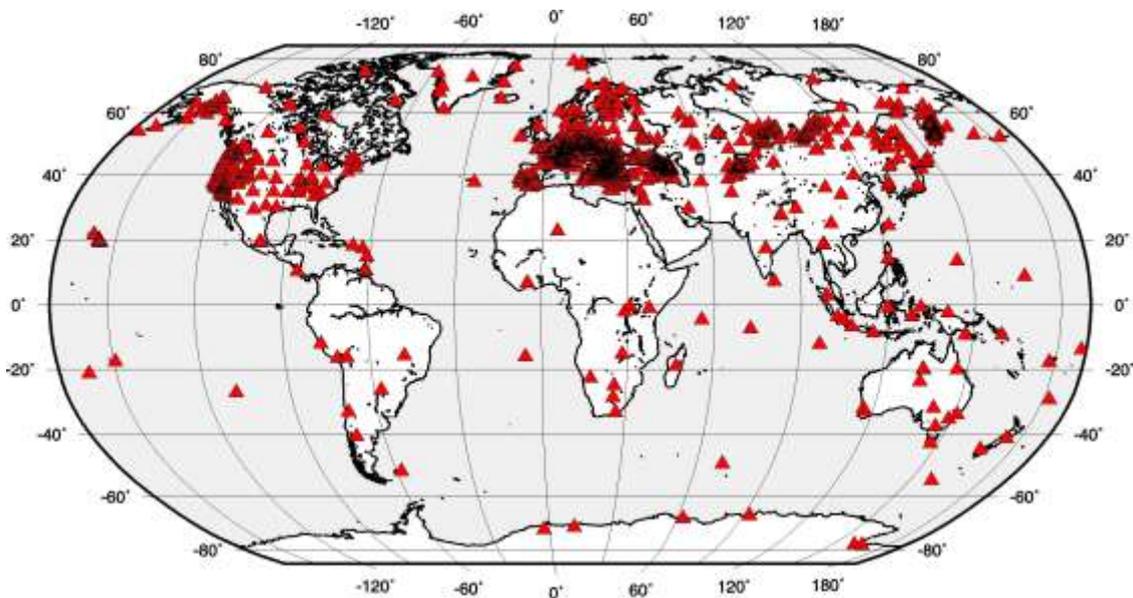


## **СИЛЬНЫЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ ЗЕМЛИ**

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

ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск, [sveta@gstras.ru](mailto:sveta@gstras.ru)

Исходными для анализа сильных землетрясений Земли в 2011 г. являются оперативные сейсмологические бюллетени [1] и сейсмологические каталоги [2] ГС РАН. На их основе составлен Каталог землетрясений Земли за 2011 г., приведенный в Приложении к наст. ежегоднику [3]. При составлении ежедекадных оперативных сейсмологических каталогов и сейсмологических бюллетеней в 2011 г. использовались данные 777 сейсмических станций ГС РАН, ГС СО РАН, других российских ведомств и мировой сети [4], изображенных на рис. 1, против 728 станций в 2010 г. [5]. Как видно, подавляющее число используемых в 2011 г. станций размещено в северном полушарии, особенно в районах самой высокой плотности населения – в Европе. Список всех станций дан в Приложении к наст. ежегоднику [4].



**Рис. 1.** Сейсмические станции мира, данные которых использовались при определении основных параметров землетрясений за 2011 г. в [1, 2]

Рассмотрим содержание и объем исходного каталога землетрясений Земли по данным ГС РАН за 2011 г. [3].

**Методика** определения основных параметров землетрясений, по сравнению с таковыми в [6], не изменилась. Как и ранее [6], кинематические параметры (координаты гипоцентра ( $\varphi, \lambda, h$ ) и время  $t_0$  возникновения землетрясения) определялись по программе ЭПИ-74 [7] с использованием телсейсмических [8–10] и региональных [11, 12] годографов на основании данных о временах прихода продольных  $P(PKIKP)$ -волн на сейсмические станции. Максимум поверхностных волн  $LRM$  выделялся в соответствии с годографами [13, 14].

Определение магнитуд  $MS$ ,  $MPSP$  и  $MPLP$  производилось по максимальной скорости смещения  $(A/T)_{max}$  в поверхностных и объемных волнах и соответствующим калибровочным кривым [15–19]. Кроме того, в каталог [3] включены сейсмические моменты  $M_0$  по методике [20, 21] и моментные магнитуды  $Mw$  по методике Канамори [22] из работы [23], а также метки о наличии механизмов очагов по определениям ГС РАН методом первых вступлений  $P$ -волн из [24]. Итоговый сейсмологический каталог [3] за 2011 г. включает параметры 5882 землетрясений мира (против 4840 в 2010 г. [25]).

Из каталога [3] следует, что для всех 5882 землетрясений определены только магнитуды  $MPSP$  по объемным волнам. Остальных динамических параметров определено значительно меньше, а именно:  $MS$  – для 1381 землетрясения;  $MPLP$  – для 162;  $M_0$  и  $M_w$  – для 14; механизмы очагов – для 23 событий. Приведенные объемы измерений повлекли за собой необходимость проведения двух дополнительных процедур при создании каталога сильных ( $M \geq 6.0$ ) землетрясений Земли [26].

Первая процедура связана с практической необходимостью из имеющихся сведений получить для всех землетрясений магнитуду  $MS$  по поверхностным волнам, как наиболее устойчивую. Более того, только эта магнитуда используется в практике сейсмического районирования для перехода от землетрясений к сотрясениям и расчетам макросейсмической интенсивности по уравнениям макросейсмического поля типа  $I=f(MS, \Delta)$ . Стандартным решением этой проблемы является пересчет магнитуд  $MPSP$  в магнитуды  $MS^*$ . Расчетная магнитуда  $MS^*$  найдена, как и ранее [6], по формуле (1) для землетрясений с  $h \leq 70$  км, по формулам (2) и (3) – для промежуточных и глубоководных землетрясений соответственно:

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

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

$$MS^* = 1.85 MPSP - 4.9, h > 390 \text{ км из [27].} \quad (3)$$

Сейсмическая энергия рассчитывалась из  $MS(MS^*)$  по формуле из [28]:

$$\lg E, \text{ Дж} = 4.8 + 1.5 MS. \quad (4)$$

Вторая процедура выполнена авторами настоящей статьи впервые и связана с разумным восполнением недостающих значений сейсмических моментов  $M_0$  и моментных магнитуд  $M_w$  в каталоге сильных ( $M \geq 6.0$ ) землетрясений Земли [26], привлекая для этого данные международных центров [29–31]. Кроме того, каталог [26] дополнен макросейсмическими сведениями [32] о сильных землетрясениях из различных источников и координатами сотрясенных населенных пунктов [33] на территории Северной Евразии из [34].

Основной целью настоящей работы является анализ наиболее сильных ( $M \geq 6.0$ ) землетрясений Земли, суммарное число которых в 2011 г. составило  $N_{\Sigma} = 297$  [26]. Как и ранее [6], процедура выборки из каталога [3] сильных землетрясений решалась композитно – к таковым отнесены все землетрясения, у которых хотя бы одна из четырех магнитуд ( $MS, MPLP, MPSP, M_w$ )  $\geq 6.0$ . Географическое распределение гипоцентров сильных землетрясений показано на рис. 2. В основном оно соответствует известной мировой статистике наблюдаемых на земном шаре землетрясений.

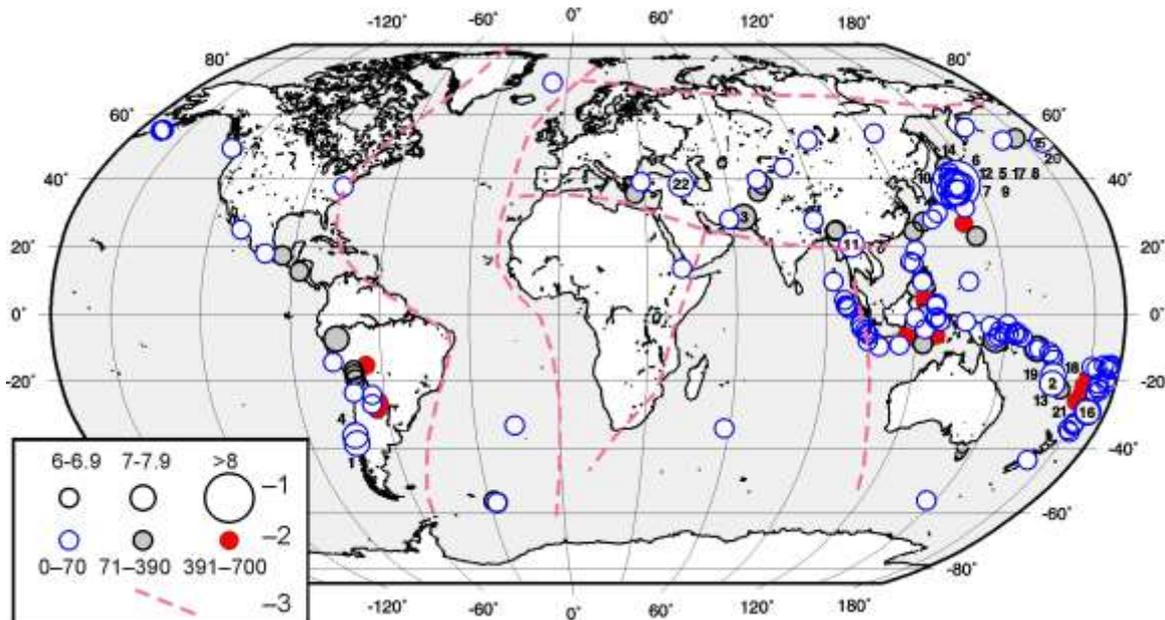


Рис. 2. Карта эпицентров сильных ( $M \geq 6.0$ ) землетрясений Земли за 2011 г.

1 – магнитуда  $MS/MS^*$ ; 2 – глубина  $h$  гипоцентра, км; 3 – граница сейсмического пояса.

На рис. 2 показаны границы основных сейсмических поясов по [35] – Тихоокеанского (I), Трансазиатского (II), Атлантического (III), Индийского (IV) и Африканского грабена (V).

Распределение землетрясений Земли с  $M (MS, MPLP, MPSP, Mw) \geq 6.0$  в зависимости от магнитуды, но без дифференциации их по глубинам очагов, приведено в табл. 1 в сопоставлении с аналогичными данными за предыдущие 19 лет [6, 36]. Как видим, в 2011 г. число землетрясений в интервале  $M=6.0-6.9$  составило  $N=272$ , что значительно выше среднего  $\bar{N}=157.2$  за 19 лет; в диапазоне  $M=7.0-7.9$  оно равно  $N=24$  и значительно выше среднего значения  $\bar{N}=15.2$ .

**Таблица 1.** Распределение числа землетрясений Земли с  $M \geq 6.0$  в различных интервалах магнитуд за 1992–2011 гг.

Год	$N(\Delta M)$			$N_{\Sigma}$	Год	$N(\Delta M)$			$N_{\Sigma}$
	6.0–6.9	7.0–7.9	$\geq 8.0$			6.0–6.9	7.0–7.9	$\geq 8.0$	
1992	117	13		130	2004	153	14	3	170
1993	97	7		104	2005	190	13	1	204
1994	136	14	1	151	2006	154	15	2	171
1995	242	28		270	2007	185	20	3	208
1996	217	15		232	2008	174	14	1	189
1997	151	5		156	2009	152	18	1	171
1998	113	12		125	2010	174	22	1	197
1999	159	21		180	Сумма за 19 лет	2986	289	16	3291
2000	169	17		186	Среднее за 19 лет	157.2	15.2	1.6	173.2
2001	126	16	1	143	2011	272	24	1	297
2002	139	11		150					
2003	138	14	2	154					

Распределение суммарной сейсмической энергии, выделившейся в 2011 г. при землетрясениях с  $M \geq 6.0$  в пяти различных сейсмических поясах, представлено в табл. 2. При составлении таблицы использованы наблюдаемые магнитуды землетрясений  $MS$  по поверхностным волнам для тех землетрясений, у которых эта магнитуда есть в каталоге [26], а для остальных, как указано выше, выполнен пересчет магнитуд  $MPSP$  по объемным волнам в магнитуды ( $MS^*$ ) по поверхностным волнам по формулам (1–3).

**Таблица 2.** Распределение числа землетрясений Земли с  $M \geq 6.0$  и их суммарной сейсмической энергии  $\Sigma E$  по сейсмическим поясам в 2011 г.

№	Сейсмический пояс	Число землетрясений с $M$		$\Sigma E,$ $10^{15} \text{ Дж}$	%
		6.0–6.9	$\geq 7.0$		
I	Тихоокеанский	238	19	3011.7	99.03
II	Трансазиатский	13	3	26.6	0.87
III	Атлантический	6	–	1.3	<0.001
IV	Индийский	16	–	1.6	<0.001
V	Африканские грабены	1	–	0.002	–
	Сумма	275	22	3041.202	

Из табл. 2 следует, что более 99 % всей сейсмической энергии высвобождено в очагах землетрясений Тихоокеанского сейсмического пояса (I) и менее 1 % – в Трансазиатском поясе (II). В пределах остальных трех поясов уровень высвобожденной сейсмической энергии очень низкий: в Атлантическом (III) и Индийском (IV) – лишь  $\Sigma E=1.3 \cdot 10^{15}$  и  $1.6 \cdot 10^{15} \text{ Дж}$ , а в сейсмическом поясе Африканские грабены (V) с  $\Sigma E=2 \cdot 10^{12}$  – вообще близок к данным малосейсмичных территорий.

Далее дано описание распределения в 2011 г. сильнейших землетрясений планеты с  $M (MS, MPLP, MPSP, Mw) \geq 7.0$  в пределах границ двух сейсмических поясов I и II на основе списка в табл. 3 [26] и параметров их механизмов в табл. 4 [24].

Таблица 3. Список сильнейших ( $M \geq 7.0$ ) землетрясений Земли в 2011 г.

№	Дата, д.м	$t_0$ , ч мин с	Эпицентр		$h$ , км	$M_0$ , Н·м	Магнитуды				Сейс- мичес- кий пояс [35]	Географический регион [37]
			$\varphi^\circ$	$\lambda^\circ$			$M_w$	$MS/n$	$MPLP/n$	$MPSP/n$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1*	02.01	20 20 13.4	-38.400	-73.300	33f	$1.6 \cdot 10^{20}$	7.4 OBN	7.0/41	7.0/5	6.2/27	I	Побережье Центрального Чили
2*	13.01	16 16 43.7	-20.631	168.461	30	-	-	7.1/114	7.4/8	6.8/90	I	Острова Лоялти
3*	18.01	20 23 23.7	28.841	63.893	78	-	-	6.8/79	7.3/10	7.0/76	II	Юго-Западный Пакистан
4*	11.02	20 05 32.2	-36.171	-73.101	33f	-	-	7.1/38	-	6.1/65	I	Побережье Центрального Чили
5*	09.03	02 45 18.7	38.563	142.888	31	$1.6 \cdot 10^{20}$	7.4 OBN	7.6/75	7.1/8	6.6/144	I	Восточное побережье Хонсю, Япония
6*	11.03	05 46 22.4	38.334	142.514	27	$3.9 \cdot 10^{21}$	8.4 OBN	8.4/93	8.1/6	7.3/86	I	Восточное побережье Хонсю, Япония
7	11.03	06 15 38.8	36.266	141.007	47	-	-	7.0/57	-	-	I	Восточное побережье Хонсю, Япония
8	11.03	06 25 51.0	38.099	144.626	32	-	-	7.2/112	-	-	I	У вост. побережья Хонсю, Япония
9	11.03	08 19 26.0	36.148	141.655	26	-	-	7.1/13	-	6.7/80	I	Восточное побережье Хонсю, Япония
10	11.03	11 36 41.0	39.382	142.460	33f	-	-	6.8/73	7.3/4	6.8/120	I	Восточное побережье Хонсю, Япония
11*	24.03	13 55 14.5	20.650	99.937	12	$1.7 \cdot 10^{19}$	6.8 TLY	7.1/136	6.8/11	6.3/118	II	Мьянма
12*	07.04	14 32 42.5	38.293	141.708	49	$5.4 \cdot 10^{19}$	7.1 OBN	7.3/58	7.3/5	7.0/102	I	Восточное побережье Хонсю, Япония
13*	10.05	08 55 10.7	-20.324	168.207	33f	-	-	6.8/84	7.4/8	6.6/91	I	Острова Лоялти
14*	22.06	21 50 49.9	40.036	142.351	24	$4.0 \cdot 10^{19}$	7.0 OBN	6.9/122	7.0/4	6.3/136	I	Восточное побережье Хонсю, Япония
15*	24.06	03 09 37.8	52.098	-171.784	52	$1.6 \cdot 10^{20}$	7.4 OBN	7.0/96	7.1/7	7.1/121	I	Лисьи острова, Алеуты
16*	06.07	19 03 20.8	-29.235	-176.321	36	-	-	7.7/80	7.6/6	7.0/79	I	Район островов Кермадек
17*	10.07	00 57 09.7	38.005	143.325	27	$2.4 \cdot 10^{19}$	6.9 OBN	7.2/94	6.7/4	6.8/136	I	У вост. побережья Хонсю, Япония
18*	20.08	16 55 02.1	-18.264	168.121	33f	-	-	7.0/72	7.0/5	6.2/54	I	Острова Вануату
19	20.08	18 19 23.5	-18.246	168.195	32	-	-	7.0/106	-	6.2/33	I	Острова Вануату
20*	02.09	10 55 52.9	52.239	-171.704	43	$3.9 \cdot 10^{19}$	7.0 OBN	6.8/87	7.0/14	6.7/164	I	Лисьи острова, Алеуты
21*	21.10	17 57 16.1	-28.850	-176.202	35	-	-	7.5/118	7.2/5	6.9/80	I	Район островов Кермадек
22*	23.10	10 41 20.3	38.655	43.435	10f	$9.6 \cdot 10^{19}$	7.3 TLY	7.3/126	7.4/10	6.7/140	II	Турция

Примечание. В графе 1 знак «\*» указывает на наличие в [1, 24] параметров механизма очага по первым вступлениям  $P$ -волн; в графе 6 буквой «b» индексирована фиксированная глубина; в графе 8 второй строкой дан код станции, по которой рассчитана  $M_w$  в агентстве MOS [1]: OBN – «Обнинск», TLY – «Галая».

Из 22 сильнейших ( $M \geq 7.0$ ) землетрясений Земли 19 землетрясений (№ 1, 2, 4–10, 12–22 в табл. 3) локализованы в Тихоокеанском сейсмическом поясе, три (№ 3, 11, 22) – в Трансзита́тском поясе.

Механизмы очагов землетрясений с  $M \geq 7.0$  в стереографической проекции на нижней полусфере показаны на рис. 3, их каталог представлен в табл. 4. Для 16 землетрясений (№ 1–6, 11–12, 14–18, 20–22) они получены в ГС РАН (код агентства MOS) [1, 24] по знакам первых вступлений продольных  $P$ -волн по программе А.В. Ландера [38], для четырех землетрясений

(№ 7, 8, 13, 19) – по методу тензора момента центраида в Колумбийском университете США (код агентства GCMT) [29] и для (10) – в Национальном исследовательском институте наук о Земле в Японии (код агентства NIED) [30].

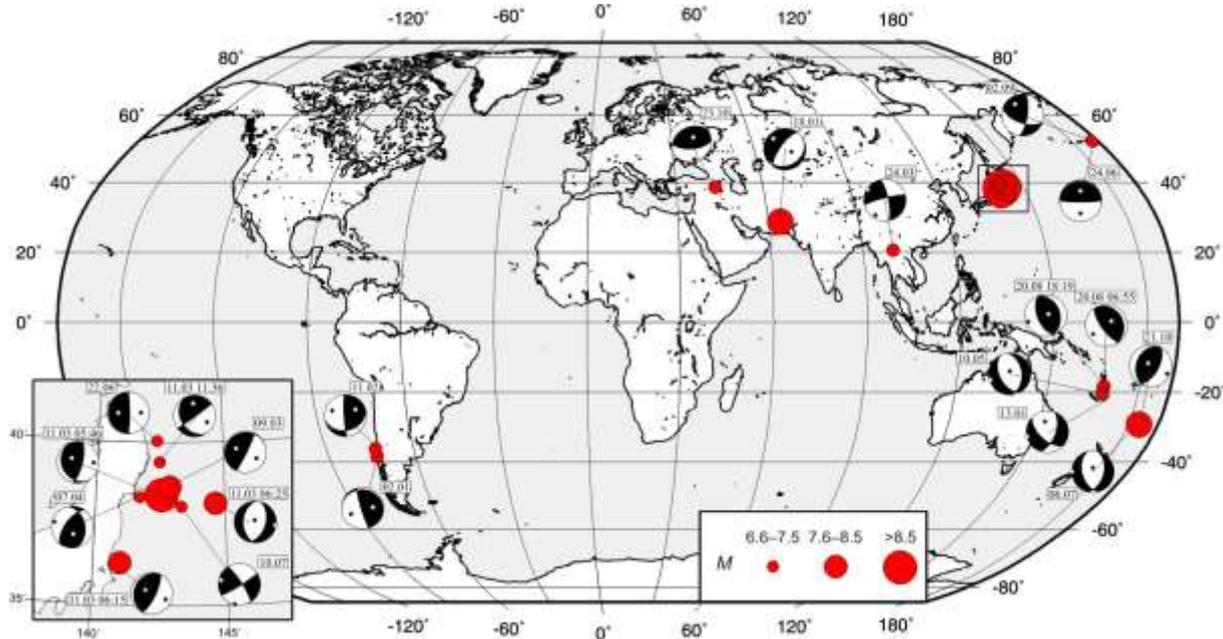


Рис. 3. Стереогаммы механизмов очагов сильнейших ( $M \geq 7.0$ ) землетрясений Земли за 2011 г. в проекции нижней полусферы

Таблица 4. Параметры механизмов очагов сильнейших ( $M \geq 7.0$ ) землетрясений Земли в 2011 г.

№	Дата, д.м	$t_0$ , ч мин с	$h$ , км	Магнитуды					Оси главных напряжений						Нодальные плоскости						Агентство
				$M_w$	$M_w$	$M_S$	$M_{PLP}$	$M_{PSP}$	$T$		$N$		$P$		$NP1$			$NP2$			
				[29]	[3]	[3]	[3]	[3]	PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	SLIP	STK	DP	SLIP	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	02.01	20 20 13.4	33f	7.1	7.4	7.0	7.0	6.2	50	85	11	342	38	243	283	12	31	163	84	101	MOS
2	13.01	16 16 43.7	30	6.9		7.1	7.4	6.8	0	76	41	166	49	346	133	58	-141	19	58	-39	MOS
3	18.01	20 23 23.7	78	7.2		6.8	7.3	7.0	25	313	9	219	63	110	64	21	-63	215	71	-100	MOS
4	11.02	20 05 32.2	33f	6.8		7.1		6.1	43	58	29	180	33	291	77	30	169	177	84	61	MOS
5	09.03	02 45 18.7	31	7.3	7.4	7.6	7.1	6.6	51	291	5	27	38	120	242	8	126	26	84	85	MOS
6	11.03	05 46 22.4	27	9.1	8.4	8.4	8.1	7.3	61	306	14	189	25	93	154	24	53	14	71	105	MOS
7	11.03	06 15 38.8	47	7.9		7.0			62	299	2	206	28	115	199	17	84	26	73	92	GCMT
8	11.03	06 25 51.0	32	7.6		7.2			4	99	7	190	82	340	182	42	-100	15	49	-81	GCMT
9	11.03	08 19 26.0	26			7.1		6.7	механизм очага землетрясения в [24, 29–31] отсутствует												
10	11.03	11 36 41.0	33f	6.6		6.8	7.3	6.8	39	354	33	232	34	116	54	87	123	148	33	5	NIED
11	24.03	13 55 14.5	12	6.8	6.8	7.1	6.8	6.3	4	303	74	45	16	212	348	76	-171	256	81	-14	MOS
12	07.04	14 32 42.5	49	7.1	7.1	7.3	7.3	7.0	63	173	24	22	12	286	349	39	50	216	61	118	MOS
13	10.05	08 55 10.7	33f	6.8		6.8	7.4	6.6	4	253	11	162	78	6	354	42	-74	153	50	-104	GCMT
14	22.06	21 50 49.9	24	6.7	7.0	6.9	7.0	6.3	51	270	0	180	39	90	180	6	90	0	84	90	MOS
15	24.06	03 09 37.8	52	7.3	7.4	7.0	7.1	7.1	51	0	0	270	39	180	270	6	90	90	84	90	MOS
16	06.07	19 03 20.8	36	7.6		7.7	7.6	7.0	0	90	15	180	75	0	165	47	-111	15	47	-69	MOS
17	10.07	00 57 09.7	27	7.0	6.9	7.2	6.7	6.8	11	283	78	90	3	193	327	80	174	58	84	10	MOS
18	20.08	16 55 02.1	33f	7.1		7.0	7.0	6.2	64	49	4	146	26	238	336	20	101	145	71	86	MOS
19	20.08	18 19 23.5	32	7.0		7.0		6.2	78	61	2	159	12	249	158	57	88	343	33	94	GCMT
20	02.09	10 55 52.9	43	6.9	7.0	6.8	7.0	6.7	36	326	53	162	8	61	110	59	22	8	71	147	MOS
21	21.10	17 57 16.1	35	7.4		7.5	7.2	6.9	76	316	5	207	13	115	199	32	81	30	58	96	MOS
22	23.10	10 41 20.3	10f	7.1	7.3	7.3	7.4	6.7	71	38	14	261	12	167	239	35	65	89	59	107	MOS

Примечание. Параметры землетрясений соответствуют таковым в каталогах [3, 24]; в графе 5 приведена магнитуда  $M_w$  по данным агентства GCMT [29], а для землетрясения № 10 – по данным агентства NIED [30].

Ниже приводится описание 21 землетрясения из табл. 3, 4 по сейсмическим поясам I и II. Механизм очага землетрясения 11 марта в  $08^{\text{h}}19^{\text{m}}$  (№ 9 в табл. 3 и 4) в [24, 29–31] отсутствует. Все очаги, кроме (№ 3 в табл. 3 и 4), расположены в пределах земной коры.

Сильнейшее ( $M_S=8.4$  [1],  $M_w=9.1$  [29]) катастрофическое землетрясение века (№ 6) произошло 11 марта 2011 г. в  $05^{\text{h}}46^{\text{m}}$  у Тихоокеанского побережья региона Тохоку о. Хонсю, Япония (центр региона – префектура Мияги) и входит в мощную группу событий Тихоокеанского пояса из форшоков, главного толчка и афтершоков. Они описаны ниже в совокупности.

Главный очаг землетрясения Тохоку (№ 6) возник в океане на глубине 27 км. Небольшая глубина и характер движения в очаге – взброс по близвертикальной плоскости ( $71^\circ$  с горизонтом [24]) – при магнитуде  $M_w=9.1$  стали причиной возникшего затем сильного цунами. По данным [31], в результате землетрясения Тохоку и цунами вдоль всего восточного побережья Хонсю от Чибы до Аомори по меньшей мере 15703 человек погибло, 4647 – пропало без вести и 5314 – ранено, 130927 человек эвакуировано. Были разрушены или повреждены как минимум 332395 зданий, 2126 автодорог, 56 мостов и 26 железных дорог. Большинство несчастных случаев и повреждений произошли в префектурах Иватэ, Мияги и Фукусима в результате цунами с максимальной высотой наката до 37.88 м на Мияко.

Общий экономический ущерб в Японии оценивается в 309 млрд. долларов США. Электричество, газ и водоснабжение, телекоммуникации и железнодорожное сообщение нарушены, несколько реакторов были серьезно повреждены на атомной электростанции вблизи Окумы. Несколько пожаров произошло в Тибе и Мияги. Не менее 1800 домов были разрушены, когда вышла из строя плотина в Фукусиме. Максимальное ускорение 2.93 g записано на Цукидате. Наблюдалось горизонтальное смещение и проседание грунта. Оползни произошли в Мияги. Сжижение грунта наблюдалось в Чибе, Одайбе, Токио и Ураясу. Волной цунами были разрушены или серьезно повреждены многие прибрежные города в районе Куджи-Минамисанрику-Нами.

На территории Японии главное землетрясение ощущалось с интенсивностью сотрясений  $I=VIII$  ММ в Фукусиме (ММ – модифицированная шкала Меркалли [8]), VII ММ – в Агуи, Хирацуке, Кирю, Комаэ, Ояме, Сендае и Цукубе; VI ММ – на большой территории восточной части о. Хонсю, включая зону Токио-Йокогама. Ощущалось от о. Хоккайдо до о. Кюсю. Цунами имели максимальную высоту 29.6 м в Офунато, 18.4 м – в Онагаве и 9.4 м – в Иваки.

Заметное воздействие землетрясения Тохоку отмечено далеко за пределами Японии. Один человек погиб и несколько домов разрушены волной цунами высотой 2 м в Джаяпуре, Индонезия. Один человек погиб, несколько лодок и доков были разрушены или повреждены в Кресент-Сити цунами с высотой волны 247 см. Несколько домов и лодок, а также доки были разрушены или повреждены в Санта-Крузе, штат Калифорния; Брукингсе, штат Орегон; Халейве, Каилуа-Коне и Кеалакекуе, штат Гавайи, США. Некоторые здания слегка повреждены на о. Санта-Круз (Галапагосские острова, Эквадор) волной цунами высотой 208 см. Несколько домов разрушено в Писко, Перу. Несколько зданий разрушены в Дичато и несколько лодок повреждены в Пуэрто-Вьехо и на о. Чилоэ, Чили. Землетрясение ощущалось на Северных Марианских островах, в Северной Корее, Южной Корее, на Тайване, северо-востоке Китая и в юго-восточной части России, вплоть до Гаосюна, Пекина и Петропавловска-Камчатского. В Лейкангере, Норвегия, наблюдались сейши [31].

В России землетрясение Тохоку ощущалось с интенсивностью  $I=4$  балла (здесь и далее в статье арабскими цифрами дана интенсивность в баллах по шкале MSK-64 [39]) в Южно-Курильске и Курильске, 3 балла – в Малокурильском [1]. Как сообщило МЧС РФ, после объявленной тревоги цунами из зоны возможного подтопления на Курильских островах было эвакуировано около 11 тыс. человек. Волны цунами высотой до 2 м были зарегистрированы в районе о. Кунашир (вблизи Южно-Курильска), у островов Шикотан и Итуруп [40].

Землетрясение Тохоку (№ 6) возникло под действием превалирования близгоризонтальных сжимающих напряжений ( $PL_p=25^\circ$ ), ориентированных в восточном направлении ( $AZM=93^\circ$ ). Напряжения растяжения имели большой наклон к горизонту ( $PL_T=61^\circ$ ) и направлены на северо-запад ( $AZM=306^\circ$ ). Нодальная плоскость  $NP_2$  близмеридиональна ( $STK_2=14^\circ$ ) и имеет крутое ( $DP_2=71^\circ$ ) залегание, плоскость  $NP_1$  – пологая ( $DP_1=24^\circ$ ), ее простирание – юг–юго-восточное ( $STK_1=154^\circ$ ). Тип движения по крутопадающей плоскости  $NP_2$  – взброс с незначительными компонентами правостороннего сдвига, по пологой плоскости  $NP_1$  – надвиг, несколько осложненный компонентами левостороннего сдвига.

Район о. Хонсю характеризуется высоким уровнем сейсмичности с исторических времен [40, 41]. Землетрясение Тохоку произошло близ одного из наиболее сейсмоактивных участков тихоокеанского побережья Японии – побережья Санрику. В этом месте сильнейшие землетрясения, сопровождающиеся цунами, происходят постоянно. Так, 15.06.1896 г. восточнее о. Хонсю произошло землетрясение с  $M=8.5$ , вызвавшее цунами с высотой волн до 25 м, погибло 27 тыс. человек (по данным [31]). Кроме того, 02.03.1933 г. в 178 км к восток–северо-востоку от района очага землетрясения Тохоку произошло Санрикское землетрясение с магнитудой  $M=8.2$ . Оно вызвало цунами с высотой волн до 28 м, погибло около трех тысяч человек [35].

За два дня до катастрофы (9 марта в 02<sup>h</sup>45<sup>m</sup>) в 44 км к северо-востоку от очага землетрясения Тохоку произошел сильный ( $MS=7.6$  [3],  $M_w=7.3$  [29]) форшок (№ 5). Сильные сотрясения ощущались в половине префектур Японии, в том числе и в Токио. Жертв и серьезных разрушений тогда не было. Известно, что в одном из городов частично обвалилось здание школы. На несколько часов, из соображений безопасности, останавливалось движение скоростных поездов. Землетрясение не повлияло на работу двух атомных электростанций в префектуре Мияги, находящихся поблизости от эпицентра. Эксперты предупредили об угрозе возникновения цунами, но высота вызванных форшоком волн составила всего 60 см. Землетрясение ощущалось с интенсивностью IV MM в Мисаве, Сендае и Уцуномие; III MM – в Токио, Цукубе, Йокогаме и Йокосуке; II MM – в Нарите и Сагамихаре. Оно ощущалось также по всей центральной и северной части о. Хонсю и на юге о. Хоккайдо [29]. В России оно ощущалось в Южно-Курильске с интенсивностью 2 балла MSK [3]. Этот форшок сопровождался многочисленными своими афтершоками.

Землетрясение (№ 5) произошло под действием системы напряжений, похожей на такую при главном толчке, когда оба напряжения заметно наклонены к горизонту, в принципе, существенно не различаясь:  $PL_p=38^\circ$  и  $PL_T=51^\circ$  – у форшока;  $PL_p=25^\circ$  и  $PL_T=61^\circ$  – у главного толчка. При этом крутые плоскости имеют в общем сходные наклоны  $DP_{ф-ка}=84^\circ$ ,  $DP_{гл-т}=71^\circ$ , но в положении пологих плоскостей различие заметнее: у форшока – всего  $8^\circ$ , близка к донной поверхности океана, у главного толчка –  $24^\circ$ . В результате в очаге форшока по крутой плоскости север–северо-восточного ( $26^\circ$ ) простирания – чистый взброс с минимальными компонентами левостороннего сдвига, в очаге главного толчка – более заметные компоненты сдвига уже по меридиональной плоскости ( $177^\circ$ ).

В то же время в очагах сильных афтершоков, которых было много (№ 7–10, 12, 14, 17), тип движения и простирание нодальных плоскостей наследуются лишь в ближайшем афтершоке через 29 минут (№ 7, 11 марта в 06<sup>h</sup>15<sup>m</sup> с  $M_w=7.9$ ) и одним из поздних (№ 14, 22 июня в 21<sup>h</sup>50<sup>m</sup> с  $M_w=6.7$ ), что следует из рис. 3.

**В пределах Тихоокеанского пояса (I)**, кроме описанной выше серии событий, связанной с катастрофой Тохоку, произошло еще десять сильных землетрясений. Они возникли попарно в разных районах: на побережье Чили – 2 января в 20<sup>h</sup>20<sup>m</sup> (№ 1) и 11 февраля в 20<sup>h</sup>05<sup>m</sup> (№ 4); на островах Лоялти – 13 января в 16<sup>h</sup>16<sup>m</sup> (№ 2) и 10 мая в 08<sup>h</sup>55<sup>m</sup> (№ 13); на Лисьих островах и Алеутках – 24 июня в 03<sup>h</sup>09<sup>m</sup> (№ 15) и 2 сентября в 10<sup>h</sup>55<sup>m</sup> (№ 20); в районе островов Кермадек – 6 июля в 19<sup>h</sup>03<sup>m</sup> (№ 16) и 21 октября в 17<sup>h</sup>57<sup>m</sup> (№ 21); на островах Вануату – 20 августа в 16<sup>h</sup>55<sup>m</sup> (№ 18) и в 18<sup>h</sup>19<sup>m</sup> (№ 19). Рассмотрим их в указанной последовательности.

В Чили первое землетрясение (№ 1) с  $MS=7.0$ , зарегистрированное 2 января в 20<sup>h</sup>20<sup>m</sup>, вызвало сотрясения в центральных и южных областях страны. Гипоцентр находился в океане, примерно в 70 км к северо-западу от г. Темуко. Жертв и разрушений нет, хотя в некоторых населенных пунктах возникла паника, а также наблюдались перебои в подаче электричества и работе фиксированной телефонной связи. Предупреждение о цунами вскоре было отменено [42].

По данным [31], землетрясение 2 января ощущалось в Чили с интенсивностью VII MM в городке Нуэва Имперьяль; VI MM – в Куранилауэ, Лебу и Тируа; V MM – в Анголе, Канете, Чигуаянте, Козлему, Консепсьоне, Уальки, Ла-Лае, Лос-Аламесе, Лос-Анджелесе, Сан-Педро-де-ла-Пасе, Сан-Росендо, Талькауано и Темуко. Сотрясения отмечены во всей центральной части Чили от Сантьяго до Исла Чилоэ. Ощущалось также в Аргентине: III MM – в Сан-Карлос-де-Барилоче и Неукене; II MM – в Кутрал-Ко.

Второе землетрясение (№ 4) с  $MS=7.1$ , произошедшее 11 февраля в 20<sup>h</sup>05<sup>m</sup>, – один из сильнейших поздних афтершоков катастрофического землетрясения 27.02.2010 г. с  $MS=8.5$  близ побережья Центрального Чили [6]. Эпицентр (№ 4) находился в 45 км к северу от г. Консепсьон.

Отмечались нарушения телефонной связи в связи с повреждением опор высоковольтных линий, а жители пос. Дичато были эвакуированы из-за угрозы цунами. С 11 до 13 февраля произошло еще более 50 землетрясений умеренной интенсивности в регионе Био-Био [43].

Землетрясение 11 февраля ощущалось в Чили с интенсивностью VI MM – в Арауко, Кауенесе, Чанко, Кольбуне, Консепсьоне, Конститусьоне, Курико, Эмпедрадо, Ла-Лае, Линаресе, Лонгави, Молине, Пельюэ, Ретиро, Ромерале, Сан-Клементе, Сан-Хавьере, Тальке, Талькауано и Йербас-Буэнасе; V MM – в Анголе, Чепике, Чильяне, Илоке, Лос-Саусесе, Мелипеуко, Паредонесе, Паррале, Ранкагуе, Ренайко, Рио Кларо, Санта-Крусе и Юмбеле; IV MM – в Лос-Анджелесе, Сан-Висенте и Винья-дель-Маре; III MM – в Сантьяго и Темуко. Толчки ощущались в большей части Центрального Чили от Ла-Лигуа до Вальдивии. Также ощущалось в Аргентине с интенсивностью II MM в Буэнос-Айресе, а также в Кутрал-Ко, Мендосе, Неукене, Сан-Карлос-де-Барилоче и Сан-Хуане [31].

В очагах обоих землетрясений (№ 1 и 4) в прибрежной зоне Чили векторы напряжений сжатия и растяжения наклонены к горизонту под значительными углами (38 и 33°) и (50 и 43°), но с некоторым превалированием напряжений сжатия из-за меньших углов (табл. 4). Поэтому движение по всем нодальным плоскостям в общем восходящее, осложненное сдвигами, меньшими для (№ 1) и большими – для (№ 4) (рис. 3). По близвертикальным (84 и 84°) нодальным плоскостям – взбросы, по близгоризонтальным (12 и 30°) – надвиг с очень незначительным левосторонним сдвигом для (№ 1) и правосторонний сдвиг с заметными компонентами взброса – для (№ 4). Ориентацию плоскостей  $NP1$  (283 и 77°) можно считать близширотной, а  $NP2$  (163 и 177°) – близмеридиональной (табл. 4).

На островах Лоялти землетрясение (№ 2) с  $MS=7.1$  возникло 13 января в 16<sup>h</sup>16<sup>m</sup> под действием горизонтальных ( $PL_T=0^\circ$ ) напряжений растяжения, ориентированных в восточном направлении ( $AZM=76^\circ$ ). По данным [31], оно ощущалось с  $I=II$  MM в Нумеа, Новая Каледония. Также ощущалось в городке Боулоупари.

Землетрясение (№ 13) с  $MPLP=7.4$  зарегистрировано 10 мая в 08<sup>h</sup>55<sup>m</sup> под действием близгоризонтальных ( $PL_T=4^\circ$ ) напряжений растяжения, ориентированных в юго-западном направлении ( $AZM=253^\circ$ ). Оно ощущалось в Новой Каледонии в деревнях Тадине и Ви с интенсивностью II MM – в Думбеа и Нумеа, а также в Бурасе, Мон-Доре и Яте. Кроме того, вызвало колебания с  $I=II$  MM в Порт-Виле, а также ощущалось в Исангеле, Вануату [31].

Для обоих землетрясений на островах Лоялти характерны нисходящие движения по всем плоскостям, осложненные в разной степени компонентами сдвига – сдвиго-сбросы для (№ 2) и почти чистые сбросы – для (№ 13) (рис. 3). Сбросы обусловлены близгоризонтальными (0 и 4°) напряжениями растяжений (табл. 4).

В районе Лисьих островов и на Алеутах произошли два сильных землетрясения (№ 15, 20).

Землетрясение (№ 15) ощущалось в штате Аляска, США с интенсивностью VI MM в Никольском и II MM – в Датч-Харборе. Также ощущалось в Адаке, Анкоридже, Колд-Бее, Базе ВВС Элмендорф, Гомере и Уналашке. На следующих приливных станциях были отмечены волны цунами с высотой (от пика до подошвы): 10 см – в Никольском; 9 см – в Сент-Поле; 6 см – на о. Адак; 4 см – на о. Акутан и на о. Мидуэй; 6 см – в Хило и 4 см в Навиливили, Гавайи [31]. По данным [31], землетрясение (№ 20) с  $MPLP=7.0$ , зарегистрированное 2 сентября в 10<sup>h</sup>55<sup>m</sup>, ощущалось на всех Алеутских островах. Цунами с высотой волны 6 см было зарегистрировано в Атке. Типы подвижек в очагах землетрясений (№ 15 и 20) абсолютно разные: чистый взброс по близвертикальной (84°) плоскости или чистый надвиг по близгоризонтальной (6°) плоскости для (№ 15) и преимущественно сдвиги, хотя и с заметными компонентами взброса, для (№ 20) (табл. 4, рис. 3).

В районе островов Кермадек землетрясение (№ 16) с  $MS=7.7$  возникло 6 июля в 19<sup>h</sup>03<sup>m</sup>. По данным [31], оно ощущалось с интенсивностью II MM в Веллингтоне, Новая Зеландия. Также ощущалось в Окленде, Крайстчерче, Гисборне, Гастингсе и Манукау (Новая Зеландия), в Брисбене и Голд-Косте (Австралия), в Суве, Фиджи и Нукуалофе (Тонга). Землетрясение (№ 21) с  $MS=7.5$  зарегистрировано 21 октября в 17<sup>h</sup>57<sup>m</sup>. Оно ощущалось с  $I=III$  MM в Гисборне, Новая Зеландия. Также ощущалось в Нейпире и Веллингтоне (Новая Зеландия) и в Нукуалофе (Тонга) [31]. В очагах землетрясений (№ 16, 21) имеет место абсолютное несходство подвижек: сброс с небольшими компонентами сдвига для (№ 16) и почти чистый взброс – для (№ 21)

(рис. 3). При этом простирания плоскостей  $NP1$  ( $165$  и  $199^\circ$ ) и  $NP2$  ( $15$  и  $30^\circ$ ) довольно сходны между собой (табл. 4).

На островах Вануату два одинаково сильных ( $MS=7.0$ ) землетрясения (№ 18 и 19) произошли в один день (20 августа) с разницей во времени около 1.5 часов (табл. 3). При этом между ними через 18 минут был еще один мощный толчок № 18 с  $Mw=6.5$  [3], т.е. реализовалась высокомагнитудная сейсмическая группа. По данным [31], землетрясение (№ 18) ощущалось с интенсивностью V MM в Порт-Виле, а также в Лакаторо, Вануату. Ощущалось в Нумеа, Новая Каледония. Землетрясение (№ 19) ощущалось с такой же интенсивностью V MM в Порт-Виле, также ощущалось в Луганвилле, Вануату [31]. Генезис обоих очагов (№ 18 и 19) явно идентичный, поскольку их стереограммы похожи (рис. 3).

**В Трансазиатском сейсмическом поясе (II)** по данным ГС РАН [1, 3], произошло три землетрясения с  $M \geq 7$  – в Пакистане (№ 3), Мьянме (№ 11) и Турции (№ 22).

В Пакистане разрушительное землетрясение (№ 3) с  $MPLP=7.3$  ( $Mw=7.2$  [29]) произошло 18 января в  $20^{\text{h}}23^{\text{m}}$  к югу от вулканической дуги Белуджистан вблизи г. Далбандин. Глубина очага  $h=78$  км. Землетрясение сопровождалось двумя достаточно сильными афтершоками, зарегистрированными сейсмическими станциями глобальной сети. Землетрясение связано со сбросом на разломе, расположенном на плите Аравия–Ормара. Землетрясение ощущалось от Тегерана до Дели и от северной части Персидского залива до Центральной Азии, радиально – на расстояниях до 1400 км. В [44] проанализировано затухание интенсивности, приводится описание исторических землетрясений, произошедших на западе Белуджистана. Потенциал сейсмической реакции участков на территории г. Карачи исследуется по данным о землетрясениях, произошедших с 1950-х годов.

В результате землетрясения (№ 3) один человек погиб в Гархихайро и два человека умерли от сердечных приступов в Джакобабаде и Кветте, Пакистан. Несколько человек получили ранения, по меньшей мере 200 зданий повреждено. Повреждения произошли также в Синде и на юге Пенджаба. Интенсивность сотрясений в Белуджистане, особенно в районе Далбандина, составила V MM; в Бахавалпуре, Карачи и Кветте – IV MM; в Хайдарабаде, Исламабаде, Хайрпуре и Лахоре (Пакистан) – III MM. Незначительные повреждения произошли в районах Западной Индии. В Индии землетрясение ощущалось в Газибаде, Гургаоне, Нью-Дели и Пилани с интенсивностью IV MM; в Амритсаре, Чандигархе, Дели, Джайпуре и Нойде – III MM. В Иране интенсивность сотрясений составила в Ченаране IV MM; в Бандаре Аббасе и Захедане – III MM. Также ощущалось: IV MM в Рас-эль-Хайме; III MM – в Абу-Даби, Аджмане, Дубае и Шардже (Объединенные Арабские Эмираты), в Кабуле и Кандагаре (Афганистан), в Манаме, Бахрейне и Маскате (Оман); II MM – в Дохе, Катаре и в Эр-Рияде (Саудовская Аравия). Еще землетрясение ощущалось в 11 странах Южной Азии – от Ашхабада (Туркменистан) и Самарканда (Узбекистан) до Бангалоре (Индия) и от Харидвары (Индия) до Бурайды (Саудовская Аравия) [31].

Согласно [24], землетрясение (№ 3) возникло под действием превалирования напряжений растяжения ( $PL_T=25^\circ$ ), ориентированных в северо-западном направлении ( $AZM=313^\circ$ ). Напряжения сжатия имеют значительно больший наклон ( $PL_P=63^\circ$ ) к горизонту и направлены на восток–юго-восток ( $AZM=110^\circ$ ). Нодальная плоскость  $NP1$  – пологая ( $DP_1=21^\circ$ ) и простирается на восток–северо-восток ( $STK_1=64^\circ$ ). Плоскость  $NP2$  – весьма крутая ( $DP_2=71^\circ$ ), ее простирание – юго-западное ( $STK_2=215^\circ$ ). Тип движения по крутой плоскости  $NP2$  – сброс, с небольшим правосторонним сдвигом, по пологой – подвиг, несколько осложненный левосторонним сдвигом.

В Мьянме очаг разрушительного землетрясения (№ 11) с  $MS=7.1$ ,  $h=12$  км, произошедшего 24 марта в  $13^{\text{h}}55^{\text{m}}$ , находился вблизи г. Тарлай недалеко от границ с Лаосом и Таиландом: в 417 км к северо-западу от Вьентьяна, столицы Лаоса, и в 422 км к восток–юго-востоку от г. Мандалайя, Мьянма.

По данным [31], в результате этого землетрясения погибли по крайней мере 74 человека, 111 человек получили ранения, повреждено 413 зданий, рухнул один мост и произошли оползни в Шане, Мьянма. Землетрясение вызвало сотрясения с интенсивностью VI MM в Кенгтунге, II MM – в Рангуне и ощущалось в Мандалае и Таунджи. В Северном Таиланде один человек погиб, с интенсивностью VI MM толчки ощущались в Мэй Сае; IV MM – в Амнат Чароене, Чианграе, Лампхуне, Мэчане, Мае-Риме, Нане, Нонтхабури, Пхаяо и Понге; III MM – в Бангкоке, Чиангмае, Ханг-Донге, Лампанге, Мае Хонг Соне, Сан Кампаенге, Сан-Па-Тонге и Сан-Сае.

В китайской провинции Юньнань 12 человек получили ранения, 9496 – эвакуированы, повреждены 9691 домов, 136 водохранилищ и 35 дорог. В Китае землетрясение ощущалось с интенсивностью IV MM в Джингонге, III MM – в Наньнине, II MM – в Куньмине. В Лаосе интенсивность сотрясений составила IV MM – в Луангнамтхе, II MM – в Луангпхабанге и Вьентьяне. Во Вьетнаме сотрясения были на уровне III MM в Ханое, так же ощущалось в Хошимине. Землетрясение ощущалось на большой территории – в Лаосе, Мьянме, Таиланде, Вьетнаме, на юге Китая, а также в Пномпене, Камбодже и Сингапуре, в Дакке, Бангладеше и в Эйзоле, Индия.

Землетрясение (№ 11) возникло под действием горизонтальных ( $PL_1=4^\circ$ ) растягивающих напряжений, ориентированных в северо-западном направлении ( $AZM=303^\circ$ ), и близгоризонтальных ( $PL_p=16^\circ$ ) сжимающих напряжений, ориентированных в юго-западном направлении ( $AZM=212^\circ$ ). Обе нодальные плоскости – близвертикальны ( $DP_1=76^\circ$ ,  $DP_2=81^\circ$ ), простираение плоскости  $NP2$  – запад–юго-западное ( $STK_2=256^\circ$ ),  $NP1$  – север–северо-западное ( $STK_1=348^\circ$ ). Тип движения по обеим плоскостям – сдвиги с очень небольшими компонентами сброса, по  $NP2$  – левосторонний сдвиг, по  $NP1$  – правосторонний.

Землетрясений с  $M>6$  в Мьянме не происходило более 100 лет. Землетрясение 24 марта было связано с левосторонними сдвигами на разломе Нам-Ма, который ранее считался неактивным. Максимальные ускорения 0.20 g зарегистрированы в г. Мае-Сай, Таиланд (эпицентральное расстояние 28 км) [45]. Сейсмическая активность этой зоны обусловлена вращением блоков по часовой стрелке.

В [46] есть данные о том, что за шесть месяцев перед землетрясениями 11 марта в Японии с  $MS=9.0$  и 24 марта в Мьянме с  $MS=7.2$  было обнаружено появление аномалий инфракрасной яркостной температуры. Аномальные амплитуды отличались от фоновых не менее чем в десять раз. Отмечается различный характер их проявления. Рассматривается влияние климатических и геологических условий.

В Турции 23 октября в 10<sup>h</sup>41<sup>m</sup> произошло катастрофическое землетрясение (№ 22) с  $MS=7.3$  ( $M_w=7.1$  [29]). Очаг находился в восточной части страны, в провинции Кютахья, на глубине около 10 км, в 14 км к север–северо-западу от г. Ван, в 114 км к восток–северо-востоку от г. Битлис и в 203 км к юго-западу от г. Еревана, столицы Армении. Турция находится в сейсмически активном регионе, испытывающем частые разрушительные землетрясения. Эпицентр землетрясения 23 октября был расположен в зоне столкновения Аравийской и Евразийской плит. Оно напоминает о катастрофических событиях, которые Турция пережила в недалеком прошлом: землетрясение в Эрзинджане в 1939 г. с магнитудой  $M=7.8$ , в результате которого погибли около 33 000 человек; землетрясение с  $M=7.3$  в районе оз. Ван в Восточной Анатолии в 1976 г., когда было разрушено несколько деревень около границы Турции с Ираном и погибло несколько тысяч человек; Измитское землетрясение 1999 г. с  $M=7.6$ , в результате которого погибли 17 000 человек, ранены 50 000 и остались без крова 500 000 человек [47, 48]. Авторами [49] были обследованы большие районы сейсмогенного разжижения грунтов, сейсмогенных оползней и склоновых трещин. Большие разрушения в г. Эрджиш специалисты связывают с локальными усилениями колебаний, а также с некачественными строительными материалами.

По данным [31], в результате землетрясения (№ 22) по крайней мере 604 человека погибли, 2608 – получили ранения, 40 000 – эвакуированы. В районе Эрсис-Табанлы-Ван 5739 зданий разрушены и 4882 – повреждены. Нарушены телекоммуникации, электро- и водоснабжение, наблюдались поверхностные разломы и сжижение грунта. Землетрясение вызвало колебания с интенсивностью: VIII MM – в Ване; VII MM – в Битлисе; VI MM – в Татване; V MM – в Байазете и Карсе; IV MM – в Диярбакыре, Эрзинджане и Эрзуруме. Оно также ощущалось во всей Восточной Турции и на запад вплоть до Антиохии, Кайсери и Самсуна. Вне Турции землетрясение ощущалось в Иране: VI MM – в Хвои, III MM – в Урмии и Тебризе; в Ираке: с  $I=V$  MM – в Мосуле, IV MM – в Багдаде и Дахуке; в Армении: с  $I=IV$  MM – в Гюмри и Спитаке, III MM – в Ереване; в Азербайджане: с  $I=IV$  MM – в Барде и Гяндже, III MM – в Баку; в Грузии: IV MM – в Батуми, III MM – в Тбилиси; в Сирии: IV MM – в Алеппо, III MM – в Дамаске; а также II MM – в Тель-Авив-Яффо, Израиль и в Ростове, Россия. Ощущалось в большей части Армении, Азербайджана, Грузии, Сирии, северо-запада Ирана и на севере Ирака, а также в некоторых районах Израиля, Иордании, Ливана и Юго-Западной России.

Землетрясение (№ 22) возникло под действием превалирования близгоризонтальных напряжений сжатия ( $PL_p=12^\circ$ ), ориентированных в южном направлении ( $STK=167^\circ$ ). Напряжения растяжения ориентированы на северо-восток ( $AZM=38^\circ$ ) под углом  $PL_T=71^\circ$ . Плоскость  $NP1$  простирается на юго-запад ( $STK_1=239^\circ$ ),  $NP2$  – на восток ( $STK_2=89^\circ$ ), плоскости залегают под углами  $DP_1=35^\circ$ ,  $DP_2=59^\circ$ . Тип движения по обеим плоскостям – взброс с компонентами сдвига, по  $NP1$  – левостороннего, по  $NP2$  – правостороннего.

**В заключение** отметим, что в 2011 г. наблюдалась аномально высокая сейсмическая активность в районе восточного побережья острова Хонсю, Япония. Всего в пределах Тихоокеанского сейсмического пояса произошло 19 землетрясений с  $M \geq 7$ , среди них – катастрофическое цунамигенное землетрясение Тохоку с  $M_w=9.1$  – одно из сильнейших на планете за всю историю инструментальных наблюдений.

### Л и т е р а т у р а

1. **Сейсмологический бюллетень (ежедекадный) за 2011 год** / Отв. ред. О.Е. Старовойт. – Обнинск: ГС РАН, 2011–2012. – URL: [ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic\\_bulletin/2011](ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_bulletin/2011).
2. **Оперативный сейсмологический каталог (ежедекадный) за 2011 год** / Отв. ред. О.Е. Старовойт. – Обнинск: ГС РАН, 2011–2012. – URL: [ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic\\_Catalog/2011](ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_Catalog/2011).
3. **Болдырева Н.В. (отв. сост.), Аторина М.А., Бабкина В.Ф., Дуленцова Л.Г., Лёвкина А.В., Мальянова Л.С., Рыжикова М.И., Щербакова А.И. (сост.)**. Каталог землетрясений Земли за 2011 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD\_ROM.
4. **Болдырева Н.В., Пойгина С.Г. (сост.)**. Список сейсмических станций России и мира, использованных в ГС РАН при создании Сейсмологического бюллетеня за 2011 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD\_ROM.
5. **Болдырева Н.В., Пойгина С.Г. (сост.)**. Список сейсмических станций России и мира, использованных при создании Сейсмологического бюллетеня за 2010 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2010 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2016. (На CD).
6. **Чепкунас Л.С., Болдырева Н.В., Пойгина С.Г.** Сильнейшие землетрясения мира по телесеismicким наблюдениям ГС РАН // Землетрясения Северной Евразии, 2010 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2016. – С. 279–290.
7. **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.
8. **Рихтер Ч.** Элементарная сейсмология. Пер. с англ. – М.: ИЛ, 1963. – 670 с.
9. **Jeffreys H., Bullen K.E.** Seismological tables // Brit. Assoc. for the advancement of Sci. – London: Gray-Milne Trust, 1958. – 65 p.
10. **Bolt В.А.** Estimation of  $PKP$  travel times // Bull. Seism. Soc. Am. – 1968. – **58**. – N 4. – P. 1305–1324.
11. **Голенецкий С.И., Круглякова М.И., Перевалова Т.И.** Годографы сейсмических волн землетрясений Прибайкалья // Сейсмичность и глубинное строение Прибайкалья. – Новосибирск: Наука (СО РАН), 1978. – С. 30–38.
12. **Wadati К.** Travel time  $P$ - and  $S$ -waves // Geophys. Mag. – 1933. – **11**.
13. **Архангельская В.М.** Использование записей поверхностных волн при интерпретации сейсмограмм // Бюллетень Совета по сейсмологии. – М.: АН СССР, 1957. – № 6. – С. 81–88.
14. **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. Т. II. – М.: ИФЗ АН СССР, 1974. – С. 19–25.
15. **Gutenberg В., Richter С.** Earthquake magnitude, intensity, energy and acceleration // Bull. Seism. Soc. Am. – 1942. – **32**. – N 3. – P. 163–191.
16. **Gutenberg В., Richter С.** Earthquake magnitude, intensity, energy and acceleration // Bull. Seism. Soc. Am. – 1956. – **46**. – N 2. – P. 105–145.

17. Ванек И., Затопек А., Карник В., Кондорская Н.В., Ризниченко Ю.В., Саваренский Е.Ф., Соловьёв С.Л., Шебалин Н.В. Стандартизация шкал магнитуд // Известия АН СССР. Серия геофизическая. – 1962. – № 2. – С. 153–158.
18. Горбунова И.В., Шаторная Н.В. О калибровочной кривой для определения магнитуды землетрясений по волнам *PKIKP* // Физика Земли. – 1976. – № 7. – С. 77–81.
19. Инструкция о порядке производства и обработки наблюдений на сейсмических станциях Единой системы сейсмических наблюдений СССР. – М.: Наука, 1982. – 273 с.
20. Аптекман Ж.Я., Дараган С.К., Долгополов Д.В., Захарова А.И., Зобин В.М., Коган С.Я., Корчагина О.А., Москвина А.Г., Поликарпова Л.А., Чепкунас Л.С. Спектры *P*-волн в задаче определения динамических параметров очагов землетрясений. Унификация исходных данных и процедуры расчета амплитудных спектров // Вулканология и сейсмология. – 1985. – № 2. – С. 60–70.
21. Аптекман Ж.Я., Белавина Ю.Ф., Захарова А.И., Зобин В.М., Коган С.Я., Корчагина О.А., Москвина А.Г., Поликарпова Л.А., Чепкунас Л.С. Спектры *P*-волн в задаче определения динамических параметров очагов землетрясений. Переход от стационарного спектра к очаговому и расчет динамических параметров очага // Вулканология и сейсмология – 1989. – № 2. – С. 66–79.
22. Hanks T.C., Kanamori H. A Moment Magnitude Scale // J. Geophys. Res. – 1979. – 84. – N 135. – P. 2348–2350.
23. Чепкунас Л.С., Малянова Л.С. Очаговые параметры сильных землетрясений Земли // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – С. 277–281.
24. Малянова Л.С. (отв. сост.), Габсатарова И.П. (сост.). Параметры механизмов очагов сильных землетрясений Земли в 2011 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD\_ROM.
25. Болдырева Н.В. (отв. сост.), Аторина М.А., Бабкина В.Ф., Дуленцова Л.Г., Малянова Л.С., Рыжикова М.И., Щербакова А.И. (сост.). Каталог землетрясений Земли за 2010 г. ( $N=4840$ ) // Землетрясения Северной Евразии, 2010 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2016. На CD.
26. Болдырева Н.В. (отв. сост.), Аторина М.А., Бабкина В.Ф., Дуленцова Л.Г., Лёвкина А.В., Малянова Л.С., Пойгина С.Г., Рыжикова М.И., Щербакова А.И. (сост.). Каталог сильных с  $M$  ( $MPSP$ ,  $MPLP$ ,  $MS$ ,  $Mw$ )  $\geq 6.0$  землетрясений Земли за 2011 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD\_ROM.
27. 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.
28. Касахара К. Механика землетрясений. – М.: Мир, 1985. – С. 25.
29. Global CMT Catalog (GCMT). – URL: <http://www.globalcmt.org/>.
30. National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention (NIED). NIED Earthquake Mechanism Search. – URL: <http://www.fnet.bosai.go.jp/event/search.php?LANG=en>.
31. International Seismological Centre (ISC), On-line Bulletin, Internatl. Seis. Cent., Thatcham, United Kingdom, 2014. – URL: <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/>.
32. Пойгина С.Г., Коломнец М.В. (сост.). Макросейсмический эффект сильных ощутимых землетрясений Земли с  $M \geq 6$  в населенных пунктах мира в 2011 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD\_ROM.
33. Милёхина А.М., Пойгина С.Г. (сост.). Координаты сотрясенных в 2011 г. населенных пунктов Северной Евразии (при сильных землетрясениях Земли с  $M \geq 6$ ) // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD\_ROM.
34. База данных "Macro seismic punkts GS RAS". – Обнинск: Фонды ЦО ФИЦ ЕГС РАН, 2017.
35. Гутенберг Б., Рихтер Ч. Сейсмичность Земли. – М.: ИЛ, 1948. – 160 с.
36. Оперативный сейсмологический каталог (ежедекадный) за 1992–2010 гг. / Отв. ред. О.Е. Старовойт. – Обнинск: ЦОМЭ ИФЗ РАН, 1992–2004; ГС РАН, 2005–2011.
37. Young J.B., Presgrave B.W., Aichele H., Wiens D.A., Flinn E.A. The Flinn-Engdahl Regionalisation Scheme: the 1995 revision // Physics of the Earth and Planetary Interiors. – 1996. – N 96. – P. 223–297.
38. Ландер А.В. Комплексные сейсмологические и геофизические исследования Камчатки и Командор-

- ских островов (01.01.–31.12.2003 г.) // Отчет КОМСП ГС РАН. – Петропавловск-Камчатский: Фонды КОМСП ГС РАН, 2004. – С. 359–380.
39. **Медведев С.В., Шпонхойер В., Карник В.** Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.
40. **Старовойт О.Е., Чепкунас Л.С., Коломиец М.В.** Хроника сейсмичности Земли. Землетрясения второй половины 2010 г. и природная катастрофа в Японии // Земля и Вселенная. – 2011. – № 4. – С. 100–105.
41. **Маловичко А.А., Старовойт О.Е., Габсатарова И.П., Коломиец М.В., Чепкунас Л.С.** Катастрофическое землетрясение Тохоку 11 марта 2011 г. в Японии // Сейсмические приборы. – 2011. – № 1. – С. 5–16.
42. **Lenta.Ru** [сайт]. – URL: <http://lenta.ru/news/2011/01/03/chile/>.
43. **Имба-читальня** [сайт]. – URL: <http://www.chitalnya.ru/work/1661305/>.
44. **Martin Stacey S., Kakar Din M.** Землетрясение 19 января 2011 г. с  $M_w=7.2$  в Далбандине, Белуджистан, Пакистан. The 19 January 2011  $M_w=7.2$  Dalbandin earthquake, Balochistan // Bull. Seismol. Soc. Amer. – 2012. – № 104. – N 4. – P. 1810–1819. – Англ. // →РЖ «Физика Земли». – 2014. – № 2 (реф. 66).
45. **Zhang Yuan-Sheng, Guo Xiao, Wei Cong-Xin, Shen Wen-Rong, Hui Shao-Xing.** Сообщение о сильных поверхностных колебаниях, зарегистрированных при землетрясении 24 марта 2011 г. в Мьянме с  $M_w=6.8$ . A note on the strong ground motion recorded during the  $M_w=6.8$  earthquake in Myanmar on 24 March 2011 / Ornthammarath Teraphan // Bull. Earthquake Eng. – 2013. – № 11. – N 1. – P. 241–254. – Англ. // →РЖ «Физика Земли». – 2013. – № 7 (реф. 98).
46. **Zhang Yuan-Sheng, Guo Xiao, Wei Cong-Xin, Shen Wen-Rong, Hui Shao-Xing.** Характеристики теплового излучения, связанного с сильными землетрясениями в Японии с  $MS=9.0$  и Мьянме с  $MS=7.2$ . Dìqiú wūlì хуэбао = Chin. J. Geophys. – 2011. – № 54. – N 10. – P. 2575–2580. – Кит.; рез. англ. // →РЖ «Физика Земли». – 2012. – № 5 (реф. 47).
47. **Старовойт О.Е., Чепкунас Л.С., Коломиец М.В.** Хроника сейсмичности Земли. Сейсмичность в январе-июне 2011 г. // Земля и Вселенная. – 2011. – № 6. – С. 102–106.
48. **Старовойт О.Е., Чепкунас Л.С., Коломиец М.В.** Хроника сейсмичности Земли. Сейсмичность Земли в июле-ноябре 2011 г. Разрушительное землетрясение в Турции // Земля и Вселенная. – 2012. – № 2. – С. 103–105.
49. **Galovic F., Ameri G., Zahradnik J., Jansky J., Plicka V., Sokos E., Askan A., Pakzad M.** Моделирование процесса в зоне разлома и широкополосных поверхностных колебаний при землетрясении 23 октября 2011 г. в окрестности города Ван (восток Турции). Fault process and broadband ground-motion simulations of the 23 October 2011 Van (Eastern Turkey) earthquake = Bull. Seismol. Soc. Amer. – 2013. – № 103. – N 6. – P. 3164–3178. – Англ. // →РЖ «Физика Земли». – 2014. – № 7 (реф. 76).