

**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 2003 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) для цифровых станций, участвующих при сводной обработке по программе WSG на основе волновых форм, поступивших в Обнинск в режиме, близком к реальному времени;

– сводок, поступавших в ССД по телефону с десяти аналоговых станций СНГ («Алма-Ата» в Казахстане, «Ашхабад» и «Ванновская» в Туркменистане, «Кишинёв» в Молдове, «Львов» и «Ужгород» в Украине, «Минск» в Беларуси, «Ташкент» в Узбекистане, «Фрунзе» в Кыргызстане, «Баку» в Азербайджане) [2];

– оперативных сводок, создаваемых в Информационно-обрабатывающем центре ГС РАН для семи цифровых станций («Чульман», «Красноярск», «Оленья Речка», «Шира», «Орешное», «Дивногорск», «Кызыл») по результатам выборочной обработки волновых форм, получаемых по программе передачи данных в режиме, близком к реальному времени;

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

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

– ежемесячных бюллетеней АСФ ГС СО РАН, БФ ГС СО РАН, МФ ГС РАН, ДФ ГС РАН со сводной обработкой землетрясений Алтая, Саян и пограничной области Россия–Монголия–Китай, Байкальской зоны, северо-восточной части России, Восточного Кавказа соответственно;

– ежедневных оперативных сводок из десяти стран мира (Финляндии, Дании, Польши, США, Германии, Румынии, Болгарии, Чехии, Словакии, Венгрии), 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 из международных сейсмологических центров США (NEIC), Австрии (IDC), Франции (CSEM), содержащих результаты сводной обработки землетрясений и станционные данные.

По числу станций телесеismicкая сеть ГС РАН на территории всей России и в Антарктиде в 2003 г., по сравнению с таковой в 2002 г. [1], осталась прежней, но некоторые измене-

ния коснулись станций Северного Кавказа в связи с заменой отдельных каналов аналоговой регистрации на цифровую [3].

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  $\lg N=(6.8\pm 0.3)-(0.78\pm 0.04)M$ .

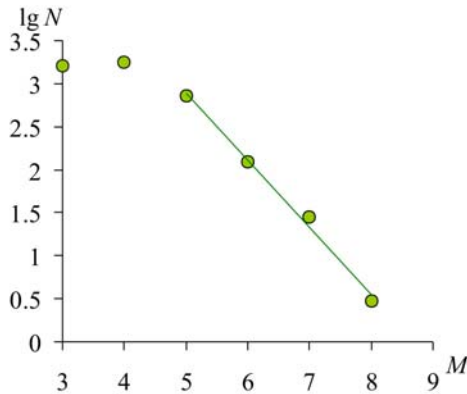


Рис. 1. График повторяемости землетрясений

Земли с  $h \leq 70$  км за 2003 г.

Земли с  $h \leq 70$  км за 2003 г. момент  $M_0$  определен для 13 землетрясений по спектрам  $P$ -волн. Использованы записи одной широкополосной цифровой станции «Обнинск».

Методика расчета основных параметров землетрясений, по сравнению с таковой в [1], не изменилась. Координаты гипоцентра  $\varphi$ ,  $\lambda$ ,  $h$  и время  $t_0$  возникновения землетрясения определялись с использованием телесейсмических [8–10] и региональных [11–12] годографов на основании данных о временах прихода продольных  $P$  ( $PKIKP$ )-волн на сейсмические станции по программе ЭПИ-74 [13]. Выделение максимума  $LRM$  поверхностных волн проводилось в соответствии с годографами [14, 15], определение магнитуд  $MS$  и  $MPSP$  – по максимальной скорости смещения  $(A/T)_{\max}$  в поверхностных и объемных волнах и соответствующим калибровочным кривым [16–19]. Детальное описание представления данных об основных параметрах очагов землетрясений в оперативном сейсмологическом каталоге и станционных данных в оперативном сейсмологическом бюллетене дано во Введении каждого экземпляра бюллетеня [4].

Оперативный сейсмологический каталог за 2003 г. [5], представленный в наст. сб., включает 5578 землетрясений с  $MPSP=3.4-7.0$ .

Для оценки сходимости результатов определения основных параметров землетрясений в бюллетенях ГС РАН [4] и ISC [20] проведено их сравнение для выборки из 154 сильных ( $M \geq 6.0$ ) землетрясений по разности  $\Delta t_0$  времен возникновения землетрясений (рис. 2), координат эпицентров ( $\Delta\varphi$ ,  $\Delta\lambda$ ) (рис. 3), магнитуд по поверхностным ( $\Delta M$ ) и продольным ( $\Delta m$ ) волнам (рис. 4).

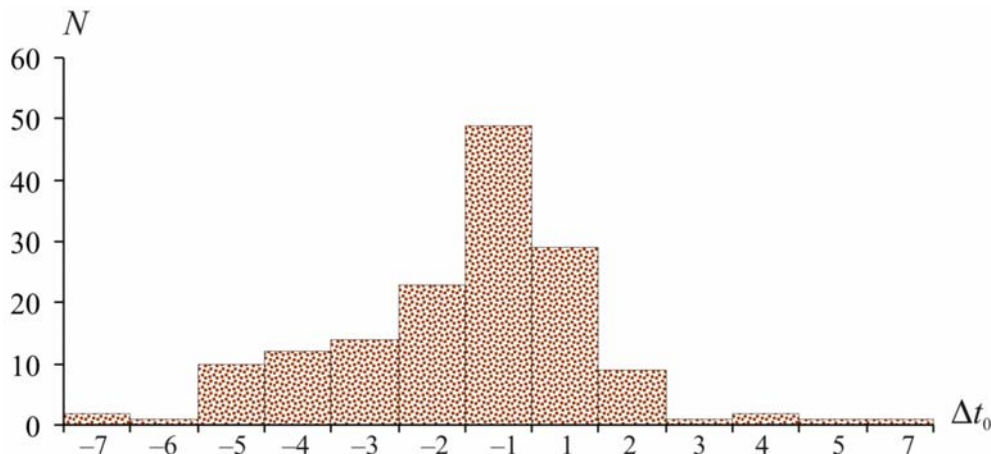


Рис. 2. Гистограмма распределения  $\Delta t_0$

Как видно из рис. 2, свыше 90% землетрясений имели разность  $\Delta t_0 \leq 5$  с, хотя для некоторых  $\Delta t_0 > 5$  с. В основном это удаленные землетрясения, для которых расположение станций, участвовавших в обработке данных в сейсмологическом бюллетене, одностороннее.

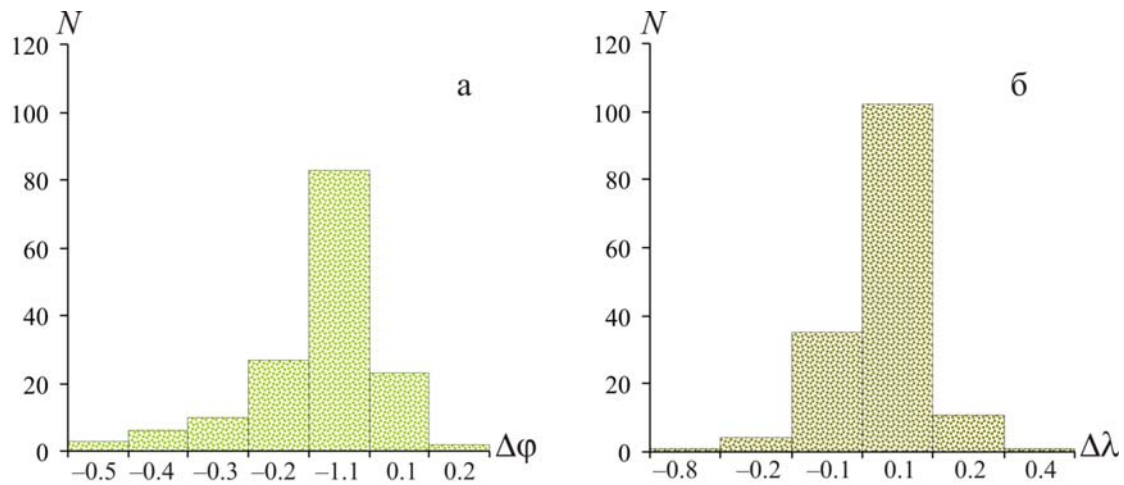


Рис. 3. Гистограммы распределения  $\Delta\phi$  (а) и  $\Delta\lambda$  (б)

Расхождение в положении эпицентров для более 90% землетрясений составило по широте от  $\Delta\phi = -0.3$  до  $\Delta\phi = +0.1$  (рис. 3 а), по долготе – от  $\Delta\lambda = -0.1$  до  $\Delta\lambda = +0.2$  (рис. 3 б).

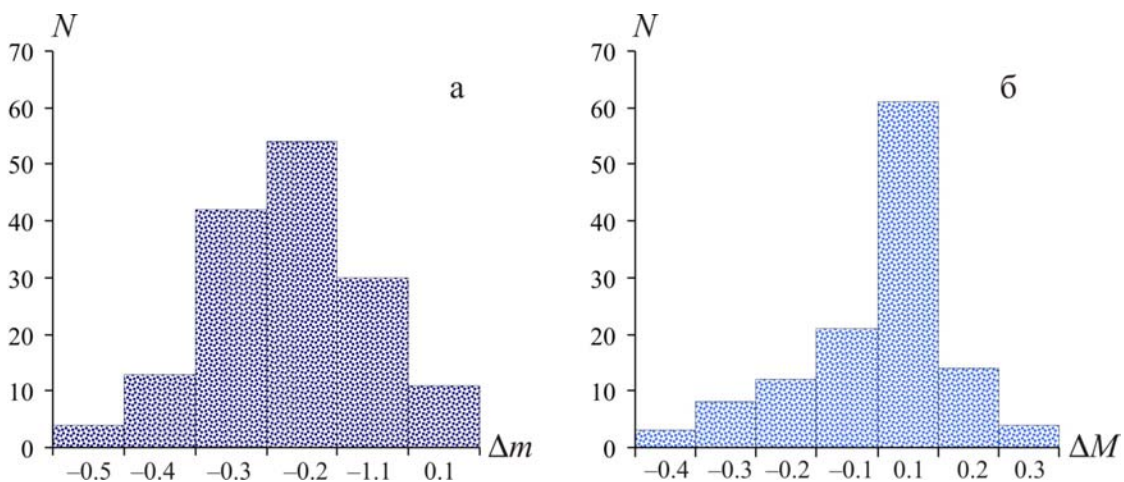


Рис. 4. Гистограммы распределения разностей  $\Delta m = m_b - MPSP$  (а) и  $\Delta M = M_s - MS$  (б)

Как следует из рис. 4 а, разница магнитуд  $\Delta m = m_b - MPSP$  по продольной волне для 94% 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 [20], в то время как для  $MPSP$  он может быть увеличен до 40–60 с [21]. Разница  $\Delta M = M_s - MS$  в магнитудах по поверхностным волнам гораздо меньше – для 96% из 117 рассмотренных землетрясений значения  $\Delta M$  составили не более  $\pm 0.3$  (рис. 4 б).

Карта эпицентров 5578 землетрясений 2003 г. [5] приведена на рис. 5.

Список наиболее сильных ( $M_w, MS, MPLP, MPSP \geq 7.0$ ) землетрясений Земли, составленный из оперативного каталога [5], содержит 16 событий (табл. 1), максимальное ( $MS = 8.3$ ) из которых произошло 25 сентября в 19<sup>h</sup>50<sup>m</sup> в Японии, о. Хоккайдо.

Решения механизма очагов для всех 16 землетрясений получены в Гарвардском центре США (HRVD) по методу тензора момента центраида и приведены из [20] в табл. 2 и на рис. 6. Из них землетрясения (1–6, 9–11, 13–16) локализованы в Тихоокеанском сейсмическом поясе, (7) – в Индийском, (8) – в Атлантическом, (12) – в Трансзиатском.

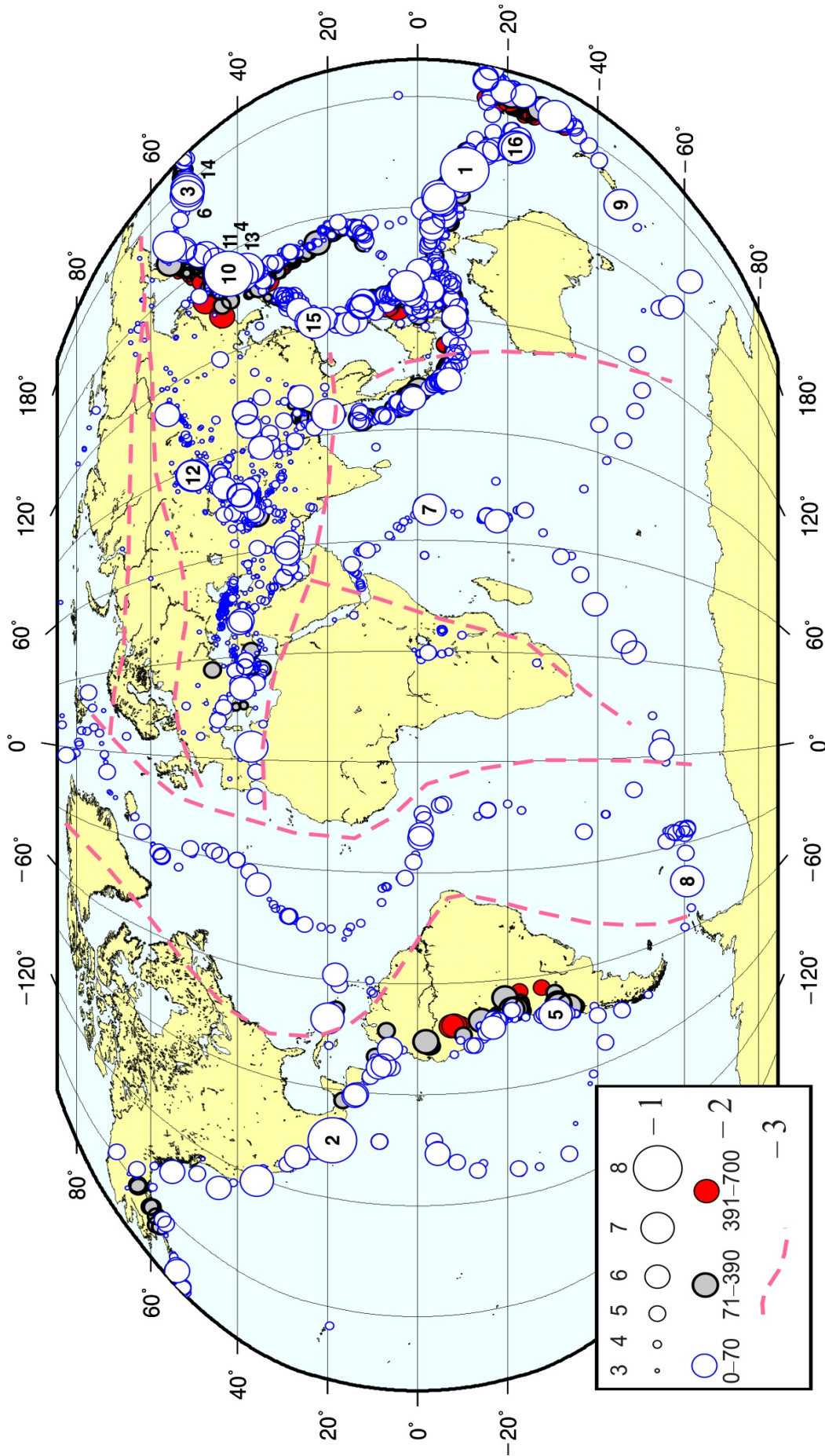


Рис. 5. Карта эпицентров землетрясений Земли за 2003 г.

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



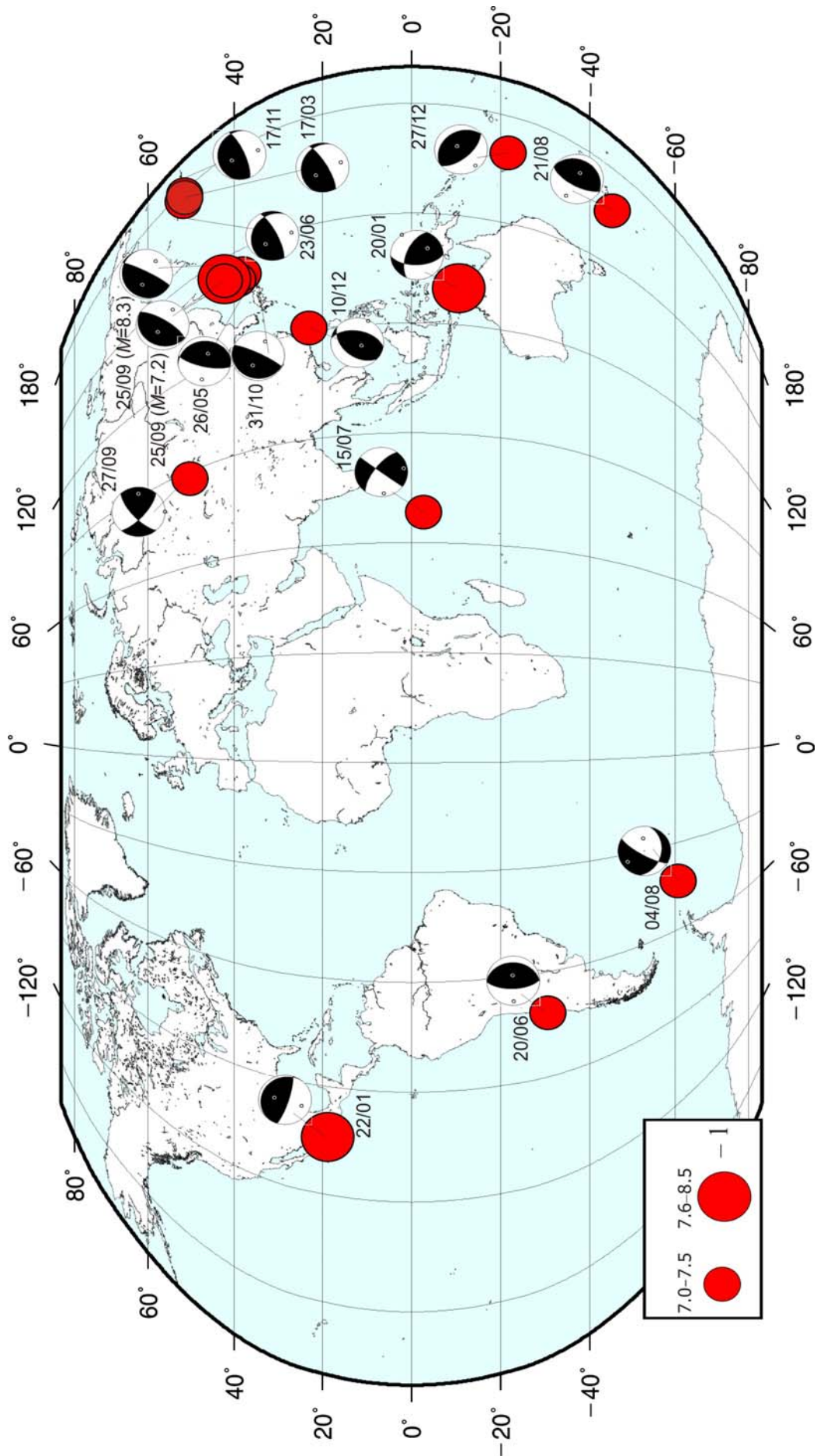


Рис. 6. Стереогаммы механизмов очагов сильных ( $M \geq 7.0$ ) землетрясений за 2003 г. в проекции нижней полусферы

Таблица 1. Список сильных ( $M \geq 7.0$ ) землетрясений Земли в 2003 г.

№	Дата, д м	$t_0$ , ч мин с	Эпицентр		$h$ , км	$M_0$ , Н·м OBN	Магнитуды				Номер пояса	Р а й о н
			$\varphi^\circ$	$\lambda^\circ$			$M_w$ OBN	$MS/n$	$MPLP/n$	$MPSP/n$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	20.01	08 43 07.0	-10.542	160.883	33f			7.6/19		6.7/16	I	Соломоновы острова
2 <sup>+</sup>	22.01	02 06 36.7	18.897	-104.096	33f			8/29	7.7/4	6.7/77	I	Побережье Халиско, Мексика
3 <sup>+</sup>	17.03	16 36 17.6	51.35	177.863	33f	$5.5 \cdot 10^{19}$	7.1	7.1/39	6.9/12	6.2/44	I	Крысьи острова, Алеуты
4 <sup>+</sup>	26.05	09 24 32.7	39.037	141.45	58	$7.2 \cdot 10^{19}$	7.2	6.9/40	7.4/7	7/68	I	Восточный Хонсю, Япония
5	20.06	13 30 42.3	-30.589	-71.682	33f			7/26		6.3/48	I	Побережье Централь- ного Чили
6 <sup>+</sup>	23.06	12 12 36.3	51.542	176.687	33f	$5.6 \cdot 10^{19}$	7.1	7.1/39	7.2/11	6.5/70	I	Крысьи острова, Алеуты
7	15.07	20 27 50.3	-2.593	68.313	10f	$3.9 \cdot 10^{19}$	7.0	7.2/41	6.8/10	6.1/26	IV	Хребет Карлсберга
8	04.08	04 37 20.9	-60.678	-43.312	10f			7.5/31	7.5/5	6.2/18	III	Море Скоша
9	21.08	12 12 51.7	-45.1	167.023	33f			7.3/27	7.1/7	6.6/31	I	Южный остров, Новая Зеландия
10 <sup>+</sup>	25.09	19 50 08.7	42.066	143.809	35	$1.7 \cdot 10^{21}$	8.1	8.3/24	7.5/6	6.7/45	I	Район Хоккайдо, Япония
11	25.09	21 08 00.2	41.801	143.518	35			7.2/23		6.3/26	I	Район Хоккайдо, Япония
12 <sup>+</sup>	27.09	11 33 26.5	50.007	87.738	24	$2.2 \cdot 10^{19}$	6.9	7.3/33	7/7	6.6/55	II	Юго-Западная Сибирь, Россия
13	31.10	01 06 31.7	37.872	142.569	33f			7/33	6.7/4	6.4/36	I	У восточного по- бережья Хонсю, Япония
14 <sup>+</sup>	17.11	06 43 07.7	51.295	178.64	38	$4.1 \cdot 10^{20}$	7.7	7.5/27	7.5/7	6.4/45	I	Крысьи острова, Алеуты
15	10.12	04 38 15.6	23.122	121.291	33f	$2.5 \cdot 10^{19}$	6.9	7/38	6.8/10	6.3/64	I	Тайвань
16	27.12	16 01 05.4	-21.696	169.637	33f			7/62	7.2/4	6.2/40	I	Юго-восточнее островов Лоялти

Примечание. Номера землетрясений в графе 1 соответствуют таковым в [5], верхний индекс (<sup>+</sup>) указывает наличие в [5] параметров механизма очага по первым вступлениям *P*-волн; в графе 6 фиксированная глубина индексирована буквой «f»;  $M_0$  и  $M_w$  определены по записям станции «Обнинск».

Таблица 2. Механизмы очагов сильных землетрясений мира в 2003 г. по HRVD [20]

№	Дата, д м	$t_0$ , ч мин с	$h$ , км	Магнитуды			Оси главных напряжений						Нодальные плоскости					
				$M_w$	$MS$	$MPSP$	<i>T</i>		<i>N</i>		<i>P</i>		<i>NP1</i>			<i>NP2</i>		
							<i>PL</i>	<i>AZM</i>	<i>PL</i>	<i>AZM</i>	<i>PL</i>	<i>AZM</i>	<i>STK</i>	<i>DP</i>	<i>SLIP</i>	<i>STK</i>	<i>DP</i>	<i>SLIP</i>
1	20.01	08 43 07.0	33		7.6	6.7	50	146	40	324	1	55	178	57	140	293	58	41
2	22.01	02 06 36.7	33		8.0	6.7	56	12	4	108	34	201	308	12	110	108	79	86
3	17.03	16 36 17.6	33	7.1	7.1	6.2	57	308	16	64	28	163	289	22	137	60	75	73
4	26.05	09 24 32.7	58	7.2	6.9	7.0	62	113	6	11	27	277	352	19	70	193	72	97
5	20.06	13 30 42.3	33	7.4	7.0	6.3	72	83	2	178	18	268	1	27	93	177	63	88
6	23.06	12 12 36.3	33	7.1	7.1	6.5	55	306	20	68	27	169	298	25	142	62	75	69
7	15.07	20 27 50.3	10	7	7.2	6.1	15	169	69	34	14	263	307	69	1	216	89	159
8	04.08	04 37 20.9	10		7.5	6.2	24	326	33	219	47	84	101	36	-23	210	76	-124
9	21.08	12 12 51.7	33		7.3	6.6	68	115	2	210	22	301	35	23	95	209	67	88
10	25.09	19 50 08.7	35	8.1	8.3	6.7	53	289	7	29	36	124	250	11	132	28	82	83
11	25.09	21 08 00.2	35		7.2	6.3	63	305	1	212	27	122	208	18	86	33	72	91
12	27.09	11 33 26.5	24	6.9	7.3	6.6	28	89	62	272	1	180	228	70	20	131	71	158
13	31.10	01 06 31.7	33		7.0	6.4	54	298	2	206	36	115	196	9	80	26	81	92
14	17.11	06 43 07.7	38	7.7	7.5	6.4	60	323	10	70	28	165	280	19	122	67	74	80

№	Дата, д м	$t_0$ , ч мин с	$h$ , км	Магнитуды			Оси главных напряжений						Нодальные плоскости					
				$M_w$	$MS$	$MPSP$	$T$		$N$		$P$		$NP1$			$NP2$		
							$PL$	$AZM$	$PL$	$AZM$	$PL$	$AZM$	$STK$	$DP$	$SLIP$	$STK$	$DP$	$SLIP$
15	10.12	04 38 15.6	33	6.9	7.0	6.3	74	217	16	24	4	115	221	44	113	10	51	69
16	27.12	16 01 05.4	33		7.0	6.2	73	43	2	140	16	231	324	29	95	139	61	87

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. 3, в сопоставлении с аналогичными данными за предыдущие 12 лет [1]. Как видим, в 2003 г. число землетрясений в интервале  $M=6-7$  составило  $N=138$ , что меньше среднего ( $\bar{N}=146 \pm 35$ ) за 12 лет, а в диапазоне  $M=7-8$  оно равно  $N=14$ , что сравнимо со средним значением ( $\bar{N}=14 \pm 5$ ). В отличие от прежних лет, в 2003 г. на земном шаре произошло два землетрясения с  $M \geq 8.0$ .

Таблица 3. Распределение числа землетрясений Земли в различных интервалах магнитуд  $M (MS, MPLP, MPSP) \geq 6.0$  за 1991–2003 гг.

Год	Число землетрясений в интервале $M$			Всего
	6.0–6.9	7.0–7.9	8.0–8.9	
1991	84	9		93
1992	117	13		130
1993	97	7		104
1994	136	14	1	151
1995	242	28		270
1996	217	15		232
1997	151	5		156
1998	113	12		125
1999	159	21		180
2000	169	17		186
2001	126	16	1	143
2002	139	11		150
Сумма	1750	168	2	1920
Среднее за 12 лет	$145.83 \pm 35$	$14.00 \pm 5$	$0.17 \pm 0.17$	$160 \pm 38$
2003	138	14	2	154

В табл. 4 дано распределение всех 5578 землетрясений Земли и их суммарной сейсмической энергии для последовательных интервалов магнитуд на разных глубинах. Для построения табл. 4 использованы лишь магнитуды  $MS$ , наблюдаемые (при их наличии) или же расчетные по формулам из [23]:

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

$$MS = 1.77 MPSP - 5.2, h = 70-390 \text{ км}, \quad (2)$$

$$MS = 1.85 MPSP - 4.9, h > 400 \text{ км}. \quad (3)$$

Сейсмическая энергия рассчитывалась по формулам К. Касахара [24]:

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

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

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

Таблица 4. Число землетрясений Земли с разными магнитудами и глубинами и суммарная сейсмическая энергия в 2003 г.

$h$ , км	$M$							$N_\Sigma$	$\Sigma E$ , $10^{15}$ Дж
	$\leq 2.5$	2.6–3.5	3.6–4.5	4.6–5.5	5.6–6.5	6.6–7.5	7.6–8.5		
$\leq 70$	188	1618	1802	729	125	28	3	4493	334.92
71–390	351	375	138	25	11			900	0.91
$\geq 391$	28	62	68	16	10	1		185	0.22
$N_\Sigma$	567	2055	2008	770	146	29	3	5578	336.05

График повторяемости землетрясений Земли на рис. 1 построен по данным первой строки табл. 4. Величина его наклона, равная  $b = -0.78$  в 2003 г., меньше средних долговременных значений  $b = -0.9$  по [8], но сравнима с  $b = -0.71$  в 2001 г. [25].

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), Индийский (IV). Распределение суммарной сейсмической энергии, выделившейся в 2003 г. при землетрясениях с  $M (MS, MPLP, MPSP) \geq 6.0$  в различных сейсмических поясах, дано в табл. 5.

**Таблица 5.** Распределение числа землетрясений с  $M (MS, MPLP, MPSP) \geq 6.0$  и суммарной сейсмической энергии  $\Sigma E$  по сейсмическим поясам

№	Сейсмический пояс	Число землетрясений с $M$		$\Sigma E$ , $10^{15}$ Дж
		6.0–6.9	$\geq 7.0$	
I	Тихоокеанский	104	13	306.75
II	Трансазиатский	18	1	10.31
III	Атлантический	8	1	12.26
IV	Индийский	8	1	4.29
	Сумма	138	16	333.61

Общее количество выделившейся в 2003 г. сейсмической энергии на земном шаре больше таковой в 2002 г. ( $\Sigma E = 71.95 \cdot 10^{15}$  Дж [1]) и сравнимо с энергией в 2001 г. ( $\Sigma E = 323.35 \cdot 10^{15}$  Дж [25]). Это связано прежде всего с различным числом  $N$  сильных землетрясений с  $M \geq 7$  (в 2001 г. оно составило  $N=17$ , 2002 г. – 11, 2003 г. – 16, из которых два (2 и 10 в табл. 3) с  $M \geq 8$  произошли 22 января в 02<sup>h</sup>06<sup>m</sup> с  $MS=8.0$  в Мексике и 25 сентября в 19<sup>h</sup>50<sup>m</sup> с  $MS=8.3$  в Японии [5]). Из табл. 5 следует, что около 92% всей энергии выделилось в Тихоокеанском сейсмическом поясе (I), в остальных (II–IV) – менее 8%. Ниже рассматривается каждый из сейсмических поясов более детально.

В пределах **Тихоокеанского пояса (I)**, как и ранее [1], сосредоточена большая часть землетрясений, в том числе 13 из 16 землетрясений с  $MS \geq 7.0$ . Обобщая все данные параметров механизмов их очагов, отметим, что во всех очагах характер подвижек в основном взбросо-надвиговый (для (1) – в движении отмечается сдвиг с компонентами взброса). Землетрясения (1, 3–6, 9–11, 13–16) произошли под превалирующим действием сжимающих напряжений, землетрясение (2) – под действием как сжимающих, так и растягивающих напряжений. Различия наблюдались лишь в ориентации осей напряжений и нодальных плоскостей.

Сейсмическую хронику 2003 г. начинает сильное ( $MS=7.6$ ) землетрясение (1), зафиксированное 20 января в 08<sup>h</sup>43<sup>m</sup> в районе Соломоновых островов, в 135 км от г. Хониар. Оно возникло под действием сжимающих напряжений, ориентированных в северо-восточном направлении. Обе нодальные плоскости залегают достаточно круто под равными углами (табл. 2), тип движения по обеим плоскостям – сдвиг (правосторонний – по  $NP1$ , левосторонний – по  $NP2$ ) с компонентами взброса. Это было одно из самых сильных землетрясений в Коралловом море Тихого океана за последние десятилетия [27].

В западной части Тихоокеанского пояса прослеживается полоса эпицентров от Аляски вдоль Карибской петли до Мексики, где 22 января в 02<sup>h</sup>06<sup>m</sup> отмечено одно из сильнейших ( $MS=8.0$ ) землетрясений (2) [28]. Особенно пострадал штат Колима, расположенный на Тихоокеанском побережье и ближе других к эпицентру подземных толчков. Там жертвами стихийного бедствия стали 19 человек. В столице одноименного штата г. Колима полностью разрушено 800 домов. Один человек погиб в соседнем штате Халиско, где зарегистрированы отдельные разрушения, а также остановлено движение по автомобильному мосту, несущие конструкции которого пострадали из-за колебаний земной коры. Подземные толчки ощущались на значительной части мексиканской территории, в том числе в столице страны – Мехико, где во время землетрясения миллионы людей покинули дома. В некоторых районах города нарушилась подача электроэнергии, а также произошел сбой в работе телефонной связи. В стенах нескольких зданий, расположенных в центре города, появились трещины. Однако из-за значительного



(>500 км) расстояния серьезных разрушений не отмечено. Землетрясение возникло под действием как сжимающих, так и растягивающих напряжений, ориентированных с юго-запада на северо-восток. Обе нодальные плоскости имеют северо-западное простирание (табл. 2). Плоскость  $NP1$  – пологая, движение по ней представлено надвигом с компонентами правостороннего сдвига, плоскость  $NP2$  – крутопадающая, движение по ней представлено взбросом с компонентами левостороннего сдвига. Случившееся землетрясение – одно из самых сильных и разрушительных на территории Мексики, находящейся в зоне повышенной сейсмической активности. Всем памятна катастрофа 1985 г., когда подземные толчки с магнитудой  $MS=8.5$  вызвали массовые разрушения в г. Мехико и привели к гибели более 10 000 человек [29].

Далее цепочка землетрясений протягивается до Центральной и Южной Америки. На побережье Центрального Чили сильнейшим ( $MS=7.0$ ) было землетрясение (5), отмеченное 20 июня в 13<sup>h</sup>30<sup>m</sup>. Механизм его очага представлен надвигом по пологой плоскости  $NP1$  и взбросом по  $NP2$ . Обе нодальные плоскости простираются в близмеридиональном направлении (табл. 2). В движении преобладают сжимающие напряжения, ориентированные на запад.

На востоке Тихоокеанского сейсмического пояса цепочка эпицентров наблюдается от Алеутской дуги, где в районе Крысыих островов произошли три сильных землетрясения: (3, 6, 14) 17 марта в 16<sup>h</sup>36<sup>m</sup> с  $MS=7.1$ , 23 июня в 12<sup>h</sup>12<sup>m</sup> с  $MS=7.1$ , 17 ноября в 06<sup>h</sup>43<sup>m</sup> с  $MS=7.5$ . Далее сейсмичность развивается вдоль Курило-Камчатской дуги, от Японии до Марианских, Филиппинских, Молуккских, Новогейбридских островов.

Землетрясения (4, 13) отмечены в Японии близ о. Хонсю 26 мая в 09<sup>h</sup>24<sup>m</sup> с  $MS=6.9$  и 31 октября в 01<sup>h</sup>06<sup>m</sup> с  $MS=7.0$ , одно (15) – в районе Тайваня 10 декабря в 04<sup>h</sup>38<sup>m</sup> с  $MS=7.3$ . По данным ИТАР ТАСС, в результате землетрясения 26 мая произошли оползни, автоматически остановился один из реакторов атомной электростанции Онагава, местами отмечено вспучивание дорожного покрытия на автодорогах, наблюдались перебои в работе сети мобильных телефонов. В районе землетрясения временно было остановлено движение поездов на скоростных железнодорожных линиях. Решение механизма очага по данным HRVD для землетрясения (13), подобно таковому для (4): землетрясение произошло также под действием сжимающих напряжений, одна плоскость – пологая с подвижкой типа надвиг, другая – крутопадающая с подвижкой типа взброс [22]. Различие наблюдается в направлении падения плоскостей, в случае (4) пологая плоскость падает на запад, крутопадающая – на восток, в случае (13) пологая плоскость падает на восток, крутопадающая – на запад. В очаге землетрясения (15) с  $MS=7.0$  преобладают сжимающие напряжения, ориентированные на юго-восток (табл. 2). Обе плоскости крутопадающие, северо-восточного простирания, тип движения по ним – взброс с компонентами сдвига (правостороннего по плоскости  $NP1$  и левостороннего – по плоскости  $NP2$ ).

Близ о. Хоккайдо 25 сентября в 19<sup>h</sup>50<sup>m</sup> возникло землетрясение (10) с  $MS=8.3$ . Это самое мощное в мире землетрясение за последние два года, сопровождавшееся сильным ( $MS=7.2$ ) афтершоком (11) и волнами цунами. Два человека погибли, примерно 420 ранены [28]. В г. Томакомаи загорелся гигантский резервуар нефтехранилища, который на момент начала землетрясения был наполнен топливом под завязку. На о. Хоккайдо было серьезно нарушено движение транспорта. В районе г. Омбецу с рельсов сошел пассажирский поезд, около 40 пассажиров получили ранения. К счастью, возникшие волны цунами не вызвали дополнительных разрушений (максимальная высота волны не превысила 1.3 м). Толчки ощущались в Токио на расстоянии около 1000 км от эпицентра. Механизм очага сильнейшего афтершока по HRVD [20] подобен решениям для главного толчка (10) по данным MOS и HRVD [22].

На юго-востоке Тихоокеанского сейсмического пояса в районе южных островов Новой Зеландии и Лоялти произошли два сильных землетрясения (9, 16): 21 августа в 12<sup>h</sup>27<sup>m</sup> с  $MS=7.3$  и 27 декабря в 16<sup>h</sup>01<sup>m</sup> с  $MS=7.0$  соответственно. Механизм очага землетрясения (9) представлен надвигом по пологой плоскости  $NP1$  и взбросом по  $NP2$ . Обе нодальные плоскости простираются в северо-восточном направлении (табл. 2). В движении преобладают сжимающие напряжения, ориентированные на северо-запад. По пологой плоскости  $NP1$  – подвижка типа надвиг с компонентами правостороннего сдвига, по крутопадающей плоскости  $NP2$  – «чистый» взброс. В очаге землетрясения (16) обе нодальные плоскости имеют северо-западное простирание. В движении преобладают сжимающие напряжения, ориентированные на юго-запад. По пологой плоскости  $NP1$  – подвижка типа надвиг с компонентами правостороннего сдвига, по крутопадающей плоскости  $NP2$  – «чистый» взброс.

В **Трансазиатском поясе (II)**, куда входят Средиземноморская Европа, Восточная и Центральная Азия, отмечается достаточно высокая плотность эпицентров (рис. 5). В основном здесь происходят землетрясения с  $h < 70$  км, но в районах Вранча, Памира и Гиндукуша стабильно происходят землетрясения с промежуточной глубиной очагов  $h = 70\text{--}270$  км. В 2003 г. значительная сейсмическая активизация отмечена в районе Центральной России, на Алтае, где 27 сентября в 11<sup>h</sup>33<sup>m</sup> произошло разрушительное землетрясение (12) с  $MS=7.3$  [28, 30]. Ниже описаны семь разрушительных землетрясений Трансазиатского пояса с  $M < 7$ .

– В Синьцзян-Уйгурском автономном районе на северо-западе Китая 24 февраля в 02<sup>h</sup>03<sup>m</sup> произошло разрушительное землетрясение с магнитудой  $MS=6.3$ , после которого ощутимые подземные толчки фиксировались и через несколько месяцев, например, 4 мая с магнитудой  $MS=5.5$ , когда погиб, по меньшей мере, один человек, еще три человека получили легкие ранения [28].

– В Турции землетрясение 1 мая в 00<sup>h</sup>27<sup>m</sup> с  $MS=6.0$  продолжило ряд многих разрушительных землетрясений в недавнем прошлом [28]. Оно произошло в восточной турецкой провинции Бингель, в 665 км к востоку от столицы Анкары и ощущалось на значительной части территории восточной Турции. Погибли 167 человек и свыше 500 получили ранения. Территория Турции относится к тектонически активному региону, к зоне столкновения двух плит: Аравийской и Евразийской. Здесь часто происходят разрушительные землетрясения.

– В Алжире жертвами сильного ( $MS=6.6$ ) землетрясения, возникшего 21 мая в 18<sup>h</sup>44<sup>m</sup>, стали более 2 000 человек, ранено свыше 10 000. Особенно пострадала находящаяся к востоку от алжирской столицы провинция Бумердес, где зарегистрировано наибольшее число погибших, разрушено 38 многоэтажных жилых домов [28].

– На границе Казахстан–Кыргызстан 22 мая в 18<sup>h</sup>11<sup>m</sup> зарегистрировано землетрясение с  $MS=5.5$ , которое ощущалось на значительной территории Средней Азии: в Кыргызстане (Бишкек,  $I=4\text{--}5$  баллов), в Казахстане (Алматы,  $I=3\text{--}3.5$  баллов), в Узбекистане (Андижан, Ташкент,  $I=2.5\text{--}3$  балла). По сообщениям ИТАР-ТАСС, в результате стихийного бедствия погибли три человека, один человек госпитализирован и 25 получили незначительные травмы. Было повреждено 7 320 жилых домов, из которых 4 175 разрушены полностью. Более 20 500 человек остались без крова [28].

– На юго-западе Китая в провинции Юньнань 21 июля в 15<sup>h</sup>18<sup>m</sup> произошло разрушительное землетрясение с магнитудой  $MS=6.0$ , в результате которого погибли 16 человек и более 390 получили ранения. Землетрясение произошло в двенадцатом часу ночи, когда большинство местных жителей уже спали. Самый сильный ущерб нанесен г. Таньхуа, рядом с которым находился эпицентр землетрясения. От удара стихии пострадало множество горных деревень и поселков. В зоне бедствия разрушены более 18 000 крестьянских домов и строений, включая школы и административные здания. Повреждены шоссе и районная гидроэлектростанция. Местами прервано электроснабжение и коммуникации. Всего в зоне бедствия оказались более 1 000 000 человек [28].

– В центральной части Мьянмы (Бирмы) 21 сентября в 18<sup>h</sup>16<sup>m</sup> произошло землетрясение с магнитудой  $MS=6.8$ , в результате которого разрушены три древние буддийские пагоды и речной мост в г. Таундуинджи в 350 км к северу от столицы Янгона (Рангуна) [28].

– На юго-востоке Ирана 26 декабря в 01<sup>h</sup>56<sup>m</sup> произошло катастрофическое землетрясение с  $MS=6.5$ . Уездный г. Бам, на который пришелся эпицентр, разрушен на 90%. До трагедии его население составляло около 100 000 человек, из которых погибли около 41 000, больше 50 000 получили ранения. Землетрясение случилось ранним утром, когда город спал, что послужило одной из причин большого числа человеческих жертв. Землетрясение сопровождалось многочисленными афтершоками. В Баме – одном из древнейших городов Земли – разрушены многие памятники культуры, например исторический замок Арг-э-Бам – самое большое в мире архитектурное сооружение из кирпича [31]. По оценкам сейсмологов Ирана, макросейсмическая интенсивность землетрясения  $I_0=9$ , в Баравате – 8, в Арг-э-Джадид – 7, в Кермане и Махане – 4–5 баллов. На рис. 7 приведена карта изосейст землетрясения, на которой видна их вытянутость в север–северо-восточном направлении, совпадающем с простиранием разломов и распределением эпицентров в зоне Лут [32].

В **Атлантическом поясе (III)** четко выделяются цепочки эпицентров вдоль Срединно-Атлантического хребта, протягивающегося с севера на юг. Они оконтуривают границы четы-

рех тектонических литосферных плит: Евроазиатской, Африканской, Североамериканской и Южно-Американской. В этом поясе близ Антарктиды в 2003 г., как и в [1], локализована группа землетрясений с  $MS \geq 6$  (рис. 5), а в районе моря Скоша 4 августа в  $04^h 37^m$  отмечено одно сильное ( $MS=7.5$ ) землетрясение (8). Движение в его очаге произошло под действием преобладания растягивающих напряжений (табл. 2). Тип движения по пологой плоскости  $NP1$ , простирающейся с юго-востока на северо-запад, представлен левосторонним сдвигом с компонентами сброса, по крутопадающей  $NP2$ , простираение которой с юго-запада на северо-восток, отмечается сброс с компонентами правостороннего сдвига.

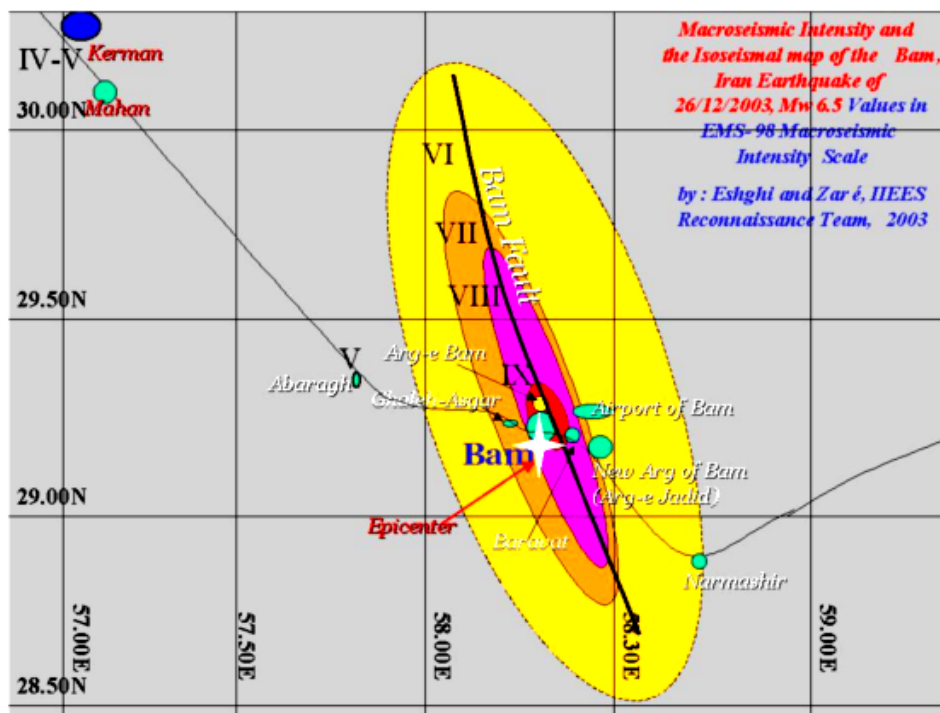


Рис. 7. Карта изосейст Бамского землетрясения 26 декабря в  $18^h 16^m$  с  $MS=6.8$  в Турции по [32]

В Индийском сейсмическом поясе (IV) попережнему обращают на себя внимание Су-матринские землетрясения ( $N=9$  событий с  $MS \geq 5$  [4, 22]) в основном с очагами в земной коре (рис. 5), хотя их число в 2003 г. значительно уменьшилось, по сравнению с таковым в 2002 г. ( $N=145$ ) [1]. Они протягиваются вдоль Андаманских, Никобарских островов и о. Суматра, обрамляя с востока и юга зоны вокруг Австралии и Новой Зеландии. Вместе с тем на юге этого региона 15 июля в  $20^h 27^m$  в районе хр. Карлсберга отмечено сильное ( $MS=7.2$ ) землетрясение (7) (табл. 1). Движение в его очаге произошло под действием близких по величине напряжений сжатия и растяжения, направленных на запад и юг соответственно (табл. 2). Простираение плоскости  $NP1$  – северо-западное,  $NP2$  – северо-восточное. Обе плоскости залегают достаточно круто, движение по ним представлено сдвигами – левосторонним по  $NP1$ , правосторонним (с вертикальной компонентой) – по  $NP2$ .

#### 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 телесейсмическим наблюдениям ГС РАН // Землетрясения Северной Евразии, 2002 г. – Обнинск: ГС РАН, 2008. – 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. Габсатарова И.П., Девяткина Л.В., Селиванова Е.А. Северный Кавказ. (См. раздел I (Обзор сейсмичности) в наст. сб.).

4. **Сейсмологический бюллетень (ежедекадный) за 2003 год** / Отв. ред. О.Е. Старовойт. – Обнинск: ГС РАН, 2003–2004.
5. **Шаторная Н.В. (отв. сост.), Бабкина В.Ф., Аторина М.А., Рыжикова М.И., Щербакова А.И.** Каталог землетрясений Земли за 2003 год. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
6. **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.
7. **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.
8. **Рихтер Ч.** Элементарная сейсмология. – М.: Иностранная литература, 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. – № 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). – 1978. – С. 30–38.
12. **Wadati K.** Travel time *P* and *S*-waves // Geophys. Mag. – 1933. – № 11.
13. **Епифанский А.Г.** Определение параметров гипоцентров и магнитуд землетрясений в телесеismicческой зоне (ЭПИ-74) // Алгоритмы и практика определения параметров гипоцентров землетрясений на ЭВМ. – М.: Наука, 1983. – С. 92–97.
14. **Архангельская В.М.** Использование записей поверхностных волн при интерпретации сейсмограмм // Бюллетень Совета по сейсмологии. – М.: АН СССР, 1957. – № 6. – С. 81–88.
15. **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.
16. **Gutenberg В., Richter С.** Earthquake magnitude, intensity, energy and acceleration // Bull. Seism. Soc. Am. – 1942. – 32. – № 3. – P. 163–191.
17. **Gutenberg В., Richter С.** Earthquake magnitude, intensity, energy and acceleration // Bull. Seism. Soc. Am. – 1956. – 46. – № 2. – P. 105–145.
18. **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. геофизич. – 1962. – № 2. – С. 153–158.
19. **Горбунова И.В., Шаторная Н.В.** О калибровочной кривой для определения магнитуды землетрясений по волнам *PKIKP* // Физика Земли. – 1976. – № 7. – С. 77–81.
20. **Bulletin of the International Seismological Centre for 2003.** – Berkshire: ISC, 2005–2006.
21. **Инструкция о порядке производства и обработки наблюдений на сейсмических станциях Единой системы сейсмических наблюдений СССР.** – М.: Наука, 1982. – 273 с.
22. **Захарова А.И., Чепкунас Л.С., Малянова Л.С.** Очаговые параметры сильных землетрясений Земли. (См. раздел II (Спектры и динамические параметры очагов землетрясений) в наст. сб.).
23. **Кондорская И.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.
24. **Касахара К.** Механика землетрясений. – М.: Мир, 1985. – С. 25.
25. **Чепкунас Л.С., Болдырева Н.В.** Оперативная обработка землетрясений мира по телесеismicским наблюдениям ГС РАН // Землетрясения Северной Евразии в 2001 году. – Обнинск: ГС РАН, 2007. – С. 259–272.
26. **Гутенберг Б. и Рихтер Ч.** Сейсмичность Земли. – М.: ИЛ, 1948. – 160 с.
27. **Старовойт О.Е., Чепкунас Л.С., Габсатарова И.П.** Хроника сейсмичности Земли (октябрь 2002 г. – февраль 2003 г. // Земля и Вселенная. – 2003. – № 4. – С. 92–95.
28. **Старовойт О.Е., Чепкунас Л.С., Габсатарова И.П.** Хроника сейсмичности Земли (больше тысячи землетрясений) // Земля и Вселенная. – 2004. – № 1. – С. 90–94.

29. **Шаторная Н.В.** Сильные землетрясения мира // Землетрясения в СССР в 1985 году. – М: Наука, 1988. – С. 182–184.
30. **Старовойт О.Е., Чепкунас Л.С., Габсатарова И.П.** Параметры Алтайского землетрясения 2003 г. и его афтершоков по телесеismicким данным // Сильное землетрясение на Алтае 27 сентября 2003 г. (материалы предварительного изучения). – М.: ИФЗ РАН, 2004. – С. 14–24.
31. **Старовойт О.Е., Чепкунас Л.С., Габсатарова И.П.** Хроника сейсмичности Земли: трагедия города Бам в Иране // Земля и Вселенная. – 2004. – № 3. – С. 102–104.
32. **International Institute of Earthquake Engineering and Seismology**, Tehran, P.O.Box: 19395/3913, IRAN, e-mails: 1) [s.eshghi@dena.iiees.ac.ir](mailto:s.eshghi@dena.iiees.ac.ir), 2) [mzare@dena.iiees.ac.ir](mailto:mzare@dena.iiees.ac.ir)