

КАМЧАТКА И КОМАНДОРСКИЕ ОСТРОВА

Е.А. Матвеев¹, С.В. Митюшкина¹, Е.И. Иванова¹, А.Ю. Чеброва¹,

В.И. Левина², А.В. Ландер³, В.Н. Чебров¹, Е.М. Гусева¹

¹ Камчатский филиал ГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский, e-mail: ayuch@emsd.ru

² Геофизическая служба РАН, г. Обнинск, e-mail: vlr.levina@gmail.com

³ Международный институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН, г. Москва, e-mail: land@mitp.ru

В сети сейсмических станций Камчатки в 2006 г. продолжались работы по модернизации сейсмических станций (рис. 1, табл. 1, 2). Произведена замена аналоговой регистрации на цифровую на станции «Крутоберегово» с 10 апреля, в «Оссоре» – с 19 августа. Две новые радиотелеметрические станции «Безымянный» и «Киришев» введены в работу в районе влк. Безымянный в начале августа.

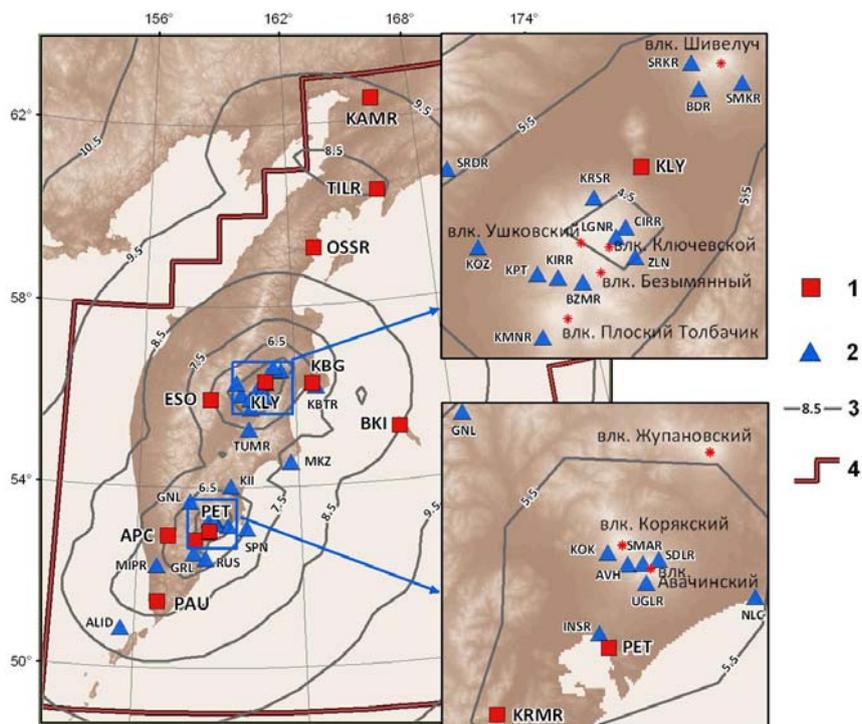


Рис. 1. Карта энергетической представительности землетрясений K_{\min} и сеть сейсмических станций Камчатки в 2006 г.

1, 2 – цифровая и радиотелеметрическая станция соответственно (коды станций соответствуют международным кодам из табл. 1); 3 – изолиния K_{\min} ; 4 – граница зоны ответственности региональной сети КФ ГС РАН.

После разрушительного Олюторского землетрясения 20 апреля 2006 г. с $M_w=7.6$ [1] в его эпицентральной зоне была развернута сеть (табл. 3, рис. 2) автономных цифровых станций «Mars» (производство Германии) с автоматическим сейсмическим регистратором «Mars» и сейсмометром LE-3D/1s [2], у которых частотный диапазон равен 1–40 Гц, частота опроса – 100 Гц, разрядность АЦП – 24 бит, чувствительность – 10^8 – 10^9 отсчет/(м/с). Вместе со станцией «Mars» (ST01) в пос. Тилички на том же постаменте был установлен цифровой комплект GSR-24 для регистрации сильных движений (табл. 1, 2). Здесь же 2 мая 2006 г. установили также комплект цифровой станции СЦСС [3].

Таким образом, к концу года сеть полностью перешла на цифровую регистрацию и состояла из 41 сейсмической станции, на которых установлено 32 комплекта радиотелеметрической аппаратуры и 13 – цифровой (рис. 1, табл. 1, 2). Прием сигналов с радиотелеметрических пунктов и их аналогово-цифровое преобразование осуществляется на трех приемных центрах в г. Петропавловске-Камчатском, пос. Ключи и пос. Козыревск. Лишь на станции «Петропавловск» продолжает работать параллельно аналоговая аппаратура (табл. 4).

Карты энергетической представительности K_{\min} землетрясений Камчатки в 2006 г. показаны на рис. 1, 2, из которых виден теоретический уровень $K_{\min}=8.5$ для наиболее активной территории – Курило-Камчатского и Алеутского глубоководных желобов, континентальной Камчатки, и $K_{\min}=9.5$ – на территории Корякского автономного округа и Северных Курил, а также для всего региона внутри границ ответственности камчатской сети.

Методика определения параметров землетрясений, изложенная в [4–6], не изменилась. Обработка сигналов цифровых сейсмических станций производится при помощи пакета программ DIMAS [7].

Таблица 1. Сейсмические станции Камчатки (в хронологии их открытия), работавшие в 2006 г.

| № | Станция | | | Дата | | Координаты | | | Тип станции | | |
|----|-----------------|-------|------|------------------|----------------------|--------------------|--------------------|----------|-------------|---|---|
| | Название | Код | | открытия станции | установки аппаратуры | φ°, N | λ°, E | $h_y, м$ | | | |
| 1 | 2 | межд. | рег. | | | | | | 3 | 4 | 5 |
| 1 | Ключи | KLY | KLY | 1946 | 14.02.1989 | 56.3130 | 160.8520 | 70 | тлм | | |
| | | | | | 04.11.2004 | | | | цф GEOTECH | | |
| 2 | Петропавловск | PET | PET | 18.03.1951 | 18.03.1951 | 53.024 | 158.653 | 100 | анлг | | |
| | | | | | 30.01.1987 | | | | тлм | | |
| | | | | | 15.09.1993 | | | | цф-IRIS | | |
| 3 | Козыревск | KOZ | KOZ | 17.10.1958 | 21.06.2001 | 56.0579 | 159.8723 | 60 | тлм | | |
| 4 | Паужетка | PAU | PAU | 30.04.1961 | 10.04.2005 | 51.4680 | 156.8150 | 130 | цф-СЦСС | | |
| 5 | Шипунский | SPN | SPN | 25.08.1962 | 11.04.1985 | 53.1050 | 160.0110 | 70 | тлм | | |
| 6 | Беринг | BKI | BKI | 20.11.1962 | 25.12.2005 | 55.1940 | 165.9836 | 15 | цф-SDAS | | |
| 7 | Авача | AVH | AVH | 16.01.1963 | 13.05.1976 | 53.2640 | 158.7400 | 960 | тлм | | |
| 8 | Эссо | ESO | ESO | 24.11.1965 | 16.12.2004 | 55.9316 | 158.6949 | 490 | цф-СЦСС | | |
| 9 | Крутоберегово | KBG | KBG | 10.04.1968 | 10.04.2006 | 56.2584 | 162.7127 | 30 | цф-СЦСС | | |
| | | | | | 01.11.2004 | | | | цф-GSR-24 | | |
| 10 | Оссора | OSSR | OSS | 25.01.1973 | 19.08.2006 | 59.2650 | 163.0820 | 20 | цф-СЦСС | | |
| 11 | Коряка | KOK | KRK | 30.08.1977 | 30.08.1977 | 53.2960 | 158.6430 | 1050 | тлм | | |
| 12 | Горелый | GRL | GRL | 14.08.1980 | 14.08.1980 | 52.5540 | 158.0730 | 1400 | – " – | | |
| 13 | Институт | INSR | INS | 20.11.1981 | 20.11.1981 | 53.0665 | 158.6086 | 170 | – " – | | |
| 14 | Налычево | NLC | NLC | 30.03.1984 | 30.03.1984 | 53.1710 | 159.3450 | 20 | – " – | | |
| 15 | Русская | RUS | RUS | 21.12.1987 | 21.12.1987 | 52.4320 | 158.5130 | 80 | – " – | | |
| 16 | Ганалы | GNL | GNL | 15.01.1988 | 15.01.1988 | 53.6950 | 157.9420 | 1200 | – " – | | |
| 17 | Крестовский | KRSR | KRS | 08.04.1988 | 08.04.1988 | 56.2170 | 160.5650 | 1180 | – " – | | |
| 18 | Зелёная | ZLN | ZLN | 30.10.1988 | 30.10.1988 | 56.0170 | 160.8030 | 1050 | – " – | | |
| 19 | Карымский | KPI | KRY | 02.09.1989 | 02.09.1989 | 54.0360 | 159.4490 | 900 | – " – | | |
| 20 | Алача | APC | APC | 24.02.1990 | 14.07.2004 | 52.9257 | 157.1329 | 120 | цф-СЦСС | | |
| 21 | Каменистая | KMNR | KMN | 27.09.1990 | 27.09.1990 | 55.7560 | 160.2470 | 1145 | тлм | | |
| 22 | Сомма | SMAR | SMA | 27.02.1991 | 27.02.1991 | 53.2660 | 158.8120 | 2050 | – " – | | |
| 23 | Седловина | SDLR | SDL | 17.12.1991 | 17.12.1991 | 53.2780 | 158.8869 | 1230 | – " – | | |
| 24 | Срединный | SRDR | SRD | 04.01.1992 | 04.01.1992 | 56.3190 | 159.6930 | 830 | – " – | | |
| 25 | Угловая | UGLR | UGL | 19.08.1992 | 19.08.1992 | 53.2100 | 158.8288 | 1200 | – " – | | |
| 26 | Тилички | TILR | TIL | 02.12.1993 | 25.08.2006 | 60.4310 | 166.0600 | 40 | цф-СЦСС | | |
| | | | | | 02.05.2006 | | | | цф-GSR-24 | | |
| 27 | Каменское | KAMR | KAM | 24.10.1994 | 24.10.1994 | 62.4560 | 166.2100 | 190 | цф-POSEJDON | | |
| 28 | Мыс Козлова | MKZ | MKZ | 25.09.1997 | 25.09.1997 | 54.5560 | 161.7300 | 520 | тлм | | |
| 29 | Малая Ипелька | MIPR | MIP | 11.11.1997 | 11.11.1997 | 52.2760 | 156.7580 | 370 | – " – | | |
| 30 | Крутоберегово-1 | KBTR | KBT | 14.10.1997 | 14.10.1997 | 56.2080 | 162.8190 | 360 | – " – | | |
| 31 | Копыто | KPT | KPT | 24.10.1997 | 24.10.1997 | 55.9660 | 160.2220 | 1000 | – " – | | |
| 32 | Цирк | CIRR | CIR | 16.10.1998 | 16.10.1998 | 56.1150 | 160.7480 | 1450 | – " – | | |

| № | Станция | | | Дата | | Координаты | | | Тип станции |
|----|------------|-------|------|------------------|----------------------|------------|----------|--------------------|-------------|
| | Название | Код | | открытия станции | установки аппаратуры | φ°, N | λ°, E | h _y , м | |
| | | межд. | рег. | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 33 | Логинов | LGNR | LGN | 01.09.1999 | 01.09.1999 | 56.0830 | 160.6900 | 2530 | – " – |
| 34 | Карымшина | KRMR | KRM | 17.01.2000 | 17.01.2000 | 52.8287 | 158.1281 | 120 | цф–спец. |
| 35 | Алаид | ALID | ALD | 08.08.2001 | 08.08.2001 | 50.8756 | 155.5523 | 1400 | тлм |
| 36 | Тумрок | TUMR | TUM | 25.07.2003 | 25.07.2003 | 55.2830 | 160.1460 | 1210 | – " – |
| 37 | Семжарок | SMKR | SMK | 18.09.2005 | 18.09.2005 | 56.5820 | 161.4680 | 895 | – " – |
| 38 | Сорокина | SRKR | SRK | 18.09.2005 | 18.09.2005 | 56.6540 | 161.1680 | 845 | – " – |
| 39 | Байдарная | BDR | BDR | 08.10.2005 | 08.10.2005 | 56.5680 | 161.2080 | 720 | – " – |
| 40 | Безымянный | BZMR | BZM | 05.08.2006 | 05.08.2006 | 55.9350 | 160.4900 | 1450 | – " – |
| 41 | Киришев | KIRR | KIR | 05.08.2006 | 05.08.2006 | 55.9530 | 160.3420 | 1470 | – " – |

Примечание. Координаты станций в графах 7, 8 приведены по данным, уточненным с помощью систем глобального позиционирования; сокращения в графе 10 (тлм, цфр, англ) соответствуют телеметрической, цифровой и аналоговой станциям; в графе 6 приведена дата установки аппаратуры, действующей на конец 2006 г.; на ст. «Карымшина» – специально разработанный для нее цифровой комплекс сбора данных [8].

Таблица 2. Данные об аппаратуре цифровых и телеметрических станций Камчатки и Командорских островов в 2006 г.

| Название станции | Тип датчика | Перечень каналов | Частотный диапазон, Гц | Частота опроса данных, Гц | Разряд-ность АЦП | Чувствительность, велосигграф – отсчет/(м/с), акселерограф – отсчет/(м/с ²), смещение – отсчет/(м) |
|------------------|---------------------------|--|--------------------------|---------------------------|------------------|--|
| Авача | СМ-3 | SH (N, E, Z) v EH (Z) v | 0.7–20 4–20 | 128 | 11 | 1.0·10 ⁷ 4.0·10 ⁸ |
| Алаид | СМ-3 | SH (N, E, Z) v EH (Z) v | 0.7–20 4–20 | 128 | 11 | 1.0·10 ⁷ 4.0·10 ⁸ |
| Апача | СМ-3–ОС СМ-3 | BH (N, E, Z) v SH (Z) v | 0.02–7 0.7–40 | 100 | 24 | 3.1·10 ⁹ 1.0·10 ¹⁰ |
| Байдарная | СМ-3 | SH (N, E, Z) v | 0.7–20 | 128 | 11 | 1.0·10 ⁷ |
| Безымянный | СМ-3 | SH (N, E, Z) v | 0.7–20 | 128 | 11 | 1.0·10 ⁷ |
| Беринг | СМ-3–ОС | BL (N, E, Z) v | 0.02–7 | 200 | 16 | 1.8·10 ⁷ |
| Ганалы | СМ-3 | SH (N, E, Z) v EH (Z) v | 0.7–20 4–20 | 128 | 11 | 1.0·10 ⁷ 4.0·10 ⁸ |
| Горелый | СМ-3 | SH (N, E, Z) v EH (Z) v | 0.7–20 4–20 | 128 | 11 | 1.0·10 ⁷ 2.0·10 ⁸ |
| Зелёная | СМ-3 | SH (N, E, Z) v | 0.7–20 | 128 | 11 | 1.0·10 ⁷ |
| Институт | СКД | LH (N, E, Z) x | 0.04–1 | 128 | 11 | 5.0·10 ⁵ |
| Каменистая | СМ-3 | SH (N, E, Z) v EH (Z) v | 0.7–20 4–20 | 128 | 11 | 1.0·10 ⁷ 4.0·10 ⁸ |
| Каменское | STS-1 V/VBB | BB (N, E, Z) v | 0.0027–10 | 20 | 24 | 1.0·10 ⁹ |
| Карымский | СМ-3 | SH (N, E, Z) v EH (Z) v | 0.7–20 4–20 | 128 | 11 | 1.0·10 ⁷ 3.0·10 ⁸ |
| Карымшина | СМ-3–КВ | SH (N, E, Z) v | 0.5–40 | 150 | 24 | 3.36·10 ⁸ |
| Киришев | СМ-3 | SH (N, E, Z) v | 0.7–20 | 128 | 11 | 1.0·10 ⁷ |
| Ключи | СМ-3 KS2000 | SH (N, E, Z) v BH (N, E, Z) v | 0.7–20 0.01–40 | 128 100 | 11 24 | 1.0·10 ⁷ 2.0·10 ⁹ |
| Козыревск | СМ-3 | SH (N, E, Z) v | 0.7–20 | 128 | 11 | 1.0·10 ⁷ |
| Копыто | СМ-3 | SH (N, E, Z) v | 0.7–20 | 128 | 11 | 1.0·10 ⁷ |
| Коряка | СМ-3 | SH (N, E, Z) v EH (Z) v | 0.7–20 4–20 | 128 128 | 11 11 | 1.0·10 ⁷ 4.0·10 ⁸ |
| Крестовский | СМ-3 | SH (N, E, Z) v | 0.7–20 | 128 | 11 | 1.0·10 ⁷ |
| Крутоберегово | СМ-3–ОС СМ-3 СМГ-5Т | BH (N, E, Z) v SH (Z) v HN (N, E, Z) a | 0.02–7 0.7–40 0–40 | 100 | 24 | 1.7·10 ⁷ 1.0·10 ¹⁰ 5.3·10 ⁵ |
| Крутоберегово-1 | СМ-3 | SH (N, E, Z) v EH (Z) v | 0.7–20 4–20 | 128 | 11 | 1.0·10 ⁷ 4.0·10 ⁸ |

| 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), смещение – отсчет/(м) |
|------------------|--|----------------------------|------------------------|---------------------------|-----------------|---|
| Логинов | СМ-3 | SH (N, E, Z) v EH (Z) v | 0.7–20 4–20 | 128 | 11 | 1.0 10 ⁷ 4.0 10 ⁸ |
| Мал. Ипелька | СМ-3 | SH (N, E, Z) v EH (Z) v | 0.7–20 4–20 | 128 | 11 | 1.0 10 ⁷ 4.0 10 ⁸ |
| Мыс Козлова | СМ-3 | SH (N, E, Z) v EH (Z) v | 0.7–20 4–20 | 128 | 11 | 1.0 10 ⁷ 4.0 10 ⁸ |
| Налычево | СМ-3 | SH (N, E, Z) v EH (Z) v | 0.7–20 4–20 | 128 | 11 | 1.0 10 ⁷ 4.0 10 ⁸ |
| Оссора | СМ-3 | SH (N, E, Z) v | 0.7–40 | 100 | 24 | 2.4 10 ¹⁰ |
| Паужетка | СМ-3–ОС СМ-3 | BH (N, E, Z) v SH (Z) v | 0.02–7 0.7–40 | 100 | 24 | 3.5 10 ⁹ 1.0 10 ¹⁰ |
| Петропавловск | СМ-3 STS-1 V/VBB FBA-23 GS-13 | SH (N, E, Z) v | 0.7–20 | 128 | 11 | 1.0 10 ⁷ |
| | | EH (Z) v | 4–20 | 128 | 11 | 4.0 10 ⁸ |
| | | BB (N, E, Z) v | 0.0027–10 | 20 | 24 | 1.0 10 ⁹ |
| | | HN (N, E, Z) a | 0–40 | 80 | 24 | 5.3 10 ⁴ |
| Русская | СМ-3 | SH (N, E, Z) v EH (Z) v | 0.7–20 4–20 | 128 | 11 | 1.0 10 ⁷ 4.0 10 ⁸ |
| Седловина | СМ-3 | SH (N, E, Z) v EH (Z) v | 0.7–20 4–20 | 128 | 11 | 1.0 10 ⁷ 4.0 10 ⁸ |
| Семкарок | СМ-3 | SH (N, E, Z) v | 0.7–20 | 128 | 11 | 1.0 10 ⁷ |
| Сомма | СМ-3 | SH (N, E, Z) v EH (Z) v | 0.7–20 4–20 | 128 | 11 | 1.0 10 ⁷ 4.0 10 ⁸ |
| Сорокина | СМ-3 | SH (N, E, Z) v | 0.7–20 | 128 | 11 | 1.0 10 ⁷ |
| Срединный | СМ-3 | SH (N, E, Z) v | 0.7–20 | 128 | 11 | 1.0 10 ⁷ |
| Тилички | СМ-3 CMG-5T | SH (N, E, Z) v | 0.7–40 | 100 | 24 | 2.4 10 ¹⁰ |
| | | HN (N, E, Z) a | 0–40 | | | 5.35 10 ⁵ |
| Тумрок | СМ-3 | SH (N, E, Z) v | 0.7–20 | 128 | 11 | 1.0 10 ⁷ |
| Угловая | СМ-3 | SH (N, E, Z) v | 0.7–20 | 128 | 11 | 1.0 10 ⁷ |
| | | EH (Z) v | 4–20 | | | 4.0 10 ⁸ |
| Цирк | СМ-3 | SH (N, E, Z) v | 0.7–20 | 128 | 11 | 1.0 10 ⁷ |
| Шипунский | СМ-3 | SH (N, E, Z) v | 0.7–20 | 128 | 11 | 1.0 10 ⁷ |
| | | EH (Z) v | 4–20 | | | 3.0 10 ⁸ |
| Эссо | СМ-3–ОС СМ-3 | BH (N, E, Z) v | 0.02–10 | 100 | 24 | 3.4 10 ⁹ |
| | | EH (Z) v | 0.7–40 | | | 1.0 10 ¹⁰ |

Примечание. Символами «х», «v», «a» обозначены смещение, скорость, ускорение соответственно.

Таблица 3. Временные цифровые станции в эпицентральной зоне Олоторского землетрясения

| № | Название станции | Региональный код | Координаты | | | Время работы | |
|---|------------------|------------------|------------|---------|--------------------|--------------|------------|
| | | | φ°, N | λ°, E | h _y , м | начало | окончание |
| 1 | Тилички | ST01 | 60.431 | 166.060 | 40 | 02.05.2006 | 15.05.2006 |
| 2 | Хаилино | ST02 | 60.959 | 166.854 | 100 | 02.05.2006 | 18.05.2006 |
| 3 | Ледяная | ST03 | 60.983 | 166.225 | 160 | 02.05.2006 | 17.05.2006 |

Таблица 4. Данные об аппаратуре с аналоговой записью на станции Петропавловск в 2006 г.

| Станция | Начало работы прибора | Тип прибора | Компонента | V _{max} | ΔT _{max} , с | Скорость развертки, мм/мин | Носитель |
|---------------|-----------------------|-------------|------------|------------------|-----------------------|----------------------------|-----------------|
| Петропавловск | 01.01.1971 | СКД КПЧ | N, E, Z | 100 | 0.2–16.7 | 30 | Фотобумага |
| | 01.05.1976 | ДС-БП | N, E, Z | 200 | 4–55.5 | 12 | Тепловая бумага |

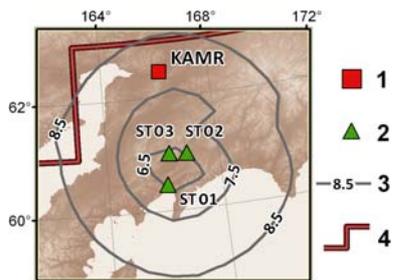


Рис. 2. Карта энергетической представительности землетрясений K_{min} и сеть сейсмических станций Камчатки в период 2–15 мая 2006 г. в Олюторском районе во время работы временной локальной сети

1, 2 – цифровая сейсмическая станция, стационарная и временная автономная соответственно; 3 – изолиния K_{min} ; 4 – граница зоны ответственности региональной сети КФ ГС РАН.

Анализ сейсмичности проведен для территории в пределах границ региона, указанных в [9]. Всего в 2006 г. локализованы 8863 землетрясения с $K_S=3.7-15.7$, из них 1224 с $K_S \geq 8.6$ помещены в каталог [10] в наст. сб. (1172 находится внутри зоны ответственности, 52 – вне). В верхней строке табл. 5 дано распределение $N(K_S)$ всех обработанных землетрясений, в нижней – лишь внутри границ ответственности. Суммарная высвобожденная внутри границ региона сейсмическая энергия составила $\Sigma E=64.02 \cdot 10^{14}$ Дж, что почти на порядок выше ее среднегодового значения ($\Sigma E_{cp}=8 \cdot 10^{14}$ Дж) за 1962–2005 гг.

Таблица 5. Распределение числа землетрясений по энергетическим классам K_S и суммарная сейсмическая энергия ΣE в 2006 г.

| K_S | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | N_{Σ} | ΣE , 10^{14} Дж |
|-----------------------|----|-----|------|------|------|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|--------------|------------------------------|
| $N_{\text{всего}}$ | 67 | 756 | 2360 | 2765 | 1691 | 797 | 267 | 113 | 26 | 16 | 2 | 2 | 1 | 8863 | 64.07 |
| $N_{\text{зона отв}}$ | 67 | 756 | 2360 | 2765 | 1683 | 778 | 240 | 108 | 26 | 15 | 2 | 2 | 1 | 8803 | 64.02 |

На рис. 3 а, б представлены ежесуточные числа N землетрясений с $K_S \geq 8.6$ и величина накопленной энергии ΣE . Абсолютный максимум $N(t)$ и последующий шлейф больших значений этого параметра в апреле на рис. 3 а связан с мощной серией афтершоков [11] упомянутого выше Олюторского землетрясения 20 апреля в $20^{\text{h}}24^{\text{m}}$ с $K_S=15.7$, $M_w=7.6$. Его сильнейшим ($K_S=14.7$, $M_w=6.6$) афтершоком 22 мая вызван второй всплеск активности. Эта же серия ответственна за скачки накопленной энергии на рис. 3 б (подробному описанию Олюторского землетрясения и сейсмичности его очаговой зоны посвящена отдельная статья [12] в наст. сб.). В любое другое время 2006 г. временной ход $N(t)$ почти стационарный. Небольшая же ступень на рис. 3 б в августе имеет причиной наиболее сильное ($K_S=14.3$, $M_w=6.5$) событие 24 августа с $h=38$ км [10, 13] в Тихом океане напротив южной оконечности п-ва Камчатка в поверхностном слое зоны субдукции.

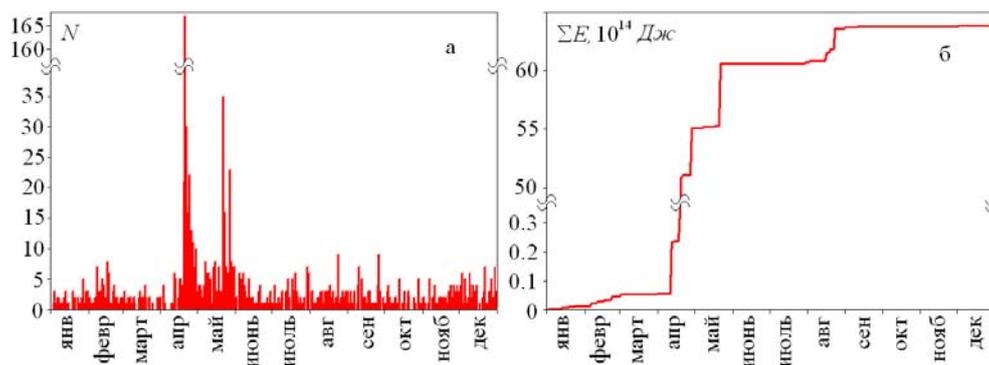


Рис. 3. Графики изменения во времени суточных чисел N землетрясений с $K_S \geq 8.6$ (а) и величины накопленной сейсмической энергии ΣE (б) в 2006 г. для зоны ответственности сети КФ ГС РАН

На рис. 4 а дана карта эпицентров всех землетрясений с $K_S \geq 8.6$ и вертикальные разрезы гипоцентров (поперечный $A-A'$ и продольный $B-B'$). Сильных ($K_S \geq 11.6$) землетрясений в 2006 г. было 47, из них 20 – афтершоки Олюторского землетрясения. Один толчок (2) зафиксирован вне зоны ответственности.

Ощутимых землетрясений с интенсивностью $I=2-9$ и более 9 баллов [10, 14] произошло в 2006 г. $N_{\text{ощ}}=98$, из них 35 – афтершоки Олюторского землетрясения. Наибольшую интенсивность сотрясений с $I>9$ баллов на переправе через р. Авьенваям вызвало Олюторское землетрясение (9 на рис. 4). В г. Петропавловске-Камчатском ощущалось 27 землетрясений (с $K_S=9.9-14.3$) с интенсивностью от $I=2$ до $I=4-5$ баллов, верхний уровень вызван южным землетрясением (38) с $K_S=14.3$, $M_w=6.5$ [13].

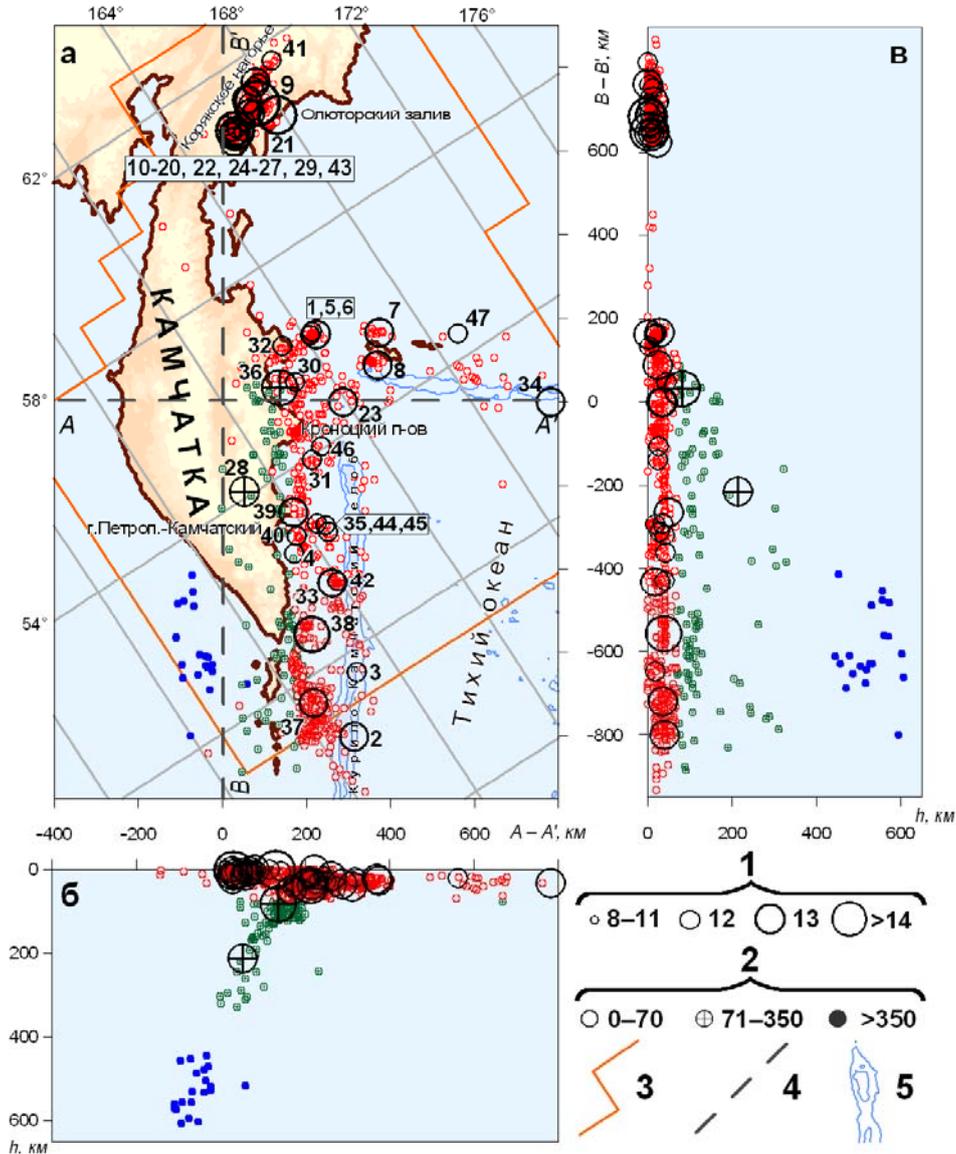


Рис. 4. Карта эпицентров землетрясений Камчатки ($K_S \geq 8.6$) (а) и глубинные разрезы на вертикальные плоскости А–А' (б) и В–В' (в) за 2006 г.

1 – энергетический класс K_S ; 2 – глубина гипоцентра h , км; 3 – граница региона; 4 – линия разрезов вкост (А–А') и вдоль (В–В') фокальной зоны; 5 – изобаты 6000 и 7000 м; числа 1–47 соответствуют номерам сильных ($K_S \geq 11.6$) землетрясений в каталоге [10].

Механизмы очагов определены по знакам первых вступлений объемных волн для 41 землетрясения с $K_S \geq 11.6$ [15] по программе FA2002 [16, 17]. Из распределения землетрясений по типам подвижек в табл. 6 виден ежегодно преобладающий тип – взбросо-сдвиг (47% событий). Относительно предыдущих данных заметно возросло число сдвиговых механизмов (26% в 2006 г. против 6 и 8% в 2005 и 2004 гг. соответственно [18, 19]), что, возможно, связано с присутствием в магистральном сейсморазрыве Олюторского землетрясения отрезка с правосдвиговым типом деформаций [12]. Чисто взбросовых и сбросовых подвижек в очагах не зафиксировано (табл. 6).

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

| Тип подвижки | Номера землетрясений по [10] | N_i | N_i/N_{Σ} , % |
|---------------|--|-------|----------------------|
| Сброс | | 0 | 0 |
| Сбросо-сдвиг | 23, 28, 30, 34, 42, 44, 45 | 7 | 15 |
| Взброс | | 0 | 0 |
| Взбросо-сдвиг | 1–4, 7–9, 13–15, 17, 19, 21, 27, 32, 33, 35, 36, 38–40, 46 | 22 | 47 |
| Сдвиг | 5, 6, 16, 18, 20, 22, 24, 29, 31, 37, 41, 43 | 12 | 26 |
| Не определен | 10–12, 25, 26, 47 | 6 | 13 |
| Сумма | | 47 | 100 |

Схема разбиения региона на тектоно-географические структуры или зоны в 2006 г. несколько изменена. Новая схема дана на рис. 5 а, старая (по [20]) – на рис. 5 б. Основные изменения сделаны в северной части региона, где две небольшие слабосейсмичные зоны № 7, № 8 (рис. 5 б) объединены в зону № 9 (рис. 5 а) (с небольшим изменением границ), названную «Залив Шелихова». Наоборот, зона № 6 (рис. 5 б, «Корякия») разделена на две: № 7 – «Коряжский сейсмический пояс», № 8 – «Берингово море» (рис. 5 а). Отметим, что зона № 8 практически асейсмична – в ней землетрясения происходят лишь иногда, в ее северо-восточной части. На две части с рис. 5 б разделена также зона № 1 («Камчатская сейсмофокальная зона» [20]): на зону № 2 – «Северную часть Камчатской сейсмофокальной зоны», начинающуюся от Авачинской губы, и зону № 1 – «Курилы и Южная Камчатка» (рис. 5 а). В [20] такое разделение существовало только для нижнего слоя с $h > 350$ км, теперь же – для всех глубин. Это соответствует современным представлениям о существенно различном возрасте возникновения северного и южного сегментов Камчатской сейсмофокальной зоны [21]. Остальные границы оставлены без изменения, в том числе и наклонные, детально описанные в [20].

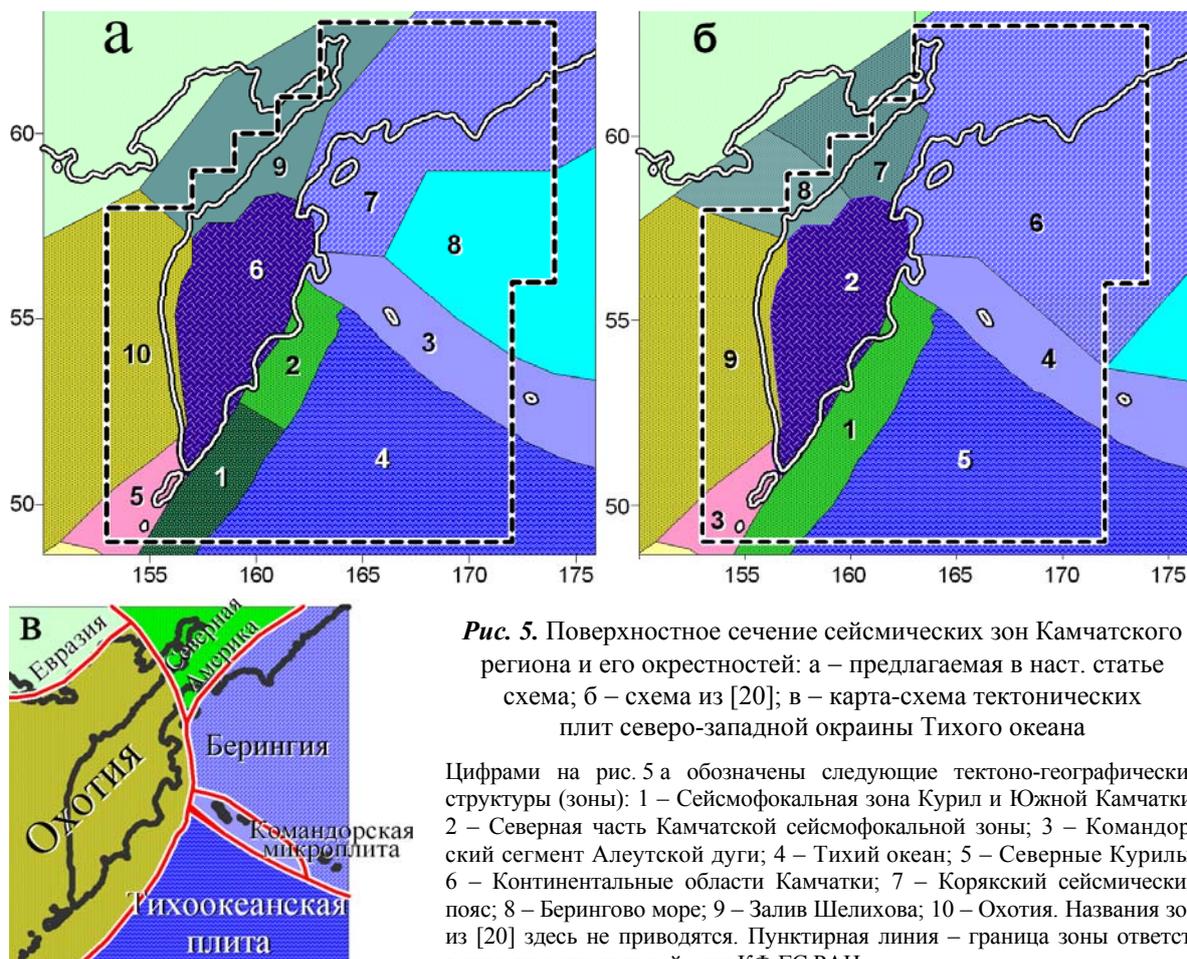


Рис. 5. Поверхностное сечение сейсмических зон Камчатского региона и его окрестностей: а – предлагаемая в наст. статье схема; б – схема из [20]; в – карта-схема тектонических плит северо-западной окраины Тихого океана

Цифрами на рис. 5 а обозначены следующие тектоно-географические структуры (зоны): 1 – Сейсмофокальная зона Курил и Южной Камчатки; 2 – Северная часть Камчатской сейсмофокальной зоны; 3 – Командорский сегмент Алеутской дуги; 4 – Тихий океан; 5 – Северные Курилы; 6 – Континентальные области Камчатки; 7 – Коряжский сейсмический пояс; 8 – Берингово море; 9 – Залив Шелихова; 10 – Охотия. Названия зон из [20] здесь не приводятся. Пунктирная линия – граница зоны ответственности региональной сети КФ ГС РАН.

Зоны № 1–№ 10 разделены на три слоя: I – поверхностный ($h=0–70$ км); II – промежуточный ($h=71–350$ км); III – глубокий ($h>350$ км), принадлежность к которым в каталоге [10] указывается для каждого землетрясения. Исключение составляет зона № 2 – «Северная часть Камчатской сейсмофокальной зоны», с границей на уровне $h=380$ км между промежуточным и глубоким слоем. Этот слой в каталоге [10] имеет префикс «а».

Приведем краткое описание выделенных зон сейсмичности Камчатского региона. Весь объем, занимаемый землетрясениями, происходящими на границе плиты, погружающейся в Камчатскую зону субдукции, разделен на две структуры: **Сейсмофокальную зону Курил и Южной Камчатки (зона № 1)** и **Северную часть Камчатской сейсмофокальной зоны (зона № 2)**. Их восточная вертикальная граница проведена по оси глубоководного желоба и отделяет взбросовые и надвиговые очаги землетрясений верхнего края зоны субдукции от преимущественно сбросовых очагов океанического вала, отнесенных к зоне Тихого океана (№ 4).

Северо-западная граница зон № 1 и № 2 достигает поверхности значительно западнее глубоководного желоба, вблизи побережья, во внутренней части камчатских заливов. При этом два полуострова – Шипунский и Кроноцкий – оказываются почти полностью в пределах этих зон. Это связано с тем, что на сегодняшний день недостаточная точность определения глубин землетрясений, происходящих восточнее побережья Камчатки (т.е. в районе пологого участка зоны субдукции), не позволяет отличить события, происходящие на главной поверхности субдукции, от землетрясений в верхней нависающей плите. Таким образом, к сейсмофокальной зоне (№ 1 и № 2) отнесены все землетрясения, происходящие в районе ее пологого участка, независимо от их формально определенной глубины. Северо-западная граница в целом наклонно падает под континент, имея перегиб на глубине 70 км, но в деталях имеет сложную форму, соответствующую реальному распределению сейсмичности. Аналогично сложную трехмерную форму имеют границы зон в районе сочленения Камчатки с Командорским сегментом Алеутской дуги. Южная граница зоны № 1 для региона определяется границами ответственности камчатской сети и ограничена широтой $\varphi=49^\circ$.

Согласно современным тектоническим представлениям [21], северная часть современной Камчатской зоны субдукции (севернее Авачинского залива) значительно моложе (на 2–7 млн лет) ее южной части. За это время северный участок погружающейся плиты еще не успел опуститься до типичных максимальных глубин, на которых южнее наблюдаются многочисленные землетрясения. Действительно, в районе Авачинского залива, точнее, поперечной Авачинской вулканотектонической структуры, происходит резкое изменение максимальных глубин подавляющего большинства землетрясений с $h=650$ до $h=380$ км (рис. 4 б). Однако необходимо отметить, что за все время наблюдений в северной области все же произошло несколько землетрясений с глубиной до 550 км, хотя некоторые из них могут быть связаны с ошибками локации их гипоцентров. Все они произошли недалеко от границ области, и, возможно, только отражают факт несовершенства упрощенной модели, в которой поперечная Авачинская структура является плоскостью во всем интервале глубин.

Опираясь на изложенные факты, представляется необходимым разделить протяженную Курило-Камчатскую сейсмофокальную область на две зоны: № 1 – «Сейсмофокальную зону Курил и Южной Камчатки»; № 2 – «Северную часть Камчатской сейсмофокальной зоны» (табл. 7). Напомним, что граница промежуточного и глубокого слоев в зоне № 2 проходит на глубине $h=380$ км, во всех других – $h=350$ км.

Командорский сегмент Алеутской дуги (зона № 3) включает в себя землетрясения, происходящие на границах Командорской микроплиты, зажатой между двумя значительно более крупными образованиями: медленной плитой Берингией [22] на севере и быстро перемещающейся на северо-запад Тихоокеанской плитой [23]. Командорская микроплита (рис. 5 в) шириной менее 100 км протянулась на ~500 км в направлении, практически параллельном вектору движения Тихоокеанской плиты, и отделена от последней трансформной границей, проходящей по Алеутскому глубоководному желобу. В очагах землетрясений на обеих параллельных границах Командорской микроплиты преобладают правые сдвиги [24]. На западе Командорская микроплита упирается в небольшой блок п-ва Камчатского мыса, который в свою очередь имеет сложную трехмерную границу с континентальной Камчаткой. Эти две мелкие структуры объединены в единую зону № 3.

Зона № 4 «Тихий океан» объединяет землетрясения, происходящие на океаническом валу за глубоководным желобом. В их очагах наблюдается сбросовый тип подвижки [24]. Географическое положение остальных зон ясно из рис. 5 а. Их границы либо совпадают с предыдущими в [20], либо вертикальны.

В **зоне № 5 «Северные Курилы»** происходят землетрясения, эпицентры которых локализованы на Северных Курилах, но вне зоны субдукции. Гипоцентры этих землетрясений лежат значительно выше сейсмофокальной зоны, и их природа отличается от субдукционных событий.

Гипоцентры землетрясений **зоны № 6 «Континентальные области Камчатки»** также располагаются выше зоны субдукции, как правило, в поверхностном слое. Сейсмичность этой зоны определяется тектоническими движениями по разломам земной коры, а также связана с активностью действующих вулканов Камчатки.

Охотия (зона № 10) включает в себя мелкофокусные землетрясения в Охотском море, происходящие выше зоны субдукции и имеющие отличающуюся от последней тектоническую природу.

В **зонах № 9 («Залив Шелихова») и № 7 («Корякский сейсмический пояс»)** происходят землетрясения, принадлежащие континентальным сейсмическим поясам – границам плит, образованным преимущественно мелкофокусными землетрясениями.

Зона № 8 («Берингово море») почти асейсмична. Однако формально в ее границах зафиксировано несколько землетрясений, попавших в нее, возможно, вследствие ошибок в определении гипоцентров.

Рассмотрим особенности сейсмического процесса региона по зонам № 1–№ 10, показанным на рис. 5 а. В табл. 7 представлены некоторые их статистические характеристики на двух энергетических срезах ($K_S \geq 8.6$ и $K_S \geq 11.6$), а также средние значения за весь период инструментальных наблюдений с 1962 по 2005 г. При этом учитывались лишь землетрясения, входящие в зону ответственности КФ ГС РАН. В зонах № 8 и № 10 таких землетрясений в 2006 г. не было.

Таблица 7. Распределение числа землетрясений с $K_S \geq 8.6$ и $K_S \geq 11.6$, а также величины выделенной энергии по зонам за 2006 г. в сопоставлении с их средними значениями за период 1962–2005 гг.

| № | Зона | Слой | Средние значения за 1962–2005 гг. | | | | Значения за 2006 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 | 1.36 | 205 | 17.49 | 5 | 2.44 |
| | | II | 40 | 4.5 | 2 | 0.14 | 54 | 4.61 | | 0.01 |
| | | III | 4 | 0.4 | <1 | 0.04 | 18 | 1.54 | | <0.01 |
| 2 | Северная часть Камчатской сейсмофокальной зоны | I | 342 | 38.5 | 12 | 1.49 | 212 | 18.09 | 8 | 0.18 |
| | | IIa | 85 | 9.6 | 2 | 2.82 | 45 | 3.84 | 2 | 0.95 |
| 3 | Командорский сегмент Алеутской дуги | I | 113 | 12.7 | 5 | 1.31 | 136 | 11.60 | 7 | 0.31 |
| | | II | 1 | 0.1 | <1 | <0.01 | 1 | 0.09 | | <0.01 |
| 4 | Тихий океан | I | 51 | 5.8 | 1 | 0.11 | 43 | 3.67 | 3 | 0.19 |
| 5 | Северные Курилы | I | 1 | 0.2 | | <0.01 | 1 | 0.09 | | <0.01 |
| 6 | Континентальные области Камчатки | I | 43 | 4.9 | <1 | 0.12 | 5 | 0.43 | | <0.01 |
| 7 | Корякский сейсмический пояс | I | 9 | 1.0 | <1 | 0.53 | 449 | 38.29 | 21 | 59.92 |
| 8 | Берингово море | I | <0.02 | <0.01 | 0 | <0.01 | | | | |
| 9 | Залив Шелихова | I | 1 | 0.1 | <1 | <0.01 | 3 | 0.26 | 0 | <0.01 |
| 10 | Охотия | I | 1 | 0.1 | 0.02 | <0.01 | | | | |
| | Всего | | 888 | 100 | 33 | 8 | 1172 | 100 | 46 | 64.05 |

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. Промежуточный слой зоны № 2 имеет отличные от других зон границы ($70 < h \leq 380$ км) и обозначается II а.

Как следует из табл. 7, наибольшая разница годовых и средних значений как по числу землетрясений ($N=449$ в 2006 г. вместо $N=9$ в 2005 г. [18]), так и по суммарной энергии

($\Sigma E=59.92 \cdot 10^{14}$ Дж вместо $\Sigma E=0.53 \cdot 10^{14}$ Дж) получена в зоне № 7 – «Корякском сейсмическом поясе» в результате Олюторского землетрясения, где произошла почти половина сильных землетрясений региона. Заметно также некоторое увеличение числа землетрясений в зоне № 1 во всех трех интервалах глубин (205→196; 54→40; 18→4, табл. 7), хотя по энергии увеличение присутствует лишь в поверхностном слое ($\Sigma E=2.44$ Дж вместо $\Sigma E=1.36$ Дж, табл. 7). Напротив, в зоне № 2 в обоих слоях (I и IIa, табл. 7) наблюдается снижение сейсмической активности и в числе землетрясений (212→342; 45→85), и в суммарной энергии ($\Sigma E=0.18$ Дж вместо $\Sigma E=1.49$ Дж; 0.95→2.82). В остальных зонах есть лишь незначительные отклонения параметров сейсмического режима от многолетних среднегодовых значений.

Эффект группировки землетрясений. По данным детальных наблюдений землетрясения на Камчатке реализуются как в виде одиночных, так и групп типа форшоки-афтершоки или рой. Доля группирующихся событий от общего числа землетрясений за период 1962–2005 гг. составляет 22%; для сильных ($K_S \geq 11.6$) землетрясений этот эффект выше (42%). Конкретно в 2006 г. число группирующихся землетрясений значительно выросло как для всех землетрясений (до 51%), так и для сильных (до 83%). Причина – афтершоковый процесс в очаге Олюторского землетрясения. Сравнительная статистика группирующихся событий с главными событиями $K_{\max} \geq 11.6$ за 1962–2005 гг. и 2006 г. дана в табл. 8 по наиболее сейсмоактивным зонам Камчатки. Анализ группировки землетрясений проведен по каталогу афтершоков, предоставленному Н.М. Кравченко (КФ ГС РАН).

Таблица 8. Распределение числа сильных ($K_S \geq 11.6$) группирующихся землетрясений по тектоно-географическим структурам Камчатки в 1962–2005 гг. и 2006 г.

| № зоны | Тектоно-географическая структура (зона) | N_{Σ} ($K_S \geq 11.6$) | $N_{\Sigma_{гр}}$ ($K_S \geq 11.6$) | $N_{\Sigma_{гр}}/N_{\Sigma}$, % | $n_{гр}$ |
|---------------|--|-------------------------------------|--|-------------------------------------|----------|
| 1962–2005 гг. | | | | | |
| 1 | Сейсмофокальная зона Курил и Южной Камчатки | 599 | 212 | 35 | 67 |
| 2 | Северная часть Камчатской сейсмофокальной зоны | 597 | 293 | 49 | 102 |
| 3 | Командорский сегмент Алеутской дуги | 211 | 94 | 44 | 33 |
| 4 | Тихий океан | 59 | 15 | 25 | 8 |
| 6 | Континентальные области Камчатки | 27 | 22 | 81 | 9 |
| 7 | Корякский сейсмический пояс | 17 | 10 | 59 | 2 |
| 2006 г. | | | | | |
| 1 | Сейсмофокальная зона Курил и Южной Камчатки | 5 | 4 | 80 | 3 |
| 2 | Северная часть Камчатской сейсмофокальной зоны | 10 | 8 | 80 | 6 |
| 3 | Командорский сегмент Алеутской дуги | 7 | 5 | 71 | 4 |
| 4 | Тихий океан | 4 | 1 | 25 | 1 |
| 6 | Континентальные области Камчатки | | | | |
| 7 | Корякский сейсмический пояс | 21 | 21 | 100 | 1 |

Примечание. N_{Σ} , $N_{\Sigma_{гр}}$ – общее число всех землетрясений и группирующихся соответственно; $n_{гр}$ – число групп, зафиксированных в зоне за 1962–2005 и 2006 гг..

Как следует из табл. 8, доля группирующихся землетрясений максимальна в континентальных областях Камчатки, что, по-видимому, является характерной особенностью этой зоны. Довольно высок процент групповых землетрясений для Корякского сейсмического пояса, что связано с низкой фоновой активностью этой структуры, а также отсутствием сети, позволяющей регистрировать слабые землетрясения. Довольно высокая степень группировки отмечается в Командорском сегменте Алеутской дуги (№ 3) и в Северной части Камчатской сейсмофокальной зоны (№ 2).

Статистика группирующихся землетрясений в 2006 г. несколько отличается от многолетней. Корякский сейсмический пояс сохраняет свое лидирующее положение, а в континентальных областях Камчатки наблюдается отсутствие групп землетрясений и значительное снижение сейсмической активности – здесь не было зафиксировано ни одного землетрясения с $K_S \geq 11.6$. Перечень группирующихся землетрясений в 2006 г. представлен в табл. 9.

Таблица 9. Основные сведения о группах землетрясений с $K_{\max} \geq 11.6$, отмеченных в регионе в 2006 г.

| Зона | № | Начало группы | | Параметры максимального события | | | | | Параметры группы | | | | | |
|---|--|---------------|--------------------|---------------------------------|-----------------|------------------|-------------|-----------|------------------|---------------------------|------------------------------|-------------|-------------------------------|--------|
| | | Дата, д м | t_0 , ч мин с | K_{\max} | M_w , [25] | $MPSP$, [26] | h , км | № [10] | N (все) | N ($K_S \geq 8.6$) | ΣE , 10^{14} Дж | h , км | № [10] | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | |
| Сейсмофокальная зона Курил и Южной Камчатки | 1 | 31.07 | 18 36 09.6 | 12.9 | 5.1 | 5.5 | 17 | 33 | 23 | 17 | 0.09 | 4–40 | 33, 42 | |
| | 2 | 20.08 | 03 01 00 | 13.5 | 6.0 | 5.8 | 37 | 37 | 13 | 6 | 0.32 | 32–75 | 37 | |
| | 3 | 24.08 | 21 50 34.1 | 14.3 | 6.5 | 6.0 | 38 | 38 | 95 | 15 | 2.00 | 0–53 | 38 | |
| | Северная часть Камчатской сейсмофокальной зоны | 4 | 22.05 | 13 08 00.5 | 13.5 | 6.2 | 6.3 | 213 | 28 | 11 | 2 | 0.32 | 193–213 | 28 |
| | | 5 | 24.05 | 14 36 55.8 | 11.6 | | 4.7 | 44 | 30 | 18 | 3 | <0.01 | 11–44 | 30 |
| | | 6 | 27.05 | 13 45 37.4 | 11.3 | | 4.8 | 9 | | 223 | 20 | <0.01 | 9–53 | |
| | | 7 | 14.07 | 00 37 26.2 | 11.6 | | 5.0 | 24 | 31 | 44 | 3 | <0.01 | 24–30 | 31 |
| | | 8 | 17.08 | 01 22 45.4 | 11.7 | | 5.0 | 36 | 35 | 42 | 2 | 0.01 | 8–36 | 35 |
| | | 9 | 17.08 | 11 11 34.7 | 13.8 | 5.7 | 6.0 | 82 | 36 | 22 | 4 | 0.63 | 25–82 | 36 |
| | | 10 | 01.09 | 22 07 26.7 | 11.6 | | 5.1 | 40 | 40 | 38 | 7 | <0.01 | 31–40 | 40 |
| | | 11 | 03.12 | 04 52 31.1 | 12.3 | 5.1 | 5.3 | 29 | 44 | 29 | 10 | 0.04 | 5–29 | 44, 45 |
| Командорский сегмент Алеутской дуги | 12 | 06.02 | 05 51 30.0 | 11.9 | 5.8 | 5.2 | 20 | 1 | 72 | 12 | 0.01 | 13–30 | 1 | |
| | 13 | 12.04 | 01 06 51.0 | 13.1 | 6.0 | 5.5 | 1 | 5 | 257 | 33 | 0.14 | 1–29 | 5, 6 | |
| | 14 | 19.04 | 03 24 40.7 | 13 | 5.1 | 5.3 | 23 | 8 | 14 | 6 | 0.10 | 19–24 | 8 | |
| Тихий океан | 15 | 29.07 | 19 05 14.5 | 11.6 | | 4.6 | 4 | 32 | 46 | 2 | <0.01 | 4–9 | 32 | |
| | 16 | 18.05 | 23 04 43.1 | 12.9 | 5.7 | 5.9 | 36 | 23 | 10 | 2 | 0.08 | 36–40 | 23 | |
| Корякский сейсмический пояс | 17 | 20.04 | 23 24 57.8 | 15.7 | 7.6 | 6.8 | 1 | 9 | 2911 | 446 | 59.92 | 0–38 | 9–22, 24–27, 29, 41, 43 | |

Примечание. В графах 6, 7 даны магнитуды M_w (HRVD) [25] и $MPSP$ (MOS) [26] соответственно; в графах 10, 11 приводятся числа землетрясений в группе, всех и с $K_S \geq 8.6$ соответственно.

Далее рассмотрим сейсмичность по отдельным зонам из табл. 7.

В 2006 г. **сейсмофокальная зона Курил и Южной Камчатки (№ 1)** по числу землетрясений с $K_S \geq 8.6$ ($N_S = 277$) и суммарной энергии ($\Sigma E = 2.45 \cdot 10^{14}$ Дж) является второй после Корякского сейсмического пояса (№ 7), где $N_S = 449$ и $\Sigma E = 59.92 \cdot 10^{14}$ Дж (табл. 7). Произошедшие в первой зоне 277 землетрясений составляют почти четверть (23.6%) от общего числа $N_S = 1172$ землетрясений с $K_S \geq 8.6$ (табл. 7) и распределились по трем глубинным слоям зоны следующим образом: поверхностных – $N = 205$ (17.5%), промежуточных – $N = 54$ (4.6%), глубоких – $N = 18$ (1.5%). Карта эпицентров землетрясений, а также диаграммы механизмов очагов в проекции нижней полусферы с указанием типа подвижки показаны на рис. 6.

Несмотря на то, что в 2006 г. в зоне № 1 зафиксировано всего пять сильных ($K_S \geq 11.6$) поверхностных событий (4, 33, 37, 38, 42), что в два раза меньше среднегодовых показателей, высвобожденная энергия в их очагах составила $\Sigma E = 2.4 \cdot 10^{14}$ Дж, что почти в полтора раза превышает среднегодовое значение этого параметра за период 1962–2005 гг. (табл. 7). Это связано с тем, что 24 августа в 21^h50^m в Тихом океане, недалеко от юго-восточного побережья Камчатки произошло землетрясение (38 на рис. 6) с $K_S = 14.3$, $M_w = 6.5$, $h = 38$ км, которое является сильнейшим и наиболее ощутимым событием 2006 г. на территории Камчатки, без учета землетрясений Корякского автономного округа, а также одним из самых сильных поверхностных событий в районе Южной Камчатки за весь период детальных сейсмологических наблюдений. Более подробно событие (38) описано в статье [13] наст. сб.

Небольшая группа землетрясений с главным толчком (37) была зарегистрирована в зоне № 1 юго-восточнее о. Парамушир. Землетрясение (37) с $K_S = 13.5$, $M_w = 6.0$, $MPSP = 5.8$, $h = 37$ км (табл. 9), зафиксированное 20 августа в 03^h00^m, вызвало в ближайшем ($\Delta = 135$ км) населенном пункте – г. Северо-Курильске, расположенном на о. Парамушир, сотрясения с интенсивностью $I = 5$ баллов. Землетрясение возникло под действием близких по величине напряжений растяжения и сжатия ($PL_T = 3^\circ$, $PL_P = 18^\circ$ [15]), ориентированных на юго-запад и юго-восток соответственно (рис. 6). По обеим возможным плоскостям разрыва наблюдается сдвиговая подвижка, осложненная несущественной сбросовой компонентой.

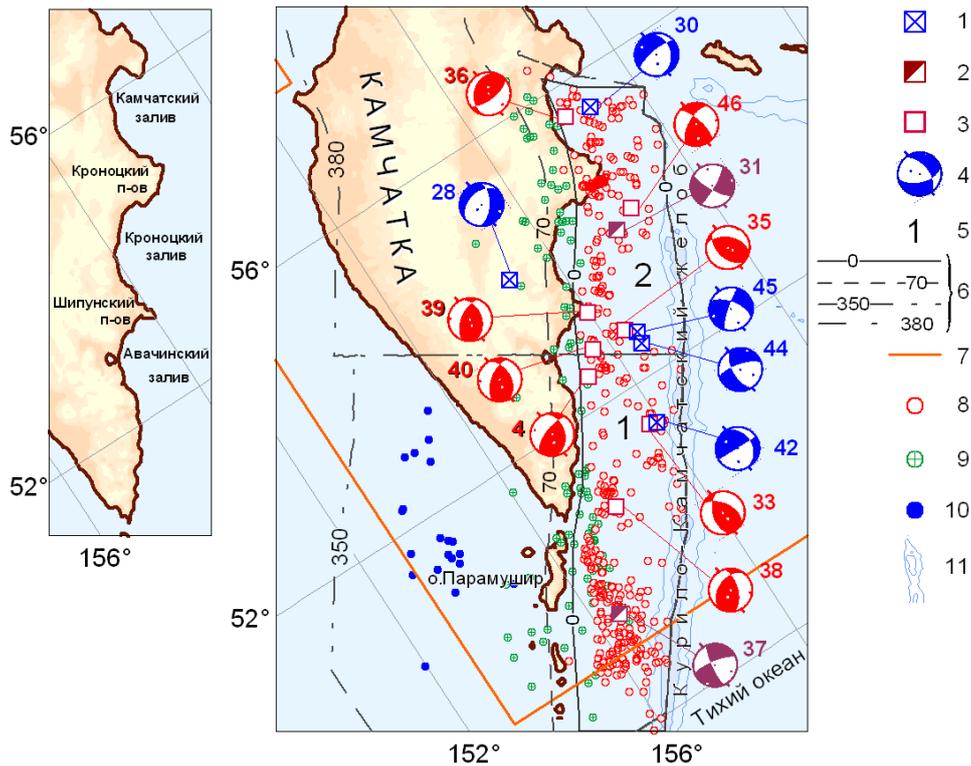


Рис. 6. Карта эпицентров землетрясений Курило-Камчатской зоны субдукции (зоны № 1 и № 2) за 2006 г.

1–3 – эпицентры сильных ($K_S \geq 11.6$) землетрясений и типы подвижки (1 – сбросо-сдвиг, 2 – сдвиг, 3 – взбросо-сдвиг); 4 – стереограмма механизма очага в проекции нижней полусферы (число возле нее соответствует номеру землетрясения в каталоге [10]); 5 – номер зоны на рис. 5; 6 – граница зоны (линиями – сплошной, пунктирной, двойной штрихпунктирной и штрихпунктирной – показаны границы слоев с $h=0$, $h=70$, $h=350$ или 380 км соответственно); 7 – граница региона; 8–10 – эпицентры землетрясений с $K_S \geq 8.6$ в поверхностном, промежуточном и глубоком слоях соответственно; 11 – изобаты 6000 и 7000 м.

На западном склоне Курило-Камчатского глубоководного желоба, южнее Авачинского залива, отмечено два сильных землетрясения (33, 42): 31 июля – в 18^h36^m с $K_S=12.9$, $M_w=5.1$, $MPSP=5.5$, $h=17$ км; 12 сентября – в 10^h59^m с $K_S=11.8$, $MPSP=5.0$, $h=40$ км. Они произошли в составе одной группы, продолжавшейся в этом районе в течение нескольких месяцев. Главный толчок (33) роя, а также одиночное землетрясение (4) с $K_S=11.9$, $M_w=4.7$, $h=43$ км, реализовавшееся в южной части Авачинского залива 2 марта в 11^h41^m , имеют характерные для сейсмофокальной зоны взбросовые подвижки по наклонным плоскостям разрывов северо-восточного простирания при близгоризонтальной ориентации осей напряжения сжатия.

В Северной части Камчатской сейсмофокальной зоны (№ 2) в 2006 г. произошло 257 (21.9%) землетрясений с $K_S \geq 8.6$, из них поверхностных – $N=212$ (18.1%) и промежуточных – $N=45$ (3.8%). Глубокие ($h > 380$ км) землетрясения в северной части Камчатской сейсмофокальной зоны происходят крайне редко, в 2006 г. таковых нет. Десять событий (28, 30, 31, 35, 36, 39, 40, 44–46) имели $K_S \geq 11.6$ (рис. 6), из них события (28, 36) относятся к промежуточному слою ($70 < h \leq 380$ км), остальные – мелкофокусные ($h \leq 70$ км). Большинство сильных землетрясений (28, 30, 31, 35, 36, 40, 44–45) этой зоны реализовались в составе роев. Землетрясения (39, 46) являются одиночными.

Доля группирующихся событий в зоне № 2 составила 80% от общего числа землетрясений с $K_S \geq 11.6$ (табл. 8). Среди них заметен немногочисленный, но самый сильный в зоне рой, произошедший в августе–сентябре. Главный его толчок (36) зарегистрирован в Камчатском заливе 17 августа в 11^h11^m – с $K_S=13.8$, $M_w=5.7$, $MPSP=6.0$, $h=82$ км (табл. 9) и ощущался с интенсивностью $I=5$ баллов в ближайшем ($\Delta=76$ км) пункте ГМС «Семячки» [10].

Самая многочисленная группа с максимальным толчком $K_S=11.6$ локализована на побережье Кроноцкого п-ва (рис. 6). Активизация началась 27 мая с землетрясения в 13^h45^m с $K_S=11.3$, $MPSP=4.8$, $h=9$ км (табл. 9), и за первые пять дней отмечено 24 землетрясения с $K_S=8.6–11.3$. Далее активность пошла на спад, но до конца года было зафиксировано еще

13 событий с $K_S \geq 8.6$. Эпицентральная зона роя имеет субширотное простирание на ~ 40 км. Объем роя в 2006 г. – 223 землетрясения с $K_S = 5.4-11.3$, площадь S – около 700 км^2 , суммарная сейсмическая энергия, выделившаяся в рое, составила $\Sigma E = 5.15 \cdot 10^{11}$ Дж.

На Шипунском п-ве 1 сентября в $10^{\text{h}25^{\text{m}}}$ зарегистрировано сильное ($K_S = 12.9$, $MPSP = 5.8$) одиночное землетрясение (39) с $h = 49$ км. Движение в очаге произошло под действием напряжений сжатия северо-западного направления [15]. Дислокация представлена взбросовой подвижкой по обеим нодальным плоскостям с несущественной правосторонней сдвиговой компонентой по $NP1$ и левосторонней – по $NP2$. Землетрясение ощущалось с интенсивностью $I = 3-4$ балла во всех пунктах, расположенных на побережье Авачинской бухты в наиболее густонаселенной части Камчатки. А на самом мысе сотрясения достигали $I = 5-6$ баллов [10].

Отметим еще землетрясение (28) за 22 мая в $13^{\text{h}08^{\text{m}}}$ с $K_S = 13.5$, $M_w = 6.2$, $h = 213$ км. Согласно [15], тип подвижки в его очаге – сброс по обеим нодальным плоскостям с незначительной сдвиговой компонентой, правосторонней – по $NP1$ и левосторонней – по $NP2$. Ось напряжения растяжения близгоризонтальна ($PL_p = 8^\circ$) и ориентирована на юго-восток. Особенность этого землетрясения заключается в его макросейсмических проявлениях (см. табл. 10 и рис. 7).

Таблица 10. Макросейсмические данные о землетрясении 22 мая 2006 г. с $K_S = 13.5$, $M_w = 6.2$

| № | Пункт | Δ , км | № | Пункт | Δ , км |
|-------------|---------------|---------------|---------------------|-----------------|----------------|
| 1 | 5 баллов | 76 | 8 | Вилючинск | 137 |
| | ГМС Семячки | | 2 балла | 9 | Маяк Кроноцкий |
| 3–4 балла | 10 | Бухта Сторож | | 237 | |
| ГМС Кроноки | 159 | 11 | | Усть-Камчатск | 329 |
| 2 | 3 балла | 232 | <u>Не ощущалось</u> | | |
| | Маяк Круглый | | 12 | Шаромы | 49 |
| 3 | 2–3 балла | 101 | 13 | Мильково | 65 |
| | Раздольный | | 14 | Коряки | 102 |
| 4 | Елизово | 108 | 15 | Завойко | 131 |
| 5 | Петропавловск | 124 | 16 | Сокоч | 132 |
| 6 | Рыбачий | 135 | 17 | Ист. Тумрокские | 157 |

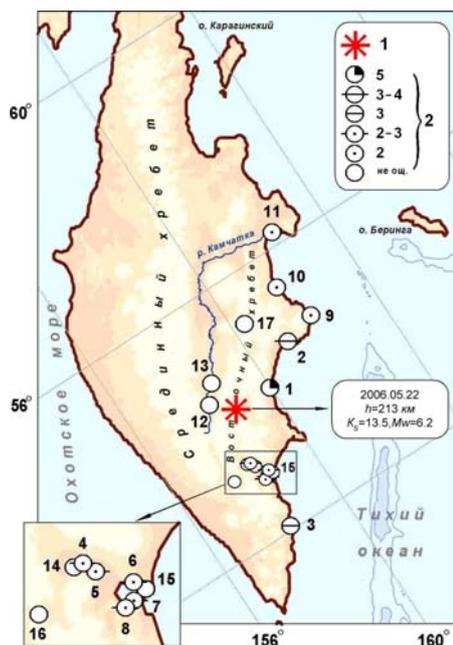


Рис. 7. Карта пунктов-баллов для землетрясения 22 мая 2006 г.

1 – инструментальный эпицентр землетрясения; 2 – интенсивность сотрясения в баллах; номера пунктов на карте соответствуют таковым в табл. 10.

Несмотря на небольшой объем макросейсмических данных для землетрясения 22 мая, на рис. 7 видно, что землетрясение ощущалось во всех населенных пунктах восточного побережья Камчатки, от Усть-Камчатска до маяка Круглый. Максимальная интенсивность сотрясений $I=5$ баллов зафиксирована на ГМС «Семячки» ($\Delta=76$ км), а в ближайших к эпицентру населенных пунктах, расположенных в верховье р. Камчатка (Шаромы – $\Delta=49$ км и Мильково – $\Delta=65$ км), землетрясение не ощущалось. Зона проявления землетрясения располагается не вблизи эпицентра, а восточнее, на побережье Камчатки. Максимальная интенсивность наблюдалась в областях, расположенных на продолжении наклонного участка сейсмофокальной зоны. Похожая макросейсмическая картина уже описывалась ранее в [27] в случае Тумрокского-I и Тумрокского-II землетрясений 2003 г. и 2004 г., произошедших в промежуточном слое Камчатской сейсмофокальной зоны.

Тип движений, наблюдаемый в очагах землетрясений поверхностного слоя в зонах 1, 2, неоднородный [15]. Типичные для очагов зоны субдукции близгоризонтальные напряжения сжатия, направленные вкост простираения сейсмофокальной зоны, наблюдаются в очагах восьми событий (4, 33, 35, 36, 38, 39, 40, 46) из 14. Иное направление простираения возможных плоскостей разрыва и сжимающих напряжений, полученное для событий (30, 31, 37, 42, 44, 45), может быть связано с неоднородностью структур района или невысокой точностью определения глубины очага.

В Командорском сегменте Алеутской дуги (№ 3) зафиксировано 137 землетрясений с $K_S \geq 8.6$, семь из которых имеют $K_S=11.6-13.1$ (рис. 8), из них пять входят в состав четырех групп (табл. 9).

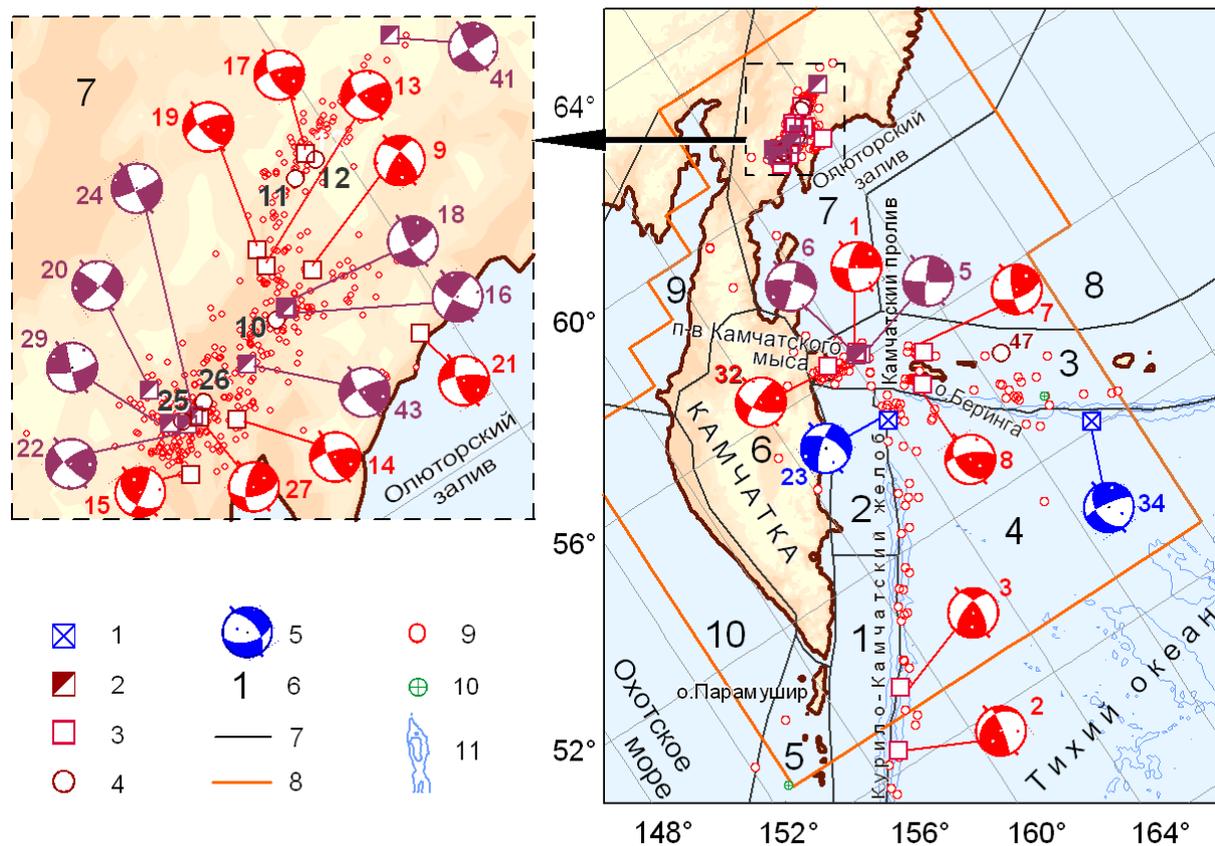


Рис. 8. Карта эпицентров землетрясений зон № 3–10 и прилегающих территорий за 2006 г.

1–4 – эпицентры сильных ($K_S \geq 11.6$) землетрясений и типы подвижки (1 – сбросо-сдвиг, 2 – сдвиг, 3 – взбросо-сдвиг; 4 – механизм не определен); 5 – диаграмма механизма очага в проекции нижней полусферы (число около диаграммы соответствует номеру землетрясения в [10]); 6 – номер зоны согласно рис. 3; 7 – границы зон; 8 – граница региона; 9, 10 – эпицентры землетрясений с $K_S \geq 8.6$ в поверхностном и промежуточном слоях соответственно; 11 – изобаты 6000 и 7000 м.

У берегов о. Беринга зафиксировано два сильных события (7, 8 на рис. 8). Одиночное событие (7) произошло 13 апреля в 22^h05^m с $h=27$ км, с $K_S=12.6$, $M_w=5.2$, $MPSP=5.3$ [10]. Второе, породившее небольшой ($N=14$, табл. 9) рой, возникло 19 апреля в 03^h24^m с $h=23$ км, $K_S=13.0$, $M_w=5.1$, $MPSP=5.3$ [10]. Землетрясения локализованы на двух параллельных границах Командорской микроплиты, расположенной между двумя значительно более крупными плитами – Берингией и Тихоокеанской [22, 28]. В обоих очагах подвижки типа правосторонний сдвиг по субширотным плоскостям, что согласуется с предполагаемым механизмом скольжения на северо-запад микроплиты Берингии, параллельно движению Тихоокеанской плиты [29]). Оба толчка ощущались в пос. Никольское на о. Беринга: с $I=4$ балла при $\Delta=42$ км и 3–4 балла при $\Delta=40$ км соответственно [10].

Область Камчатского пролива, активизировавшаяся в середине 2005 г., оставалась сейсмически активной в течение всего 2006 года. Здесь 6 февраля в 05^h51^m произошло землетрясение (1) на глубине $h=20$ км с $K_S=11.9$, $M_w=5.7$. Спустя два месяца зафиксировано еще два сильных события (5, 6) – 12 апреля в 01^h06^m с $K_S=13.1$, $M_w=6.0$, $h=1$ км и 13 апреля в 08^h35^m с $K_S=12.1$, $M_w=5.2$, $h=17$ км [10]. Землетрясения (1, 5, 6) приурочены к разлому Беринга, расположенному на северо-восточной границе Командорской микроплиты. Рой землетрясений, вызванный событием (5), оказался самым многочисленным в зоне № 3 в 2006 г. (табл. 9). Максимальные сотрясения с $I=4–5$ баллов, вызванные землетрясением (5), отмечены на территории Камчатского п-ва в поселках Усть-Камчатск ($\Delta\approx 120$ км) и Крутоберегово ($\Delta=107$ км). События (1, 6) также ощущались на побережье Камчатского п-ва и о. Беринга с $I\leq 3–4$ балла [10].

В северо-западной части Командорского блока 29 июля в 19^h05^m произошло еще одно землетрясение (32) с $K_S=11.6$, $MPSP=4.6$, $h=4$ км. Оно зарегистрировано в районе мыса Африка, где Командорская микроплита сталкивается с Охотской плитой. По данным Гарварда [30], здесь реализуются землетрясения со взбросовым типом подвижки. Согласно региональным определениям [15], механизм этого землетрясения сходен с механизмами описанных выше событий (1, 5, 6) – в очаге наблюдается взбросо-сдвиговый тип подвижки. В пос. Усть-Камчатск ($\Delta\approx 40$ км) землетрясение (32) ощущалось с $I=5$ баллов [10].

В Тихом океане (зона № 4) произошло 43 землетрясения с $K_S\geq 8.6$, в том числе три сильных (3, 23, 34) с $K_S\geq 11.6$ (табл. 7): 23 февраля в 18^h29^m с $h=19$ км, $K_S=12.0$, $M_w=4.8$; 18 мая в 23^h04^m с $h=36$ км, $K_S=12.9$, $M_w=5.7$ и 4 августа в 07^h45^m с $h=32$ км, $K_S=13.0$, $M_w=5.5$. Два из них (3, 23) располагаются на восточном склоне Курило-Камчатского глубоководного желоба, а событие (34) зафиксировано на юго-западном склоне Алеутского желоба, в северо-восточной части зоны № 4. Землетрясения, относящиеся к зоне Тихого океана, возникают в основном под действием напряжений растяжения. Подобная картина наблюдается для событий (23, 34). В очаге (3), расположенном юго-восточнее о. Парамушир, тип подвижки – сдвиг со взбросовой компонентой по обеим плоскостям разрыва, что более характерно для событий, происходящих в сейсмофокальной зоне. Учитывая, что это землетрясение зафиксировано вблизи южной границы зоны ответственности КФ ГС РАН, можно ожидать ошибок как в определении положения гипоцентра, так и в решении механизма его очага.

Зоны № 5 (Северные Курилы), № 6 (Континентальные области Камчатки) и № 9 (Залив Шелихова) в 2006 г. характеризуются низким уровнем сейсмической активности (рис. 8): в них нет землетрясений с $K_S\geq 11.6$, а число событий с $K_S\geq 8.6$ не превысило $N=5$ (табл. 7). Такая низкая сейсмичность характерна для зон № 5 и № 9, но не является типичной для зоны № 6.

Корякский сейсмический пояс (№ 7) – самая активная в 2006 г. структура. Как отмечено выше, здесь произошла сильнейшая за период детальных наблюдений (1961–2006 гг.) активизация, связанная с Олюторским землетрясением 20 апреля с $K_S=15.7$, $M_w=7.6$ и его афтершоками [12]. Зоны **№ 8 (Берингово море) и № 10 (Охотия)** в 2006 г. были асейсмичны (рис. 8).

За пределами границ зоны ответственности сети КФ ГС РАН 7 февраля в 11^h50^m зарегистрировано единственное сильное ($K_S=12.7$, $M_w=5.0$) землетрясение (2) с $h=40$ км. Тип подвижки в его очаге – взбросо-сдвиг.

Сильные движения грунта от землетрясений 2006 г. описаны по данным цифрового акселерографического канала «LG» низкого увеличения широкополосной цифровой станции «Петропавловск» и цифрового акселерографа GSR-24 в пос. Тиличики в эпицентральной зоне Олюторского землетрясения [31, 32]. Зарегистрированные максимальные ускорения и скорости

грунта, скорректированные за АЧХ прибора, даны в табл. 11 для всех случаев, когда хотя бы одно значение ускорения превышало 0.5 см/с^2 . Корректированные за прибор записи землетрясений 22 мая и 17 августа 2006 г. с наибольшими амплитудами и их сглаженные спектры Фурье, полученные на станции «Петропавловск», показаны на рис. 9. Спектры Фурье этих землетрясений имеют форму, характерную для Камчатских землетрясений [33].

Таблица 11. Максимальные скорости и ускорения грунта по записям землетрясений на станциях «Петропавловск» (PET) и «Тиличики» (TILR) за 2006 г. ($a_{\max} > 0.5 \text{ см/с}^2$)

| № | Дата, д м | t_0 , ч мин с | Эпицентр | | h , км | Δ , км | K_S | M_w [25] | $MPSP$ [26] | I , балл | Код с/ст | Компо- нента | V_{\max} , см/с | a_{\max} , см/с ² |
|----|--------------|--------------------|---------------------|---------------------|-------------|------------------|-------|---------------|----------------|---------------|-------------|-----------------|----------------------|-----------------------------------|
| | | | φ° , N | λ° , E | | | | | | | | | | |
| 1 | 04.01 | 07 19 10.2 | 52.48 | 160.02 | 58 | 99 | 11.4 | | 5.0 | 2–3 | PET | N | 0.047 | 1.21 |
| | | | | | | | | | | | | E | -0.042 | 1.44 |
| | | | | | | | | | | | | Z | 0.028 | 0.82 |
| 2 | 02.03 | 11 41 21.1 | 52.44 | 159.14 | 43 | 73 | 11.9 | 4.7 | 5.2 | 2–3 | PET | N | -0.053 | -1.31 |
| | | | | | | | | | | | | E | -0.043 | 1.61 |
| | | | | | | | | | | | | Z | -0.024 | -0.65 |
| 3 | 07.05 | 16 27 44.3 | 52.12 | 159.25 | 40 | 108 | 11.5 | | 5.0 | 2–3 | PET | N | -0.024 | 0.74 |
| | | | | | | | | | | | | E | -0.016 | -0.52 |
| | | | | | | | | | | | | Z | -0.016 | 0.46 |
| 4 | 09.05 | 11 02 20.1 | 60.74 | 166.03 | 5 | 35 | 13.0 | 5.7 | 5.8 | 6–7 | TILR | N | -1.92 | 18.8 |
| | | | | | | | | | | | | E | 3.92 | -33.6 |
| | | | | | | | | | | | | Z | -2.17 | 19.4 |
| 5 | 22.05 | 11 11 56.6 | 60.75 | 166.10 | 3 | 36 | 14.7 | 6.6 | 6.2 | 6–7 | TILR | N | 7.51 | 49.6 |
| | | | | | | | | | | | | E | 16.2 | -90.8 |
| | | | | | | | | | | | | Z | -6.75 | -30.8 |
| 6 | 22.05 | 11 50 30.4 | 60.76 | 166.01 | 9 | 37 | 11.9 | | 4.8 | | TILR | N | 0.41 | 6.52 |
| | | | | | | | | | | | | E | 1.31 | -13.2 |
| | | | | | | | | | | | | Z | 0.32 | -4.14 |
| 7 | 22.05 | 12 04 49.6 | 60.77 | 166.20 | 5 | 38 | 11.7 | | 4.9 | | TILR | N | 0.41 | -3.56 |
| | | | | | | | | | | | | E | 0.43 | -4.38 |
| | | | | | | | | | | | | Z | -0.42 | 3.66 |
| 8 | 22.05 | 13 08 00.5 | 54.13 | 158.81 | 213 | 115 | 13.5 | 6.2 | 6.3 | 2–3 | PET | N | 0.35 | -1.06 |
| | | | | | | | | | | | | E | 0.15 | -0.82 |
| | | | | | | | | | | | | Z | -0.27 | -2.14 |
| 9 | 24.05 | 15 44 49.4 | 60.78 | 165.92 | 8 | 39 | 11.8 | 5.0 | 5.2 | | TILR | N | -0.53 | 4.23 |
| | | | | | | | | | | | | E | 0.84 | 5.36 |
| | | | | | | | | | | | | Z | -0.32 | -4.15 |
| 10 | 31.07 | 18 36 10 | 51.45 | 159.74 | 17 | 190 | 12.9 | 5.0 | 5.5 | 3 | PET | N | -0.067 | 1.27 |
| | | | | | | | | | | | | E | -0.044 | 0.40 |
| | | | | | | | | | | | | Z | 0.023 | -0.33 |
| 11 | 17.08 | 11 11 34.7 | 55.59 | 162.13 | 82 | 287 | 13.8 | 5.7 | 6.0 | | PET | N | -0.09 | 0.84 |
| | | | | | | | | | | | | E | -0.101 | 0.53 |
| | | | | | | | | | | | | Z | 0.041 | 0.32 |
| 12 | 24.08 | 21 50 34.1 | 50.81 | 157.89 | 26 | 262 | 14.3 | 6.5 | 6.0 | 4–5 | PET | N | -0.27 | 3.09 |
| | | | | | | | | | | | | E | -0.26 | 3.35 |
| | | | | | | | | | | | | Z | -0.12 | -2.17 |
| 13 | 23.11 | 11 45 47.8 | 52.67 | 159.61 | 40 | 64 | 9.9 | | 4.1 | 3 | PET | N | -0.024 | 0.59 |
| | | | | | | | | | | | | E | 0.029 | -0.69 |
| | | | | | | | | | | | | Z | 0.013 | -0.53 |
| 14 | 22.12 | 11 04 47.0 | 52.92 | 159.12 | 96 | 21 | 11.5 | | 5.0 | 3 | PET | N | -0.14 | -3.92 |
| | | | | | | | | | | | | E | 0.109 | 3.25 |
| | | | | | | | | | | | | Z | -0.058 | -2.14 |
| 15 | 30.12 | 02 36 46.5 | 52.38 | 159.57 | 18 | 88 | 11.5 | | 4.7 | | PET | N | -0.021 | 0.56 |
| | | | | | | | | | | | | E | 0.020 | 0.43 |
| | | | | | | | | | | | | Z | 0.0083 | -0.24 |

Примечания. Макросейсмическая интенсивность указана по данным станций «Петропавловск» (PET) и «Тиличики» (TILR).

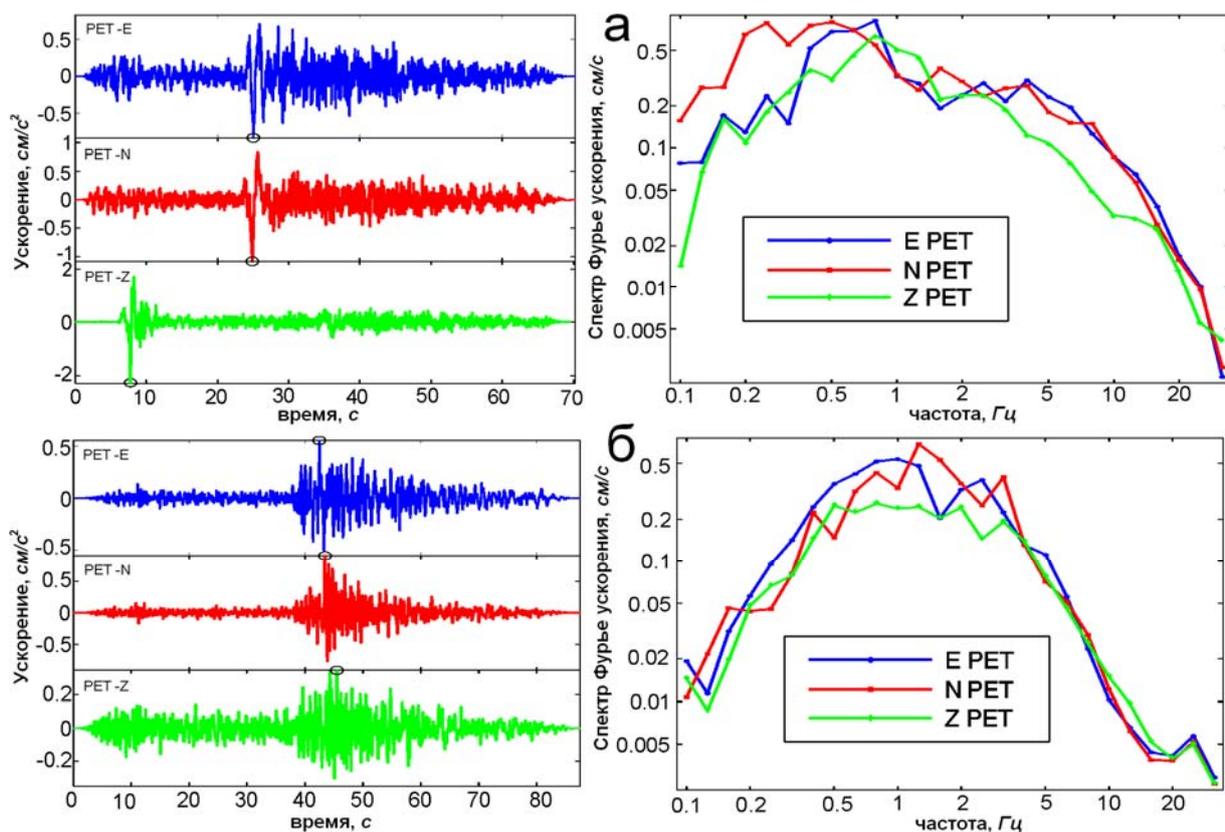


Рис. 9. Акселерограммы землетрясений 22 мая в 13^h08^m (а) и 17 августа в 11^h11^m (б) – слева, а их сглаженные амплитудные спектры Фурье – справа, по данным широкополосной сейсмической станции «Петропавловск»

Л и т е р а т у р а

1. Олюторское землетрясение (20 (21) апреля 2006 г. Корякское нагорье). Первые результаты исследований / Отв. ред. В.Н. Чебров. – Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2007. – 290 с.
2. Чебров В.Н., Сениуков С.Л. Сейсмологические наблюдения на территории Корякского автономного округа, оперативная обработка Олюторского землетрясения 20 (21) апреля 2006 г. $M_w=7.6$ и его афтершоков // Олюторское землетрясение 20 (21) апреля 2006 г., Корякское нагорье. Первые результаты исследований. – Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2007. – С. 7–13.
3. 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. – Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2006. – С. 13–20.
4. 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.
5. Гусев А.А. Определение гипоцентров близких землетрясений Камчатки на ЭВМ // Вулканология и сейсмология. – 1979. – № 1. – С. 74–81.
6. Федотов С.А. Энергетическая классификация Курило-Камчатских землетрясений и проблема магнитуд. – М.: Наука, 1972. – 117 с.
7. Дрознин Д.В., Дрознина С.Я. Интерактивная программа обработки сейсмических сигналов DIMAS // Сейсмические приборы. – 2010. – 46., – № 3. – С. 22–34.
8. Комплексные сейсмологические и геофизические исследования геодинамических процессов в зоне сочленения Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг. 2001–2005 гг. Отчет о НИР № 107054 / Рук. В.Н. Чебров. – Петропавловск-Камчатский: КФ ГС РАН, 2006. – 353 с.
9. Левина В.И., Иванова Е.И., Ландер А.В., Гусева Е.М. Камчатка и Командорские острова // Землетрясения Северной Евразии, 2002 год. – Обнинск: ГС РАН, 2008. – С. 215–225.

10. Левина В.И., Шевченко Н.А. (отв. сост.), Антипова О.Г., Бахтиарова Г.М., Карпенко Е.А., Кривогорницына Т.М., Ландер А.В., Леднева Н.А., Лепская Т.С., Митюшкина С.В., Пархоменко С.А., Пилипенко Л.В., Раевская А.А. Каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов за 2006 г. ($N=1261$). (См. Приложение к наст. сб. на CD).
11. Левина В.И., Шевченко Н.А. (отв. сост.), Бахтиарова Г.М., Карпенко Е.А., Кривогорницына Т.М., Ландер А.В., Леднева Н.А., Лепская Т.С., Митюшкина С.В., Пархоменко С.А., Пилипенко Л.В., Раевская А.А. Каталог афтершоков ($N=2911$) Олюторского землетрясения 20.04.2006 г. с $M_w=7.6$. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
12. Левина В.И., Ландер А.В., Митюшкина С.В., Иванова Е.И., Титков Н.Н. Олюторское землетрясение 20 апреля 2006 г. с $M_w=7.6$. См. раздел III (Сильные и ощутимые землетрясения) в наст. сб.).
13. Чеброва А.Ю., Митюшкина С.В., Иванова Е.И. Землетрясение 24 августа 2006 г. с $M_w=6.5$, $I_0=6-7$ (Камчатка). См. раздел III (Сильные и ощутимые землетрясения) в наст. сб.).
14. Митюшкина С.В. Макросейсмический эффект ощутимых землетрясений в населенных пунктах ($n=395$) Камчатки в 2006 г. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
15. Иванова Е.И. (отв. сост.). Каталог механизмов очагов землетрясений Камчатки и Командорских островов за 2006 г. ($N=41$). (См. Приложение к наст. сб. на CD).
16. Комплексные сейсмологические и геофизические исследования Камчатки и Командорских островов (отчет за 01.01.2003–31.12.2003 г.). – Петропавловск-Камчатский: Фонды КФ ГС РАН, 2004. – 350 с.
17. Комплексные сейсмологические и геофизические исследования Камчатки и Командорских островов (отчет за 01.01.2005–31.12.2005 г.). – Петропавловск-Камчатский: Фонды КФ ГС РАН, 2006. – 478 с.
18. Чеброва А.Ю., Левина В.И., Иванова Е.И., Митюшкина С.В., Чебров В.Н., Раевская А.А., Гусева Е.М. Камчатка и Командорские острова // Землетрясения Северной Евразии, 2005 год. – Обнинск: ГС РАН, 2011. – С. 213–227.
19. Чеброва А.Ю., Левина В.И., Чебров В.Н., Иванова Е.И., Митюшкина С.В., Гусева Е.М. Камчатка и Командорские острова // Землетрясения Северной Евразии, 2004 год. – Обнинск: ГС РАН, 2010. – С. 188–198.
20. 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. 181–192.
21. Lander A.V., Shapiro M.N. The Origin of the Modern Kamchatka Subduction Zone // *Volcanism and Subduction – The Kamchatka Region*. AGU – Geophysical Monograph Series. – 2007. – 172. – P. 57–63.
22. Ландер А.В., Букчин Б.Г., Дрознин Д.В., Кирюшин А.В. Тектоническая позиция и очаговые параметры Хаилинского (Корякского) землетрясения 8 марта 1991 г.: существует ли плита Берингия? // *Вычислительная сейсмология*, Вып. 26. – М.: Наука, 1994. – С. 103–122.
23. Ландер А.В., Левин В.Е., Титков Н.Н. Современные движения Командорской микроплиты по сейсмологическим и GPS-данным // *Вулканизм и геодинамика. Материалы IV Всероссийского симпозиума по вулканологии и палеовулканологии, Часть 2*. – Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2009. – С. 621–624.
24. Зобин В.М. Механизм очагов землетрясений и сеймотектоническое деформирование Камчатско-Командорского региона // *Вулканология и сейсмология*. – 1987. – № 6. – С. 78–92.
25. *Bulletin of the International Seismological Centre for 2006*. – Berkshire: ISC, 2008. – [Электронный ресурс]. – <http://www.isc.ac.uk/search/index.html/2006>.
26. *Сейсмологический бюллетень (ежедекадный) за 2006 год* / Отв. ред. О.Е. Старовойт. – Обнинск: ГС РАН, 2006–2007. – [Электронный ресурс]. – ftp://ftp.gsras.ru/pub/Telesismic_bulletin/2006.
27. 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 в 2004 году*. – Обнинск: ГС РАН, 2010. – С. 314–323.
29. Mets C., Gordon R.G., Argus D.F., Stein S. Current plate motion // *Geophys. J. Int.* – 1990. – 101. – P. 425–478.
29. Левина В.И., Чеброва А.Ю., Ландер А.В., Иванова Е.И., Митюшкина Е.И., Титков Н.Н. Командорское-II землетрясение 5 декабря 2003 года с $M_S=6.8$, $I_0=7$ (Командорские острова) // *Землетрясения Северной Евразии, 2003 год*. – Обнинск: ГС РАН, 2009. – С. 374–381.

30. **Global CMT Web Page.** – [Электронный ресурс]. – <http://www.globalcmt.org/CMTsearch.html>
31. **Гусев А.А., Чубарова О.С., Чебров В.Н., Абубакиров И.Р.** Колебание грунта при Олюторском землетрясении 20 (21) апреля 2006 г. и его афтершоках по данным цифровой регистрации: предварительные результаты // Олюторское землетрясение 20 (21) апреля 2006 г. Корякское нагорье. Первые результаты исследований. – Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2007. – С. 263–276.
32. **Чубарова О.С., Гусев А.А., Чебров В.Н.** Свойства колебаний грунта при Олюторском землетрясении 20.04.2006 г. и его афтершоках по данным цифровой регистрации // Вулканология и сейсмология. – 2010. – № 2. – С. 57–70.
33. **Гусев А.А., Петухин А.Г., Гусева Е.М., Гордеев Е.И., Чебров В.Н.** Средние спектры Фурье сильных движений грунта при землетрясениях Камчатки // Вулканология и сейсмология. – 2006. – № 5. – С. 60–70.