

**ОПЕРАТИВНАЯ ОБРАБОТКА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ МИРА
ПО ТЕЛЕСЕЙСМИЧЕСКИМ НАБЛЮДЕНИЯМ ГС РАН**

Л.С. Чепкунас, Н.В. Болдырева, С.Г. Пойгина

Геофизическая служба РАН, г. Обнинск, luba@gsras.ru

Оперативный сейсмологический бюллетень в 2004 г., так же, как и ранее [1], составлялся на основе следующих потоков входной информации:

– ежедневных оперативных сводок со станций России и СНГ, поступавших по электронной почте и телетайпным каналам связи (в коде МСК-85);

– сводок по конкретным землетрясениям (в коде МСК-85), формируемых в Службе срочных донесений (ССД) [2] для цифровых станций, участвующих при сводной обработке по программе WSG на основе волновых форм, поступивших в Обнинск в режиме, близком к реальному времени;

– оперативных сводок, создаваемых в Информационно-обрабатывающем центре ГС РАН для семи цифровых станций («Абакан», «Красноярск», «Шира», «Орешное», «Дивногорск», «Оренбург», «Кызыл») по результатам выборочной обработки волновых форм записей землетрясений Восточной Сибири, Алтая, Монголии и пограничных территорий России с Монголией, получаемых по программе передачи данных в режиме, близком к реальному времени;

– оперативных сводок из региональных сейсмологических центров России и СНГ по станциям Камчатского филиала ГС РАН («Ключи», «Крутоберегово», «Налычева», «Козырь», «Русская», «Шипунский», «Эссо»), Сахалинского филиала ГС РАН («Курильск», «Северо-Курильск», «Оха», «Тымовское», «Николаевск-на-Амуре», «Южно-Курильск», «Углегорск») и Казахстанского национального центра данных («Боровое», «Чкалово», «Курчатов», «Маканчи», «Восточное», «Каратау», «Зеренда»);

– оперативных сводок, создаваемых в Информационно-обрабатывающем центре ГС РАН из ежедекадных станционных бюллетеней на бумажных носителях 11 телесеизмических и региональных станций, из которых девять («Бодайбо», «Гофицкое», «Закаменск», «Кульдур», «Монды», «Новосибирск», «Печеры», «Северо-Курильск», «Цей») расположены в России и две («Львов», «Тбилиси») – в СНГ;

– ежемесячных бюллетеней Алтае-Саянского филиала ГС СО РАН, Байкальского филиала ГС СО РАН, Магаданского филиала ГС РАН, Дагестанского филиала ГС РАН со сводной обработкой землетрясений Алтая, Саян и пограничных областей России с Монголией и Китаем, Байкальской зоны, Северо-Востока России, Северного Кавказа соответственно;

– ежедневных оперативных сводок из десяти стран мира (Финляндии, Дании, Польши, США, Германии, Румынии, Болгарии, Чехии, Словакии, Голландии), поступавших по электронной почте;

– бюллетеней сводной обработки землетрясений со станционными данными сети сейсмических станций Крыма для землетрясений западной зоны Северного Кавказа, поступавшими согласно научно-техническому договору с отделом сейсмологии Института геофизики им. Субботина в г. Симферополе;

– сейсмологических каталогов и бюллетеней международных сейсмологических центров США (NEIC), Австрии (IDC) и Франции (CSEM), содержащих результаты сводной обработки землетрясений и станционные данные.

Телесеизмическая сеть ГС РАН на территории всей России и в Антарктиде в 2004 г., по сравнению с таковой в 2003 г. [1], пополнилась двумя станциями: «Оренбург» на Южном Урале и «Россошь» на Воронежском кристаллическом массиве (табл. 1, 2) [3].

В 2004 г. не проводились наблюдения на станции «Норильск» из-за повреждения канала связи, не работала станция «Грозный».

Таблица 1. Параметры сейсмических станций «Оренбург» и «Россошь» в 2004 г.

Станция		Дата открытия	Координаты			Тип станции
Название	Код		φ°, N	λ°, E	$h_y, м$	
Оренбург	ORR	26.10.2004	51.618	54.753	91	SDAS – цифровая станция
Россошь	VRKR	01.11.2004	50.291	39.520	178	SDAS – цифровая станция

Таблица 2. Данные об аппаратуре цифровых станций «Оренбург» и «Россошь» в 2004 г.

Название станции	Тип АЦП и сейсмометра	Перечень каналов	Частотный диапазон, Гц	Частота опроса данных, Гц	Разрядность АЦП	Чувствительность велосиграфа, отсчет/(м/с)
Оренбург	SDAS – CM3-OC	BH (N, E, Z)v	0.02–7	20	16	$2.85 \cdot 10^9$
	SDAS – CM3-OC	BL (N, E, Z)v	0.02–7	20	16	$9.11 \cdot 10^8$
	SDAS – CM3-KB	SH (N, E, Z)v	0.5–20	50	16	$1.98 \cdot 10^9$
	SDAS – CM3-KB	SL (N, E, Z)v	0.5–20	50	16	$6.33 \cdot 10^8$
Россошь	SDAS – CM3-OC	BH(N, E, Z)v	0.02–7	20	16	$1.51 \cdot 10^9$
	SDAS – CM3-OC	BL(N, E, Z)v	0.02–7	20	16	$9.64 \cdot 10^8$
	SDAS – CM3-KB	SH (N, E, Z)v	0.5–20	50	16	$1.93 \cdot 10^9$

На станциях «Махачкала», «Свердловск» и «Гофицкое» в 2004 г. (13 ноября, 30 октября и 13 декабря соответственно) проведено переопределение координат и высоты над уровнем моря с помощью приемника GPS. Новые данные приведены в табл. 3.

Таблица 3. Уточненные координаты трех сейсмических станций из [3]

Станция		Дата открытия	Координаты			Тип станции
Название	Код		φ°, N	λ°, E	$h_y, м$	
Гофицкое	GOF	11.03.1994	45.058	43.043	293	SDAS – цифровая станция
Махачкала	MAK	08.12.1951	42.946	47.504	42	SDAS – цифровая станция
Свердловск	SVE	21.10.1906	56.827	47.504	42	SDAS – цифровая станция

С 4 по 17 июня 2004 г. на сейсмических станциях «Анапа», «Белый Уголь», «Пятигорск», «Сочи» и «Сторожевое» была проведена калибровка каналов с целью контроля их чувствительности.

Описанная сеть станций обеспечила, как это следует из графика повторяемости на рис. 1, значение представительной магнитуды для всей Земли на уровне $M_{\min}=5$. Уравнение графика имеет вид $\lg N=(7.85 \pm 0.30) - (0.96 \pm 0.04) MS$. Для его построения использованы магнитуды MS , опубликованные в [4, 5] ($N_{\text{опубл.}}=747$), или же расчетные (MS) ($N_{\text{расч.}}=3555$) из $MPSP$ по формуле из [6]:

$$(MS)=1.59 MPSP - 3.67, h \leq 70 \text{ км.} \quad (1)$$

Выходные потоки информации включали ежедекадные оперативные каталоги и сейсмологические бюллетени ГС РАН, т.е. 36 выпусков ежегодно [4], а также их регулярное размещение на Web-странице ГС РАН (www.ceme.gsras.ru). Их рассылка осуществлялась в основном по электронной почте в заинтересованные госу-

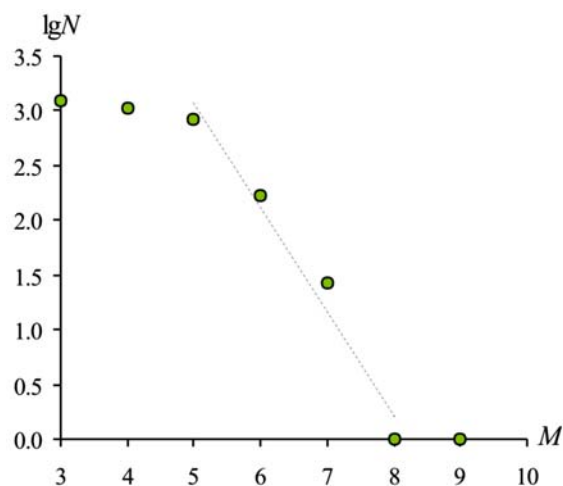


Рис. 1. График повторяемости землетрясений Земли с $h \leq 70$ км за 2004 г.

дарственные учреждения и региональные сейсмологические центры России (57 адресов), в сейсмологические центры СНГ (14 адресов), а также в международные сейсмологические центры в Великобритании (ISC) и США (NEIC). Для десяти землетрясений (из них восемь с $M(MS, MPLP, MPSP) \geq 7.0$) получены решения механизма очага [4, 7], рассчитанные по знакам первых вступлений P -волн по методике [8].

В соответствии с рекомендациями [9], сейсмический момент M_0 определен для девяти землетрясений по спектрам P -волн [5, 10], записанных широкополосной цифровой аппаратурой, из них семь землетрясений с $M(MS, MPLP, MPSP) \geq 7.0$ и два – < 7.0 .

Методика расчета основных параметров землетрясений, по сравнению с таковой в [1], не изменилась. Координаты гипоцентра (φ, λ, h) и время t_0 возникновения землетрясения определялись по программе ЭПИ-74 [11] с использованием телсейсмических [12–14] и региональных [15–16] годографов на основании данных о временах прихода продольных P ($PKIKP$)-волн на сейсмические станции. Выделение максимума поверхностных волн LRM проводилось в соответствии с годографами [17, 18], определение магнитуд MS и $MPSP$ – по максимальной скорости смещения $(A/T)_{\max}$ в поверхностных и объемных волнах и соответствующим калибровочным кривым [19–23]. Детальное описание представления данных об основных параметрах очагов землетрясений в оперативном сейсмологическом каталоге и станционных данных в оперативном сейсмологическом бюллетене дано во Введении каждого номера бюллетеня [4].

Оперативный сейсмологический каталог за 2004 г. [5], представленный в настоящем сборнике, включает параметры 4302 землетрясений с $MPSP=3.2-7.1$ ($MS=3.5-8.7$). Минимальное значение $MPSP=3.2$ имеет землетрясение в Охотском море, произошедшее 1 июля в 17^h26^m на глубине $h=379$ км, максимальное с $MPSP=7.1$ ($MS=8.7, Mw=8.0$) [5] – землетрясение 26 декабря в 00^h58^m у западного побережья о. Суматра.

Для оценки сходимости результатов определения основных параметров землетрясений в бюллетенях ГС РАН [4] и ISC [24] проведено их сравнение для выборки из 170 сильных ($M \geq 6.0$) землетрясений по разности Δt_0 между временами возникновения землетрясений (рис. 2), координатами эпицентров ($\Delta\varphi^\circ, \Delta\lambda^\circ$) (рис. 3), магнитудами по поверхностным (ΔM) и продольным (Δm) волнам (рис. 4).

Как видно из рис. 2, свыше 90% землетрясений имели разность в $\Delta t_0 \leq 5$ с, хотя для некоторых $\Delta t_0 > 5$ с. В основном это удаленные землетрясения, для которых расположение станций, участвующих в обработке данных в Сейсмологическом бюллетене [4], одно-стороннее.

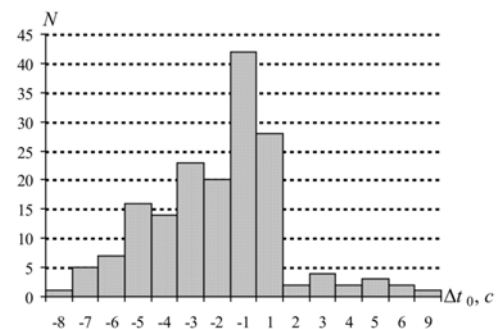


Рис. 2. Гистограмма распределения Δt_0

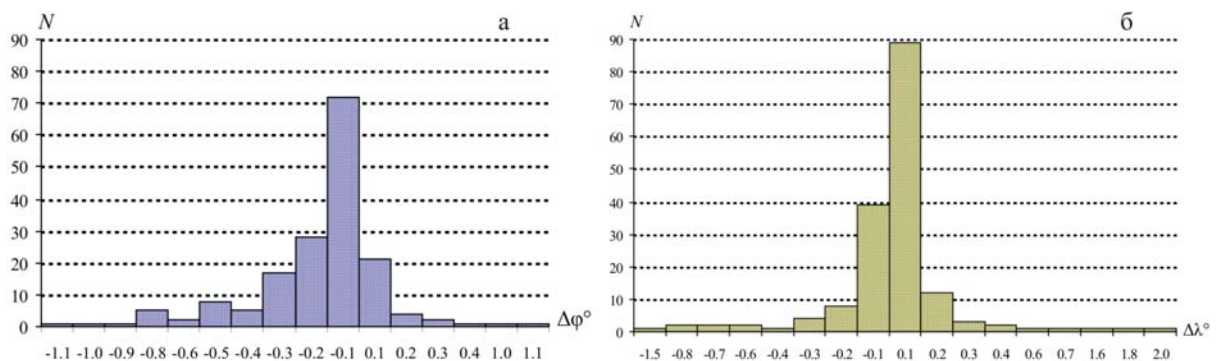


Рис. 3. Гистограммы распределения $\Delta\varphi^\circ$ (а) и $\Delta\lambda^\circ$ (б)

Расхождение в положении эпицентров примерно для 90% землетрясений составило по широте от $\Delta\varphi = -0.5^\circ$ до $\Delta\varphi = +0.1^\circ$ (рис. 3 а); для 87% землетрясений по долготе – от $\Delta\lambda = -0.2^\circ$ до $\Delta\lambda = +0.2^\circ$ (рис. 3 б).

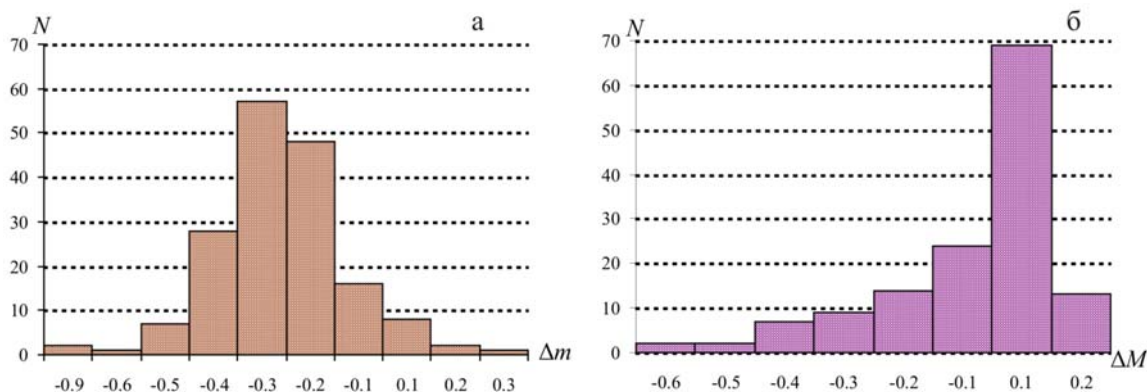


Рис. 4. Гистограммы распределения разностей $\Delta m = m_b - MPSP$ (а) и $\Delta M = M_s - MS$ (б)

Как следует из рис. 4 а, разница магнитуд $\Delta m = m_b - MPSP$ по продольной волне для 96% землетрясений варьирует от $\Delta m = -0.5$ до $\Delta m = +0.1$, причем в основном значения $\Delta m \leq 0$, т.е. магнитуды $MPSP > m_b$. Это связано с выбором различных интервалов записи для измерения магнитуд на сейсмограмме: интервал для измерения m_b заключен в пределах 5 с от начала записи P -волн [24], в то время как для $MPSP$ он может быть увеличен до 40–60 с [23]. Разница $\Delta M = M_s - MS$ в магнитудах по поверхностным волнам гораздо меньше – для 92% землетрясений значения ΔM не более ± 0.3 (рис. 4 б).

Карта эпицентров 4302 землетрясений 2004 г. приведена на рис. 5. Для девяти сильных землетрясений определен сейсмический момент M_0 [5, 7] в соответствии с рекомендациями [9] по спектрам P -волн, записанных широкополосной цифровой аппаратурой. Для всех событий, кроме землетрясений 5 сентября (5 в табл. 4) и 11 ноября (8), величина M_0 рассчитана по спектрам P -волн на станции «Обнинск». Для 5 сентября и 11 ноября значение M_0 приведено по спектрам P -волн на станциях «Аркти» и «Талая» соответственно.

Список наиболее сильных землетрясений Земли с $M (MS, MPLP, MPSP) \geq 7.0$ в оперативном каталоге [5] содержит 17 событий (табл. 4), максимальное ($MS = 8.7$) из которых – упомянутое выше землетрясение 26 декабря у западного побережья Северной Суматры, в Индонезии.

Решения механизма очагов в табл. 5 и на рис. 6 для всех 17 землетрясений взяты из данных Гарвардского центра США [24] по методу тензора момента центраида. Из них 14 землетрясений (1–3, 5–15) локализованы в Тихоокеанском сейсмическом поясе, три (4, 16–17) – в Индийском.

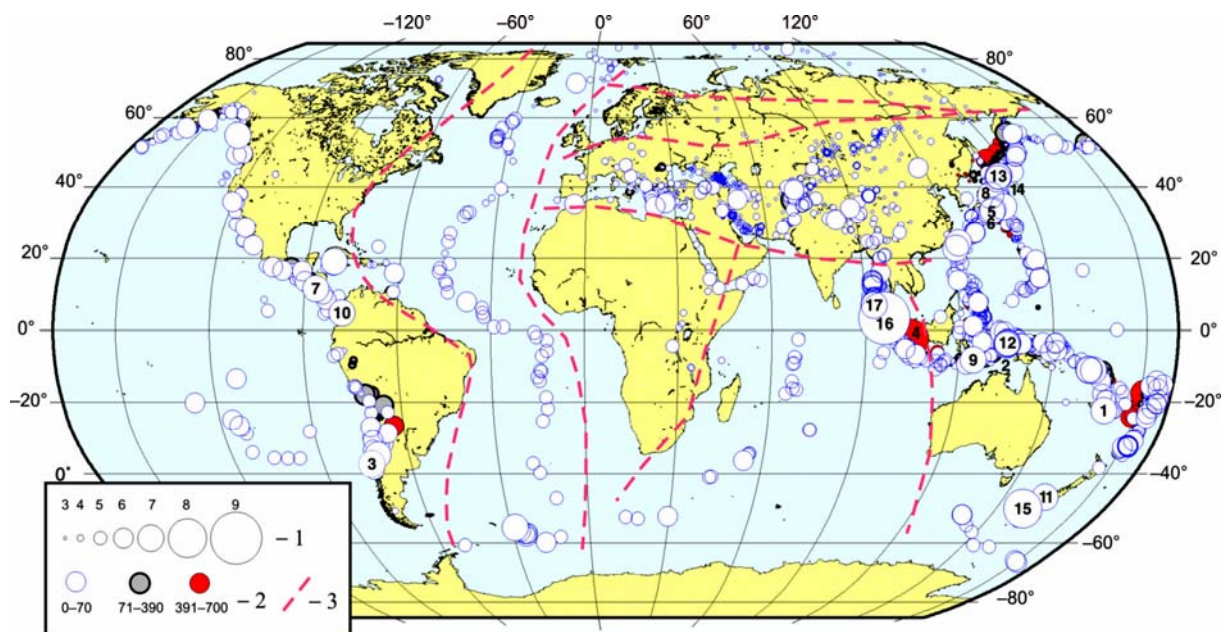


Рис. 5. Карта эпицентров землетрясений Земли за 2004 г.

1 – магнитуда; 2 – глубина h гипоцентра, км; 3 – граница сейсмического пояса.

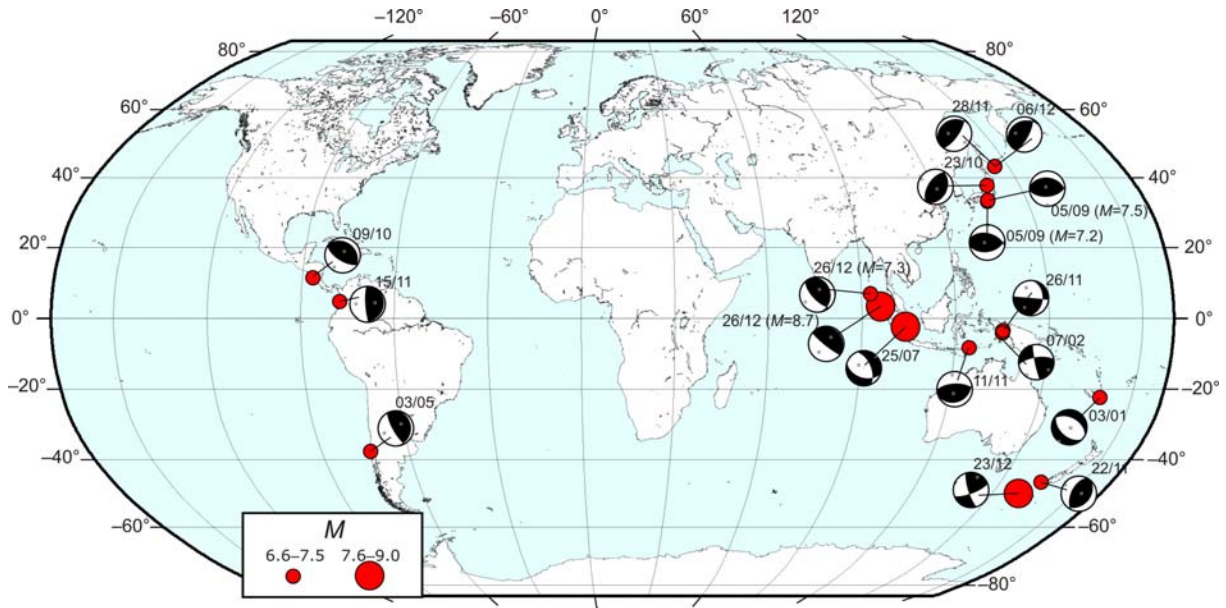


Рис. 6. Стереогаммы механизмов очагов сильных землетрясений за 2004 г. в проекции нижней полусферы

Таблица 4. Список сильных землетрясений Земли с $M(MS, MPLP, MPSP) \geq 7.0$ в 2004 г.

№	Дата, д м	t_0 , ч мин с	Эпицентр		h , км	M_0 , H·м	Магнитуды				Номер пояса	Р а й о н
			φ°	λ°			M_w	MS/n	$MPLP/n$	$MPSP/n$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	03.01	16 23 17.8	-22.284	169.633	10			6.9/33	7.2/ 5	6.6/47	I	Юго-восточное островов Лоялги
2	07.02	02 42 33.5	-3.979	135.360	10	$5.0 \cdot 10^{19}$ (OBN)	7.1	7.4/23	7.0/10	6.4/39	I	Район Западного Ириана, Индонезия
3	03.05	04 36 50.8	-37.628	-73.236	33f			6.7/31	7.0/ 8	6.1/44	I	Побережье Центрального Чили
4	25.07	14 35 16.5	-2.384	104.100	564				6.9/11	7.0/26	IV	Южная Суматра, Индонезия
5	05.09	10 07 09.8	33.127	136.684	33f	$8.8 \cdot 10^{19}$ (ARU)	7.3	7.2/31	7.8/11	7.0/76	I	Южное побережье Западного Хонсю
6	05.09	14 57 34.8	33.551	137.133	33f			7.5/ 6		6.4/20	I	Южное побережье Хонсю, Япония
7	09.10	21 26 52.6	11.472	-86.500	33f			7.1/45	6.6/ 4	6.2/49	I	Побережье Никарагуа
8	23.10	08 56 03.6	37.660	138.729	33f	$1.3 \cdot 10^{19}$ (TLY)	6.7	6.9/38	7.0/ 7	6.6/90	I	Западное побережье Хонсю, Япония
9	11.11	21 26 43.6	-8.143	124.783	33f	$6.6 \cdot 10^{19}$ (OBN)	7.2	7.1/34	7.3/10	6.7/26	I	Район Тимора
10	15.11	09 06 58.3	4.796	-77.620	33f			7.3/17	7.5/ 4	6.4/38	I	Западное побережье Колумбии
11	22.11	20 26 27.4	-46.587	164.696	33f			7.1/33	7.1/ 8	6.4/25	I	У западного побережья Южного острова, Н.З.
12	26.11	02 25 05.2	-3.388	135.364	33f			7.0/22	7.0/ 6	6.4/28	I	Район Западного Ириана, Индонезия
13	28.11	18 32 14.4	43.155	145.137	50	$1.6 \cdot 10^{20}$ (OBN)	7.4	7.1/57	7.5/11	6.5/74	I	Район Хоккайдо, Япония
14	06.12	14 15 11.9	43.108	145.206	41	$4.1 \cdot 10^{19}$ (OBN)	7.0	7.0/43		6.6/88	I	Район Хоккайдо, Япония
15	23.12	14 59 05.3	-49.868	159.785	10			8.0/25		6.4/12	I	Севернее острова Маккуори

№	Дата, д м	t_0 , ч мин с	Эпицентр		h , км	M_0 , Н·м	Магнитуды				Номер поояса	Р а й о н
			φ°	λ°			M_w	MS/n	$MPLP/n$	$MPSP/n$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
16	26.12	00 58 52.8	3.420	95.960	33f	$7.9 \cdot 10^{20}$ (OBN)	8.0	8.7/61	7.8/5	7.1/75	IV	У западного побережья Северной Суматры
17	26.12	04 21 26.9	6.859	92.918	33f			7.3/33		6.4/57	IV	Район Никобарских островов, Индия

Примечание. Номера землетрясений в графе 1 соответствуют таковым в [5]; в графе 6 фиксированная глубина индексирована буквой «f»; коды и названия станций: OBN – «Обнинск»; ARU – «Арти»; TLY – «Талая».

Таблица 5. Механизмы очагов сильных землетрясений мира в 2004 г. по HRVD [24]

№	Дата, д м	t_0 , ч мин с	h , км	Магнитуды			Оси главных напряжений						Нодальные плоскости					
				M_w	MS	$MPSP$	T		N		P		$NP1$			$NP2$		
							PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	$SLIP$	STK	DP	$SLIP$
1	03.01	16 23 17.8	10	6.0	6.9	6.6	2	216	8	306	82	114	298	44	-101	133	47	-79
2	07.02	02 42 33.5	10	7.1	7.4	6.4	11	126	67	10	21	220	261	68	7	354	83	158
3	03.05	04 36 50.8	33f	6.6	6.7	6.1	58	51	7	153	31	248	0	16	118	151	76	82
4	25.07	14 35 16.5	564	7.3	-	7.0	6	44	27	137	63	303	108	45	-129	337	56	-57
5	05.09	10 07 09.8	33f	7.2	7.2	7.0	80	321	6	89	7	180	277	38	100	85	53	82
6	05.09	14 57 34.8	33f	7.4	7.5	6.4	77	270	13	91	0	1	79	46	72	283	47	107
7	09.10	21 26 52.6	33f	6.9	7.1	6.2	70	24	3	124	19	215	311	26	98	122	65	86
8	23.10	08 56 03.6	33f	6.7	6.9	6.6	78	144	5	30	11	299	23	34	81	214	56	96
9	11.11	21 26 43.6	33f	7.2	7.1	6.7	69	194	8	83	19	350	67	27	72	267	65	99
10	15.11	09 06 58.3	33f	7.2	7.3	6.4	55	81	5	178	34	271	21	11	114	177	79	85
11	22.11	20 26 27.4	33f	7.1	7.1	6.4	78	84	8	213	9	304	43	36	103	208	55	81
12	26.11	02 25 05.2	33f	7.1	7.0	6.4	36	214	34	95	36	336	5	34	0	95	90	-124
13	28.11	18 32 14.4	50	7.4	7.1	6.5	64	274	13	33	22	129	242	26	122	28	68	75
14	06.12	14 15 11.9	41	7.0	7.0	6.6	62	277	13	33	25	129	246	24	125	29	71	76
15	23.12	14 59 05.3	10	8.1	8.0	6.4	20	27	70	199	2	296	69	74	167	163	78	16
16	26.12	00 58 52.8	33f	7.9	8.7	7.1	52	36	3	113	38	222	329	8	110	129	83	87
17	26.12	04 21 26.9	33f	7.2	7.3	6.4	65	21	14	143	20	238	351	27	121	137	67	75

Распределение землетрясений Земли с $M(MS, MPLP, MPSP) \geq 6.0$ в зависимости от магнитуды, но без дифференциации по глубинам их очагов, приведено в табл. 6, в сопоставлении с аналогичными данными за предыдущие 13 лет [1]. Как видим, в 2004 г. число землетрясений в интервале $M=6-7$ составило $N=153$, что немного выше среднего ($N=146 \pm 35$) за 13 лет, а в диапазоне $M=7-8$ оно равно $N=15$, что сравнимо со средним значением ($N=14 \pm 5$). В 2004 г. на земном шаре произошло два землетрясения с $MS \geq 8.0$: 23 декабря в $14^h 59^m$ севернее о. Маккуори и 26 декабря в $00^h 58^m$ у западного побережья Северной Суматры.

Таблица 6. Распределение числа землетрясений Земли в различных интервалах магнитуд $M(MS, MPLP, MPSP) \geq 6.0$ за 1991–2004 гг.

Год	Число землетрясений в интервале M			Всего	Год	Число землетрясений в интервале M			Всего
	6.0–6.9	7.0–7.9	8.0–8.9			6.0–6.9	7.0–7.9	8.0–8.9	
1991	84	9		93	2000	169	17		186
1992	117	13		130	2001	126	16	1	143
1993	97	7		104	2002	139	11		150
1994	136	14	1	151	2003	138	14	2	154
1995	242	28		270	Сумма	1888	182	4	2074
1996	217	15		232	Среднее за 13 лет	146 ± 35	14 ± 5		160 ± 38
1997	151	5		156	2004	153	15	2	170
1998	113	12		125					
1999	159	21		180					

В табл. 7 дано распределение всех 4302 землетрясений Земли и их суммарной сейсмической энергии для последовательных интервалов магнитуд на разных глубинах. Для построения табл. 7 использованы или наблюдаемые магнитуды MS ($N=747$) или же расчетные (MS) ($N=3555$) по формулам из [6]:

$$MS=1.59 MPSP - 3.67, h \leq 70 \text{ км}, \quad (1)$$

$$MS=1.77 MPSP - 5.2, h=71-390 \text{ км}, \quad (2)$$

$$MS=1.85 MPSP - 4.9, h > 390 \text{ км}. \quad (3)$$

Сейсмическая энергия рассчитывалась по формулам К. Касахара [25]:

$$\lg E, \text{ эрг} = 5.8 + 2.4 m_b, \quad (4)$$

$$\lg E, \text{ эрг} = 11.8 + 1.5 M. \quad (5)$$

При этом вместо m_b и M использованы магнитуды $MPSP$ и MS из [4].

Таблица 7. Распределение числа землетрясений Земли по интервалам глубин и магнитуд MS и суммарная сейсмическая энергия в 2004 г.

h , км	MS								N_{Σ}	ΣE , 10^{15} Дж
	≤ 2.5	2.6–3.5	3.6–4.5	4.6–5.5	5.6–6.5	6.6–7.5	7.6–8.5	8.6–9.0		
≤ 70	160	1216	1075	832	168	27	1	1	3480	846.65
71–390	339	211	101	33	6				690	0.46
≥ 391	28	27	44	26	5	1	1		132	4.28
N_{Σ}	527	1454	1220	891	179	28	2	1	4302	851.39

График повторяемости землетрясений Земли с $h \leq 70$ км на рис. 1 построен по данным N из первой строки табл. 7. Величина его наклона, равная $b = -0.96$ в 2004 г., несколько выше средних долговременных значений $b = -0.9$ по [12].

Рассмотрим более детально географическое распределение землетрясений Земли на рис. 5. Как видно, выразительно трассируются четыре основные сейсмические пояса по [26] – Тихоокеанский (I), Трансазиатский (II), Атлантический (III) и Индийский (IV). Распределение суммарной сейсмической энергии, выделившейся в 2004 г. при землетрясениях с M ($MS, MPLP, MPSP$) ≥ 6.0 в различных сейсмических поясах, дано в табл. 8.

Таблица 8. Распределение числа землетрясений с M ($MS, MPLP, MPSP$) ≥ 6.0 и суммарной сейсмической энергии ΣE по сейсмическим поясам в 2004 г.

№	Сейсмический пояс	Число землетрясений с M			ΣE , 10^{15} Дж
		6.0–6.9	7.0–7.9	≥ 8.0	
I	Тихоокеанский	100	12	1	126.61
II	Трансазиатский	9			0.35
III	Атлантический	14			2.68
IV	Индийский	32	3	1	718.82
	Сумма	153	15	2	848.46

Общее количество выделившейся в 2004 г. энергии на земном шаре, равное $\Sigma E = 851.39 \cdot 10^{15}$ Дж, больше таковой в 2003 г. ($\Sigma E = 336.05 \cdot 10^{15}$ Дж [1]) и в 2002 г. ($\Sigma E = 71.95 \cdot 10^{15}$ Дж [27]). Это связано прежде всего с различным числом N сильных землетрясений с $M \geq 7$. Из табл. 8 следует, что около 85% всей энергии выделилось в Индийском сейсмическом поясе (IV), около 15% – в Тихоокеанском (I), в остальных двух (II, III) – менее 0.5%. Ниже Тихоокеанский и Индийский сейсмические пояса рассматриваются более детально.

В пределах **Тихоокеанского пояса (I)**, как и ранее [1], сосредоточена большая часть землетрясений. С магнитудой $M \geq 6$ их насчитывается $N = 112$, в том числе 14 из 17 – с $MS \geq 7.0$. Два сильных землетрясения с магнитудами $MS = 7.2$ и 7.5 произошли 5 сентября 2004 г. близ южного побережья о. Хонсю. Колебания ощущались на обширной территории вплоть до Токио, который удален от этого района на 600–700 км. Подземные удары отмечены и в древней японской

столице Нара, где сосредоточено множество храмов, но они не были повреждены. Была объявлена опасность цунами. Если в первом случае максимальная высота цунами не превышала 60 см, то после второго толчка она приблизилась к 1 м. В районе Осаки возник пожар, который быстро потушили, а у побережья префектуры Миэ в море перевернулись четыре небольших судна [30]. Решения механизма очагов для этих двух землетрясений близки. Землетрясения произошли под преобладающим действием сжимающих напряжений, тип движения – взбросы с компонентами сдвига. Простирающие нодальные плоскости – близширотные (табл. 5).

Серия ощутимых землетрясений произошла 23 октября 2004 г. на западном побережье Хонсю (в японской префектуре Ниигата), сильнейшее имело магнитуду $MS=6.9$. Этот удар стал самым катастрофичным в стране после землетрясения 1995 г. в Кобе, которое разрушило порт и унесло жизни более 6.4 тыс. человек. В Ниигате полностью или частично уничтожены почти 600 жилых и около 400 административных зданий. Некоторые снесены оползнями. На главных автомобильных дорогах зафиксировано более 200 разрывов, трещины прогибов. Полностью прекращено движение скоростных поездов. Впервые за 40 лет их эксплуатации один состав сошел с рельсов [30]. Механизм очага типичен для этой зоны и представляет взброс с компонентами сдвига по обеим плоскостям разрыва, под действием сжимающих напряжений (табл. 5).

Сильное землетрясение зарегистрировано 28 ноября 2004 г. на о. Хоккайдо с $MS=7.1$ в той очаговой области, где не многим более года назад (25 сентября 2003 г.) произошло катастрофическое землетрясение Токачи-Оки с $MS=8.3$. Многие жители в панике выбежали на улицу, на дорогах образовались трещины, на ряде железнодорожных линий сработала аварийная система остановки поездов. В трех городах Японии без электричества остались более 1.5 тыс. домов [30]. Вместе с тем серьезных разрушений не было, т.к. эпицентр находился в 50 км от берега. Землетрясение ощущалось в России в Кунашир-Шикотанском районе на Курильских островах [1]. Макросейсмический эффект составил 4 балла в пос. Южно-Курильск ($\Delta=118$ км), 3 балла – в пос. Малокурильское ($\Delta=148$ км) и в г. Курильск ($\Delta=317$ км). Зарегистрированы два сильных афтершока с $MLH=4.3$ и 4.6 [31].

Землетрясение 28 ноября реализовалось под преобладающим действием напряжений сжатия, ориентированных на юго-восток. Ось промежуточного напряжения близгоризонтальна и ориентирована на северо-восток, ось напряжения растяжения залегает достаточно круто в направлении на запад. Тип движения в очаге по крутопадающей плоскости – взброс с компонентами левостороннего сдвига, по пологой – надвиг с компонентами правостороннего сдвига. Простирающие нодальные плоскости – северо-восточное, совпадающее с простирающим Курильской гряды (табл. 5).

В этом же районе на северо-востоке о. Хоккайдо 6 декабря 2004 г. произошло еще одно землетрясение с $MS=7.0$, повлекшее цунами высотой 50 см [30]. На территории России интенсивность сотрясений составила 4 балла в пос. Южно-Курильск ($\Delta=120$ км) и 3 балла – в пос. Малокурильское ($\Delta=160$ км) [31]. По данным NEIC [24], по меньшей мере, ранены 4 человека и повреждена электросеть в районе Кусиро; на территории Кусиро, Обихиро и на Восточном Хоккайдо интенсивность сотрясений составила V баллов по шкале JMA; в районе Читозе-Томакомаи и Южно-Центрального Хоккайдо – IV J; в Юго-Западном и Центральном Хоккайдо, в Аомори и Мияги – III J; в районе Шибетсу, Акита, Ивате и Ямагата – II J; на севере Хоккайдо и в префектурах Фукусима, Ибараки, Тиигата и Шизуока на о. Хонсю – I J. Механизм очага землетрясения 6 декабря 2004 г. подобен механизму очага землетрясения 28 ноября 2004 г.: нодальные плоскости имеют северо-восточное направление, совпадающее с простирающим Курильской гряды. Тип движения по более крутой плоскости – взброс с элементами левостороннего сдвига, по пологой – надвиг с элементами правостороннего сдвига.

Обобщая все данные параметров механизмов их очагов (табл. 5, рис. 6), отметим, что в очагах 11-ти землетрясений (1, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14) характер подвижек в основном взбросо-надвиговый. Землетрясения произошли под преобладающим действием сжимающих напряжений. Различия наблюдались лишь в ориентации осей напряжений и нодальных плоскостей [10]. Для трех землетрясений (2, 12 – район Индонезии, Ириан; 15 – Маккуори) в движении отмечаются сдвиги с компонентами взброса под действием близких по величине напряжений сжатия и растяжения. Отмечаются различия в ориентации осей напряжений, азимутов простирающих нодаль-

ных плоскостей и углов их залегания. В очаге землетрясения (1) отмечается сброс с компонентами сдвига под действием растягивающих напряжений.

Три землетрясения (4, 16, 17) с магнитудой $MS \geq 7.0$ относятся к **Индийскому сейсмическому поясу** (IV). Все они расположены близ о. Суматра, в Индонезийском архипелаге. Здесь 26 декабря 2004 г. в $00^{\text{h}}58^{\text{m}}52.8^{\text{s}}$ произошло катастрофическое землетрясение с $MS=8.7$. Землетрясение вызвало грандиозную волну цунами свыше 30 м, которая обрушилась на побережья стран Юго-Восточной Азии: Индии, Мьянмы, Таиланда, Малайзии, Шри-Ланки, Индонезии и Мальдивской Республики, а также на африканском побережье (достигла государства Сомали). Чудовищная волна привела к гибели более 300 тыс. человек [28]. Это была крупнейшая катастрофа века. Цунами не удалось предвидеть, поскольку страны Юго-Восточной Азии не были охвачены Международной системой наблюдения и оповещения, созданной еще в 60-х годах прошлого века для Тихого океана, включающей в себя серию наблюдательных станций на побережьях и множество буев, с которых поступают сигналы при незначительном повышении уровня воды.

Практически через три часа, в $04^{\text{h}}21^{\text{m}}26.9^{\text{s}}$, последовал сильнейший афтершок с $MS=7.3$, эпицентр которого располагался юго-западнее главного толчка. Механизмы очагов землетрясений (16, 17) близки: по вертикальной плоскости наблюдался «чистый» взброс, по пологой – надвиг. Движение происходило под превалирующим действием сжимающих напряжений. Простирание нодальных плоскостей – северо-западное–юго-восточное.

Характер механизма очага землетрясения (4), случившегося 25 июля в $14^{\text{h}}35^{\text{m}}$ с $MPSP=7.0$, другой: тип подвижки – сброс. Движение происходило под действием растягивающих напряжений, ориентированных на северо-восток. Обе плоскости – северо-западного–юго-восточного простирания – имели достаточно крутое падение.

Л и т е р а т у р а

1. **Чепкунас Л.С., Болдырева Н.В., Пойгина С.Г.** Оперативная обработка землетрясений мира по телесеismicким наблюдениям ГС РАН // Землетрясения Северной Евразии, 2003 г. – Обнинск: ГС РАН, 2009. – С. 274–282.
2. **Старовойт О.Е., Чепкунас Л.С., Коломиец М.В.** Служба срочных донесений ГС РАН. (См. раздел I (Обзор сейсмичности) в наст. сб.).
3. **Результаты проведения комплексных сейсмологических и геофизических наблюдений и обработки данных на базе стационарных и мобильных сейсмических сетей в ГС РАН за 2004 год** (отчет за 01.01.2004 г.–31.12.2004 г.). – Обнинск: Фонды ГС РАН, 2005. – 168 с.
4. **Сейсмологический бюллетень (ежедекадный) за 2004 год** / Отв. ред. О.Е. Старовойт. – Обнинск: ГС РАН, 2004–2005.
5. **Шаторная Н.В. (отв. сост.), Бабкина В.Ф., Аторина М.А., Болдырева Н.В., Щербакова А.И., Рыжикова М.И.** Каталог землетрясений Земли за 2004 год. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
6. **Кондорская Н.В., Горбунова И.В., Киреев И.А., Вандышева Н.В.** О составлении унифицированного каталога сильных землетрясений Северной Евразии по инструментальным данным (1901–1990 гг.) // Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. Вып. 1. – М.: АН СССР, 1993. – С. 70–79.
7. **Малянова Л.С., Чепкунас Л.С. (отв. сост.).** Каталог механизмов очагов землетрясений Земли (по методу 1-х вступлений P -волн) за 2004 год. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
8. **Старовойт О.Е., Чепкунас Л.С., Аптекман Ж.Я., Бармин М.П.** Об определении механизма очагов на ЭВМ ЕС-1030 // Физика сейсмических волн и внутреннее строение Земли. – М.: Наука, 1982. – С. 86–97.
9. **Захарова А.И., Чепкунас Л.С.** Динамические параметры очагов сильных землетрясений по спектрам продольных волн на станции «Обнинск» // Физика Земли. – 1977. – № 2. – С. 9–17.
10. **Чепкунас Л.С., Малянова Л.С.** Очаговые параметры сильных землетрясений Земли. (См. раздел II (Спектры и динамические параметры очагов землетрясений) в наст. сб.).
11. **Епифанский А.Г.** Определение параметров гипоцентров и магнитуд землетрясений в телесеismicкой зоне (ЭПИ-74) // Алгоритмы и практика определения параметров гипоцентров землетрясений на ЭВМ. – М.: Наука, 1983. – С. 92–97.
12. **Рихтер Ч.** Элементарная сейсмология. – М.: ИЛ, 1963. – 670 с.

13. **Jeffreys H., Bullen K.E.** Seismological tables // Brit. Assoc. for the advancement of Sci. – London: Gray-Milne Trust, 1958. – 65 p.
14. **Bolt V.A.** Estimation of *PKP* travel times // Bull. Seism. Soc. Am. – 1968. – **58**. – N 4. – P. 1305–1324.
15. **Голенецкий С.И., Круглякова М.И., Первалова Т.И.** Годографы сейсмических волн землетрясений Прибайкалья // Сейсмичность и глубинное строение Прибайкалья. – Новосибирск, Наука (СО). – 1978. – С. 30–38.
16. **Wadati K.** Travel time *P* and *S*-waves // Geophys. Mag. – 1933. – N 11.
17. **Архангельская В.М.** Использование записей поверхностных волн при интерпретации сейсмограмм // Бюллетень Совета по сейсмологии. – М.: АН СССР, 1957. – № 6. – С. 81–88.
18. **Горбунова И.В., Захарова А.И., Чепкунас Л.С.** Максимальная фаза поверхностной волны Релея по наблюдениям различной аппаратурой в ЦСО «Обнинск» // Магнитуда и энергетическая классификация землетрясений. II. – М.: ИФЗ АН СССР, 1974. – С. 19–25.
19. **Gutenberg B., Richter C.** Earthquake magnitude, intensity, energy and acceleration // Bull. Seism. Soc. Am. – 1942. – **32**. – N 3. – P. 163–191.
20. **Gutenberg B., Richter C.** Earthquake magnitude, intensity, energy and acceleration // Bull. Seism. Soc. Am. – 1956. – **46**. – N 2. – P. 105–145.
21. **Ванек И., Затопек А., Карник В., Кондорская И.В., Ризниченко Ю.В., Саваренский Е.Ф., Соловьёв С.Л., Шебалин Н.В.** Стандартизация шкал магнитуд // Изв. АН СССР. Сер. геофизическая – 1962. – № 2. – С. 153–158.
22. **Горбунова И.В., Шаторная Н.В.** О калибровочной кривой для определения магнитуды землетрясений по волнам *PKIKP* // Физика Земли. – 1976. – № 7. – С. 77–81.
23. **Инструкция о порядке производства и обработки наблюдений на сейсмических станциях Единой системы сейсмических наблюдений СССР.** – М.: Наука, 1982. – 273 с.
24. **Bulletin of the International Seismological Centre for 2004.** – Berkshire: ISC, 2006–2007.
25. **Казахара К.** Механика землетрясений. – М.: Мир, 1985. – С. 25.
26. **Гутенберг Б. и Рихтер Ч.** Сейсмичность Земли. – М.: ИЛ, 1948. – 160 с.
27. **Чепкунас Л.С., Болдырева Н.В.** Оперативная обработка землетрясений мира по телесеismicким наблюдениям ГС РАН // Землетрясения Северной Евразии в 2002 году. – Обнинск: ГС РАН, 2008. – С. 274–282.
28. **Маркин В.А.** Катастрофическое землетрясение // Земля и Вселенная. – 2005. – № 2. – С. 49.
29. **Воробьев Ю.Л., Акимов В.А., Соколов Ю.И.** Цунами: предупреждение и защита. – М.: 2006. – 264 с. (<http://www.mchs.gov.ru/mchs/library/45.PDF>)
30. **Старовойт О.Е., Чепкунас Л.С., Габсатарова И.П.** Хроника сейсмичности Земли. Год, завершившийся катастрофой века // Земля и Вселенная. – 2005. – № 2. – С. 83–88.
31. **Фокина Т.А., Дорошкевич Е.Н., Рудик М.И., Сафонов Д.А.** Курило-Охотский регион. (См. раздел I (Обзор сейсмичности) в наст. сб.).