

### КАМЧАТКА И КОМАНДОРСКИЕ ОСТРОВА

**А.Ю. Чеброва, В.И. Левина, В.Н. Чебров, Е.И. Иванова, С.В. Митюшкина, Е.М. Гусева**

*Камчатский филиал ГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский, valeria@emsd.ru*

**Сеть сейсмических станций** в 2004 г. претерпела дальнейшую модернизацию.

На базе имеющихся стационаров с аналоговой аппаратурой было установлено новое оборудование SDAS производства «Геотех» (Обнинск) и СЦСС собственной разработки КФ ГС [1]. При этом до 2–3 месяцев велась параллельная регистрация сейсмических сигналов цифровыми и гальванометрическими станциями.

В результате были установлены комплекты SDAS и велась цифровая регистрация на сейсмической станции «Беринг» с 21 января 2004 г., «Крутоберегово» – с 1 ноября 2004 г. Комплекты СЦСС запущены на станциях «Апача» с 26 июня и «Эссо» – с 16 декабря 2004 г. На станции «Ключи» в ноябре 2004 г. в экспериментальном режиме начал работу комплект оборудования фирмы GEOTECH (США) с широкополосным велосиметром KS-2000. В табл. 1 представлены основные сведения по аппаратуре новых станций. Их координаты остались теми же, что были у соответствующих гальванометрических [2]. Таким образом, вместе с открытыми по международным проектам станциями «Петропавловск» (1993 г., IRIS), «Каменское» (1994 г., POSEIDON) и «Карымшина» (1999 г., МНТЦ 1121) к концу 2004 г. в Камчатском регионе работало восемь цифровых широкополосных станций.

**Таблица 1.** Данные об аппаратуре цифровых станций КФ ГС РАН в 2004 г.

| Название станции                 | Тип станции и сейсмоприемника | Перечень каналов     | Частотный диапазон, Гц | Частота опросов данных, Гц | Разрядность АЦП | Чувствительность велосиграфа, м/с/отсчет |
|----------------------------------|-------------------------------|----------------------|------------------------|----------------------------|-----------------|--|
| Апача<br>с 26.06.2004 г.         | СЦСС – СМ-3–ОС                | ВН(Z, N, E)<br>SH(Z) | 0.02–10<br>1–10        | 100                        | 24              | $3 \cdot 10^{-10}$<br>$3 \cdot 10^{-8}$  |
| Беринг<br>с 21.01.2004 г.        | SDAS – СМ-3–ОС                | BL(Z, N, E)          | 0.02–10                | 20                         | 16              | $6 \cdot 10^{-8}$                        |
| Крутоберегово<br>с 01.11.2004 г. | SDAS – СМ-3–ОС                | BL(Z, N, E)          | 0.02–10                | 20                         | 16              | $6 \cdot 10^{-8}$                        |
| Эссо<br>с 16.12.2004 г.          | СЦСС – СМ-3–ОС                | ВН(Z, N, E)<br>SH(Z) | 0.02–10<br>1–10        | 100                        | 24              | $3 \cdot 10^{-10}$<br>$3 \cdot 10^{-8}$  |
| Ключи<br>с 01.11. 2004 г.        | GEOTECH – KS-2000             | ВН(Z, N, E)          | 0.01–10                | 50                         | 23              | $5.0 \cdot 10^{-10}$                     |

Сеть сейсмотелеметрических станций также несколько изменилась: еще 25 июля 2003 г. в работу вступила новая радиотелеметрическая станция «Тумрок» (TUMR, 55.283 N, 160.146 E,  $h_y=1213$  м). На станции установлен стандартный комплект аппаратуры. Параметры почти всех телеметрических станций и сейсмических станций с гальванометрической регистрацией приведены в [2, 3].

**Карта энергетической представительности** землетрясений Камчатки в 2004 г. показана на рис. 1. Как видим, минимальный уровень энергетической представительности соответствует  $K_{\min}=6.5$  на двух участках региона с высокой плотностью сейсмических станций: вблизи Авачинско-Корякской и Северной группы вулканов. Существующая сеть станций способна зарегистрировать землетрясения с  $K_{\min}=9.5$  практически на всей сейсмоактивной территории Камчатки. Во всем же регионе внутри границ ответственности камчатской сети, указанных на рис. 1, уровень представительности составляет  $K_{\min}=10.0$ .

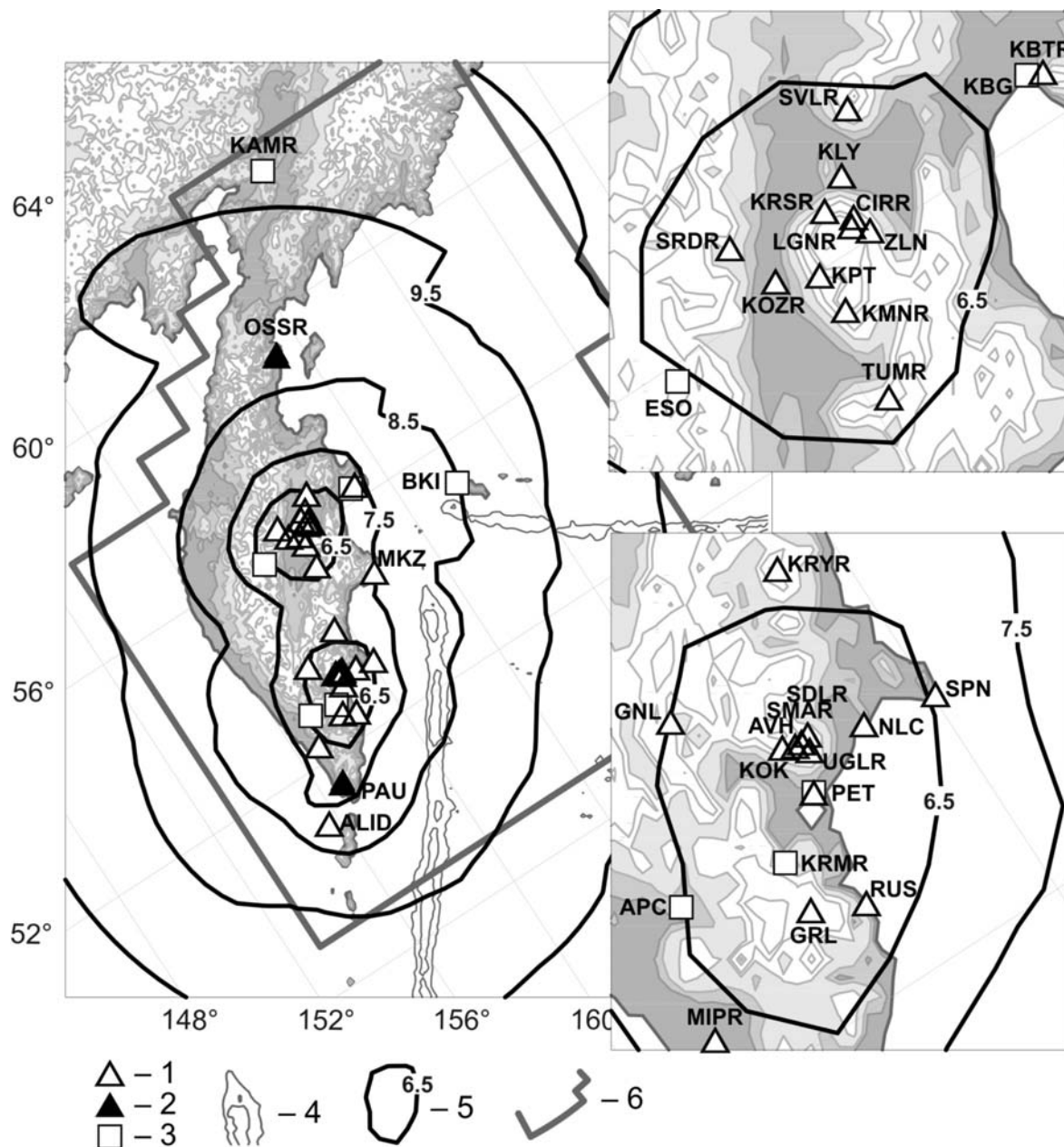


Рис. 1. Карта энергетической представительности землетрясений  $K_{min}$  и сеть сейсмических станций Камчатки в 2004 г.

1 – радиотелеметрические сейсмические станции (SVLR – «Шивелуч», KLY – «Ключи», KRSR – «Крестовский», CIRR – «Цирк», LGNR – «Логинов», ZLN – «Зеленая», SRDR – «Срединный», KOZR – «Козырь», KPT – «Копыто», KMNR – «Каменистая», TUMR – «Тумрок», KBTR – «Крутоберегово-1», MKZ – «Мыс Козлова», KRYR – «Карымский», SPN – «Шипунский», GNL – «Ганалы», NLC – «Налычева», SDLR – «Седловина», KOK – «Коряка», AVH – «Авача», SMAR – «Сомма», UGLR – «Угловая», PET – «Петропавловск», GRL – «Горелый», RUS – «Русская», MIPR – «Малая Ипелька», ALID – «Алаид»); 2 – сейсмические станции с регистрацией на фотобумагу (OSSR – «Оссора», PAU – «Паужетка»); 3 – цифровые сейсмические станции (BKI – «Беринг», KBG – «Крутоберегово», ESO – «Эссо», APC – «Апача», KLY – «Ключи», KAMR – «Каменское», KRMR – «Карымшина», PET – «Петропавловск»); 4 – изобаты 6000 и 7000 м; 5 – изолинии  $K_{min}$ ; 6 – границы региона, предлагаемые в работе [4]. На врезках показаны сети сейсмических станций Северной группы вулканов (вверху) и Авачинско-Корякской группы вулканов (внизу). Названия станций даны по [3].

Методика определения параметров землетрясений, изложенная в [5–7], не изменилась.

Анализ сейсмичности проведен для территории в пределах границ региона, указанных в [4] (рис. 1). Всего в 2004 г. определены эпицентры 5533 землетрясений с  $K_S=3.8-14.8$  [8]. Их распределение по энергетическим классам  $K_S$  приведено в табл. 2.

Таблица 2. Распределение числа землетрясений по энергетическим классам  $K_S$  в 1992–2004 гг.

| Год  | $K_S$ |     |      |      |      |      |     |     |     |    |    |    | $N_{\Sigma}$ | $\Sigma E, \cdot 10^{14} \text{ Дж}$ |
|------|-------|-----|------|------|------|------|-----|-----|-----|----|----|----|--------------|--------------------------------------|
|      | 4     | 5   | 6    | 7    | 8    | 9    | 10  | 11  | 12  | 13 | 14 | 15 |              |                                      |
| 1992 |       |     |      | 65   | 502  | 496  | 244 | 82  | 24  | 6  | 2  | 1  | 1422         | 6.3968                               |
|      |       |     |      | 65   | 502  | 496  | 244 | 82  | 24  | 6  | 2  | 1  | 1422         | 6.3968                               |
| 1993 |       |     | 3    | 72   | 500  | 519  | 235 | 78  | 19  | 5  | 1  | 2  | 1434         | 15.4883                              |
|      |       |     | 3    | 72   | 500  | 519  | 235 | 78  | 19  | 5  | 1  | 2  | 1434         | 15.4883                              |
| 1994 |       |     | 3    | 104  | 456  | 379  | 199 | 63  | 18  | 6  | 0  | 0  | 1228         | 1.1220                               |
|      |       |     | 3    | 104  | 456  | 379  | 199 | 63  | 18  | 6  | 0  | 0  | 1228         | 1.1220                               |
| 1995 |       |     | 18   | 227  | 621  | 419  | 176 | 60  | 12  | 4  | 0  | 0  | 1539         | 0.5868                               |
|      |       |     | 18   | 227  | 621  | 419  | 176 | 55  | 12  | 3  | 0  | 0  | 1533         | 0.5315                               |
| 1996 |       | 1   | 67   | 657  | 1564 | 1028 | 448 | 157 | 50  | 11 | 2  | 0  | 3985         | 4.8652                               |
|      |       | 1   | 67   | 657  | 1564 | 1022 | 436 | 155 | 47  | 9  | 2  | 0  | 3960         | 4.6706                               |
| 1997 |       | 11  | 151  | 974  | 1552 | 1070 | 590 | 328 | 117 | 20 | 6  | 1  | 4820         | 39.7282                              |
|      |       | 11  | 151  | 974  | 1552 | 1070 | 589 | 327 | 117 | 20 | 6  | 1  | 4818         | 39.7272                              |
| 1998 |       | 45  | 570  | 2035 | 1899 | 772  | 273 | 100 | 22  | 5  | 1  | 0  | 5722         | 1.6621                               |
|      |       | 45  | 570  | 2035 | 1898 | 770  | 269 | 99  | 22  | 5  | 1  | 0  | 5714         | 1.6583                               |
| 1999 |       |     | 123  | 1041 | 1325 | 667  | 295 | 103 | 34  | 14 | 3  | 0  | 3605         | 5.6542                               |
|      |       |     | 123  | 1041 | 1325 | 666  | 293 | 101 | 34  | 13 | 2  | 0  | 3598         | 5.1016                               |
| 2000 |       | 34  | 366  | 1260 | 1159 | 577  | 224 | 63  | 25  | 5  | 0  | 0  | 3713         | 0.8831                               |
|      |       | 34  | 366  | 1260 | 1158 | 568  | 214 | 60  | 24  | 5  | 0  | 0  | 3689         | 0.8740                               |
| 2001 |       | 33  | 375  | 1205 | 1214 | 620  | 217 | 100 | 31  | 8  | 4  | 0  | 3807         | 5.4857                               |
|      |       | 33  | 375  | 1205 | 1214 | 610  | 208 | 90  | 23  | 6  | 4  | 0  | 3768         | 5.1147                               |
| 2002 | 5     | 50  | 395  | 1185 | 1193 | 520  | 190 | 70  | 30  | 10 | 1  | 0  | 3649         | 2.4509                               |
|      | 5     | 50  | 395  | 1185 | 1190 | 512  | 181 | 66  | 29  | 7  | 1  | 0  | 3621         | 1.9975                               |
| 2003 | 23    | 157 | 885  | 1900 | 1516 | 778  | 304 | 103 | 38  | 11 | 1  | 2  | 5718         | 13.4688                              |
|      | 23    | 157 | 885  | 1900 | 1515 | 764  | 294 | 99  | 36  | 10 | 0  | 2  | 5685         | 12.9675                              |
| 2004 | 39    | 244 | 1211 | 1875 | 1250 | 584  | 215 | 77  | 26  | 11 | 0  | 1  | 5533         | 8.0628                               |
|      | 39    | 244 | 1211 | 1874 | 1245 | 558  | 199 | 68  | 22  | 7  | 0  | 1  | 5468         | 7.4454                               |

Примечание. Таблица содержит два ряда чисел за каждый год: первый указывает число и суммарную энергию всех землетрясений, которые удалось обработать в группе обработки, второй – только тех, что внутри «законных» границ региона, показанных на рис. 1.

Суммарная энергия, выделившаяся в очагах землетрясений в 2004 г. внутри границ региона, составляет  $\Sigma E = 7.4 \cdot 10^{14} \text{ Дж}$ , что несколько ниже среднегодового значения  $\Sigma E_{\text{ср}} = 8.1 \cdot 10^{14} \text{ Дж}$  за 1962–2003 гг.

В каталог [8] в наст. сб. включены землетрясения с  $K_S \geq 8.6$ . Общее их число составило 914, из которых 855 находятся внутри зоны ответственности КФ ГС РАН, 59 – вне ее. Сильных землетрясений с  $K_S \geq 11.6$  произошло 38, из них 30 – внутри зоны ответственности. Карта эпицентров всех землетрясений с  $K_S \geq 8.6$  приведена на рис. 2. Традиционно на карте показаны два вертикальных разреза поля гипоцентров – продольный В–В' (рис. 2 б) и поперечный А–А' (рис. 2 в).

На рис. 3 а представлен график распределения во времени суточных чисел землетрясений, на рис. 3 б – график накопления во времени высвобожденной в их очагах сейсмической энергии. Как видим, максимум числа землетрясений зафиксирован 26 июня, максимальный скачок в высвобождении энергии – 10 июня. Высокая ступень на графике рис. 3 б вызвана сильным ( $K_S = 14.8$ ,  $M_w = 6.8$ ) Тумрокским-II землетрясением (15) 10 июня в  $15^{\text{h}}19^{\text{m}}$  на глубине  $h = 208 \text{ км}$  [8] с эпицентром в пределах хр. Тумрок (см. рис. 2 а).

Значительное увеличение суточного числа толчков 26 июня на рис. 3 а вызвано возникновением роя землетрясений. Величина максимального толчка (19) роя, произошедшего 26 июня в  $19^{\text{h}}04^{\text{m}}$ , характеризуется значениями  $K_S = 12.4$ ,  $M_S = 4.9$ . Рой локализован в небольшом диапазоне глубин  $h = 0–40 \text{ км}$  в Кроноцком заливе, северо-восточнее эпицентральной зоны известного Кроноцкого землетрясения 05.12.1997 г. с  $M_w = 7.8$ ,  $I_0 = 8$  [9].

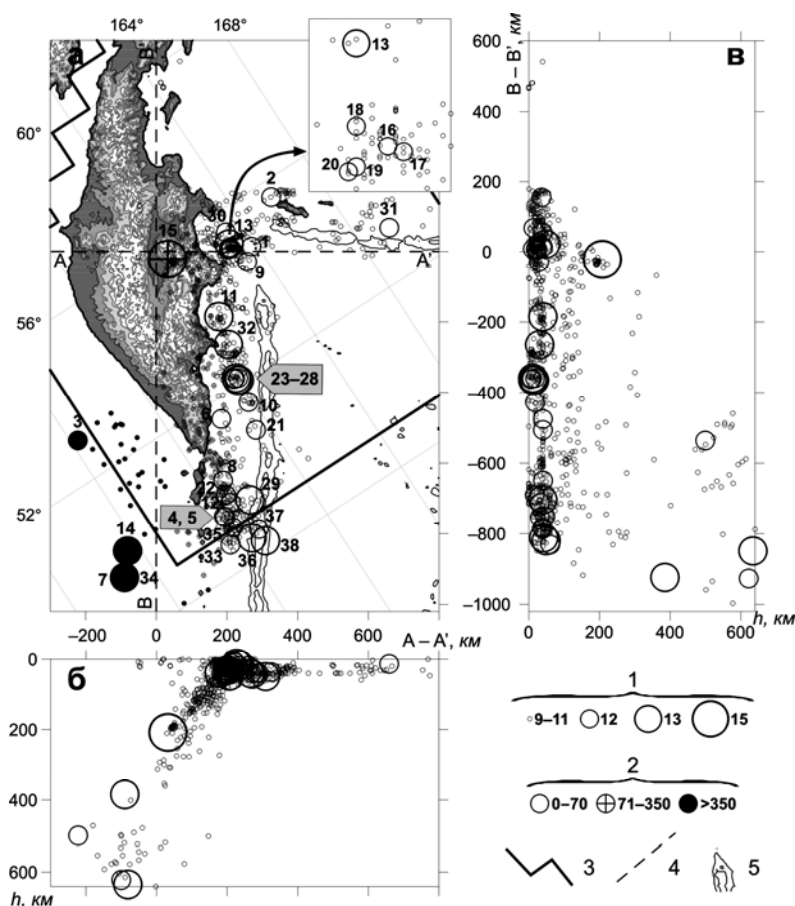


Рис. 2. Карта эпицентров землетрясений Камчатки за 2004 г. ( $K_S \geq 8.6$ ) (а) и глубинные разрезы на вертикальные плоскости А–А' (б) и В–В' (в)

1 – энергетический класс  $K_S$ ; 2 – глубина гипоцентра  $h$ , км; 3 – границы региона; 4 – линии плоскостей разрезов вдоль (А–А') и вкрест (В–В') фокальной зоны; 5 – изобаты 6000 и 7000 м.

На врезке приведены эпицентры очагов землетрясений роя, обозначенного стрелкой на основной карте.

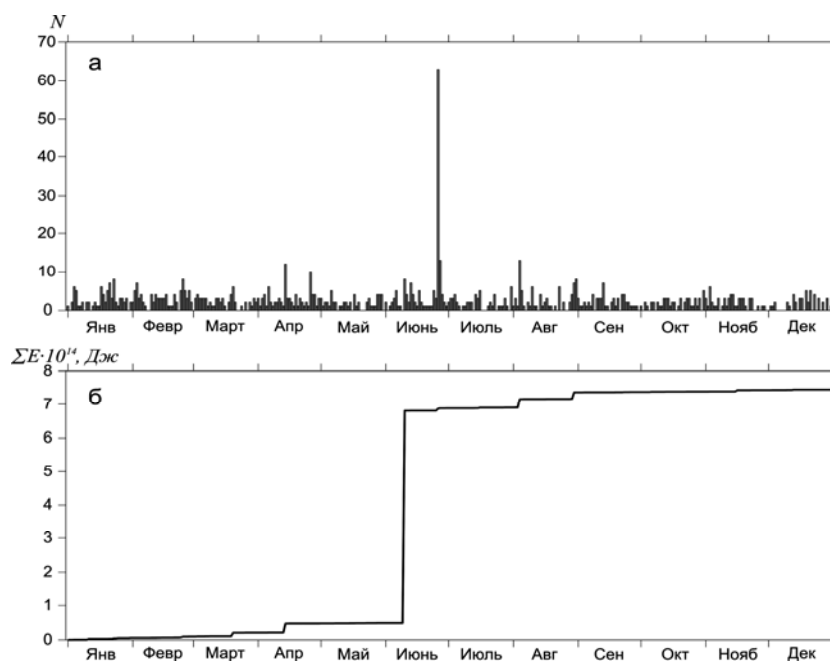


Рис. 3. Графики изменения суточных чисел  $N$  землетрясений с  $K_S \geq 8.6$  (а) и высвобожденной сейсмической энергии  $\Sigma E$  (б) за 2004 г.

**Ощутимых землетрясений** отмечено 36 с интенсивностью сотрясений  $I$  от 2 до 6 баллов [8]. Минимальная и максимальная интенсивности сотрясений отмечены в г. Северо-Курильск и вызваны землетрясениями равных классов  $K_S=13.3$  (18 декабря в  $06^h46^m$  и 30 августа в  $12^h33^m$ ), но на разных эпицентральных расстояниях – 239 и 171 км соответственно.

С максимальной интенсивностью  $I=5-6$  баллов в населенных пунктах ощущались три землетрясения, а именно: самое масштабное в 2004 г. по макросейсмическим проявлениям на территории Камчатского края Тумрокское-II землетрясение 10 июня (см. отдельную статью [10] в наст. сб.) и землетрясения (22, 29), произошедшие юго-восточнее о. Парамушир 16 июля в  $08^h24^m$  с  $K_S=12.1$ ,  $I=5-6$  баллов в Северо-Курильске (100 км) и 30 августа в  $12^h23^m$  с  $K_S=13.3$ ,  $I=6$  баллов в Северо-Курильске (171 км), 4–5 баллов – в Паужетке (236 км), 2–3 балла – в Институте (419 км) [8].

Сотрясения с  $I=5$  баллов отмечены на ГМС Водопадная (37 км) и мысе Шипунском (86 км) от землетрясений, зарегистрированных 31 января в  $14^h26^m$  с  $K_S=11.8$  и 20 марта в  $08^h53^m$  с  $K_S=13.0$  соответственно.

В Петропавловске-Камчатском наибольшие сотрясения в 2004 г. имели интенсивность  $I=4-5$  баллов и вызваны относительно близким ( $\Delta=162$  км) землетрясением 20 марта в  $08^h53^m$  с  $K_S=13.0$  [8].

**Механизмы очагов** определены по знакам первых вступлений  $P$ -волн для 22 из 38 сильных событий [11]. Они рассчитывались по программе FA2002 [12, 13]. Распределение землетрясений по типам подвижки за 2004 г. приведено в табл. 3, из которой виден преобладающий тип подвижки на Камчатке – взбросо-сдвиг (45% событий). Значительно меньше сдвигов (8%) и сбросо-сдвигов (5%), чисто сбросовых и взбросовых подвижек в очагах не наблюдалось.

**Таблица 3.** Распределение землетрясений Камчатки и Командорских островов по типам подвижек

| Тип подвижки  | Номера землетрясений из [8]                       | $N_i$ | $N_i/N_{\Sigma}$ , % |
|---------------|---|-------|----------------------|
| Сброс         | –   | 0     | 0                    |
| Сбросо-сдвиг  | 15, 36  | 2     | 5                    |
| Взброс        | –   | 0     | 0                    |
| Взбросо-сдвиг | 2, 4, 6, 7, 10, 11, 13, 14, 25–29, 32, 34, 37, 38 | 17    | 45                   |
| Сдвиг         | 3, 9, 23  | 3     | 8                    |
| Не определен  | 1, 5, 8, 12, 16–22, 24, 30, 31, 33, 35            | 16    | 42                   |

Рассмотрим особенности сейсмического процесса региона по отдельным зонам, представленным на рис. 4 из [14]. Принципы деления территории Камчатки и прилегающих областей на зоны, а также их границы подробно описаны в [4, 14].

В табл. 4 даны абсолютные и относительные числа землетрясений на двух энергетических срезах  $K_S \geq 8.6$  и  $K_S \geq 11.6$ , а также средние значения этих чисел за весь период инструментальных наблюдений с 1962 по 2003 г. При этом учитывались лишь землетрясения, входящие в зону ответственности Камчатского филиала.

Как и в 2003 г. [14], суммарная энергия, высвобожденная в очагах землетрясений в промежуточном слое сейсмофокальной зоны с  $h=70-350$  км, превысила более чем в шесть раз значение энергии, высвобожденной в поверхностном слое с  $h=0-70$  км. Это связано с тем, что в 2003–2004 гг. в средней части сейсмофокальной зоны произошли очень похожие сильные Тумрокское-I и Тумрокское-II землетрясения: 16.06.2003 г. на глубине  $h=190$  км с  $K_S=14.7$ ,  $M_w=6.9$  [14] и 10.06.2004 г. на глубине  $h=208$  км с  $K_S=14.8$ ,  $M_w=6.8$  [8]. В остальных зонах значения выделенной энергии были ниже среднего за 1962–2003 гг. (табл. 4).

В наиболее активной **Камчатской сейсмофокальной зоне (№ 1)** в 2004 г. произошло 711 (83.2%) землетрясений с  $K_S \geq 8.6$ . По трем глубинным слоям они распределились следующим образом: 521 (61%) – поверхностных ( $0 \leq h \leq 70$  км), 171 (20%) – промежуточных ( $70 < h \leq 350$  км), 19 (2.2%) – глубоких ( $h > 350$  км). Статистика сильных событий с  $K_S=11.6-14.8$  выглядит следующим образом: поверхностных – 27, промежуточных – 1, глубоких – 0. Карта эпицентров землетрясений фокальной зоны, а также диаграммы механизмов в проекции нижней полушеры с указанием типа подвижки показаны на рис. 5. Ниже дано описание проявлений сейсмичности в 2004 г. в зоне № 1 по каждому слою в отдельности.

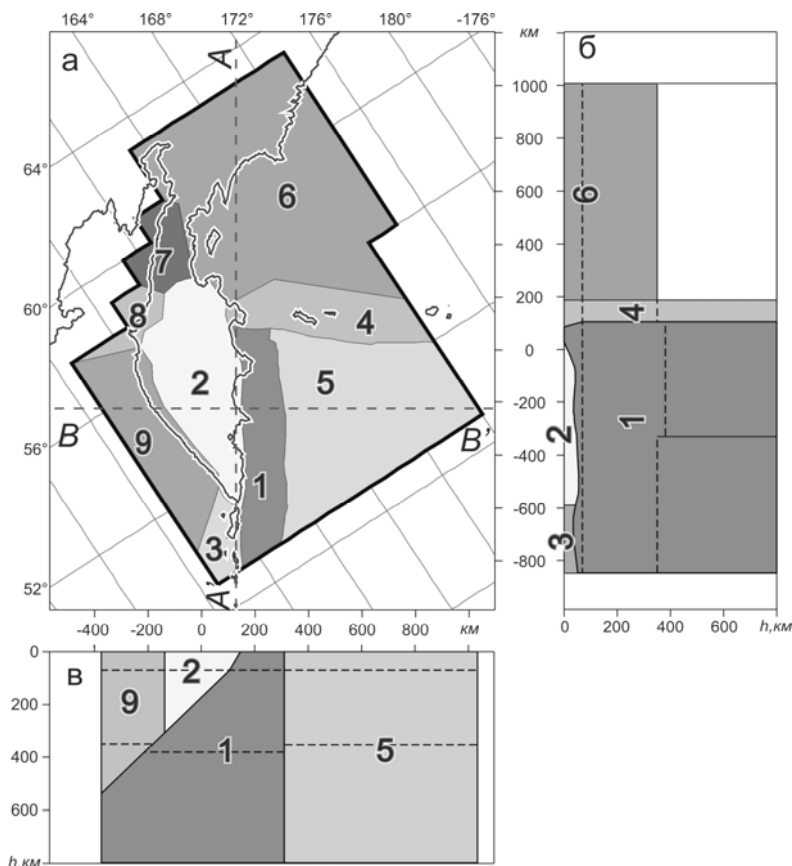


Рис. 4. Карта зон сейсмической активности на территории Камчатки и прилегающих районов в плане (а) и на вертикальных разрезах по линиям А–А' (б) и В–В' (в) соответственно из [14]

№ 1 – Камчатская сейсмофокальная; № 2 – континентальная часть п-ва Камчатка; № 3 – Северные Курилы; № 4 – Командорский сегмент Алеутской дуги; № 5 – северо-Западная часть Тихого океана; № 6 – Корьякия и западная часть Берингова моря; № 7 – Камчатский перешеек; № 8 – Утхолок; № 9 – Западная Камчатка.

Таблица 4. Распределение числа землетрясений с  $K_S \geq 8.6$  и выделенной энергии по зонам в 2004 г. в сопоставлении с их средними оценками за 1962–2003 гг.

| Зона                                | № | Слой | Средние значения за 1962–2003 гг. |                       |                            |                              | 2004 г.                 |                       |                            |                              |
|-------------------------------------|---|------|-----------------------------------|-----------------------|----------------------------|------------------------------|-------------------------|-----------------------|----------------------------|------------------------------|
|                                     |   |      | $N$<br>( $K \geq 8.6$ )           | $N/N_{\Sigma}$ ,<br>% | $N$<br>( $K_S \geq 11.6$ ) | $\Sigma E$ ,<br>$10^{13}$ Дж | $N$<br>( $K \geq 8.6$ ) | $N/N_{\Sigma}$ ,<br>% | $N$<br>( $K_S \geq 11.6$ ) | $\Sigma E$ ,<br>$10^{13}$ Дж |
| Камчатская сейсмофокальная зона     | 1 | A    | 543                               | 61.1                  | 22                         | 29.36                        | 521                     | 61                    | 27                         | 10.57                        |
|                                     |   | B    | 123                               | 13.8                  | 4                          | 29.72                        | 171                     | 20                    | 1                          | 63.29                        |
|                                     |   | C S  | 3                                 | 0.3                   | <1                         | 0.49                         | 19                      | 2.2                   | 0                          | 0.02                         |
| Континентальная часть п-ва Камчатка | 2 | A    | 45                                | 5.1                   | 1                          | 1.26                         | 8                       | 0.9                   | 0                          | <0.01                        |
| Командорский сегмент Алеутской дуги | 4 | A    | 110                               | 12.4                  | 5                          | 13.65                        | 93                      | 10.9                  | 2                          | 0.49                         |
|                                     |   | B    | 1                                 | 0.1                   | <1                         | 0.05                         | 1                       | 0.1                   | 0                          | <0.01                        |
| Северо-Западная часть Тихого океана | 5 | A    | 51                                | 5.7                   | 1                          | 1.11                         | 35                      | 4.1                   | 0                          | 0.05                         |
| Корьякия и Берингово море           | 6 | A    | 9                                 | 1.0                   | <1                         | 5.49                         | 7                       | 0.8                   | 0                          | <0.01                        |
| Всего в регионе                     |   |      | 889                               | 99.5                  | 34                         | 81.44                        | 855                     | 100                   | 30                         | 74.42                        |

Примечания. 1 – буквами А, В, С\_S обозначены слои: поверхностный ( $0 \leq h \leq 70$  км), промежуточный ( $70 < h \leq 350$  км) и глубокий ( $h > 350$  км) соответственно. Более подробно информация о делении Камчатки на зоны представлена в работах [4, 14].

2 – в таблице приведены средние значения энергии и числа землетрясений только для тех зон и слоев, в которых в 2004 г. было зарегистрировано хотя бы одно землетрясение с  $K_S \geq 8.6$ . В зонах №№3, 7–9, имеющих среднегодовые значения  $N(K_S \geq 8.6) < 1$  и  $\Sigma E \leq 10^{12}$  Дж, в 2004 г. землетрясений с  $K_S \geq 8.6$  не наблюдалось.

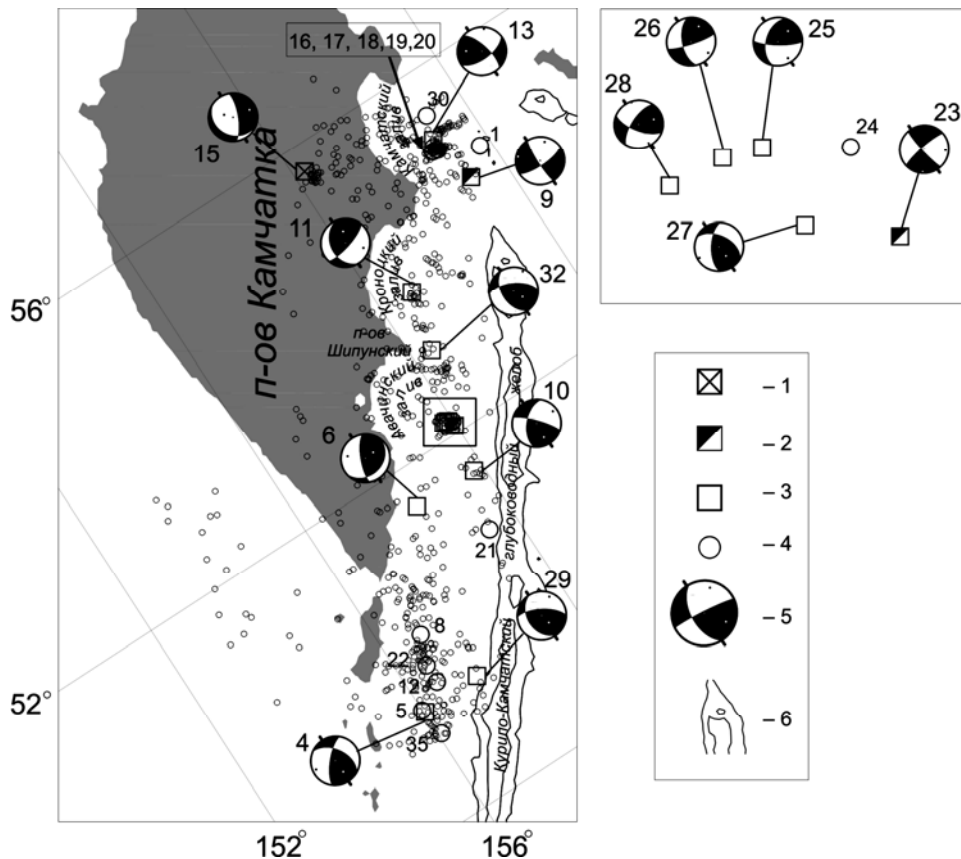


Рис. 5. Карта эпицентров землетрясений Камчатской сейсмофокальной зоны за 2004 г.

1–4 – эпицентры сильных ( $K_S \geq 11.6$ ) землетрясений и типы подвижки (1 – сбросо-сдвиг; 2 – сдвиг; 3 – взбросо-сдвиг; 4 – механизм очага не определен); 5 – диаграмма механизма очага (числа около диаграмм механизмов обозначают номер землетрясения по каталогу [8]); 6 – изобаты 6000 и 7000 м. Маленькими кружками показаны эпицентры всех землетрясений зоны.

На врезке приведены эпицентры и диаграммы механизмов очагов землетрясений из района, обозначенного квадратом на основной карте.

В поверхностной части сейсмофокальной зоны (№ 1) выделены два значительных роя землетрясений с главными толчками (13) и (27); шесть небольших роев с главными толчками (9, 11, 22, 29, 32, 35); девять одиночных сильных землетрясений (1, 4–6, 8, 10, 12, 21, 30) [8]. Сведения о группируемости предоставлены сотрудником КФ ГС РАН Н.М. Кравченко.

Самый заметный рой землетрясений возник в Камчатском заливе (рис. 2). Активизация этой области началась в апреле. Самое сильное ( $K_S=13.4$ ,  $M_w=6.1$ ) событие (13) роя зарегистрировано 14 апреля в 01<sup>h</sup>54<sup>m</sup> с  $h=48$  км. Толчки различной величины продолжались в этом районе до конца 2004 г. Всего в этом рое зарегистрировано 269 землетрясений с  $K_S=5.7$ –13.4, из которых 95 имели  $K_S \geq 8.6$ . Наиболее сильные ( $K_S \geq 11.6$ ) землетрясения сгруппировались в два коротких временных интервала: 14 апреля произошло главное землетрясение (13), а 26 июня южнее него на 10 км – 61 землетрясение с  $K_S \geq 8.6$  (рис. 3 а, [8]), из которых землетрясения (16–20) – с  $K_S=11.6$ –12.4 (см. врезку рис. 2 а, рис. 5). Эпицентральной зону роя можно оконтурить эллипсом (с осями 85x35 км), ориентированным в восток–северо-восточном направлении. Гипоцентры располагались на глубинах 0–60 км. Суммарная сейсмическая энергия, выделившаяся в рое, составила  $3.2 \cdot 10^{13}$  Дж. Тип подвижки в очаге удалось определить только для главного события (13): взбросы по обеим нодальным плоскостям с правосторонним сдвигом по плоскости  $NP1$  и левосторонним – по  $NP2$ . Одна из возможных плоскостей разрыва круто падает в северо-западном направлении, другая простирается в субширотном. Ось напряжения сжатия близгоризонтальна (рис. 5). Землетрясение (13) ощущалось с интенсивностью до 4 баллов на побережье Камчатки в следующих населенных пунктах: Мыс Африка ( $\Delta=114$  км), Усть-Камчатск (122 км), Крутоберегово (124 км), Ключи (185 км), Никольское (192 км).

Помимо этого в Камчатском заливе произошло еще три сильных землетрясения (1, 9, 30). Они реализовались последовательно 4 января в  $13^{\text{h}}29^{\text{m}}$  с  $K_S=11.6$  на глубине  $h=40$  км, 25 февраля в  $08^{\text{h}}56^{\text{m}}$  с  $K_S=12.3$ ,  $h=29$  км, и 23 сентября в  $07^{\text{h}}20^{\text{m}}$  с  $K_S=11.7$ ,  $h=39$  км (рис. 2 а, 5). В очаге события (9) обе нодальные плоскости имеют крутое падение, одна из возможных плоскостей разрыва простирается в субмеридиональном направлении, другая – в субширотном. Тип движения – сдвиг с элементами сброса.

Заслуживает внимание также рой в Авачинском заливе, произошедший 4 августа. За один день здесь, на площадке размером  $15 \times 20$  км, зарегистрировано шесть сильных землетрясений (23–28) с  $M_w$  до 5.6. Суммарная энергия роя составила  $2.5 \cdot 10^{13}$  Дж. Землетрясения возникли под действием превалирующих напряжений сжатия. Самое сильное ( $K_S=13.0$ ,  $M_w=5.6$ ) землетрясение (27) в рое произошло 4 августа в  $21^{\text{h}}15^{\text{m}}$  с  $h=12$  км и ощущалось в Петропавловске-Камчатском с интенсивностью  $I=3-4$  балла. Обе возможные плоскости разрыва простираются в субмеридиональном направлении, ось напряжения сжатия близгоризонтальна и близширотна. Взброс осложнен сдвиговой компонентой по обеим нодальным плоскостям. Подвижки в очагах землетрясений (25, 26) очень похожи. По одной из нодальных плоскостей произошел взброс с существенной сдвиговой компонентой, по другой – сдвиг с элементами взброса. Оси напряжения сжатия близгоризонтальны, направлены на юго-восток. Движение в очаге (23) происходило под действием близких по величине напряжений сжатия и растяжения. Тип подвижки – сдвиг по обеим нодальным плоскостям, ось напряжения сжатия также направлена на юго-восток. В очаге землетрясения (28) сдвиговая подвижка по обеим плоскостям разрыва сочетается с элементами взброса.

На западном склоне Курило-Камчатского глубоководного желоба в южной части Авачинского залива 3 марта в  $00^{\text{h}}20^{\text{m}}$  было зарегистрировано землетрясение (10) с  $K_S=11.6$ ,  $M_w=4.8$ ,  $h=18$  км. Обе нодальные плоскости в его очаге круто падают в субмеридиональном направлении. По одной из плоскостей произошел взброс с компонентой правостороннего сдвига, по другой – левосторонний сдвиг с элементами взброса. Ось напряжения сжатия близгоризонтальна, направлена на восток. Немного южнее 27 июня в  $01^{\text{h}}29^{\text{m}}$  произошло событие (21) с  $K_S=11.7$  на глубине  $h=40$  км.

Небольшой рой землетрясений был зарегистрирован в Кроноцком заливе (рис. 2, 4). Главное событие (11) реализовалось 20 марта в  $08^{\text{h}}53^{\text{m}}$  с  $K_S=13.0$ ,  $M_w=5.6$ ,  $h=12$  км. Согласно решению механизма очага [11], произошел сдвиг с элементами взброса по нодальной плоскости, простирающейся на север, по другой – взброс с правосторонним сдвигом. Землетрясение (32), отмеченное 16 ноября в  $11^{\text{h}}57^{\text{m}}$  напротив п-ова Шипунский с  $K_S=12.6$ ,  $M_w=5.4$  и  $h=31$  км, имеет аналогичную подвижку в очаге: сдвиг с элементами взброса по нодальной плоскости юго-восточного простиранья, взброс с элементами левостороннего сдвига – по другой плоскости.

Южнее Авачинского залива у берега Камчатского п-ова 31 января в  $14^{\text{h}}26^{\text{m}}$  зарегистрировано одиночное землетрясение (6) с  $K_S=11.8$ ,  $M_w=4.8$  и  $h=40$  км. Обе нодальные плоскости в его очаге простираются в северо-восточном направлении. По  $NP1$  произошел взброс с компонентой левостороннего сдвига, по  $NP2$  – правосторонний сдвиг с элементами взброса.

Как всегда, сейсмически активной была часть фокальной зоны, находящаяся между островами Северных Курил и Курило-Камчатским глубоководным желобом, где были зафиксированы семь (4, 5, 8, 12, 22, 29, 35) сильных ( $K_S=11.6-13.3$ ) землетрясений. Механизм очага определен только для (4) и (29). На западном склоне желоба 30 августа в  $12^{\text{h}}23^{\text{m}}$  зарегистрировано землетрясение (29) с  $K_S=13.3$ ,  $M_w=5.4$ ,  $h=40$  км. Обе возможные плоскости разрыва имеют северо-северо-западное простиранье, вкрест геолого-тектонических структур желоба. Тип подвижки в очаге – взбросо-сдвиг. Подвижка в очаге землетрясения (4), локализованного 23 января в  $17^{\text{h}}03^{\text{m}}$ , с  $K_S=12.1$ ,  $h=34$  км – взбросо-сдвиг. Обе нодальные плоскости круто падают в субмеридиональном направлении, по обеим произошел сдвиг с компонентой взброса. Ось напряжения сжатия близгоризонтальна, направлена на запад.

Характер подвижки в землетрясениях поверхностного слоя достаточно однороден и представляет собой взброс с элементами правостороннего сдвига по плоскости, ориентированной вдоль сейсмофокальной зоны.

В промежуточном слое зоны (№ 1) зафиксировано 171 землетрясение, или 20% всех событий. Среди них 10 июня в  $15^{\text{h}}19^{\text{m}}$  зарегистрировано самое сильное ( $K_S=14.8$ ,  $M_w=6.8$ ) событие года (15) на глубине  $h=208$  км, названное Тумрокское-II (его эпицентр находится на рас-



стоянии 40 км северо-западнее от Тумрокского-I, 2003 г. [14]). Землетрясение (15) сопровождалось серией афтершоков и ощущалось на территории Камчатки с интенсивностью до 6 баллов [8]. Оно возникло под действием растягивающих напряжений, действующих в восточном направлении [11]. Тип подвижки в его очаге – сбросо-сдвиг (так же как и в очаге Тумрокского-I землетрясения в 2003 г. [14]).

В глубоком слое зоны (№ 1) отмечено лишь 19 землетрясений, или 2.2% всех событий. Сильных землетрясений, находящихся в пределах зоны ответственности сети Камчатского филиала в 2004 г., зафиксировано не было.

В Командорском сегменте Алеутской дуги (№ 4) в 2004 г. произошло 94 землетрясения с  $K_S \geq 8.6$ : 93 – в поверхностном слое и 1 – в промежуточном. Два события (2, 31) в поверхностном слое Командорского сегмента Алеутской дуги имели  $K_S \geq 11.6$  (рис. 6). Событие (2) с  $K_S=12.4$ ,  $M_w=5.4$ , зарегистрированное 11 января в 19<sup>h</sup>31<sup>m</sup> на глубине  $h=36$  км, является одним из афтершоков Командорского землетрясения 05.12.2003 г. с  $K_S=14.8$ ,  $M_w=6.6$  [15], локализованного к северо-западу от о-ва Беринга. Афтершок 2004 г. (2), как и главный толчок Командорского землетрясения 2003 г. [15], имеет взбросо-сдвиговую подвижку в очаге. По плоскости  $NP1$ , простирающейся с запада на восток, наблюдается правосторонний сдвиг с элементами взброса, по  $NP2$  – левосторонний сдвиг с элементами взброса. Ось напряжения сжатия близгоризонтальна, направлена на запад.

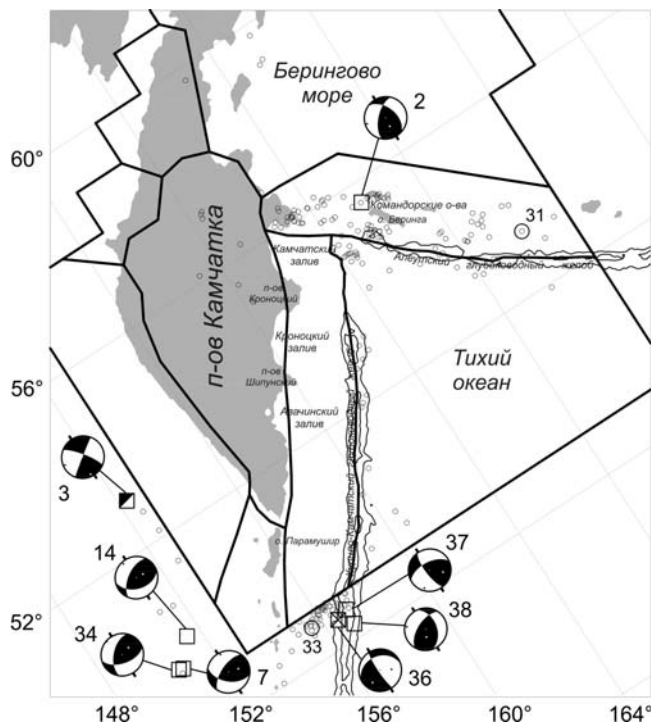


Рис. 6. Карта эпицентров землетрясений всех зон Камчатки и прилегающих территорий, кроме зоны, представленной на рис. 5.

Условные обозначения те же, что на рис. 5; линиями обозначены границы зон сейсмической активности

Статистика землетрясений в остальных зонах представлена следующим образом. В зоне № 2 (Континентальная часть п-ва Камчатка) зарегистрировано 8 землетрясений, в зоне № 6 (Корякия и западная часть Берингова моря) – 7, в зоне № 5 (Северо-западная часть Тихоокеанской плиты) – 35. Сильных землетрясений в этих зонах не было. В остальных зонах (№№ 3, 7–9) землетрясений с  $K_S \geq 8.6$  отмечено не было.

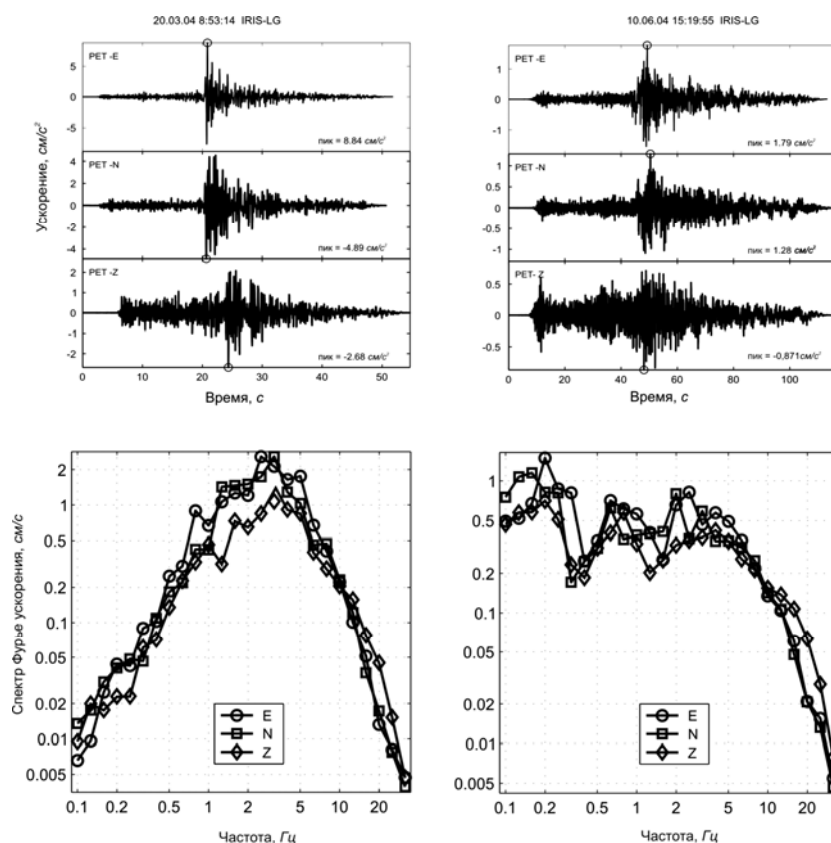
За пределами границ ответственности сети КФ ГС РАН обработаны восемь землетрясений (3, 7, 14, 33, 34, 36, 37, 38) с  $K_S \geq 11.6$ . Механизмы очага определены для всех событий (рис. 6), кроме (33).

Сильные движения записаны в 2004 г. для семи землетрясений (табл. 5). Приводятся материалы регистрации колебаний грунта трехкомпонентным акселерографическим каналом LG широкополосной цифровой сейсмической станции «Петропавловск». Используются форсбалансные (ФВА) акселерографы с обратной связью с собственной частотой 46 Гц и затуханием  $D=0.77$ . Частота опроса равна 80 отсчет/с. Записи получены от ощутимых камчатских землетрясений с

$M_w=5.2-6.8$ . В табл. 5 даны зарегистрированные максимальные ускорения и скорости грунта, скорректированные за АЧХ прибора. На рис. 7 показаны скорректированные за прибор акселерограммы землетрясений (11) с  $M_w=5.5$  и (15) с  $M_w=6.8$ , произошедших 20 марта в 08<sup>h</sup>53<sup>m</sup> и 10 июня в 15<sup>h</sup>19<sup>m</sup>, и их спектры Фурье. Спектры Фурье полной записи в основном отражают спектр энергии S-волн. Спектр события (11) заметно смещен в сторону высоких частот относительно ожидаемого при магнитуде 5.5, указывая на необычно короткий очаговый процесс. Форма спектра события (15) примерно соответствует ожидаемой при магнитуде 6.8 и гипоцентрального расстоянии около 350 км.

**Таблица 5.** Максимальные «истинные» скорости и ускорения грунта по записям землетрясений за 2004 г. на станции «Петропавловск»

| № | Дата<br>д м | $t_0$<br>ч мин с | Эпицентр            |                     | $h$ ,<br>км | $\Delta$ ,<br>км | $K_S$ | $I$ ,<br>балл | $M_w$ | Состав-<br>ляющая | $v_{max}$ ,<br>см/с     | $a_{max}$ ,<br>см/с <sup>2</sup> |
|---|-------------|------------------|---------------------|---------------------|-------------|------------------|-------|---------------|-------|-------------------|-------------------------|----------------------------------|
|   |             |                  | $\varphi^\circ$ , N | $\lambda^\circ$ , E |             |                  |       |               |       |                   |                         |                                  |
| 1 | 20.03.      | 08 53 14.8       | 53.74               | 160.76              | 40          | 162              | 13.0  | 4–5           | 5.5   | E<br>N<br>Z       | 0.42<br>0.31<br>0.11    | 8.81<br>4.89<br>2.68             |
| 2 | 14.04.      | 01 54 8.4        | 55.16               | 162.97              | 48          | 369              | 13.4  | 2–3           | 6.1   | E<br>N<br>Z       | 0.053<br>0.042<br>–     | 0.48<br>0.41<br>–                |
| 3 | 10.06.      | 15 19 54.9       | 55.68               | 160.25              | 208         | 314              | 14.8  | 3–4           | 6.8   | E<br>N<br>Z       | 0.27<br>0.28<br>0.21    | 1.79<br>1.28<br>0.87             |
| 4 | 04.08.      | 09 48 28.0       | 52.09               | 159.97              | 16          | 140              | 12.7  | 2–3           | 5.2   | E<br>N<br>Z       | 0.031<br>0.042<br>0.029 | 0.60<br>0.68<br>0.32             |
| 5 | 04.08.      | 11 03 30.1       | 52.18               | 159.90              | 11          | 140              | 12.9  | 3–4           | 5.4   | E<br>N<br>Z       | 0.051<br>0.079<br>0.052 | 0.71<br>0.82<br>0.41             |
| 6 | 04.08.      | 21 15 11.6       | 52.13               | 159.89              | 12          | 129              | 13.0  | 3–4           | 5.6   | E<br>N<br>Z       | 0.048<br>0.061<br>0.029 | 0.86<br>1.01<br>0.44             |
| 7 | 16.11.      | 11 57 26.3       | 53.00               | 160.44              | 31          | 119              | 12.6  | 3–4           | 5.4   | E<br>N<br>Z       | 0.081<br>0.069<br>0.049 | 1.90<br>1.39<br>0.90             |



**Рис. 7.** Записи землетрясений 20 марта (11) и 10 июня (15) 2004 г. широкополосной сейсмической станции «Петропавловск» (вверху) и их спектры Фурье (внизу)

Авторы выражают глубокую благодарность Раисе Степановне Михайловой за ценные замечания и тщательное редактирование статьи.

## Л и т е р а т у р а

1. **Чебров В.Н., Воропаев В.Ф., Дрознин Д.В., Сергеев В.А., Шевченко Ю.В.** Развитие сети цифровых сейсмических станций Камчатки // Геофизический мониторинг Камчатки. Материалы научно-технической конференции, 17–18 января 2006 г., г. Петропавловск-Камчатский. – Петропавловск-Камчатский: КФ ГС РАН, 2006. – С. 13–20.
2. **Левина В.И., Иванова Е.И., Гусева Е.М.** Камчатка и Командорские острова // Землетрясения Северной Евразии в 2001 году. – Обнинск: ГС РАН, 2007. – С. 213–222.
3. **Старовойт О.Е., Мишаткин В.Н.** Сейсмические станции Российской академии наук (состояние на 2001 г.). – Москва–Обнинск: ГС РАН, 2001. – 86 с.
4. **Левина В.И., Иванова Е.И., Ландер А.В., Гусева Е.М.** Камчатка и Командорские острова // Землетрясения Северной Евразии, 2002 г. – Обнинск: ГС РАН, 2008. – С. 215–225.
5. **Федотов С.А., Зобин В.М., Гордеев Е.И., Иванова Е.И., Лепская Т.С., Митякин В.П., Синельникова Л.Г., Чиркова В.Н.** Землетрясения Камчатки и Командорских островов // Землетрясения в СССР в 1985 году. – М.: Наука, 1988. – С. 155–169.
6. **Гусев А.А.** Определение гипоцентров близких землетрясений Камчатки на ЭВМ // Вулканология и сейсмология. – 1979. – № 1. – С. 74–81.
7. **Федотов С.А.** Энергетическая классификация Курило-Камчатских землетрясений и проблема магнитуд. – М.: Наука, 1972. – 117 с.
8. **Левина В.И., Лепская Т.С. (отв. сост.), Антипова О.Г., Бахтиарова Г.М., Карпенко Е.А., Кривогорницына Т.М., Митюшкина С.В., Пархоменко С.А., Пилипенко Л.В., Раевская А.А., Шевченко Н.А.** Каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов за 2004 год. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
9. **Левина В.И., Гусев А.А., Павлов В.М., Иванова Е.И., Левин В.Е., Рябинин Г.В., Хаткевич Ю.М., Гусева Е.М., Салтыков В.А., Зобин В.М.** Кроноцкое землетрясение 5 декабря 1997 года с  $M_w=7.8$ ,  $I_0=8$  (Камчатка) // Землетрясения Северной Евразии в 1997 году. – Обнинск: ГС РАН, 2003. – С. 250–271.
10. **Левина В.И., Митюшкина С.В., Чеброва А.Ю., Иванова Е.И.** Тумрокское-I землетрясение 16 июня 2003 года с  $M_w=6.9$ ,  $I_0=6$  и Тумрокское-II землетрясение 10 июня 2004 года с  $M_w=6.8$ ,  $I_0=5-6$  (Камчатка). (См. раздел III (Сильные и ощутимые землетрясения) в наст. сб.).
11. **Иванова Е.И. (отв. сост.)**. Каталог механизмов очагов землетрясений Камчатки и Командорских островов за 2004 год. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
12. **Комплексные сейсмологические и геофизические исследования Камчатки и Командорских островов** (отчет за 01.01.2003–31.12.2003). – Петропавловск-Камчатский: Фонды КФ ГС РАН, 2004. – 350 с.
13. **Комплексные сейсмологические и геофизические исследования Камчатки и Командорских островов** (отчет за 01.01.2005–31.12.2005). – Петропавловск-Камчатский: Фонды КФ ГС РАН, 2006. – 478 с.
14. **Левина В.И., Иванова Е.И., Ландер А.В., Чеброва А.Ю., Гусев А.А., Гусева Е.М.** Камчатка и Командорские острова // Землетрясения Северной Евразии, 2003 год. – Обнинск: ГС РАН, 2009. – С. 181–182.
15. **Левина В.И., Чеброва А.Ю., Ландер А.В., Иванова Е.И., Митюшкина С.В., Титков Н.Н.** Командорское-II землетрясение 5 декабря 2003 года с  $MS=6.8$ ,  $I_0=7$  (Командорские острова) // Землетрясения Северной Евразии, 2003 год. – Обнинск: ГС РАН, 2009. – С. 374–381.