

**СИЛЬНЕЙШИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 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 2010 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 (в коде МСК-85);

– сводок по конкретным землетрясениям (в коде МСК-85), формируемых в Службе срочных донесений (ССД) ГС РАН [2] по данным цифровых станций, участвовавших при сводной обработке по программе WSG [3] на основе волновых форм, поступивших в Обнинск в режиме, близком к реальному времени;

– оперативных сводок, создаваемых в Информационно-обрабатывающем центре (ИОЦ) ГС РАН для станций «Обнинск», «Билибино», «Кисловодск» и «Цей» по результатам обработки записей всех землетрясений;

– оперативных сводок, создаваемых в ИОЦ ГС РАН для станции «Владивосток» (VLA) – по результатам обработки волновых форм записей землетрясений из регионов Монголия и граница Россия – Монголия, Дальний Восток, получаемых с дисков;

– оперативных сводок из региональных сейсмологических центров России и СНГ по 29 станциям Камчатского филиала ГС РАН, семи – Сахалинского филиала ГС РАН и 19 – Казахстанского национального центра данных;

– оперативных сводок, создаваемых в ИОЦ ГС РАН из ежедекадных станционных бюллетеней на бумажных носителях по данным 12 телесеизмических и региональных станций, из которых девять («Бодайбо», «Гофицкое», «Закаменск», «Кульдур», «Монды», «Николаевск-на-Амуре», «Северо-Курильск», «Тымовское» и «Чита») расположены в России и три («Львов», «Ужгород», «Делиси») – в ближнем зарубежье;

– ежемесячных бюллетеней Алтае-Саянского (11 станций) и Байкальского (24 станции) филиалов ГС СО РАН со сводной обработкой землетрясений Алтая, Саян, пограничных областей России с Монголией и Китаем, Байкальской зоны;

– ежемесячных бюллетеней Магаданского филиала ГС РАН (32 станции МФ ГС РАН и ЯФ ГС СО РАН) со сводной обработкой землетрясений Северо-Востока России;

– ежемесячных бюллетеней Дагестанского (16 станций), Северо-Осетинского (12 станций) филиалов ГС РАН и лаборатории сейсмического мониторинга КМВ ГС РАН со сводной обработкой землетрясений Восточного и Северного Кавказа;

– бюллетеней сводной обработки землетрясений со станционными данными сети сейсмических станций Крыма для землетрясений западной зоны Северного Кавказа, Турции и Румынии;

– ежедневных оперативных сводок из десяти стран мира (Германия, Голландия, Дания, Польша, Португалия, Румыния, Словакия, США, Финляндия, Чехия), поступавших по электронной почте;

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

Всего в Оперативной службе ГС РАН в 2010 г. использовались данные 728 сейсмических станций ГС РАН, ГС СО РАН, других российских ведомств и мировой сети, изображенных на рис. 1. Как видно, подавляющее число используемых станций размещено в Северном полушарии, особенно в районах самой высокой плотности населения – в Европе. Список всех станций дан в Приложении к наст. сб. [4].

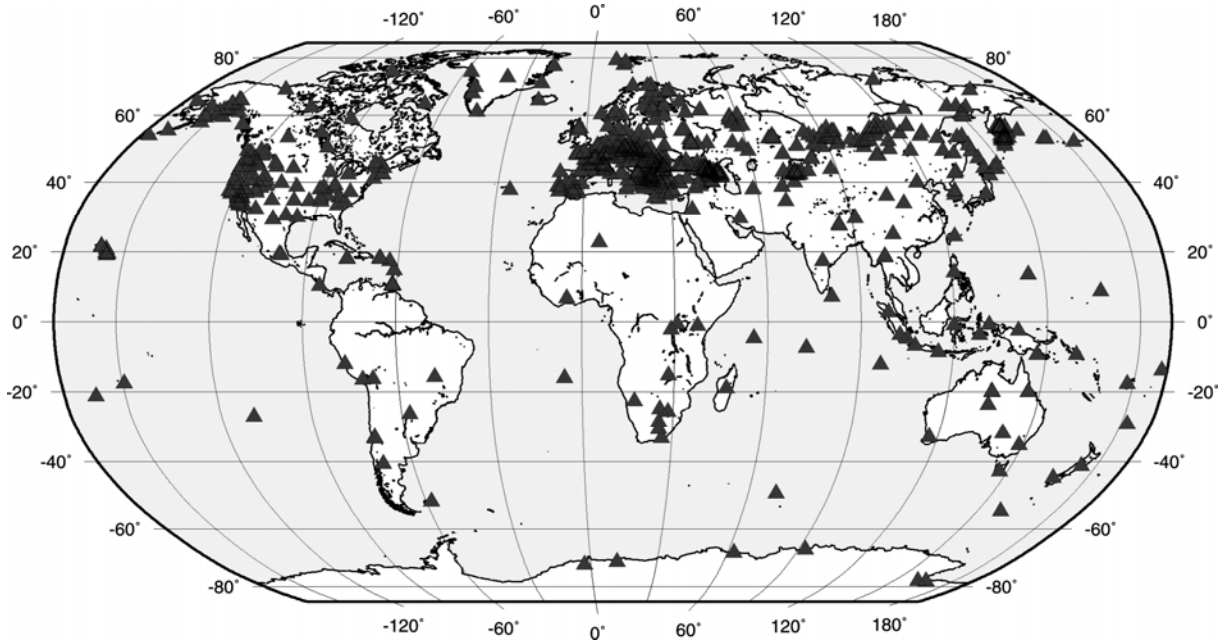


Рис. 1. Сейсмические станции мира, данные которых использовались при составлении Сейсмологического бюллетеня за 2010 г.

Проведено сравнение списка станций, участвовавших в Оперативной службе в 2009 [5] и 2010 гг. [4]. При составлении Сейсмологического бюллетеня (СБ) [6] в 2010 г. использовались данные 728 станций, в 2009 г. – 710 станций. Сравнение показало, что 100 станций (в т.ч. 44 российских, из них 36 впервые участвуют в СБ, из них одна – новая и шесть – перенесенных на другое место) из списка 2010 г. не использовались в сводной обработке в 2009 г. В то же время 80 станций из списка 2009 г. (в т.ч. пять российских) не участвовали в СБ за 2010 г.

Сеть станций ГС РАН и ГС СО РАН на территории России, участвовавших в оперативной обработке, увеличилась со 138 в 2009 г. [5] до 169 в 2010 г. [4]. В 2010 г. в Краснодарском крае открыта станция «Красная Поляна» (RPOR), в Северной Осетии аппаратура со станции «Сунжа» перенесена в пос. Комгарон [7].

В Оперативную службу в 2010 г. начали поступать данные станций «Арик» (KRX), «Еремизино-Борисовская» (ERBR), «Кизимен» (KZV) и «Корякский ретранслятор» (KRER), открытых в 2009 г., станций «Возрождение» (VOZR), «Лабинск» (LABN), «Мутновский» (MTVR) и «Мыс Шульца» (MSHR), открытых в 2008 г., а также станций, перенесенных на другое место в 2008–2009 гг. – «Ардон» (ARNR), «Воронеж» (VORR), «Грозный» (GROC), «Калининград» (KLNR) и «Пятигорск» (PYA1). Следует отметить большое число (17) станций Камчатского филиала ГС РАН, подключившихся в 2010 г. к работе в Оперативной службе.

Описанная сеть станций обеспечила в 2010 г. уровень представительной магнитуды для всей Земли с $M_{\min}=5.0$, как это следует из графика повторяемости для 3855 землетрясений с $h \leq 70$ км (рис. 2). Уравнение графика имеет вид:

$$\lg N = (7.3819 - 0.8674) \cdot MS^* \quad (1)$$

Для его построения использованы наблюдаемые магнитуды землетрясений MS ($N_{MS}=987$) из [6] и пересчитанные магнитуды MS^* ($N_{MS^*}=2868$) из [8] по формуле из [9]:

$$MS^* = 1.59 \cdot MPSP - 3.67, \quad h \leq 70 \text{ км.} \quad (2)$$

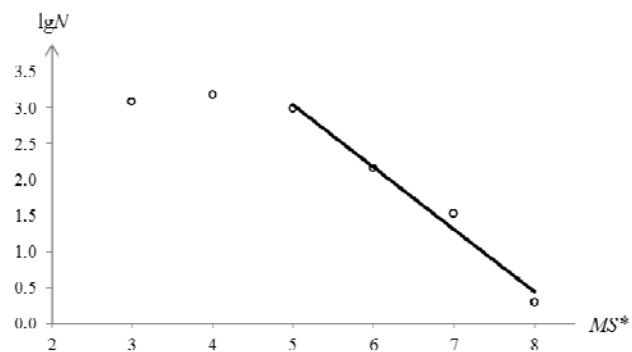


Рис. 2. График повторяемости землетрясений Земли с $h \leq 70$ км за 2010 г.

Выходные потоки информации Оперативной службы ГС РАН включали ежедекадные оперативные бюллетени ГС РАН [6] и сейсмологические каталоги [10]. Их рассылка осуществлялась в основном по электронной почте в заинтересованные государственные учреждения и региональные сейсмологические центры России, сейсмологические центры СНГ, а также в международные сейсмологические центры: МЦД (Международный центр данных, г. Москва, Россия), ISC (Международный сейсмологический центр, г. Татчам, Великобритания) и NEIC (Национальный сейсмический информационный центр, г. Денвер, США). Сейсмологические каталоги и бюллетени регулярно помещались на Web-страницу ГС РАН [11].

Методика определения 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 [12] с использованием телесеismicких [13, 14] и региональных [16, 17] годографов на основании данных о временах прихода продольных $P(PKIKP)$ -волн на сейсмические станции. Максимум поверхностных волн LRM выделялся в соответствии с годографами [18, 19], определение магнитуд MS и $MPSP$ производилось по максимальной скорости смещения $(A/T)_{\max}$ в поверхностных и объемных волнах и соответствующим калибровочным кривым [20–24].

Итоговый сейсмологический каталог за 2010 г. [8] включает параметры 4840 землетрясений с $MPSP=3.6-7.2$.

Распределение землетрясений Земли с $M(MS, MPLP, MPSP) \geq 6.0$ в зависимости от магнитуды, но без дифференциации их по глубинам очагов, приведено в табл. 1 в сопоставлении с аналогичными данными за предыдущие 18 лет [1]. Как видим, в 2010 г. число землетрясений в интервале $M=6.0-6.9$ составило $N=174$, что выше среднего $N=156.2 \pm 27$ за 18 лет, в диапазоне $M=7.0-7.9$ оно равно $N=22$ и значительно выше среднего значения $N=14.8 \pm 4$.

Таблица 1. Распределение числа землетрясений Земли в различных интервалах магнитуд с $M \geq 6.0$ за 1992–2010 гг.

| Год | $N(\Delta M)$ | | | N_{Σ} | Год | $N(\Delta M)$ | | | N_{Σ} |
|------|---------------|---------|---------|--------------|-------------------|---------------|---------|---------|--------------|
| | 6.0–6.9 | 7.0–7.9 | 8.0–8.9 | | | 6.0–6.9 | 7.0–7.9 | 8.0–8.9 | |
| 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 | Сумма за 18 лет | 2812 | 267 | 15 | 3094 |
| 1999 | 159 | 21 | | 180 | Среднее за 18 лет | 156.2 | 14.8 | 1.7 | 171.9 |
| 2000 | 169 | 17 | | 186 | 2010 | 174 | 22 | 1 | 197 |
| 2001 | 126 | 16 | 1 | 143 | | | | | |
| 2002 | 139 | 11 | | 150 | | | | | |
| 2003 | 138 | 14 | 2 | 154 | | | | | |

Распределение числа землетрясений Земли по интервалам глубин, магнитуд и суммарная сейсмическая энергия в 2010 г. даны в табл. 2. При ее составлении использованы наблюдаемые магнитуды землетрясений MS по поверхностным волнам для тех землетрясений, для которых удалось их измерить, а для остальных выполнен пересчет магнитуд $MPSP$ по объемным волнам в магнитуды (MS^*) по поверхностным волнам. Расчетная магнитуда MS^* найдена по формуле (2) для землетрясений с $h \leq 70$ км, по формулам (3) и (4) из [9] – для промежуточных и глубоководных землетрясений соответственно:

$$MS^* = 1.77 MPSP - 5.2, \quad h = 71-390 \text{ км}, \quad (3)$$

$$MS^* = 1.85 MPSP - 4.9, \quad h > 390 \text{ км}. \quad (4)$$

Сейсмическая энергия рассчитывалась из MS (MS^*) по формуле К. Касахара [25]:

$$\lg E, \text{ Дж} = 4.8 + 1.5 M. \quad (5)$$

Таблица 2. Распределение суммарного числа землетрясений N_{Σ} и суммарной сейсмической энергии ΣE Земли по интервалам глубин и магнитуд в 2010 г.

| $h,$ км | $MS(MS^*)$ | | | | | | | N_{Σ} | $\Sigma E,$ 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 | | |
| ≤ 70 | 72 | 1145 | 1497 | 960 | 145 | 34 | 2 | 3855 | 481.2 |
| 71–390 | 330 | 252 | 155 | 45 | 29 | 4 | | 815 | 9.1 |
| > 390 | 17 | 34 | 89 | 16 | 8 | 4 | 2 | 170 | 45.4 |
| N_{Σ} | 419 | 1431 | 1741 | 1021 | 182 | 42 | 4 | 4840 | 535.7 |

Согласно табл. 2, общее количество выделившейся в 2010 г. энергии равно $\Sigma E = 5.357 \cdot 10^{17}$ Дж, что больше таковой как в 2009 г. ($\Sigma E = 3.217 \cdot 10^{17}$ Дж [1]), так и в 2008 г. ($\Sigma E = 2.225 \cdot 10^{17}$ Дж [26]).

Распределение суммарной сейсмической энергии, выделившейся в 2010 г. при землетрясениях с $M(MS, MPLP, MPSP) \geq 6.0$ в различных сейсмических поясах, приведено в табл. 3, из которой следует, что более 91 % всей сейсмической энергии высвобождено в очагах землетрясений Тихоокеанского сейсмического пояса, более 7 % – Индийского.

Таблица 3. Распределение числа землетрясений с $M \geq 6.0$ и их суммарной сейсмической энергии ΣE по сейсмическим поясам в 2010 г.

| № | Сейсмический пояс | Число землетрясений с M | | $\Sigma E,$ 10^{15} Дж | % |
|-----|-------------------|---------------------------|------------|-----------------------------|--------|
| | | 6.0–6.9 | ≥ 7.0 | | |
| I | Тихоокеанский | 143 | 18 | 484.7 | 91.263 |
| II | Трансазиатский | 9 | | 2.7 | 0.508 |
| III | Атлантический | 6 | 1 | 3.2 | 0.602 |
| IV | Индийский | 16 | 4 | 40.5 | 7.625 |
| | Сумма | 174 | 23 | 531.1 | 99.999 |

На рис. 3 показано распределение сейсмической энергии землетрясений за 1992–2010 гг. по данным [27], рассчитанной единообразно из $MS(MS^*)$ по формуле (5) из [25]. Как видно, уровень выделившейся в 2010 г. сейсмической энергии – один из самых высоких за последние 18 лет.

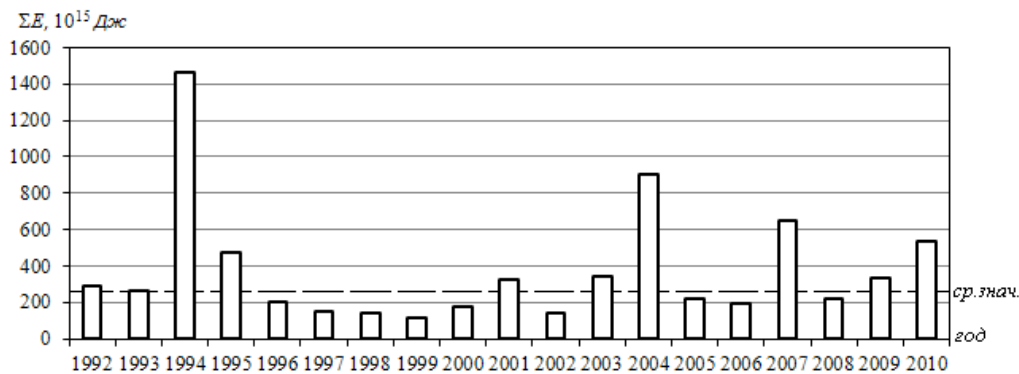


Рис. 3. Годовые значения сейсмической энергии землетрясений Земли в 1992–2010 гг.

На рис. 4 представлено географическое распределение землетрясений Земли. На карте показаны границы основных сейсмических поясов по [28] – Тихоокеанского (I), Трансазиатского (II), Атлантического (III), Индийского (IV), и Африканского грабена (V).

Далее дано описание распределения землетрясений в пределах границ сейсмических поясов в 2010 г., приведен список наиболее сильных землетрясений (табл. 4) и таблица их механизмов (табл. 5), а затем дано описание сильнейших ($M \geq 7$) землетрясений.

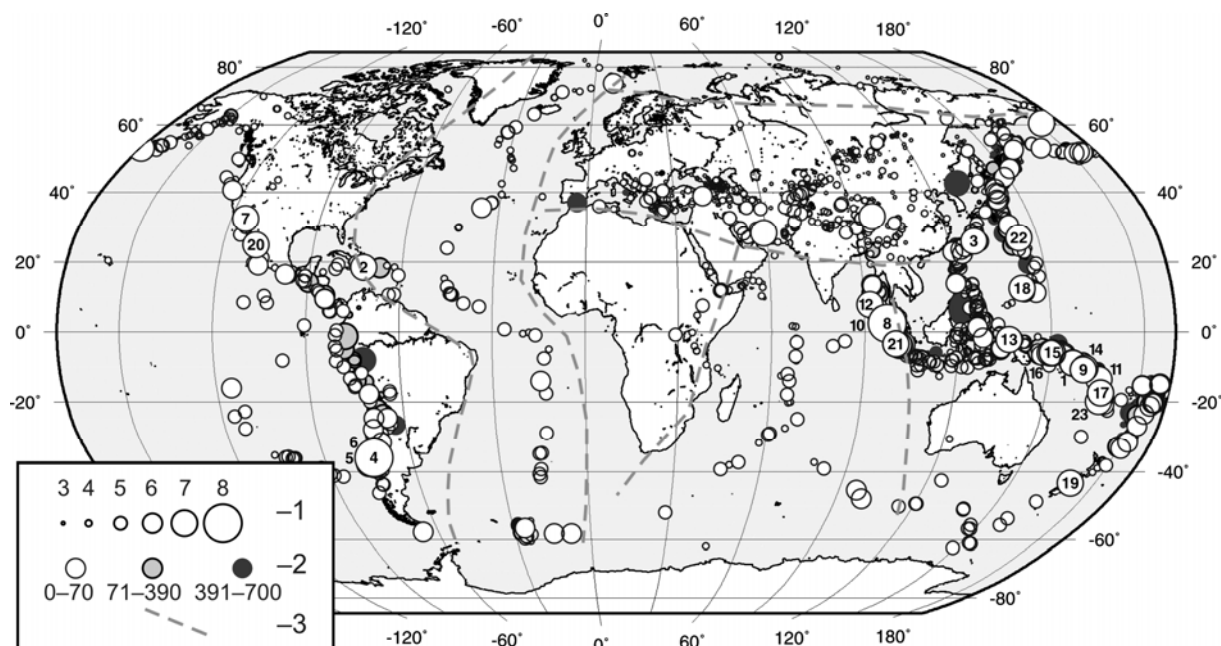


Рис. 4. Карта эпицентров землетрясений Земли за 2010 г.:

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

Таблица 4. Список сильных землетрясений мира с $M \geq 7.0$ в 2010 г.

| № | Дата, д м | t_0 , ч мин с | Эпицентр | | h , км | M_0 , Н·м | Магнитуды | | | | Сейс- мичес- кий пояс | Географический регион [29] |
|-----|--------------|--------------------|-----------------|-----------------|-------------|---------------------|------------|---------|----------|----------|--------------------------------|---|
| | | | 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 | 22 36 28 | -8.755 | 157.360 | 33f | $2.9 \cdot 10^{19}$ | 6.9 TLY | 7.1/77 | 7.1/4 | 6.5/53 | I | Соломоновы острова |
| 2* | 12.01 | 21 53 07 | 18.433 | -72.554 | 10f | $5.0 \cdot 10^{19}$ | 7.1 OBN | 7.1/77 | 7.0/12 | 6.9/119 | III | Район Гаити |
| 3* | 26.02 | 20 31 25 | 26.001 | 128.490 | 31 | $5.1 \cdot 10^{19}$ | 7.1 OBN | 7.2/73 | 7.2/15 | 6.8/160 | I | Острова Рюкю, Япония |
| 4* | 27.02 | 06 34 12 | -35.993 | -72.915 | 33f | | | 8.5/60 | | 7.1/37 | I | Побережье Центрального Чили |
| 5 | 11.03 | 14 39 46 | -34.231 | -72.257 | 33f | | | 7.0/61 | 7.3/4 | 6.8/74 | I | Побережье Центрального Чили |
| 6 | 11.03 | 14 55 27 | -34.388 | -71.720 | 33f | | | 7.1/9 | 7.1/5 | 6.6/79 | I | Побережье Центрального Чили |
| 7 | 04.04 | 22 40 44 | 32.478 | -115.180 | 10f | $1.5 \cdot 10^{19}$ | 6.8 OBN | 7.3/77 | 6.6/10 | 6.5/74 | I | Калифорния – Нижняя Калифорния, пограничная область |
| 8* | 06.04 | 22 15 00 | 2.425 | 97.174 | 33f | $1.0 \cdot 10^{20}$ | 7.3 OBN | 7.7/61 | 7.6/18 | 7.0/72 | IV | Северная Суматра, Индонезия |
| 9 | 11.04 | 09 40 26 | -10.806 | 161.071 | 33f | | | 6.9/87 | 7.1/11 | 6.8/80 | I | Соломоновы острова |
| 10* | 09.05 | 05 59 41 | 3.831 | 96.094 | 45 | $7.3 \cdot 10^{19}$ | 7.2 OBN | 7.2/119 | 7.2/11 | 6.9/135 | IV | Северная Суматра, Индонезия |
| 11* | 27.05 | 17 14 46 | -13.506 | 166.537 | 33f | $8.6 \cdot 10^{19}$ | 7.2 TLY | 7.0/81 | 7.3/7 | 6.6/63 | I | Острова Вануату |
| 12* | 12.06 | 19 26 48 | 7.884 | 91.918 | 33f | $1.0 \cdot 10^{20}$ | 7.3 OBN | 7.4/65 | 7.4/13 | 6.7/50 | IV | Район Никобарских островов, Индия |
| 13 | 16.06 | 03 16 28 | -2.216 | 136.484 | 33f | $2.1 \cdot 10^{19}$ | 6.8 TLY | 7.0/103 | 7.1/6 | 6.6/71 | I | Район Западного Ириана, Индонезия |
| 14* | 26.06 | 05 30 19 | -10.382 | 161.426 | 40 | $1.6 \cdot 10^{19}$ | 6.8 TLY | 7.0/38 | 6.5/10 | 6.2/57 | I | Соломоновы острова |

| № | Дата, д.м | t_0 , ч.мин.с | Эпицентр | | h , км | M_0 , H-м | Магнитуды | | | | Сейс- мичес- кий пояс | Географический регион [29] |
|-----|--------------|--------------------|-----------------|-----------------|-------------|---------------------|------------|---------|----------|----------|--------------------------------|---|
| | | | φ° | λ° | | | M_w | MS/n | $MPLP/n$ | $MPSP/n$ | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| 15* | 18.07 | 13 04 10 | -5.921 | 150.478 | 38 | $3.5 \cdot 10^{19}$ | 7.0 TLY | 7.1/75 | 6.8/5 | 6.4/74 | I | Район Новой Британии, Папуа–Новая Гвинея |
| 16 | 18.07 | 13 34 59 | -5.961 | 150.571 | 52 | | | 7.3/65 | | 6.2/70 | I | Район Новой Британии, Папуа–Новая Гвинея |
| 17* | 10.08 | 05 23 45 | -17.410 | 167.953 | 33f | $1.1 \cdot 10^{20}$ | 7.3 TLY | 7.3/79 | 7.4/10 | 6.7/65 | I | Острова Вануату |
| 18 | 13.08 | 21 19 34 | 12.518 | 141.500 | 31 | $3.6 \cdot 10^{19}$ | 7.0 OBN | 7.0/118 | 6.9/16 | 6.6/85 | I | Южнее Марианских островов |
| 19 | 03.09 | 16 35 46 | -43.220 | 171.340 | 7 | | | 7.2/79 | 6.9/7 | 6.4/20 | I | Южный остров, Новая Зеландия |
| 20 | 21.10 | 17 53 12 | 24.851 | -109.128 | 11 | | | 7.0/59 | 6.4/10 | 6.2/68 | I | Калифорнийский залив |
| 21* | 25.10 | 14 42 21 | -3.404 | 100.109 | 26 | $1.0 \cdot 10^{20}$ | 7.3 TLY | 7.2/70 | 6.8/9 | 6.4/49 | IV | Южная Суматра, Индонезия |
| 22* | 21.12 | 17 19 38 | 26.861 | 143.727 | 11 | $1.6 \cdot 10^{20}$ | 7.4 OBN | 7.5/123 | 7.5/10 | 7.2/94 | I | Район островов Бонин, Япония |
| 23 | 25.12 | 13 16 36 | -19.823 | 167.941 | 19 | | | 7.3/99 | 7.4/11 | 6.6/61 | I | Район островов Вануату |

Примечание. В графе 1 знак «*» указывает на наличие в [30] параметров механизма очага по первым вступлениям P -волн; в графе 6 буквой «f» индексирована фиксированная глубина; в графе 8 второй строкой показан код станции, по которой рассчитана M_w в агентстве MOS.

Из 23 сильнейших землетрясений Земли с $M(MS, MPLP, MPSP) \geq 7.0$, список которых приведен в табл. 4, 18 землетрясений (№ 1, 3–7, 9, 11, 13–20, 22, 23) локализованы в Тихоокеанском сейсмическом поясе, четыре (8, 10, 12, 21) – в Индийском и одно (2) – в Атлантическом поясе.

В табл. 5 и на рис. 5 представлены решения механизмов очагов всех землетрясений. Для 12 землетрясений (2–4, 8, 10–12, 14–15, 17, 21–23), они получены в ГС РАН [30] по знакам первых вступлений продольных P -волн по программе А.В. Ландера [31], а для остальных – по методу тензора момента центра (ТМЦ) по данным Колумбийского университета США (код GCMT) [32].

Таблица 5. Параметры механизмов очагов сильных землетрясений мира в 2010 г.

| № | Дата, д.м | t_0 , ч.мин.с | h , км | Магнитуда | | | | Оси главных напряжений | | | | | | Нодальные плоскости | | | | | | Агент- ство |
|----|--------------|--------------------|-------------|-----------|------|--------|--------|------------------------|-------|------|-------|------|-------|---------------------|------|--------|-------|------|--------|----------------|
| | | | | M_w | MS | $MPLP$ | $MPSP$ | T | | N | | P | | $NP1$ | | | $NP2$ | | | |
| | | | | | | | | 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 |
| 1 | 03.01 | 22 36 28 | 33f | 6.9 | 7.1 | 7.1 | 6.5 | 65 | 31 | 4 | 130 | 24 | 222 | 321 | 21 | 102 | 129 | 69 | 86 | GCMT |
| 2 | 12.01 | 21 53 07 | 10f | 7.1 | 7.1 | 7.0 | 6.9 | 52 | 138 | 36 | 297 | 10 | 34 | 160 | 47 | 144 | 276 | 65 | 49 | MOS |
| 3 | 26.02 | 20 31 25 | 31 | 7.1 | 7.2 | 7.2 | 6.8 | 0 | 309 | 90 | 0 | 0 | 39 | 84 | 90 | 0 | 354 | 90 | 180 | MOS |
| 4 | 27.02 | 06 34 12 | 33f | | 8.5 | | 7.1 | 64 | 90 | 0 | 360 | 26 | 270 | 0 | 19 | 90 | 180 | 71 | 90 | MOS |
| 5 | 11.03 | 14 39 46 | 33f | | 7.0 | 7.3 | 6.8 | 10 | 234 | 0 | 324 | 80 | 54 | 324 | 35 | -90 | 144 | 55 | -90 | GCMT |
| 6 | 11.03 | 14 55 27 | 33f | | 7.1 | 7.1 | 6.6 | 41 | 252 | 3 | 159 | 49 | 65 | 16 | 6 | -53 | 159 | 86 | -93 | GCMT |
| 7 | 04.04 | 22 40 44 | 10f | 6.8 | 7.3 | 6.6 | 6.5 | 3 | 88 | 84 | 329 | 6 | 178 | 223 | 84 | -2 | 313 | 88 | -174 | GCMT |
| 8 | 06.04 | 22 15 00 | 33f | 7.3 | 7.7 | 7.6 | 7.0 | 51 | 44 | 1 | 135 | 39 | 226 | 325 | 7 | 100 | 135 | 84 | 89 | MOS |
| 9 | 11.04 | 09 40 26 | 33f | | 6.9 | 7.1 | 6.8 | 83 | 77 | 5 | 297 | 4 | 207 | 291 | 41 | 82 | 122 | 50 | 97 | GCMT |
| 10 | 09.05 | 05 59 41 | 45 | 7.2 | 7.2 | 7.2 | 6.9 | 63 | 57 | 9 | 309 | 25 | 214 | 284 | 21 | 63 | 132 | 71 | 100 | MOS |
| 11 | 27.05 | 17 14 46 | 33f | 7.2 | 7.0 | 7.3 | 6.6 | 66 | 22 | 24 | 202 | 0 | 112 | 180 | 50 | 58 | 44 | 50 | 122 | MOS |
| 12 | 12.06 | 19 26 48 | 33f | 7.3 | 7.4 | 7.4 | 6.7 | 47 | 103 | 36 | 243 | 20 | 349 | 123 | 40 | 156 | 232 | 75 | 52 | MOS |
| 13 | 16.06 | 03 16 28 | 33f | 6.8 | 7.0 | 7.1 | 6.6 | 1 | 286 | 78 | 22 | 12 | 196 | 332 | 80 | -172 | 241 | 82 | -10 | GCMT |
| 14 | 26.06 | 05 30 19 | 40 | 6.8 | 7.0 | 6.5 | 6.2 | 68 | 186 | 18 | 329 | 12 | 63 | 175 | 36 | 121 | 318 | 60 | 69 | MOS |
| 15 | 18.07 | 13 04 10 | 38 | 7.0 | 7.1 | 6.8 | 6.4 | 77 | 103 | 1 | 8 | 13 | 278 | 6 | 32 | 88 | 189 | 58 | 91 | MOS |

| № | Дата, д м | t_0 , ч мин с | h , км | Магнитуда | | | | Оси главных напряжений | | | | | | Нодальные плоскости | | | | | | Агент- ство |
|----|--------------|--------------------|-------------|-----------|-------|-----------|-----------|------------------------|-------|------|-------|------|-------|---------------------|------|--------|-------|------|--------|----------------|
| | | | | M_w | M_S | M_{PLP} | M_{PSP} | T | | N | | P | | $NP1$ | | | $NP2$ | | | |
| | | | | | | | | 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 |
| 16 | 18.07 | 13 34 59 | 52 | | 7.3 | | 6.2 | 74 | 9 | 4 | 264 | 15 | 173 | 257 | 30 | 82 | 87 | 61 | 95 | GCMT |
| 17 | 10.08 | 05 23 45 | 33f | 7.3 | 7.3 | 7.4 | 6.7 | 74 | 3 | 9 | 129 | 13 | 221 | 323 | 33 | 107 | 123 | 58 | 79 | MOS |
| 18 | 13.08 | 21 19 34 | 31 | 7.0 | 7.0 | 6.9 | 6.6 | 11 | 346 | 3 | 255 | 78 | 149 | 80 | 34 | -84 | 253 | 56 | -94 | GCMT |
| 19 | 03.09 | 16 35 46 | 7 | | 7.2 | 6.9 | 6.4 | 7 | 43 | 82 | 259 | 5 | 134 | 178 | 82 | 1 | 88 | 89 | 172 | GCMT |
| 20 | 21.10 | 17 53 12 | 11 | | 7.0 | 6.4 | 6.2 | 3 | 265 | 85 | 142 | 4 | 356 | 41 | 85 | -1 | 131 | 89 | -175 | GCMT |
| 21 | 25.10 | 14 42 21 | 26 | 7.3 | 7.2 | 6.8 | 6.4 | 50 | 27 | 9 | 129 | 38 | 226 | 4 | 11 | 146 | 128 | 84 | 81 | MOS |
| 22 | 21.12 | 17 19 38 | 11 | 7.4 | 7.5 | 7.5 | 7.2 | 9 | 47 | 47 | 146 | 41 | 309 | 97 | 55 | -154 | 351 | 69 | -38 | MOS |
| 23 | 25.12 | 13 16 36 | 19 | | 7.3 | 7.4 | 6.6 | 1 | 251 | 21 | 160 | 69 | 342 | 1 | 48 | -61 | 141 | 49 | -118 | GCMT |

Примечание. Параметры землетрясений в графах 2–4, 6–8 соответствуют таковым в каталоге [30]; в графе 5 значения M_w приведены по данным MOS; в графе 21 указаны агентства (GCMT и MOS), по данным которых приведены решения механизма очагов.

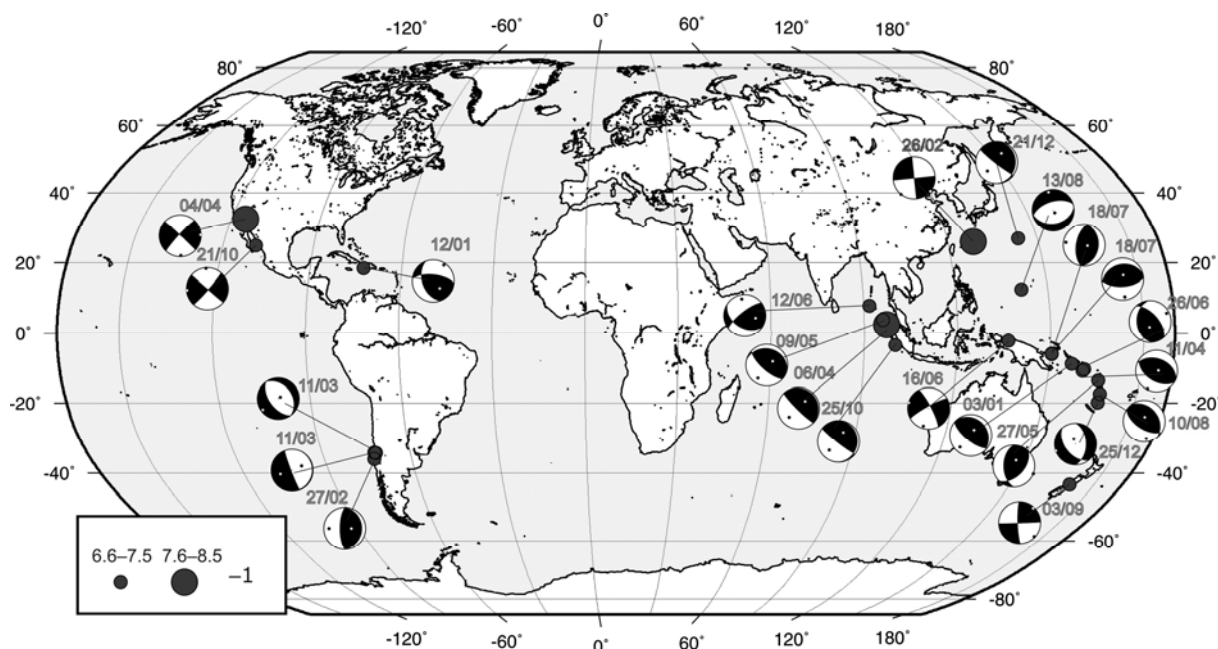


Рис. 5. Стереогаммы механизмов очагов сильных землетрясений за 2010 г. в проекции нижней полусферы.

1 – магнитуда M_S/M_S^* ; 2 – граница сейсмического пояса.

Сильнейшее ($M_S=8.5$) землетрясение планеты (4) возникло 27 февраля в 06^h34^m близ побережья Центрального Чили.

Ниже приводится описание решений механизмов очагов 23 землетрясений из табл. 4 по сейсмическим поясам I, III и IV. Все очаги расположены в пределах земной коры.

В пределах Тихоокеанского пояса (I) произошла большая часть сильных землетрясений 2010 г., в том числе упомянутое выше сильнейшее ($M_S=8.5$) землетрясение планеты 27 февраля в 06^h34^m (4) близ побережья Центрального Чили. Там же 11 марта реализовались землетрясения (5) и (6): в 14^h39^m с $M_S=7.0$, в 14^h55^m с $M_S=7.1$.

Очаг катастрофического землетрясения века находился близ побережья Центрального Чили, на глубине 33 км, в 86 км к север–северо-востоку от Консепсьона и в 355 км к юг-юго-западу от Сантьяго, столицы Чили. За землетрясением последовала серия цунами. Волны обрушились на 11 чилийских городов. Это землетрясение привело к человеческим жертвам и разрушениям. В большей степени пострадали регионы Био-Био и Мауле, где погибли 540 и 64 человека соответственно. В области Либертадор-Хенераль-Бернардо-О’Хиггинс жертвами стихии стали 46, а в столичной области – 36 человек. Землетрясение вызвало цунами, которое обрушилось

на 11 островов и побережье Мауле, однако число жертв, вызванных цунами, было минимально: большинство жителей побережья успели убежать в горы [33].

На о. Робинзон Крузо из архипелага Хуан-Фернандес трехметровая волна унесла жизни как минимум пяти человек. В Новой Зеландии максимальная высота волн составила 2 м. Гавайи атаковали волны высотой 2.3 м. В США самые высокие (>1 м) волны были зарегистрированы в районе Санта-Барбары, штат Калифорния. Волна на побережье о. Хонсю достигла 1.45 м. По информации Сахалинского центра цунами, специальный датчик, установленный на о. Парамушир, отметил вторичный подъем волны >2 м. Город Северо-Курильск на этом острове построен на высоте 17 м над уровнем моря, поэтому никто не пострадал. На о. Шикотан высота остаточной волны-цунами составила 68 см, на о. Итуруп она не превышала 10–15 см. Как сообщил Камчатский центр предупреждения о цунами, максимальная высота приливной волны на юге Камчатки достигала 60–70 см.

В [34] приведено распределение интенсивности сотрясений в баллах MSK-64 для области сейсмогенных разрушений в Чили, при землетрясении 2010 г. в Мауле. Обследованы многоквартирные дома в 111 городах. Более всего пострадали строения, расположенные вблизи северной оконечности зоны вспарывания, в большей степени – глиняные и неармированные дома. Длина зоны вспарывания – более 450 км, но только в одном пункте были отмечены сотрясения интенсивностью $I=9$ баллов. Около 21 % обследованной территории разрушений относят к 7-балльной интенсивности. Затухание интенсивности определяется расстоянием скорее до главной шероховатости, чем до гипоцентра. Это связывают с основными характеристиками меганадвиговых землетрясений, что следует учитывать при анализе сейсмического риска. В [35] изучены характеристики поля поглощения поперечных волн в районе очага землетрясения, которые рассматриваются в сопоставлении с сейсмичностью и вулканизмом региона. Использовался метод, основанный на анализе отношения амплитуд поперечных и продольных волн. Установлено, что в районе исследований, как и в других зонах субдукции, перед землетрясением сформировались две кольцевые структуры сейсмичности: мелкое кольцо на глубинах 0–33 км и глубокое – на глубинах 34–70 км. Эпицентр главного события находился в области наибольшего сближения кольцевых структур. Мелкому кольцу соответствует пониженное поглощение поперечных волн, глубокому – высокое, вулканической области – промежуточное. Обсуждается природа кольцевых структур и их связь с миграцией глубинных флюидов.

При землетрясении 27 февраля с $MS=8.5$ (4) движение произошло под действием превалирования напряжений сжатия ($PL=26^\circ$), ориентированных на запад ($AZM=270^\circ$). Напряжения растяжения ($PL=64^\circ$) направлены на восток ($AZM=90^\circ$). По крутопадающей ($DP_2=71^\circ$) плоскости $NP2$ меридионального ($STK_2=180^\circ$) простираения тип движения – взброс, по пологой ($DP_2=19^\circ$) меридиональной ($STK_1=0^\circ$) плоскости $NP1$ – надвиг.

Землетрясение (5) возникло 11 марта в $14^h 39^m$ под действием преобладания напряжений растяжения ($PL_T=10^\circ$), ориентированных на юго-запад ($AZM=234^\circ$). Плоскость $NP1$ простирается в северо-западном ($STK_1=324^\circ$) направлении, $NP2$ – в юго-восточном ($STK_2=144^\circ$), тип движения по обеим плоскостям – сброс. При землетрясении (6), произошедшем 11 марта в $14^h 55^m$, движение возникло под действием близких по величине напряжений сжимающих ($PL_P=49^\circ$) северо-восточной ориентации и растягивающих ($PL_T=40^\circ$), ориентированных на запад–юго-запад. Близгоризонтальная ($DP_1=6^\circ$) плоскость $NP1$ простирается в север–северо-восточном ($STK_1=16^\circ$) направлении, близвертикальная ($DP_2=86^\circ$) плоскость $NP2$ – в юг–юго-восточном ($STK_2=159^\circ$) направлении. Тип движения по близвертикальной плоскости $NP2$ – сброс с компонентами правостороннего сдвига, по близгоризонтальной плоскости $NP1$ – подвиг с элементами левостороннего сдвига.

Землетрясения (1, 9, 14) произошли в районе Соломоновых островов: 3 января в $22^h 36^m$ с $MS=7.1$; 11 апреля в $09^h 40^m$ с $MS=6.9$; 26 июня в $05^h 30^m$ с $MS=7.0$. Механизмы их очагов подобны. Землетрясения произошли под действием превалирования напряжений сжатия (табл. 5). Простираение обеих нодальных плоскостей $NP2$ в очагах (1) и (9) – юго-восточное ($STK_2=129^\circ$ и 122°), плоскостей $NP1$ – северо-западное ($STK_1=321^\circ$ и 291°). В случае (1) по пологой ($DP_1=21^\circ$) плоскости $NP1$ северо-западного простираения отмечается надвиг; в случае (9) обе плоскости залегают под близкими углами ($DP_1=41^\circ$, $DP_2=50^\circ$), тип движения по ним – взброс с компонентами сдвига. В случае (14) обе плоскости также залегают под близкими углами ($DP=36^\circ$ и 60°), тип движения по ним – взброс с компонентами сдвига (правостороннего

по $NP1$, левостороннего – по $NP2$). Плоскость $NP1$ имеет близмеридиональное ($STK_1=175^\circ$) простирание, $NP2$ – северо-западное ($STK_2=318^\circ$).

Землетрясения (3) и (22) произошли в Японии 26 февраля в 20^h31^m с $MS=7.2$ в районе островов Рюкю и 21 декабря в 17^h19^m с $MS=7.5$ – в районе островов Бонин. Землетрясение (3) произошло под действием горизонтальных напряжений сжатия и растяжения ($PL_p=PL_t=0^\circ$), ориентированных на северо-восток (39°) и северо-запад (309°) соответственно. В (3) обе плоскости вертикальные ($DP_1=DP_2=90^\circ$). Плоскость $NP1$ – близширотна ($STK_1=84^\circ$), $NP2$ – близмеридиональна ($STK_2=354^\circ$); тип движения по обеим плоскостям – сдвиг (правосторонний – по $NP1$, левосторонний – по $NP2$). Землетрясение (22) произошло под действием превалирования напряжений растяжения ($PL_t=9^\circ$), ориентированных на северо-восток ($AZM=47^\circ$). Ось сжатия наклонена к горизонту под углом $PL_p=41^\circ$ и ориентирована в северо-западном ($AZM=309^\circ$) направлении. Плоскость $NP1$ – более пологая ($DP_1=55^\circ$), ее простирание – близширотное ($STK_1=97^\circ$), тип движения – правосторонний сдвиг с компонентами сброса. Вторая плоскость $NP2$ залегает более круто ($DP_2=69^\circ$), ее простирание – близмеридиональное ($STK_2=351^\circ$), тип движения – сброс с компонентой левостороннего сдвига.

Землетрясения (7) и (20) произошли в районе Калифорнийского залива: (7) – 4 апреля в 22^h40^m с $MS=7.3$; (20) – 21 октября в 17^h53^m с $MS=7.0$. Механизмы очагов подобны. Движение в очаге произошло под действием близгоризонтальных и близких по величине как сжимающих, так и растягивающих напряжений (табл. 5). В случае (7) сжимающие напряжения ориентированы на юг ($AZM=178^\circ$), в (20) – на север ($AZM=356^\circ$). Плоскости в обоих очагах залегают близвертикально. В случае (7) по плоскости $NP2$ северо-западного ($STK_2=313^\circ$) простирания отмечается правосторонний сдвиг, по $NP1$ юго-западного ($STK_1=223^\circ$) простирания – левосторонний сдвиг. В [36] изучен механизм очага Северо-Мексиканского землетрясения 4 апреля 2010 г. Высокоскоростные записи GPS в ближней зоне сопоставлены с широкополосными сейсмограммами. Записи GPS соответствуют дважды интегрированным записям сильных колебаний в ближней зоне, а широкополосные в этой зоне обрезаны из-за сильных колебаний. Соответствие исчезает на расстояниях более 150 км от эпицентра, где амплитуды приближаются к уровню шума GPS-сейсмограмм. Полученный этим методом механизм очага согласуется с определениями по телесейсмическим данным.

При землетрясении (13), зарегистрированном 16 июня в 03^h16^m с $MS=7.0$ в районе Западного Ириана (Индонезия), движение в очаге возникло под действием как напряжений сжатия ($PL_p=12^\circ$), так и растяжения ($PL_t=1^\circ$), ориентированных на юг и на запад соответственно. Тип движения по обеим плоскостям – сдвиги с компонентами сброса.

Землетрясения (15) (18 июля в 13^h04^m с $MS=7.1$) и (16) (18 июля в 13^h34^m с $MS=7.3$) произошли в районе островов Новая Британия под действием напряжений сжатия ($PL_p=13^\circ$ и 15°), в случае (15) – ориентированных на запад ($AZM=278^\circ$), в (16) – на юг ($AZM=173^\circ$). В (15) обе плоскости наклонены к горизонту под углами ($DP_1=32^\circ$, $DP_2=58^\circ$) и имеют близмеридиональное простирание ($STK_1=6^\circ$, $STK_2=188^\circ$), тип движения по обеим плоскостям – взброс. Для землетрясения (16) обе плоскости имеют близширотное простирание ($STK_1=257^\circ$, $STK_2=87^\circ$), тип движения по более крутой плоскости – взброс, по пологой – надвиг.

Землетрясения (11, 17, 23) имели место в районе островов Вануату 27 мая в 17^h14^m с $MS=7.0$, 10 августа в 05^h23^m с $MS=7.3$ и 25 декабря в 13^h16^m с $MS=7.3$. Механизмы очагов землетрясений (11) и (17) близки. Землетрясения возникли под действием напряжений сжатия ($PL=1^\circ$, 13°), ориентированных на северо-запад ($AZM=292$) и юго-запад ($AZM=221^\circ$). Плоскость $NP1$ в (11) меридиональна ($STK_1=180^\circ$), в (17) – простирается на северо-запад ($STK_1=323^\circ$), она наклонена к горизонту под углами 50° и 33° соответственно. Плоскости $NP2$ имеют простирание северо-восточное (44°) и юго-восточное (123°) и наклонены к горизонту под углами 50° и 58° соответственно. Тип движения по обеим плоскостям – взбросы с компонентами сдвига. Землетрясение (23) возникло под действием горизонтальных ($PL_t=1^\circ$) напряжений растяжения, ориентированных на запад–юго-запад ($AZM=251^\circ$). Обе нодальные его плоскости имеют почти одинаковые углы наклона к горизонту ($DP_1=48^\circ$, $DP_2=49^\circ$), плоскость $NP1$ – меридиональна ($STK_1=1^\circ$), $NP2$ – простирается на юго-восток ($STK_2=141^\circ$). Тип движения по обеим плоскостям – сбросы с компонентами сдвига, левостороннего – по $NP1$, правостороннего – по $NP2$.

Землетрясение (18) 13 августа в 21^h19^m с $MS=7.0$ произошло южнее Марианских островов под действием напряжений растяжения ($PL_t=11^\circ$), ориентированных на север–северо-запад

($AZM=346^\circ$). Обе плоскости имеют близширотное простирание (80° и 253°), тип движения по ним – сброс с компонентами правостороннего сдвига по более крутой ($DP_2=56^\circ$) плоскости $NP2$ – и левостороннего – по плоскости $NP1$ более пологого ($DP_1=34^\circ$) залегания.

Землетрясение (19) 3 сентября в 16^h35^m с $MS=7.2$ произошло в районе Новой Зеландии под действием близгоризонтальных сжимающих ($PL_p=5^\circ$) и растягивающих ($PL_t=6^\circ$) напряжений, ориентированных на юго-восток и северо-восток соответственно. Обе нодальные его плоскости – крутые (табл. 5). Тип движения по ним – левосторонний сдвиг по меридиональной ($STK_1=178^\circ$) плоскости $NP1$ и правосторонний сдвиг – по широтной ($STK_2=88^\circ$) плоскости $NP2$.

В Атлантическом сейсмическом поясе (III) произошло разрушительное землетрясение (2) в районе о. Гаити 12 января в 21^h53^m с $MS=7.1$, повлекшее многочисленные жертвы и разрушения [33]. Движение в его очаге произошло под действием близгоризонтальных напряжений сжатия ($PL_p=10^\circ$), ориентированных на северо-восток. Плоскости залегают достаточно круто ($DP_1=47^\circ$ и $DP_2=65^\circ$). Тип движения по плоскости $NP2$ близширотного ($STK_2=276^\circ$) простирания – взброс с компонентами левостороннего сдвига, по плоскости $NP1$ юг-юго-восточного ($STK_1=160^\circ$) простирания – правосторонний сдвиг (с компонентами взброса).

В Индийском сейсмическом поясе (IV) произошло четыре землетрясения (8, 10, 12, 21). Землетрясение (12) зарегистрировано 12 июня в 19^h26^m с $MS=7.4$ в районе Никобарских островов. Плоскости в очаге наклонены к горизонту под углами ($DP_1=40^\circ$ и $DP_2=75^\circ$), движение в очаге произошло под действием преваляирования напряжений сжатия ($PL_p=20^\circ$), ориентированных на север-северо-запад ($AZM=349^\circ$). Тип движения по плоскости $NP2$ юго-западного ($STK_2=232^\circ$) простирания представлен взбросом с компонентами левостороннего сдвига, по плоскости $NP1$ юго-восточного ($STK_1=123^\circ$) простирания – правосторонним сдвигом с компонентами взброса.

В районе о. Суматра (Индонезия) произошли три землетрясения: (8) – 6 апреля в 22^h15^m с $MS=7.7$; (10) – 9 мая в 05^h59^m с $MS=7.2$; (21) – 25 октября в 14^h42^m с $MS=7.2$. Механизмы их очагов подобны. Землетрясения (8, 10) возникли под преваляющим действием напряжений сжатия ($PL=39^\circ$ и 25°), ориентированных на юго-запад. Простирание плоскостей $NP1$ для землетрясений (8 и 10) – северо-западное ($STK_1=325^\circ$ и 284°), для $NP2$ – юго-восточное ($STK_2=135^\circ$ и 132°). Плоскости $NP2$ залегают круто ($DP=84^\circ$ и 71°), $NP1$ – полого ($DP=7^\circ$ и 21°), движение в очаге по крутопадающим плоскостям $NP2$ представлено взбросом, по пологим $NP1$ – надвигом с компонентами сдвига. Землетрясение (21) возникло под действием как напряжений сжатия ($PL_p=38^\circ$), так и растяжения ($PL_t=50^\circ$). Плоскость $NP1$ северного ($STK_1=4^\circ$) простирания залегают полого ($DP_1=11^\circ$), крутопадающая ($DP_2=84^\circ$) плоскость $NP2$ простирается на юго-восток ($STK_2=128^\circ$). По $NP1$ тип движения – сдвиг, по $NP2$ – взброс с компонентами левостороннего сдвига.

В заключение отметим, что в 2010 г. наблюдалась высокая сейсмическая активность в Чили. Всего в пределах Тихоокеанского сейсмического пояса произошло 18 землетрясений с магнитудой $MS \geq 7$, среди них катастрофическое цунамигенное с $MS=8.5$. Уровень выделившейся в 2010 г. сейсмической энергии – один из самых высоких за последние 18 лет (1992–2010 гг.). Это, несомненно, явилось результатом аномального проявления тектонической активности в Тихоокеанском регионе, где выделилось более 91% всей энергии 2010 г.

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 телесеизмическим наблюдениям ГС РАН // Землетрясения Северной Евразии, 2009 г. – Обнинск: ГС РАН, 2015. – С. 244–256.
2. **Старовойт О.Е., Чепкунас Л.С., Коломиец М.В., Рыжикова М.И.** Служба срочных донесений ГС РАН. (См. раздел I (Обзор сейсмичности) в наст. сб.).
3. **Красилов С.А., Коломиец М.В., Акимов А.П.** Организация процесса обработки цифровых сейсмических данных с использованием программного комплекса WSG // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Международной сейсмологической школы, посвященной 100-летию открытия сейсмических станций «Пулково» и «Екатеринбург». – Обнинск: ГС РАН, 2006. – С. 77–83.

4. **Болдырева Н.В., Пойгина С.Г. (сост.)**. Список сейсмических станций России и мира, использованных при создании Сейсмологического бюллетеня за 2010 г.
5. **Болдырева Н.В., Пойгина С.Г.** Список сейсмических станций России и мира ($N=710$), использованных при создании Сейсмологического бюллетеня за 2009 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2009 год. – Обнинск: ГС РАН, 2014. – (На CD).
6. **Сейсмологический бюллетень (ежедекадный) за 2010 год** / Отв. ред. О.Е. Старовойт. – Обнинск: ГС РАН, 2010–2011. – URL: ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_bulletin/2010.
7. **Общие сведения о сейсмичности России**. Результаты сейсмического мониторинга различных регионов России // Землетрясения России в 2010 году. – Обнинск: ГС РАН, 2012. – С. 10–15.
8. **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. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
9. **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.
10. **Оперативный сейсмологический каталог (ежедекадный) за 2010 год** / Отв. ред. О.Е. Старовойт. – Обнинск: ГС РАН, 2010–2011. – URL: ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_Catalog/2010.
11. **Геофизическая служба РАН [сайт]**. – URL: <http://www.ceme.gsras.ru>.
12. **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.
13. **Рихтер Ч.** Элементарная сейсмология. – М.: ИЛ, 1963. – 670 с.
14. **Jeffreys H., Bullen K.E.** Seismological tables // Brit. Assoc. for the advancement of Sci. – London: Gray-Milne Trust, 1958. – 65 p.
15. **Bolt B.A.** Estimation of *PKP* travel times // Bull. Seism. Soc. Am. – 1968. – 58. – N 4. – P. 1305–1324.
16. **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.
17. **Wadati K.** Travel time *P*- and *S*-waves // Geophys. Mag. – 1933. – 11.
18. **Архангельская В.М.** Использование записей поверхностных волн при интерпретации сейсмограмм // Бюллетень Совета по сейсмологии. – М.: АН СССР, 1957. – № 6. – С. 81–88.
19. **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.
20. **Gutenberg B., Richter C.** Earthquake magnitude, intensity, energy and acceleration // Bull. Seism. Soc. Am. – 1942. – 32. – N 3. – P. 163–191.
21. **Gutenberg B., Richter C.** Earthquake magnitude, intensity, energy and acceleration // Bull. Seism. Soc. Am. – 1956. – 46. – N 2. – P. 105–145.
22. **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.
23. **Горбунова И.В., Шаторная Н.В.** О калибровочной кривой для определения магнитуды землетрясений по волнам *PKIKP* // Физика Земли. – 1976. – № 7. – С. 77–81.
24. **Инструкция о порядке производства и обработки наблюдений на сейсмических станциях Единой системы сейсмических наблюдений СССР**. – М.: Наука, 1982. – 273 с.
25. **Касахара К.** Механика землетрясений. – М.: Мир, 1985. – С. 25.
26. **Чепкунас Л.С., Болдырева Н.В., Пойгина С.Г.** Оперативная обработка землетрясений мира по телесеismicким наблюдениям ГС РАН // Землетрясения Северной Евразии, 2008 год. – Обнинск: ГС РАН, 2014. – С. 273–283.
27. **Оперативный сейсмологический каталог (ежедекадный) за 1992–2009 гг.** / Отв. ред. О.Е. Старовойт. – Обнинск: ЦОМЭ ИФЗ РАН, 1992–2004; ГС РАН, 2005–2010.
28. **Гутенберг Б., Рихтер Ч.** Сейсмичность Земли. – М.: ИЛ, 1948. – 160 с.

29. **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.
30. **Малянова Л.С. (отв. сост.)**. Каталог механизмов очагов сильных землетрясений Земли в 2010 г. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
31. **Ландер А.В.** Комплекс программ определения механизмов очагов землетрясений и их графического представления // Комплексные сейсмологические и геофизические исследования Камчатки и Командорских островов (01.01.–31.12.2003 г.) // Отчет КОМСП ГС РАН. – Петропавловск-Камчатский: Фонды КОМСП ГС РАН, 2004. – С. 359–380.
32. **International Seismological Centre** [сайт]. On-line Bulletin. – URL: <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/>. – Thatcham, United Kingdom: ISC, 2013.
33. **Старовойт О.Е., Чепкунас Л.С., Коломиец М.В.** Хроника сейсмичности Земли. Сейсмичность в первом полугодии 2010 г. // *Земля и Вселенная*. – 2011. – № 6. – С. 98–102.
34. **Astroza Maximiliano, Ruiz Sergio, Astroza Rodrigo.** Анализ разрушений и определение сейсмической интенсивности землетрясения 2010 г. в Мауле (Чили). Damage assessment and seismic intensity analysis of the 2010 ($M_w=8.8$) Maule earthquake / *The Professional Journal of the Earthquake Engineering Research Institute*. – 2012. – 28. – N 1. – P. 145–164 // →РЖ «Физика Земли». – 2013. – № 6 (реф. 90).
35. **Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н.** Неоднородности поля поглощения короткопериодных S -волн в районе очага землетрясения Мауле (Чили, 27.02.2010 г., $M_w=8.8$) и их связь с сейсмичностью и вулканизмом региона / *Геофизические исследования* – 2011. – 12. – № 3. – С. 22–32 // →РЖ «Физика Земли». – 2012. – № 1 (реф. 77).
36. **Zheng Yong, Li Jun, Xie Zujun, Ritzwoller Michael H.** 5Hz GPS seismology of the El Mayor_sCucapah earthquake: estimating the earthquake focal mechanism / *Geophys. J. Int.* – 2012. – 190. – N 3. – P. 1723–1732 // →РЖ «Физика Земли». – 2013. – № 3 (реф. 127).