

КАМЧАТКА И КОМАНДОРСКИЕ ОСТРОВА

В.Н. Чебров¹, Е.А. Матвеев¹, С.В. Митюшкина¹, Е.И. Иванова¹, Е.М. Гусева¹,В.И. Левина², А.В. Ландер³¹ Камчатский филиал ГС РАН, Петропавловск-Камчатский,
г. Петропавловск-Камчатский, van@emsd.ru² Геофизическая служба РАН, г. Обнинск, vlr.levina@gmail.com³ Институт теории прогноза землетрясений и математической
геофизики РАН, г. Москва, land@mitp.ru

В 2008 г. продолжилась работа по модернизации сети сейсмических станций Камчатки. В течение ноября-декабря установлено три новые станции: «Асача» (ASAK), «Мутновский» (MTVR), «Палана» (PALN). Станция «Тиличики» (TILR) была модернизирована и перенесена в новую сейсмокамеру, расположенную на расстоянии более 500 м от старого места, в связи с чем код станции был изменен на TILK. На станции «Северо-Курильск» (SKR), принадлежащей Сахалинскому филиалу ГС РАН, дополнительно к существующему комплексу аналоговой аппаратуры 2 июня специалистами КФ ГС РАН установлена цифровая аппаратура СЦСС+GSR-24.

Сведения о сейсмических станциях Камчатки приведены в [1, 2]. Параметры новых и модернизированных станций даны в табл. 1 и 2.

Таблица 1. Сведения о сейсмических станциях, установленных и модернизированных Камчатским филиалом ГС РАН в 2008 г.

| Станция | | Дата открытия/ модернизации* | Координаты | | | Аппаратура | |
|------------------|-------|---------------------------------|------------|--------|-----------------------|------------|--------------|
| Название | Код | | φ°, N | λ°, E | h _y , м | | |
| | межд. | рег. | | | | | |
| Северо-Курильск* | SKR | SKR | 2008.06.02 | 50.670 | 156.116 | 30 | СЦСС, GSR-24 |
| Палана | PALN | PAL | 2008.11.13 | 59.089 | 159.966 | 38 | GSR-24 |
| Асача | ASAK | ASA | 2008.12.01 | 52.385 | 157.901 | 920 | Телеметрия |
| Мутновский | MTVR | MTV | 2008.12.01 | 52.484 | 158.193 | 1390 | Телеметрия |
| Тиличики* | TILK | TL1 | 2008.12.04 | 60.446 | 166.145 | 25 | СЦСС, GSR-24 |

Таблица 2. Данные об аппаратуре цифровых и телеметрических станций, установленных и модернизированных Камчатским филиалом ГС РАН в 2008 г.

| Название станции | Тип датчика | Перечень каналов | Частотный диапазон, Гц | Частота опроса данных, Гц | Разрядность АЦП | Чувствительность, велосигграф – отсчет/(м/с), акселерограф – отсчет/(м/с ²) |
|------------------|-------------|------------------|------------------------|---------------------------|-----------------|---|
| Северо-Курильск | СМ-3-ОС | ВН (N, E, Z) v | 0.02–7 | | | 4.0·10 ⁹ |
| | СМГ-5Т | НН (N, E, Z) a | 0–40 | 100 | 24 | 5.0·10 ⁵ |
| Палана | STS-2 | ВН (N, E, Z) v | 0.0083–40 | 100 | 24 | 7.8·10 ⁸ |
| Асача | СМ-3 | SH (N, E, Z) v | 0.7–20 | 128 | 11 | 1.0·10 ⁷ |
| | СМ-3-ВЧ | EH (Z) v | 4–20 | 128 | 11 | 4.0·10 ⁸ |
| Мутновский | СМЗ | SH (N, E, Z) v | 0.7–20 | 128 | 11 | 1.0·10 ⁷ |
| Тиличики | СМ-3-ОС | ВН (N, E, Z) v | 0.02–7 | | | 4.5·10 ⁹ |
| | СМГ-5Т | НН (N, E, Z) a | 0–40 | 100 | 24 | 5.3·10 ⁵ |

В рамках научно-исследовательской работы «Развитие сети сейсмологических наблюдений и средств обработки и передачи данных в целях предупреждения о цунами», начавшейся в

2006 г., стала интенсивно развиваться сеть цифровых станций, оснащенная широкополосными велосиметрами и акселерометрами: обновлялось устаревшее оборудование, устанавливались новые приборы. В 2008 г. Камчатская сеть насчитывала 15 цифровых станций, оснащенных акселерометрами (рис. 1, табл. 3 и 4).

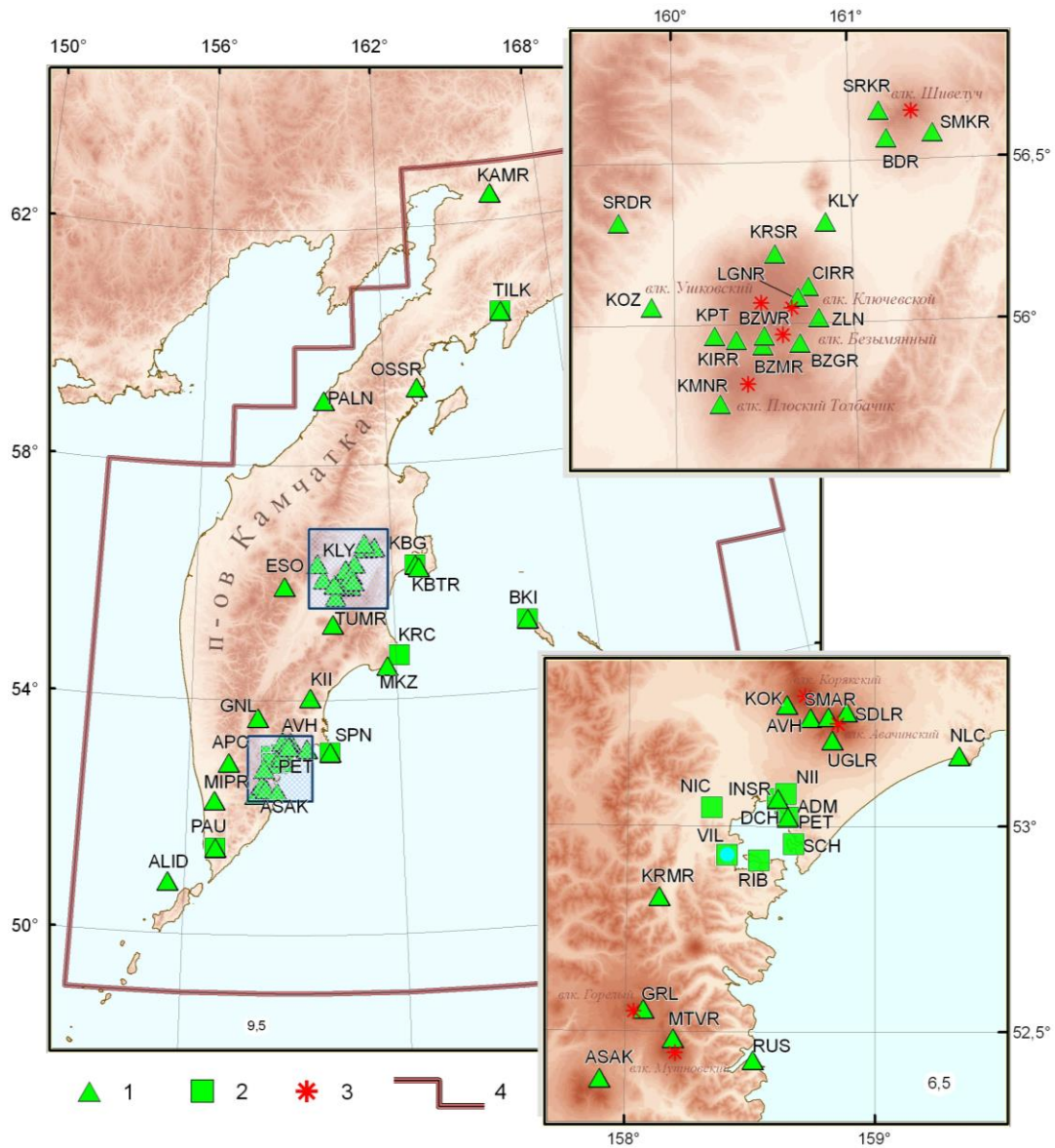


Рис. 1. Сеть сейсмических станций Камчатки в 2008 г.

1, 2 – сейсмическая станция с велосиметром или акселерометром соответственно; 3 – вулкан; 4 – граница зоны ответственности КФ ГС РАН.

Таблица 3. Сведения о сейсмических станциях Камчатского филиала ГС РАН, оснащенных акселерометрами в 1993–2008 гг., составляющих сеть сильных движений (ССД), предназначенную для регистрации сильных землетрясений

| № | Станция Название | Код | | Дата установки цифрового акселерометра | Координаты | | | Аппара- тура |
|---|---------------------|-------|------|--|--------------------|--------------------|----------|-----------------|
| | | межд. | рег. | | φ°, N | λ°, E | $h_y, м$ | |
| 1 | Петропавловск | PET | PET | 15.09.1993 | 53.023 | 158.650 | 100 | IRIS |
| 2 | Администрация | | ADM | 01.07.2005 | 53.023 | 158.647 | 5 | GSR-24 |
| 3 | Дачная | | DCH | 01.07.2005 | 53.058 | 158.639 | 160 | GSR-24 |
| 4 | Крутоберегово | KBG | KBG | 10.04.2006 | 56.258 | 162.713 | 30 | GSR-24 |

| Станция | | | | Дата установки цифрового акселерометра | Координаты | | | Аппара- тура |
|---------|----------------|-------|------|--|------------|---------|-----------------------|-----------------|
| № | Название | Код | | | φ°, N | λ°, E | h _y , м | |
| | | межд. | рег. | | | | | |
| 5 | Маяк Кроноцкий | | KRC | 08.06.2006 закрыта в октябре 2008 | 54.746 | 162.109 | 15 | GSR-24 |
| 6 | Шипунский | SPN | SPN | 08.06.2006 | 53.106 | 160.011 | 95 | GSR-24 |
| 7 | Институт | INSR | INS | 01.08.2007 | 53.067 | 158.609 | 165 | GSR-24 |
| 8 | Вилючинск | | VIL | 01.10.2007 | 52.931 | 158.405 | 40 | GSR-24 |
| 9 | Паужетка | PAU | PAU | 30.10.2007 | 51.468 | 156.815 | 130 | GSR-24 |
| 10 | Николаевка | | NIC | 15.12.2007 | 53.046 | 158.341 | 25 | GSR-24 |
| 11 | НИГТЦ | | НИ | 15.12.2007 | 53.080 | 158.641 | 190 | GSR-24 |
| 12 | Рыбачий | | RIB | 15.12.2007 | 52.918 | 158.533 | 100 | GSR-24 |
| 13 | Школа | | SCH | 15.12.2007 | 52.958 | 158.674 | 70 | GSR-24 |
| 14 | Беринг | BKI | BKI | 17.12.2007 | 55.194 | 165.984 | 12 | GSR-24 |
| 15 | Тилички | TILK | TL1 | 04.12.2008 | 60.446 | 166.145 | 25 | GSR-24 |

Примечание. Информация приведена только по аппаратуре, относящейся к сети сильных движений, полную информацию о станциях можно получить из [1, 2] и табл. 1 и 2.

Таблица 4. Цифровая аппаратура сети сильных движений КФ ГС РАН в 1993–2008 гг.

| Название станции | Тип датчика | Перечень каналов | Частотный диапазон, Гц | Частота опроса данных, Гц | Разрядность АЦП | Чувствительность велосиграф – отсчет/(м/с), акселерограф – отсчет/(м/с ²) |
|---|-------------|------------------|------------------------|---------------------------|-----------------|---|
| Петропавловск | FBA-23 | HNN, | 0–25 | 80 | 24 | 5·10 ⁴ |
| Администрация, Беринг, Вилючинск, Дачная, Институт, Крутоберегово, Маяк Кроноцкий, Тилички, НИИГТЦ, Николаевка, Паужетка, Рыбачий, Шипунский, Школа | CMG-5T | HNE, HNZ | 0–40 | 100 | | 5·10 ⁵ –6·10 ⁵ |

Установка новых станций несколько снизила класс K_{\min} без пропусков регистрируемых землетрясений на севере Камчатского региона, но на основной части сейсмоактивной территории Камчатки расчетный уровень надежной регистрации в 2008 г. соответствует таковому в 2007 г. [2] и составляет $K_{\min}=8.5$ для наиболее активной территории.

Методика определения параметров землетрясений, изложенная в [3–5], не изменилась. Обработка сигналов цифровых сейсмических станций производится при помощи пакета программ DIMAS [6].

Анализ сейсмичности проводится в данной статье по всем зарегистрированным Камчатской региональной сетью землетрясениям, начиная с $K_S \geq 8.6$.

Всего в 2008 г. локализованы 4693 землетрясения с $K_S=3.7-15.7$, из них 822 с $K_S \geq 8.6$ помещены в каталог [7] в наст. сб., 756 из которых находится внутри зоны ответственности, 66 – вне ее. В верхней строке табл. 5 дано распределение $N(K_S)$ всех обработанных землетрясений, в нижней – лишь внутри границ региона. Суммарная высвобожденная внутри границ региона сейсмическая энергия составила $\Sigma E=6.73 \cdot 10^{15}$ Дж, это в семь раз выше ее среднегодового значения ($\Sigma E_{cp}=9.1 \cdot 10^{14}$ Дж) за 1962–2007 гг.

Таблица 5. Распределение числа землетрясений по энергетическим классам K_S и суммарная сейсмическая энергия ΣE в 2008 г.

| K_S | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | N_{Σ} | ΣE , Дж |
|------------------------|----|-----|------|------|------|-----|-----|----|----|----|----|----|----|--------------|----------------------|
| $N_{\text{всего}}$ | 16 | 186 | 1065 | 1594 | 1010 | 505 | 211 | 71 | 24 | 8 | 1 | 1 | 1 | 4693 | $6.76 \cdot 10^{15}$ |
| $N_{\text{зона отв.}}$ | 16 | 186 | 1065 | 1594 | 1004 | 487 | 183 | 58 | 19 | 6 | 1 | 1 | 1 | 4621 | $6.73 \cdot 10^{15}$ |

На рис. 2 а, б представлены ежесуточные числа N землетрясений с $K_S \geq 8.6$ и высвобожденной энергии ΣE . Временной ход $N(t)$ почти стационарен, в среднем регистрируется 2–3 события в день. В течение года не зафиксировано значительных всплесков активности, максимальное значение $N(t)$ не превышает 13 землетрясений в сутки. Две наиболее заметные ступени на графике высвобожденной сейсмической энергии (рис. 2 б) вызваны сильными глубокими событиями в Охотском море, в глубоком слое сейсмофокальной зоны Курил и Южной Камчатки [7]. Землетрясение (15) возникло 5 июля в 02^h12^m с $K_S=15.7$, $M_w^1=7.7$ на глубине $h=610 \pm 14$ км и является сильнейшим событием года; землетрясение (28) реализовалось 24 ноября в 09^h02^m с $K_S=15.2$, $M_w=7.3$ на глубине $h=564 \pm 7$ км. Номера событий здесь и далее соответствуют таковым в каталоге [7].

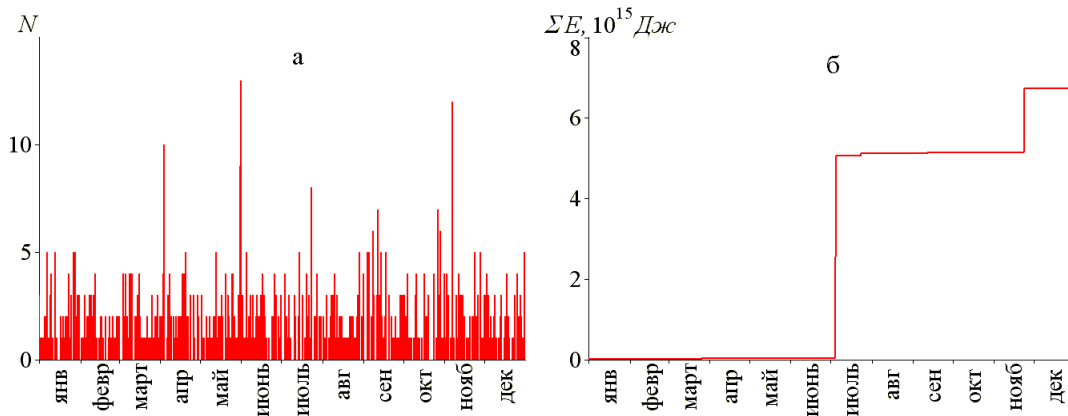


Рис. 2. Графики изменения во времени суточных чисел N землетрясений с $K_S \geq 8.6$ (а) и высвобожденной сейсмической энергии ΣE (б) в 2008 г. для зоны ответственности сети КФ ГС РАН

На рис. 3 а дана карта эпицентров всех землетрясений с $K_S \geq 8.6$ и вертикальные разрезы поля гипоцентров (поперечный $A-A'$ и продольный $B-B'$). В 2008 г. сетью КФ ГС РАН зарегистрировано 35 сильных ($K_S \geq 11.6$) землетрясений, из них 28 относится к Камчатскому региону.

Ощутимых землетрясений с интенсивностью I от 1–2 до 6 баллов было 56 [7, 9]. Максимальная ($I=6$ баллов) интенсивность сотрясений зафиксирована на м. Африка ($\Delta=15$ км) от поверхностного ($h=0.3 \pm 1.5$ км) землетрясения 17 мая в 21^h20^m с умеренной ($K_S=11.0$, $M_S=4.2$) энергией, поэтому уже в Крутоберегово (45 км) и Усть-Камчатске (60 км) оно не ощущалось [9].

Наиболее интересны макросейсмические проявления двух упомянутых выше глубоких землетрясений – (15) и (28) – с $h=610$ и 564 км соответственно. Максимальные сотрясения, вызванные этими событиями, достигали интенсивности $I=5$ баллов на двух маяках (Круглый с $\Delta=488$ км и Кроноцкий с $\Delta=678$ км) в случае землетрясения (15) с $M_w=7.7$ и $I=4$ балла – для события (28) с $M_w=7.3$ в четырех населенных пунктах: Кавалерское (156 км), Апача (187 км), Запорожье (281 км), гмс. «Семячки» (349 км). Для обоих землетрясений наблюдается характерное для глубоких землетрясений из зоны субдукции смещение макросейсмического эпицентра относительно инструментального [10]. Подробному описанию этих землетрясений посвящена отдельная статья [11] наст. сборника.

В г. Петропавловске-Камчатском сотрясения с интенсивностью сотрясений I от 2 до 4–5 баллов ощущались в совокупности 25 раз от землетрясений разных классов в диапазоне $K_S=9.6–15.7$. Верхний порог интенсивности в городе в $I=4–5$ баллов вызвало упомянутое выше землетрясение (15).

Механизмы очагов определены по знакам первых вступлений объемных волн для 33 землетрясений с $K_S \geq 11.6$ [12] по программе FA2011 (усовершенствованная программа FA2002 [13, 14]). Из распределения землетрясений по типам подвижек в табл. 6 виден ежегодно преобладающий тип – взбросо-сдвиг (48.6 % событий).

¹ Здесь и далее $M_w = M_{w\text{ГСМТ}}$ из [8]

Таблица 6. Распределение сильных землетрясений Камчатки и Командорских островов 2008 года по типам подвижек в их очагах

| Тип подвижки | Номера землетрясений по [7] | N_i | N_i/N_{Σ} , % |
|---------------|--|-------|----------------------|
| Сбросо-сдвиг | 1, 5, 6, 9, 13, 14, 16, 17, 19, 22, 28 | 11 | 31.4 |
| Взбросо-сдвиг | 2, 4, 7, 8, 11, 12, 18, 23, 25, 26, 27, 29, 31, 32, 33, 34, 35 | 17 | 48.6 |
| Сдвиг | 21 | 1 | 2.9 |
| Сброс | 15 | 1 | 2.9 |
| Взброс | 3, 10, 30 | 3 | 8.6 |
| Не определен | 20, 24 | 2 | 5.7 |
| Сумма | | 35 | 100 |

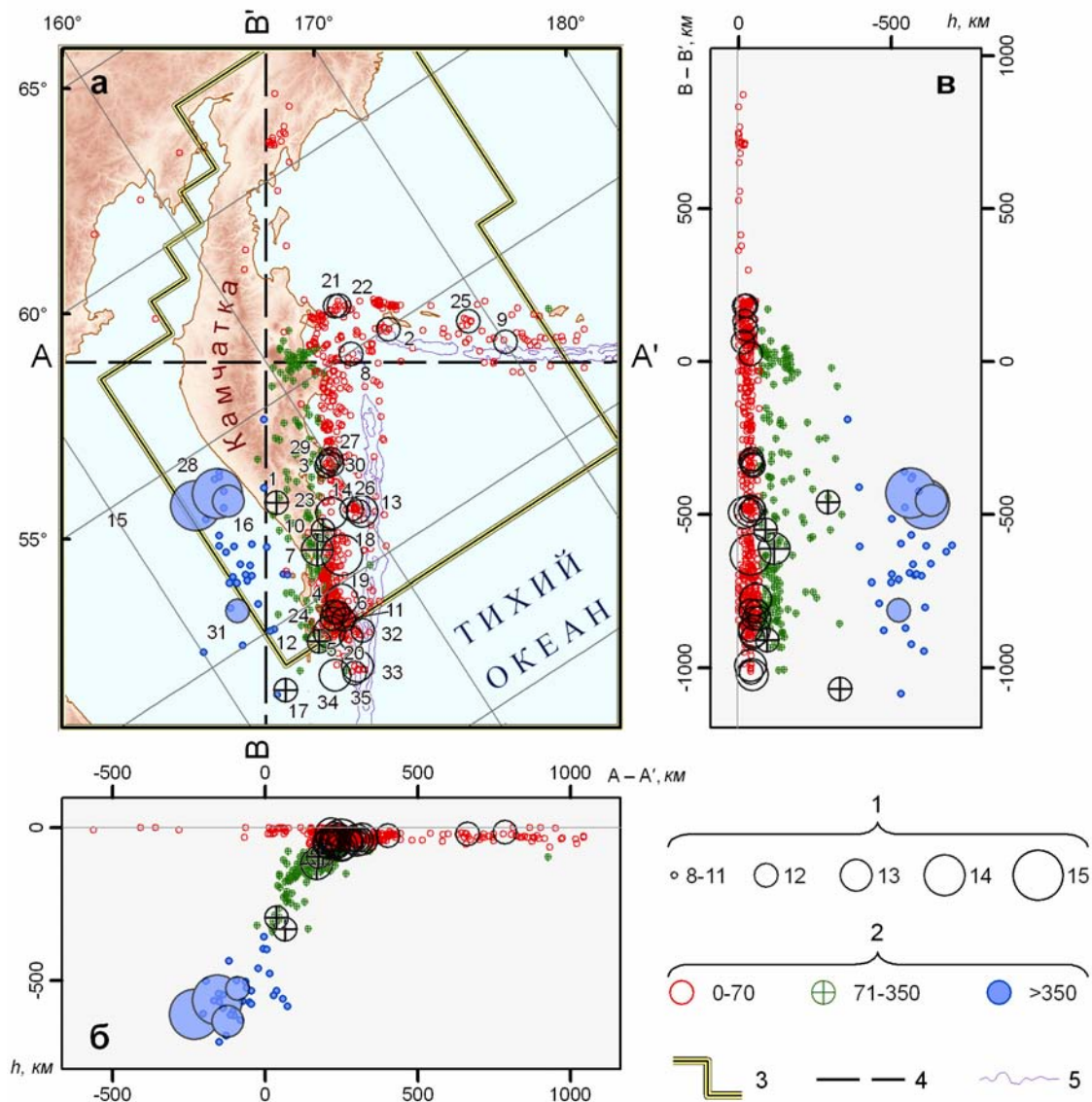


Рис. 3. Карта эпицентров землетрясений Камчатки с $K_S \geq 8.6$ (а) и глубинные разрезы на вертикальные плоскости А–А' (б) и В–В' (в) за 2008 г.

1 – энергетический класс K_S ; 2 – глубина гипоцентра h , км; 3 – граница региона; 4 – линия вертикального разреза вкост (А–А') и вдоль (В–В') фокальной зоны; 5 – изобаты 6000 и 7000 м; числа 1–35 соответствуют номерам сильных ($K_S \geq 11.6$) землетрясений в каталоге [7].

Рассмотрим особенности сейсмического процесса региона по 10 зонам и их слоям, перечисленным в графах 2 и 3 табл. 7 (их подробное описание см. в [1, 15]). Статистические харак-

теристики землетрясений по зонам приведены на двух энергетических срезах – $K_S \geq 8.6$ и $K_S \geq 11.6$. Они сравниваются с соответствующими средними значениями за весь период инструментальных наблюдений с 1962 г. по 2007 г. При этом учитывались лишь землетрясения, входящие в зону ответственности КФ ГС РАН.

Таблица 7. Распределение числа землетрясений с $K_S \geq 8.6$ и $K_S \geq 11.6$, а также выделенной энергии по зонам за 2008 г. в сопоставлении с их средними оценками за период 1962–2007 гг.

| № | Зона | Слой | Средние значения за 1962–2007 гг. | | | | Значения за 2008 г. | | | |
|----|--|------|-----------------------------------|-----------------------|----------------------------|------------------------------|---------------------------|-----------------------|----------------------------|------------------------------|
| | | | N ($K_S \geq 8.6$) | N/N_{Σ} , % | N ($K_S \geq 11.6$) | ΣE , 10^{14} Дж | N ($K_S \geq 8.6$) | N/N_{Σ} , % | N ($K_S \geq 11.6$) | ΣE , 10^{14} Дж |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 1 | Сейсмофокальная зона Курил и Южной Камчатки | I | 196 | 22.0 | 10 | 1.37 | 255 | 33.7 | 11 | 1.01 |
| | | II | 41 | 4.6 | 2 | 0.14 | 94 | 12.4 | 4 | 0.08 |
| | | III | 4 | 0.5 | <1 | 0.04 | 27 | 3.6 | 3 | 66.04 |
| 2 | Северная часть Камчатской сейсмофокальной зоны | I | 336 | 37.7 | 12 | 1.47 | 134 | 17.7 | 5 | 0.09 |
| | | IIa | 84 | 9.4 | 2 | 2.72 | 61 | 8.1 | | <0.01 |
| | | IIIa | <1 | <0.1 | <0.1 | 0.02 | 1 | 0.1 | | <0.01 |
| 3 | Командорский сегмент Алеутской дуги | I | 113 | 12.7 | 5 | 1.28 | 122 | 16.1 | 5 | 0.10 |
| | | II | 1 | 0.1 | <0.1 | <0.01 | | | | |
| 4 | Тихий океан | I | 51 | 5.7 | 1 | 0.11 | 36 | 4.8 | | <0.01 |
| 5 | Северные Курилы | I | 2 | 0.2 | | <0.01 | 2 | 0.3 | | <0.01 |
| 6 | Континентальные области Камчатки | I | 41 | 4.7 | <1 | 0.12 | 3 | 0.4 | | <0.01 |
| 7 | Корякский сейсмический пояс | I | 19 | 2.1 | <1 | 1.81 | 19 | 2.5 | | <0.01 |
| 8 | Берингово море | I | <0.1 | <0.01 | | <0.01 | | | | |
| 9 | Залив Шелихова | I | <1 | <0.1 | <1 | <0.01 | 2 | 0.3 | | <0.01 |
| 10 | Охотия | I | <1 | <0.1 | <0.1 | <0.01 | | | | |
| | Всего | | 891 | 100 | 33 | 9.1 | 756 | 100 | 28 | 67.3 |

Примечание. В графе 3 цифрами I, II и III обозначены поверхностный ($0 \leq h \leq 70$ км), промежуточный ($70 < h \leq 350$ км) и глубокий ($h > 350$ км) слои соответственно; зона № 2 имеет границы зон промежуточного ($70 < h \leq 380$ км) и глубокого ($h > 380$ км) слоев, отличные от других; они обозначаются как IIa и IIIa соответственно.

Как следует из табл. 7, исследуемые параметры распределения числа землетрясений и выделенной энергии по отдельным зонам в 2008 г. заметно отличаются от среднестатистических оценок.

Далее рассмотрим сейсмичность по отдельным зонам.

Сейсмофокальная зона Курил и Южной Камчатки (№ 1) незначительно превысила свой среднегодовой фон сейсмической активности по числу землетрясений, тем не менее, согласно табл. 7, здесь реализовалась половина всех зарегистрированных в пределах зоны ответственности КФ ГС РАН землетрясений с $K_S \geq 8.6$. Подобная статистика обусловлена заметным снижением сейсмической активности северной части Камчатской сейсмофокальной зоны. Величина суммарной выделившейся энергии ($\Sigma E = 6.7 \cdot 10^{15}$ Дж) значительно превышает долговременное среднее значение, что обусловлено упомянутыми выше сильными глубокими землетрясениями (15) и (28) [7].

События распределились по трем глубинным слоям следующим образом: поверхностные – $N=255$ (33.7%), промежуточные – $N=94$ (12.4%), глубокие – $N=27$ (3.6%). Зафиксировано 18 землетрясений с $K_S \geq 11.6$ (1, 4–7, 10–16, 18, 19, 23, 24, 26, 28), что несколько больше среднегодового значения. Восемь сильных землетрясений (4, 6, 7, 11, 13, 14, 18, 26) реализовались в составе групп, остальные являются одиночными. Сведения о группируемости землетрясений предоставлены сотрудником КФ ГС РАН Н.М. Кравченко. Карта эпицентров землетрясений, а также диаграммы механизмов очагов в проекции нижней полусферы с указанием типа подвижки в очаге показаны на рис. 4.

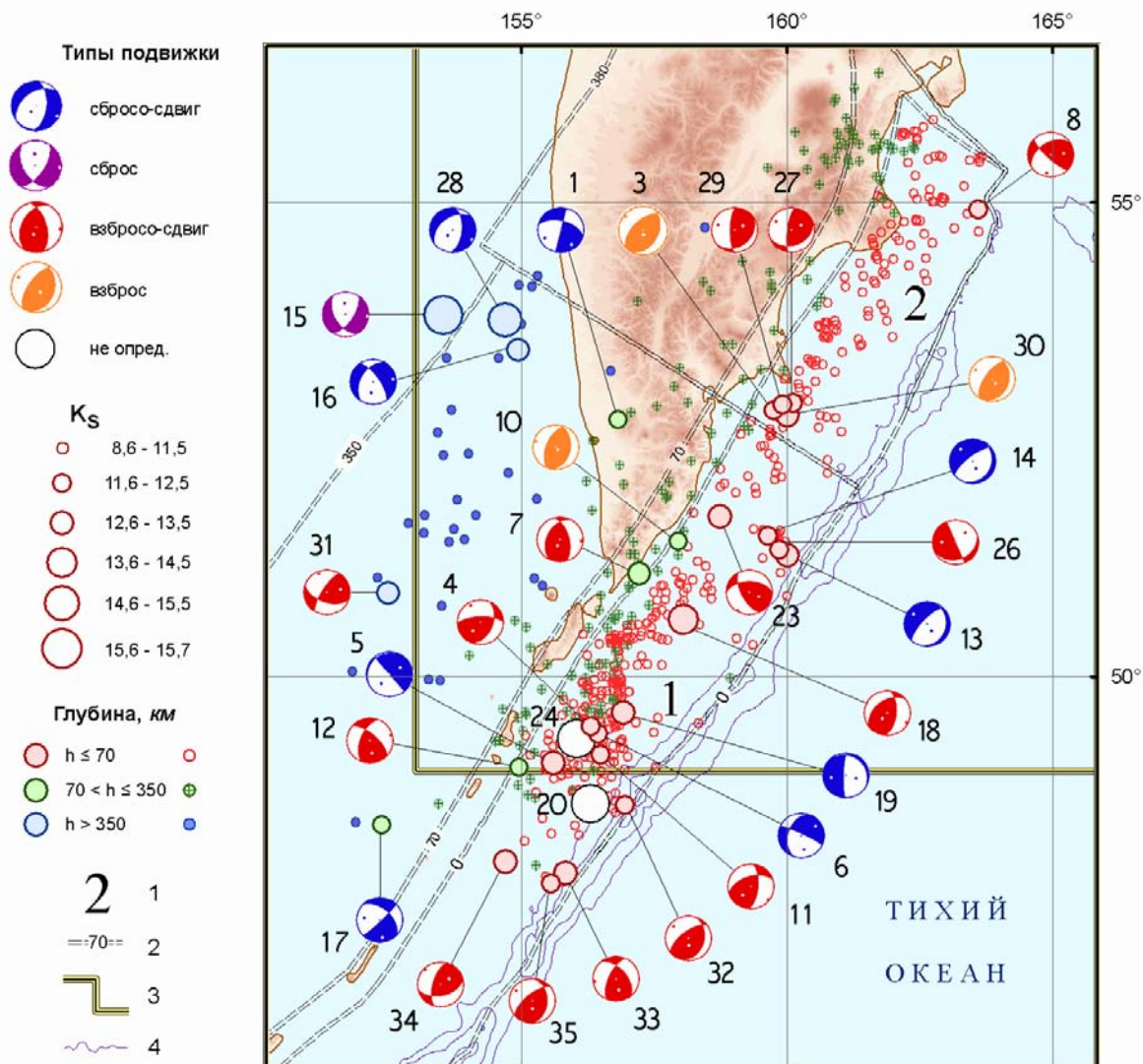


Рис. 4. Карта эпицентров и стереограммы механизмов очагов землетрясений Курило-Камчатской зоны субдукции (зоны 1 и 2) за 2008 г.

1 – номер зоны [1]; 2 – граница зоны (обозначениями: =0=, =70=, =350(380)= показаны границы слоев с $h=0$, $h=70$, $h=350$ или 380 км соответственно); 3 – граница региона; 4 – изобаты 6000 и 7000 м; число возле стереограммы соответствует номеру землетрясения в каталоге [7].

Всего в зоне № 1 произошло 28 ощутимых землетрясений с $K_S=9.6-15.7$ и интенсивностью сотрясений от 2 до 5–6 баллов [9].

В *поверхностном слое* наибольшая плотность землетрясений наблюдалась в южной части зоны в районе Северных Курил. Здесь зафиксирована группа из четырех с $K_S \geq 11.6$ землетрясений: (4) – 28 января в 04^h05^m с $K_S=12.1$, $M_w=5.0$, $h=40 \pm 13$ км; (6) – 28 февраля в 11^h55^m с $K_S=12.3$, $M_w=5.1$, $h=62 \pm 8$ км; (11) – 18 апреля в 07^h35^m с $K_S=12.3$, $M_w=5.0$, $h=68 \pm 9$ км; (24) – 10 октября в 06^h33^m с $K_S=11.6$, $h=50 \pm 12$ км. Три наиболее сильные из них ощущались в Северо-Курильске ($\Delta=179$ км, 143 км и 169 км) с интенсивностью $I=2-3$ балла. Тип движений в очагах землетрясений (4, 11) взбросо-сдвиг в условиях близгоризонтального сжатия, направленного вкрест простирания фокальной зоны, что соответствует напряженному состоянию зоны субдукции. В очаге землетрясения (6) по определению КФ ГС РАН наблюдается движение типа сбросо-сдвиг в направлении простирания сейсмофокальной зоны. Этот механизм нетипичен для землетрясений поверхностного слоя зоны субдукции. В 70 км к юго-западу от описанной группы землетрясений на границе зоны ответственности 4 февраля в 10^h33^m ($K_S=12.6$, $M_w=5.0$, $h=51 \pm 10$ км) произошло одиночное событие (5), механизм которого также не соответствует региональному полю напряжений – региональное решение соответствует

сбросо-сдвигу по плоскости, перпендикулярной направлению тектонических структур. Максимальные сотрясения, вызванные землетрясением (19) 4 августа в 04^h42^m ($K_S=12.9$, $M_w=5.7$, $h=57\pm 11$ км), наблюдались в Северо-Курильске ($\Delta=130$ км) с интенсивностью $I=4-5$ баллов. Механизм очага – сбросо-сдвиг.

События (18) 24 июля в 01^h43^m ($K_S=13.8$, $M_w=6.2$, $h=40\pm 8$ км) и (23) 18 сентября в 11^h58^m ($K_S=12.8$, $M_w=5.8$, $h=20\pm 3$ км) ощущались на маяке Круглый ($\Delta=164$ км и 51 км) с интенсивностью $I=5$ баллов. Оба землетрясения имеют одинаковый тип подвижки – взбросо-сдвиг, но разное простирание плоскостей разрыва.

Эпицентры группы землетрясений (13) 1 июня в 09^h24^m ($h=38\pm 8$ км, $K_S=12.9$, $M_w=5.2$), (14) 1 июня в 16^h35^m ($h=47\pm 18$ км, $K_S=12.3$) и (26) 3 ноября в 21^h40^m ($h=40\pm 18$ км, $K_S=12.1$) находились на материковом склоне глубоководного желоба, в непосредственной близости от его оси. Максимальная интенсивность вызванная ими достигла значения $I=3-4$ балла на маяке Круглый ($\Delta=146$ км). Ориентация осей напряжения в очагах землетрясений (13 и 14) соответствует региональному полю напряжений, по обоим возможным плоскостям разрыва произошел сброс, осложненный сдвиговой компонентой.

В промежуточном слое число землетрясений с $K_S\geq 8.6$ более чем в два раза выше среднего годового значения, эпицентры событий равномерно распределены по всему слою. Зарегистрировано 4 события (1, 7, 10, 12) с $K_S\geq 11.6$. Самое сильное ($K_S=12.7$, $M_w=5.5$) из них – (7), которое реализовалось 6 марта в 09^h38^m на глубине $h=117$ км. Оно ощущалось только в Северо-Курильске ($\Delta=91$ км) с интенсивностью $I=2-3$ балла. Тип движения в очагах промежуточных землетрясений – взбросовый, с различной степенью сдвига, что вполне соответствует модели поддвига Тихоокеанской плиты под Охотоморскую. Оси сжатия близгоризонтальны и направлены, как правило, по вектору движения погружающейся плиты.

В глубоком слое, как отмечено выше, произошли сильнейшие в 2008 г. события (15) и (28). Землетрясение (15) с $K_S=15.7$, $M_w=7.7$ возникло в Охотском море 5 июля в 02^h12^m на глубине $h=610\pm 14$ км. Макросейсмический эффект землетрясения проявился в 22 пунктах на территории Камчатки с интенсивностью от 2–3 до 5 баллов. Максимальные сотрясения были зарегистрированы на юге Камчатки на маяке Круглый и на восточном побережье Камчатки на маяке Кроноцкий. В тот же день было зафиксировано еще одно событие, расстояние между эпицентрами составило около 100 км. Подробному описанию землетрясения (15) и сопровождающих его событий посвящена отдельная статья в наст. сб. [11]. Через четыре месяца, в Охотском море 24 ноября в 09^h02^m произошло второе по магнитуде в 2008 г. землетрясение (28) с $K_S=15.2$, $M_w=7.3$, $h=564\pm 7$ км, которое реализовалось в пределах границ ответственности КФ ГС РАН. Оба землетрясения вызваны действием напряжений растяжения, подвижки в их очагах по обоим возможным плоскостям разрыва типа сброс с незначительной сдвиговой компонентой, оси напряжений растяжения близгоризонтальны и направлены перпендикулярно простиранию сейсмофокальной зоны, что соответствует полю напряжений, преобладающему в регионе.

В глубоком слое зоны Курил и Южной Камчатки с 1996 г. наблюдается ежегодный рост числа зарегистрированных событий, что отмечено в [2].

В Северной части Камчатской сейсмофокальной зоны № 2 произошло 196 (26 %) землетрясений с $K_S\geq 8.6$, из них 17.7 % поверхностных ($N=134$), 8.1 % промежуточных ($N=61$) и одно в глубоком слое (рис. 4). Из них 13 толчков с $K_S=9.9-12.5$ были ощутимы. Интенсивность I вызванных ими сотрясений от 2 до 4–6 баллов.

В 2008 г. сейсмическая активность зоны № 2 заметно снизилась, по сравнению с таковой в предыдущие годы, число зарегистрированных землетрясений с $K_S\geq 8.6$ более чем в два раза, а величина суммарной выделившейся энергии почти на два порядка ниже среднегодовых оценок.

Все пять сильных ($K_S\geq 11.6$) событий (3, 8, 27, 29, 30) реализовались в поверхностном слое (рис. 4). Группа землетрясений (3, 27, 29, 30) была локализована недалеко от м. Шипунский, на его подводном продолжении в хр. Шатского и характеризуется одинаковой взбросо-сдвиговой дислокацией в очагах. Нодальные плоскости NPI каждого из них простираются в север–северо-восточном направлении и характеризуются взбросовыми подвижками. По второй нодальной плоскости $NP2$, более пологой и имеющей такое же простирание, наблюдается взброс в очаге землетрясения (3) и сдвиг со взбросовой компонентой – в очагах землетрясений (27, 29, 30). Оси напряжений сжатия этих событий ориентированы на запад–северо-

запад. Одинокое землетрясение (8), произошедшее в Камчатском заливе севернее Кроноцкого п-ва 26 марта в 11^h36^m с $K_S=12.0$, $M_S=4.0$, $h=40\pm 16$ км, также имело взбросовый тип подвижки. Но простираение нодальных плоскостей (субширотное) и главных осей напряжения было несколько иное, что вполне соответствует северо-восточному краю зоны № 2, месту соединения Курило-Камчатского и Алеутского глубоководных желобов. Сильные события, кроме землетрясения (8), ощущались в Петропавловске-Камчатском ($\Delta=80-90$ км) с интенсивностью от 2–3 до 4 баллов. Самые сильные макросейсмические проявления были зарегистрированы от события (30), произошедшего 3 декабря в 11^h37^m с $K_S=12.5$, $M_w=5.1$, $h=44\pm 6$ км. Интенсивность сотрясений достигала $I=4-5$ баллов на м. Шипунский ($\Delta=39$ км). Землетрясения (3) и (30) сопровождалась слабыми ($K_S=4.2-8.7$) и малочисленными (10–16 событий) сериями афтершоков [7].

В **Командорском сегменте Алеутской дуги (зона № 3)** произошло 122 землетрясения с $K_S\geq 8.6$, пять событий имеют $K_S\geq 11.6$ (рис. 5) [7]. Все землетрясения зоны реализовались в поверхностном слое. Девять землетрясений ощущались в населенных пунктах Камчатского края, четыре из них произошли вблизи о. Беринг и пять – в Камчатском проливе. Как отмечено выше, максимальные сотрясения с интенсивностью $I=6$ баллов на м. Африка ($\Delta=15$ км) вызвало землетрясение, произошедшее 17 мая в 21^h20^m с $K_S=11.0$, $MPSP=4.5$, $h=0.3\pm 1.5$ км.

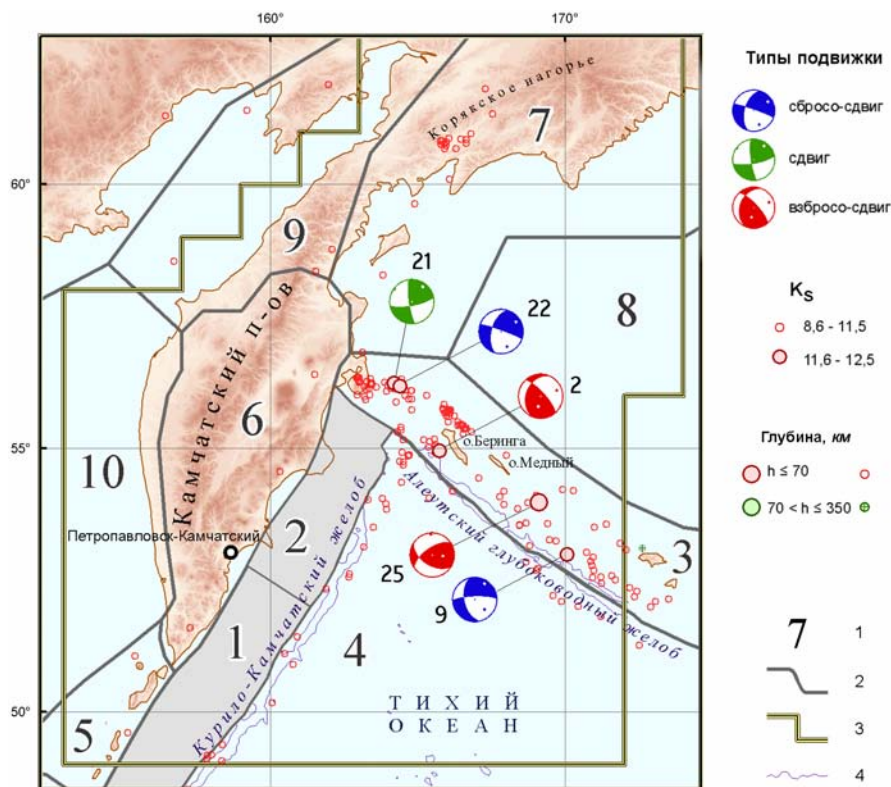


Рис. 5. Карта эпицентров землетрясений зон № 3–10 за 2008 г.

1 – номер зоны [1]; 2, 3 – граница зоны и региона соответственно; 4 – изобаты 6000 и 7000 м; число возле стереограммы соответствует номеру землетрясения в каталоге [7].

В 2008 г. можно выделить три области сейсмической активности, стабильно проявляющиеся на протяжении многих лет [15].

Первая из них локализована в Камчатском проливе в зоне стыка Курило-Камчатского и Алеутского глубоководных желобов. Здесь произошло более 40 событий с $K_S\geq 8.6$, из них землетрясения (21, 22) с $K_S\geq 11.6$. В Камчатском проливе 12 сентября был зафиксирован рой землетрясений, начавшийся землетрясением (21) в 23^h07^m с $K_S=12.3$, $M_w=5.9$, $h=20\pm 2$ км. Следующее сильное ($K_S=11.7$, $M_w=5.4$) землетрясение (22) последовало через 42 минуты (в 23^h49^m) на глубине $h=25\pm 12$ км. По обеим возможным плоскостям разрыва каждого из них произошел сдвиг со взбросовой компонентой для события (21) и сбросовой – для (22). Правосторонний сдвиг по плоскости, субпараллельной простираению Алеутской островной дуги, полученный в решениях

механизмов землетрясений (21, 22), характерен для северной границы Командорской микроплиты [15, 16].

Вторая область севернее о. Беринг ежегодно показывает стабильный уровень сейсмической активности [15]. В 2008 г. здесь зарегистрировано 31 землетрясение с $K_S \geq 8.6$, но события с $K_S \geq 11.6$ происходят здесь достаточно редко.

Третья область находится западнее о. Беринг и располагается на границе Командорской и Тихоокеанской плит. В этой области сильное ($K_S=12.3$, $M_w=4.0$) событие (2), породившее небольшой рой, возникло 10 января в 08^h 31^m на глубине $h=26$ км. Для этого землетрясения определен механизм очага, согласно которому по крутопадающей плоскости северо-западного простирания наблюдается правосторонний сдвиг, характерный для землетрясений этого района.

Сейсмическая активность юго-восточнее о. Беринга не имеет ярко выраженных групп. Для землетрясений (9) и (26) с $K_S \geq 11.6$ получены механизмы очагов. Землетрясение (9), зарегистрированное 2 апреля в 23^h 34^m с $K_S=11.8$, $M_S=4.3$, $h=15 \pm 12$ км, имеет по обеим плоскостям разрывов сдвиг со сбросовой компонентой. Движение в очаге землетрясения (25), реализовавшегося 27 октября в 21^h 26^m на глубине $h=21 \pm 12$ км с $K_S=12.5$, $M_w=5.4$, представляет собой взброс по обеим нодальным плоскостям с компонентой сдвига. Ось напряжения сжатия близгоризонтальна ($PL=7^\circ$) и направлена на север.

В Тихом океане (зона № 4) произошло 36 землетрясений с $K_S \geq 8.6$, но событий с $K_S \geq 11.6$, как и в 2007 г., зарегистрировано не было (табл. 7).

В Корякском сейсмическом поясе (зона № 7) отмечено 19 землетрясений с $K_S \geq 8.6$ (табл. 7), из них 14 являются афтершоками Олюторского землетрясения 20.04.2006 г. с $M_w=7.6$, $I_0=9-10$ баллов [17].

Зона № 5 (Северные Курилы) малоактивна. В ней на уровне $K_S \geq 8.6$ реализовались лишь два мелких толчка: 2 февраля в 11^h 56^m с $K_S=9.7$, $h=12$ км и 14 июня в 15^h 33^m с $K_S=9.7$, $h=0.7$ км [7].

Три землетрясения 9-го класса локализованы в соседней зоне № 6 (Континентальные области Камчатки) в слое $\Delta h=0-20$ км, зарегистрированные 16 мая в 10^h 04^m с $K_S=9.3$, $h=0$ км; 17 июня в 01^h 35^m с $K_S=9.2$, $h=20$ км и 19 декабря в 08^h 58^m с $K_S=8.6$, $h=20$ км [7].

В Заливе Шелихова (зона № 9) максимальное ($K_S=10.7$) землетрясение реализовалось 29 апреля в 09^h 46^m на глубине $h=7$ км. Кроме того, здесь же отмечены четыре землетрясения 9-го класса, из которых три с близповерхностными ($h=0$ км) очагами (24 апреля в 19^h 20^m с $K_S=8.8$, 8 сентября в 04^h 21^m с $K_S=9.5$, 18 сентября в 06^h 21^m с $K_S=9.5$), а четвертое (27 октября в 18^h 15^m с $K_S=9.3$) – на глубине $h=32$ км [7].

Две зоны региона – Берингово море (№ 8) и Охотия (№ 10) – оказались в 2008 г. асейсмичными (рис. 5).

Подобная низкая сейсмичность является типичной для всех зон, кроме № 6, для которой подобный спад наблюдается лишь последние три года.

Сетью станций сильных движений для 12 землетрясений с $K_S=11.5-15.7$ получено 108 записей движения грунта с пиковым ускорением, превышающим 0.5 см/с². Их список приведен в табл. 8.

Таблица 8. Параметры сильных ($K_S=11.5-15.7$) землетрясений 2008 г. с пиковыми ускорениями $a > 0.5$ см/с²

| № | Дата, д м | t_0 , ч мин с | Эпицентр | | h , км | K_S | M_w | № | Дата, д м | t_0 , ч мин с | Эпицентр | | h , км | K_S | M_w |
|---|--------------|--------------------|---------------------|---------------------|-------------|-------|-------|----|--------------|--------------------|---------------------|---------------------|-------------|-------|-------|
| | | | φ° , N | λ° , E | | | | | | | φ° , N | λ° , E | | | |
| 1 | 01.03 | 18 51 24.42 | 53.656 | 159.763 | 123 | 11.5 | 5.4 | 7 | 05.07 | 02 30 47.10 | 53.449 | 154.927 | 633 | 12.8 | |
| 2 | 06.03 | 09 38 40.02 | 51.086 | 157.209 | 117 | 12.7 | 5.5 | 8 | 24.07 | 01 43 15.82 | 50.609 | 158.043 | 40 | 13.8 | 6.2 |
| 3 | 15.04 | 08 48 03.81 | 51.428 | 157.948 | 90 | 11.9 | 4.9 | 9 | 04.08 | 04 42 12.15 | 49.624 | 156.906 | 57 | 12.9 | 5.7 |
| 4 | 01.06 | 09 24 22.59 | 51.287 | 159.995 | 38 | 12.9 | 5.2 | 10 | 12.09 | 23 07 49.91 | 56.234 | 164.187 | 20 | 12.3 | 5.9 |
| 5 | 01.06 | 16 35 03.04 | 51.487 | 159.639 | 47 | 12.3 | | 11 | 18.09 | 11 58 46.84 | 51.697 | 158.723 | 20 | 12.8 | 5.8 |
| 6 | 05.07 | 02 12 06.37 | 53.819 | 153.530 | 610 | 15.7 | 7.7 | 12 | 24.11 | 09 02 52.48 | 53.765 | 154.694 | 564 | 15.2 | 7.3 |

В табл. 9 для каждого землетрясения приведены пиковые значения ускорений и скоростей для той станции, которая записала это землетрясение с наибольшей амплитудой. Значения пиковых скоростей сняты с записей широкополосного трехкомпонентного велосиметра. В слу-

чае, если станция не оборудована этим прибором, использовали записи акселерографа и их интегрировали.

Таблица 9. Пиковые ускорения и скорости землетрясений из табл. 8 для той станции, которая записала это землетрясение с наибольшей амплитудой

| № | Дата, д м | t_0 , ч мин с | Код станции | Δ , км | R , км | K_S | I , балл | Компо- нента | $a_{\text{пик}}$, см/с ² | $v_{\text{пик}}$, см/с |
|----|--------------|--------------------|----------------|------------------|-------------|-------|---------------|-----------------|---|----------------------------|
| 1 | 01.03 | 18 51 24.42 | SPN | 63 | 138 | 11.5 | 3–4 | E | 5.84 | 0.37 |
| | | | | | | | | N | 4.19 | 0.27 |
| | | | | | | | | Z | 3.23 | 0.11 |
| 2 | 06.03 | 09 38 40.02 | RIB | 222 | 251 | 12.7 | | E | 0.49 | 0.048 |
| | | | | | | | | N | 0.62 | 0.093 |
| | | | | | | | | Z | 0.25 | 0.023 |
| 3 | 15.04 | 08 48 03.81 | SPN | 233 | 250 | 11.9 | | E | 0.43 | 0.027 |
| | | | | | | | | N | 1.21 | 0.076 |
| | | | | | | | | Z | 0.55 | 0.024 |
| 4 | 01.06 | 09 24 22.59 | RIB | 206 | 209 | 12.9 | 2 | E | 1.62 | 0.13 |
| | | | | | | | | N | 2.94 | 0.19 |
| | | | | | | | | Z | 0.81 | 0.051 |
| 5 | 01.06 | 16 35 03.04 | RIB | 176 | 182 | 12.3 | | E | 1.29 | 0.098 |
| | | | | | | | | N | 1.79 | 0.13 |
| | | | | | | | | Z | 0.503 | 0.038 |
| 6 | 05.07 | 02 12 06.37 | KRC | 565 | 831 | 15.7 | 5 | E | 25.8 | 1.71 |
| | | | | | | | | N | 30.2 | 1.67 |
| | | | | | | | | Z | 16.06 | 0.93 |
| 7 | 05.07 | 02 30 47.10 | KRC | 489 | 800 | 12.8 | | E | 0.47 | 0.016 |
| | | | | | | | | N | 0.603 | 0.021 |
| | | | | | | | | Z | 0.25 | 0.012 |
| 8 | 24.07 | 01 43 15.82 | RIB | 259 | 262 | 13.8 | 4 | E | 4.22 | 0.56 |
| | | | | | | | | N | 8.07 | 0.61 |
| | | | | | | | | Z | 2.18 | 0.24 |
| 9 | 04.08 | 04 42 12.15 | RIB | 383 | 388 | 12.9 | | E | 1.28 | 0.079 |
| | | | | | | | | N | 1.61 | 0.096 |
| | | | | | | | | Z | 0.93 | 0.032 |
| 10 | 12.09 | 23 07 49.91 | BKI | 160 | 162 | 12.3 | | E | 1.36 | 0.098 |
| | | | | | | | | N | 1.93 | 0.12 |
| | | | | | | | | Z | 1.08 | 0.035 |
| 11 | 18.09 | 11 58 46.84 | VIL | 138 | 140 | 12.8 | 3–4 | E | 15.8 | 0.92 |
| | | | | | | | | N | 18.8 | 0.95 |
| | | | | | | | | Z | 14.7 | 0.61 |
| 12 | 24.11 | 09 02 52.48 | SPN | 359 | 669 | 15.2 | | E | 5.70 | 0.204 |
| | | | | | | | | N | 6.17 | 0.19 |
| | | | | | | | | Z | 11.14 | 0.33 |

Примечание. Δ , R – эпи- и гипоцентральные расстояния соответственно.

В качестве иллюстрации на рис. 6 для землетрясения 24 июля в 01^h43^m показаны его акселерограммы на станции «Рыбачий» (RIB) для трех компонент и сглаженные спектры Фурье по ускорению. Спектр Фурье этого землетрясения имеет форму, характерную для Камчатских землетрясений [19].

Отличительной особенностью сейсмичности региона Камчатки и Командорских островов в 2008 г. является значительное усиление активности сейсмофокальной зоны Курил и Южной Камчатки (№ 1), особенно ее глубокого слоя. Здесь произошли два сильнейших землетрясения года – 5 июля в 02^h12^m с $K_S=15.7$, $M_w=7.7$, $h=610\pm 14$ км (15) и 24 ноября в 09^h02^m с $K_S=15.2$, $M_w=7.3$, $h=564\pm 7$ км (28). В целом сейсмический режим обычен для рассматриваемой территории, а механизмы очагов в основном отражают тектонику региона, определяемую движением Тихоокеанской плиты под Охотоморскую.

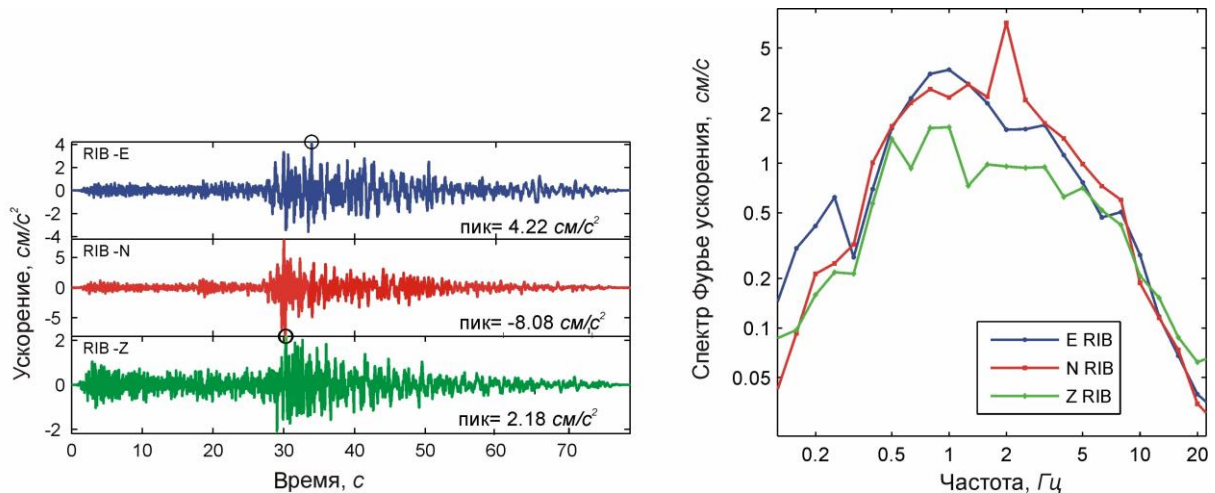


Рис. 6. Три компоненты ускорения грунта от землетрясения 24 июля в 01^h43^m с $M_w=6.2$ и его сглаженные амплитудные спектры Фурье по записям станции «Рыбачий» (RIB) на каналах HNE, HNN, HNZ

Л и т е р а т у р а

1. Матвеев Е.А., Митюшкина С.В., Иванова Е.И., Чеброва А.Ю., Левина В.И., Ландер А.В., Чебров В.Н., Гусева Е.М. Камчатка и Командорские острова // Землетрясения Северной Евразии, 2006 год. – Обнинск: ГС РАН, 2012. – С. 195–213.
2. Чебров В.Н., Матвеев Е.А., Митюшкина С.В., Иванова Е.И., Левина В.И., Ландер А.В., Шевченко С.А., Гусева Е.М. Камчатка и Командорские острова // Землетрясения Северной Евразии, 2007 год. – Обнинск: ГС РАН, 2013. – С. 202–214.
3. 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.
4. Гусев А.А. Определение гипоцентров близких землетрясений Камчатки на ЭВМ // Вулканология и сейсмология. – 1979. – № 1. – С. 74–81.
5. Федотов С.А. Энергетическая классификация Курило-Камчатских землетрясений и проблема магнитуд. – М.: Наука, 1972. – 117 с.
6. Дрознин Д.В., Дрознина С.Я. Интерактивная программа обработки сейсмических сигналов DIMAS // Сейсмические приборы. – 2010. – 46. – № 3. – С. 22–34.
7. Чеброва А.Ю., Матвеев Е.А., Шевченко Н.А. (отв. сост.), Бахтиярова Г.М., Митюшкина С.В., Пархоменко С.А., Пилипенко Л.В., Раевская А.А. Каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов за 2008 г. ($N=822$). (См. Приложение к наст. сб. на CD).
8. Bulletin of the International Seismological Centre for 2008. – Thatcham, United Kingdom: ISC, 2010. – URL: <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/>.
9. Митюшкина С.В. (отв. сост.), Раевская А.А. Макросейсмический эффект ощутимых землетрясений ($N=56$) в населенных пунктах Камчатки и Командорских островов в 2008 г. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
10. Левина В.И., Митюшкина С.В., Чеброва А.Ю., Иванова Е.И. Тумрокское-I землетрясение 16 июня 2003 г. с $M_w=6.9$, $I_0=6$ и Тумрокское-II землетрясение 10 июня 2004 г. с $M_w=6.8$, $I_0=5-6$ (Камчатка) // Землетрясения Северной Евразии, 2004 г. – Обнинск: ГС РАН, 2010. – С. 314–323.
11. Чеброва А.Ю., Митюшкина С.В., Иванова Е.И., Гусева Е.М. Охотоморское-I землетрясение 5 июля 2008 г. с $M_w=7.7$, $I_0=5$ и Охотоморское-II землетрясение 24 ноября 2008 г. с $M_w=7.3$, $I_0=5$ (Охотское море). (См. раздел III (Сильные и ощутимые землетрясения) в наст. сб.).
12. Иванова Е.И. (отв. сост.). Каталог механизмов очагов землетрясений Камчатки и Командорских островов за 2008 г. ($N=33$). (См. Приложение к наст. сб. на CD).

13. **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.
14. **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.
15. **Левина В.И., Ландер А.В., Митюшкина С.В., Чеброва А.Ю.** Сейсмичность Камчатского региона 1962–2011 гг. // Вулканология и сейсмология. – 2013. – № 1. – С. 41–64.
16. **Левина В.И., Чеброва А.Ю., А.В. Ландер, Иванова Е.И., Митюшкина С.В., Титков Н.Н.** Командорское-II землетрясение 5 декабря 2003 г. с $MS=6.8$, $I_0=7$ (Командорские острова) // Землетрясения Северной Евразии, 2003 г. – Обнинск: ГС РАН, 2009. – С. 374–381.
17. **Левина В.И., Ландер А.В., Митюшкина С.В., Иванова Е.И., Титков Н.Н.** Олюторское землетрясение 20 апреля 2006 г. с $M_w=7.6$. // Землетрясения Северной Евразии, 2006 г. – Обнинск: ГС РАН, 2012. – С. 314–329.
18. **Детальные сейсмологические исследования Камчатки и Командорских островов** (01.01.–31.12.1998 г., г. Петропавловск-Камчатский. Петропавловск-Камчатский: Фонды КФ ГС РАН, 1999. – 259 с.
19. **Гусев А.А., Петухин А.Г., Гусева Е.М., Гордеев Е.И., Чебров В.Н.** Средние спектры Фурье сильных движениях грунта при землетрясениях Камчатки // Вулканология и сейсмология. – 2006. – № 5. – С. 60–70.