V.I. 1998.** История образования разрыва при вулканическом землетрясении ($M_S=6.6$) 1 января 1996 года, предшествовавшем извержениям вулканов Карымский и Академии Наук на Камчатке, Россия [Rupture history of the January 1,1996 $M_S=6.6$ volcanic earthquake preceding the simultaneous of Karymsky and Akademia Nauk volcanoes in Kamchatka, Russia // J. Geophys. Res. B. V.103. №8. P. 315-324] \Rightarrow РЖ "Физика Земли". 1999. 4Г-59.
7. **Гордеев Е.И., Дроздин Д.В., Касахара М., Левина В.И., Леонов В.Л., Миямачи Х., Окаяма М., Салтыков В.А., Синицын В.И., Чебров В.Н. 1998.** Сейсмические явления, связанные с извержениями вулканов в Карымском вулканическом центре в 1996 г. // Вулканология и сейсмология. №2. С. 24-48. \Rightarrow РЖ "Физика Земли". 1999. 2Г-179.
8. **Zhao Shaorong, Chao Dingbo, Lai Xian, Xu Jusheng, Seeber Gunter 1999.** Предсказанное землетрясение в 1996 г. с $M_L=7.0$ в Лицзяне Юньнань, Китай [The 1996 $M_L=7.0$ earthquake, Yunnan, China: An anticipated event // J. Geodyn. V.27. №4-5. P. 529-546] \Rightarrow РЖ "Физика Земли". 2000. 8Г-86.
9. **Землетрясение 3 февраля 1996 г. в Лицзяне, провинция Юньнань (Китай). 1998.** [Lijiang, Yunnan Province, Febr.3, 1996 // EERI Publ. №1. P. 1-32] \Rightarrow РЖ "Физика Земли". 2000. 1Г-76.
10. **Ma Shu-Tian, Yoa Zhen-Xing, Ji Chen. 1998.** Предварительное определение механизма очага основного толчка землетрясения 1996 г. в Лицзяне, провинция Юньнань (Китай), и изучение смежных проблем [Preliminary estimation for the focal mechanisms of 1996 Lijiang main shock in Yunnan Province and studies of related problems // Acta seismol. sin. V.11. №1. P. 21-33] \Rightarrow РЖ "Физика Земли". 1998. 8Г-81.
11. **Xu Yang, Kikuchi Masayuki, Su You-Jin. 1998.** Инверсия форм объемных волн при изучении процесса в очаге землетрясения в Лицзяне, провинция Юньнань Китай), 3 февраля 1996 г. [Body waveform inversion for the source process of the February 3, 1996 Lijiang, Yunnan earthquake // Acta seismol. sin. V.11. №2. P. 135-140] \Rightarrow РЖ "Физика Земли". 1998. 7Г-68.
12. **Землетрясение и цунами в Индонезии. 1996.** [Indonesia hit with 8.0 M_s earthquake and tsunamis // EERI Newslett. V.30. №3. P. 3] \Rightarrow РЖ "Физика Земли". 1996. 8Г-147.

13. **Землетрясение и цунами 17 января (это 17 февраля) 1996 г. в районе Ириан-Джая (Индонезия). 1996.** [The February 17, 1996 Irian Jaya earthquake and tsunami // EERI Newslett. V.30. №5. P. 11-12] ⇒РЖ "Физика Земли". 1997. 2Г-125.
14. **Heinrich Philippe, Schindele Francois, Guibourg Sandrine, Ihmle Pierre F. 1998.** Моделирование цунами, произошедшего в Перу в феврале 1996 г. [Modeling of February 1996 Peruvian tsunami // Geophys. Res. Lett. V.25. №14. P. 2687-2690] ⇒РЖ "Физика Земли". 1999. 6Г-70.
15. **Ihmle Pierre F., Gomez Juan-Martin, Heinrich Philippe, Guibourg Sandrine. 1998.** Цунамигенное землетрясение 1996 г. в Перу: широкополосный очаговый процесс [The 1996 Peru tsunamigenic earthquake: broadband source process // Geophys. Res. Lett. V.25. №14. P. 2691-2694]⇒РЖ "Физика Земли". 1999. 6Г-69.
16. **Ma Shu-tian, Yoa Zhen-xing, Ji Chen 1998.** Изучение механизма землетрясения ($M_s=6.4$) 3 мая 1996 года в западной части Баотоу, Внутренняя Монголия (Китай) // Acta geophys. sin. V.41. №6. P. 795-803⇒РЖ "Физика Земли". 1999. 7Г-110.
17. **Tanioka Yuichiro, Gonzalez Frank I. 1998.** Алеутское землетрясение 10 июня 1996 г. ($M_w=7.9$) с разрывом в районах островов Андреяновских и Деларова [The Aleutian earthquake of June 10, 1996 ($M_w=7.9$) ruptured parts of both the Andreanof and Delarof segments // Geophys. Res. Lett. V.25. №12. P. 2245-2248]⇒РЖ "Физика Земли". 1999. 4Г-53.
18. **Wiens Douglas A. 1998.** Свойства очага и афтершоковой области глубокого землетрясения 1996 г. в море Флорес (Индонезия) [Source and aftershock properties of the 1996 Flores Sea deep earthquake // Geophys. Res. Lett. V.25. №6. P. 781-784]⇒РЖ "Физика Земли". 1999. 9Г-82.
19. **Tibi R., Estabrook C.H., Bock G. 1999.** Землетрясения 17 июня 1996 г. в море Флорес и 9 марта 1994 г. в регионе Фиджи-Тонга: процессы в очагах и механизмы очагов глубоких землетрясений [The 1996 June Flores Sea and 1994 March 9 Fiji-Tonga earthquakes: Source processes and deep earthquake mechanisms // Geophys. J. Int. V.138. №3. P. 625-642] ⇒РЖ "Физика Земли". 2000. 5Г-83.
20. **Enomoto Yuji, Tsutsumi Akito, Fujinawa Yukio, Kasahara Minoru, Hashimoto Hiroshi. 1997.** Возможные предвестники землетрясений: импульсные геоэлектрические сигналы, предположительно связанные с современной сейсмической активностью в Японии [Candidate precursors: pulse-like geoelectric signals possibly related to recent seismic activity in Japan // Geophys. J. V.131. №3. P. 485-494] ⇒РЖ "Физика Земли". 1998. 6Г115.
21. **Kalogeras Ioannis, Stavrakakis George, Solomi Kyriakos. 1999.** Землетрясение 9 октября 1996 г. на Кипре: данные по сейсмологии, макросейсмике и сильным движениям [The October 9, 1996 earthquake in Cyprus: seismological and macroseismic and strong motion data // Ann. geofis. V.42. №1. P. 85-97]⇒РЖ "Физика Земли". 1999. 9Г-78.
22. **Arvidsson Ronald, Ben-Avraham Zvi, Ekstrom Goran, Wdowinski Shimon. 1998.** Основные черты тектоники плит района Кипрского землетрясения 9 октября 1996 г. [Plate tectonic framework for the October 9, 1996, Cyprus earthquake // Geophys. Res. Lett. V.25. №12. P. 2241-2244]⇒РЖ "Физика Земли". 1999. 2Г-91.