

КАМЧАТКА И КОМАНДОРСКИЕ ОСТРОВА

В.И. Левина¹, Е.И. Иванова¹, А.В. Ландер², А.Ю. Чеброва¹, А.А. Гусев¹, Е.М. Гусева¹¹Камчатский филиал ГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский, e-mail: valeria@emsd.ru²Международный институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН, г. Москва, land@mitp.ru

Сеть сейсмических станций Камчатки в 2003 г. практически не изменилась, за исключением того, что станция «Кроноки» была законсервирована 1 марта 2002 г. Параметры всех сейсмических станций приведены в [1, 2]. Расположение станций и система изолиний представительной регистрации приведены на рис. 1. Методика определения параметров землетрясений [3–5] не изменилась. Каталог землетрясений и анализ сейсмичности проводятся в пределах границ региона, определенных в 2002 г. [6] (рис. 1). Однако в каталоге [7] приводятся все события с $K_S \geq 8.6$, зарегистрированные сетью сейсмических станций КФ ГС РАН.

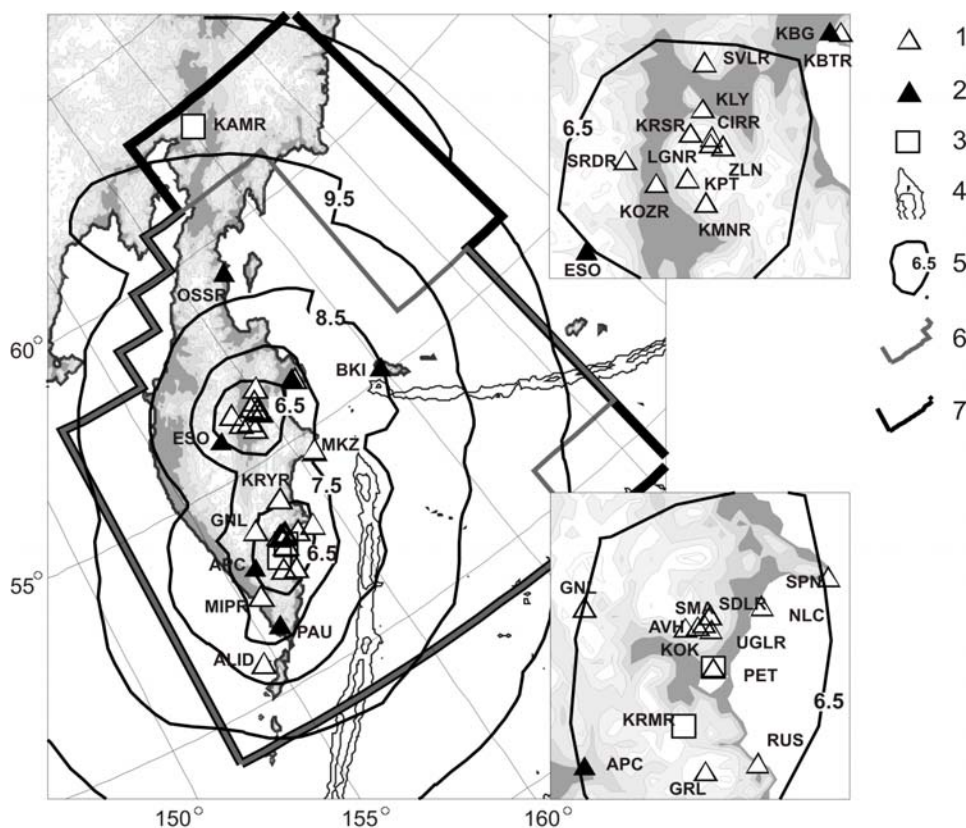


Рис. 1. Карта энергетической представительности землетрясений K_{\min} и сеть сейсмических станций Камчатки в 2003 г.

1 – радиотелеметрическая сейсмическая станция (SVLR – «Шивелуч», KLY – «Ключи», KRSR – «Крестовский», CIRR – «Цирк», LGNR – «Логинов», ZLN – «Зеленая», SRDR – «Срединный», KOZR – «Козырь», KPT – «Копыто», KMNR – «Каменистая», KBTR – «Крутоберегово-1», MKZ – «Мыс Козлова», KRYR – «Карымский», SPN – «Шипунский», GNL – «Ганалы», NLC – «Налычева», SDLR – «Седловина», KOK – «Коряка», AVH – «Авача», UGLR – «Угловая», PET – «Петропавловск», GRL – «Горелый», RUS – «Русская», MIPR – «Малая Ипелька», ALID – «Алаид»); 2 – аналоговая станция (OSSR – «Оссора», BKI – «Беринг», KBG – «Крутоберегово», ESO – «Эссо», APC – «Апача», PAU – «Паужетка»); 3 – цифровая станция (KAMR – «Каменское», KRMR – «Карымшина», PET – «Петропавловск»); 4 – изобаты 6000 и 7000 м; 5 – изолиния K_{\min} ; 6, 7 – граница региона по [2] и [6] соответственно; на врезках – сеть станций Северной (вверху) и Авачинско-Корякской (внизу) групп вулканов; названия и коды станций даны по [1].

Деление территории Камчатки и прилегающих областей на зоны проведено по тем же принципам, что и в [6], однако в границы некоторых зон внесены уточнения, показанные на (рис. 2). Так, **Камчатская сейсмофокальная зона (№ 1)** имеет теперь на северо-западе наклонную границу, падающую под континент. Восточная ее граница проходит, как и прежде, по Курило-Камчатскому глубоководному желобу. **Континентальная часть п-ва Камчатка (№ 2)** теперь не ограничивается поверхностным слоем, а включает весь клин, перекрывающий сейсмофокальную зону. Наклонная юго-восточная граница зоны № 2 совпадает с северо-западной границей зоны № 1. Зона № 2 разделена по глубине стандартным образом горизонтальными границами на глубинах 70 и 350 км. На западе зона № 2 включает все горные области Камчатки, не затрагивая побережье Охотского моря. На юге региона выделена **зона Северные Курилы (№ 3)**, которая включает в себя задуговые мелкофокусные землетрясения, не попадающие в главную сейсмофокальную зону № 1. Незначительно изменены северо-западные границы **Командорского сегмента Алеутской дуги (№ 4)**. **Зона № 5 – Северо-Западная часть Тихого океана** оставлена в прежних границах. Из территории **Корьякии** и западной части **Берингова моря (№ 6)** выделена **зона № 7 – Камчатский перешеек**. Кроме того, в западной части региона выделено еще две зоны: **Утхолок (№ 8)** и **Западная Камчатка (№ 9)**. Все девять зон разбиты горизонтальными границами на три слоя: поверхностный с глубинами гипоцентров $h \leq 70$ км, промежуточный с $70 < h \leq 350$ км и глубокий с $h > 350$ км. Исключение составляет граница между глубоким и промежуточным слоями сейсмофокальной зоны. Она имеет ступень в районе Авачинской бухты. Севернее эта граница проходит на глубине 380 км, а южнее – 350 км (рис. 2 б, в).

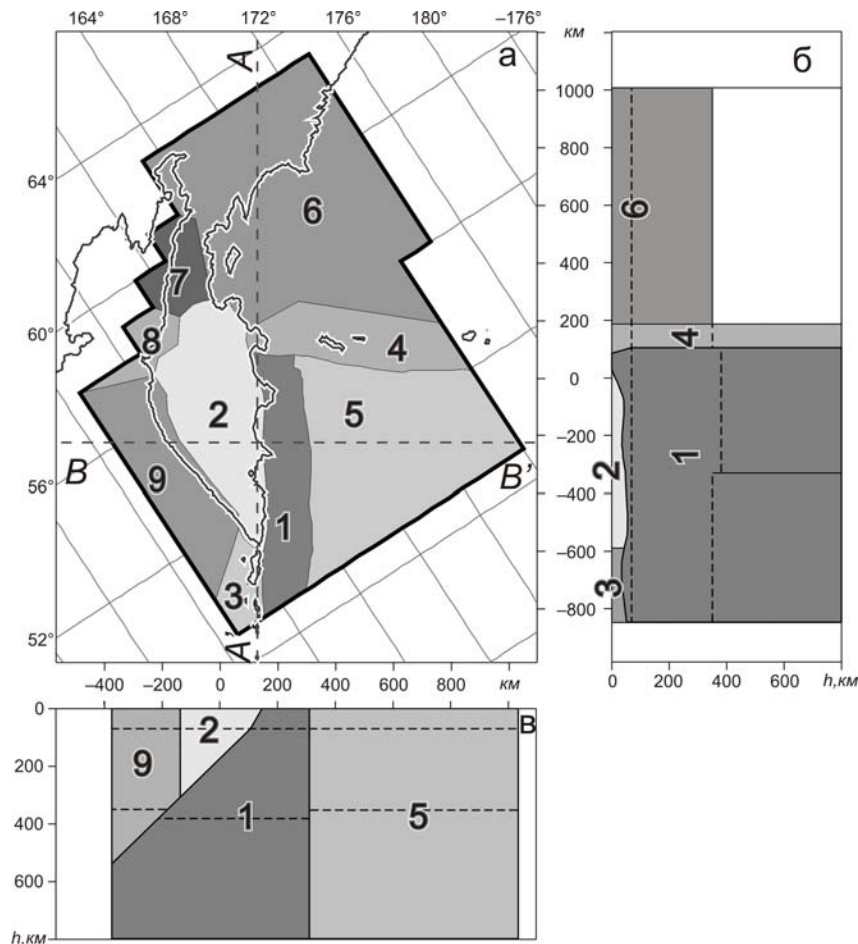


Рис. 2. Карта зон сейсмической активности на территории Камчатки и прилегающих районов в плане (а) и на вертикальных разрезах по линиям А–А' (б) и В–В' (в) соответственно

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

Карта девяти зон сейсмической активности региона Камчатки и Командорских островов приведена на рис. 2, а некоторые статистические характеристики сейсмичности в их пределах – в табл. 1а, б. Основные черты сейсмичности региона, описанные в работе [6], остались прежними и при новом делении на зоны. Однако новое, более корректное выделение сейсмофокальной зоны и континентальной части п-ва Камчатка позволяет наилучшим образом исследовать сейсмичность этих территорий. Выделение четырех отдельных зон (№№ 3, 7–9) на относительно малоактивном западе Камчатского региона (рис. 2) связано с тем, что происходящие в них землетрясения относятся к очень разным глобальным сейсмическим поясам и к области рассеянной мелкофокусной сейсмичности Охотского моря.

Таблица 1а. Распределение числа землетрясений и выделенной энергии по зонам 1–4 ($K_S \geq 8.6$)

Зона	Камчатская сейсмофокальная зона			Континентальная часть п-ва Камчатка	Северные Курилы	Командорский сегмент Алеутской дуги	
	№	1				2	3
Слой	А	Б	В(юг)	А	А	А	Б
N	22048	5019	112	1876	57	4483	46
$N_{\min}-N_{\max}$	311–1805	68–229	1–16	2–444	1–9	26–347	1–4
$N_{\text{ср}}$	538	122	3	46	3	109	2
N_{Σ}	27182 (75.0%)			1906(5.3%)	64(0.2%)	4529 (12.5%)	
$\Sigma E, 10^{13} \text{ Дж}$	1219.4	1186.4	19.53	53.14	0.05	510.03	2.13
$(\Sigma E_{\min}-\Sigma E_{\max}), 10^{13} \text{ Дж}$	1.98–390.42	0.08–794.9	0–16.43	0–28	0–0.01	0.07–256.38	0–1
$\Sigma E_{\text{ср}}, 10^{13} \text{ Дж}$	29.74	28.9	0.56	1.3	0	12.44	0.08
$\Sigma E, 10^{13} \text{ Дж}$	2435.33 (74.2%)			53.15(1.6%)	0.07(0%)	512.16 (15.6%)	

Таблица 1б. Распределение числа землетрясений и выделенной энергии по зонам 5–9 ($K_S \geq 8.6$)

Зона	Северо-Западная часть Тихого океана	Корякия и западная часть Берингова моря	Камчатский перешеек	Утхолок	Западная Камчатка
№	5	6	7	8	9
Слой	А	А	А	А	А
N	2118	377	11	15	27
$N_{\min}-N_{\max}$	25–160	1–200			1–4
$N_{\text{ср}}$	52	11			1.5
N_{Σ}	2134 (5.9%)	379 (1.0%)	11 (0%)	16 (0%)	37(0.1%)
$\Sigma E, 10^{13} \text{ Дж}$	47.11	231.4	0.43	1.49	0.1
$(\Sigma E_{\min}-\Sigma E_{\max}), 10^{13} \text{ Дж}$	0.02–20.0	0–201.22			0–0.05
$E_{\text{ср}}, 10^{13} \text{ Дж}$	1.15	6.81			0.01
$\Sigma E, 10^{13} \text{ Дж}$	47.72 (1.5)	231.4 (7.1)	0.43 (0%)	1.49 (0%)	0.13 (0%)

Примечания. Буквами А, В, С – обозначены слои: поверхностный ($0 \leq h \leq 70 \text{ км}$), промежуточный ($70 < h \leq 350 \text{ км}$) и глубокий ($h > 350 \text{ км}$) соответственно; статистические характеристики промежуточных слоев зон №№ 2, 3, 5–9 не приведены, поскольку в этом слое фиксируются только отдельные землетрясения, которые могут быть связаны с ошибками определения координат гипоцентров.

Всего в 2003 г. локализованы 5718 землетрясений в диапазоне $K_S = 3.7–14.8$, из них 1237 с $K_S \geq 8.6$ включены в каталог [7], 1205 из которых находятся внутри зоны ответственности сети КФ ГС РАН. Распределение землетрясений по энергетическим классам приведено в табл. 2.

Таблица 2. Распределение числа землетрясений по энергетическим классам K_S

K_S	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	N_{Σ}	$\Sigma E, 10^{14} \text{ Дж}$
N	23	156	886	1900	1516	778	304	103	38	11	1	2	5718	13.47

Суммарная энергия внутри границ региона, выделившаяся в очагах землетрясений в 2003 г., составляет $\Sigma E = 13.0 \cdot 10^{14}$ Дж, что в полтора раза выше уровня среднегодового значения энергии, равного ($\Sigma E = 8 \cdot 10^{14}$ Дж) за 1962–2002 гг.

Общее число сильных ($K_S \geq 11.6$) землетрясений в 2003 г. составило $N = 52$, из них два события на уровне $K_S = 15$: одно – (33 в [7]) – произошло 16 июня в 22^h08^m с $K_S = 14.7$, $M_w = 6.9$ в промежуточном слое сейсмофокальной зоны, в ее средней части на глубине $h = 190$ км с эпицентром в отрогах хр. Гумрок [7]; другое – (49) – зарегистрировано 5 декабря в 21^h26^m с $K_S = 14.8$, $M_w = 6.6$ на глубине $h = 29$ км в поверхностной части Командорского сегмента Алеутской дуги с эпицентром в Камчатском проливе, северо-восточнее о. Беринг. Оба землетрясения четко выражены энергетическими ступенями на графике накопленной за год сейсмической энергии (рис. 3 б).

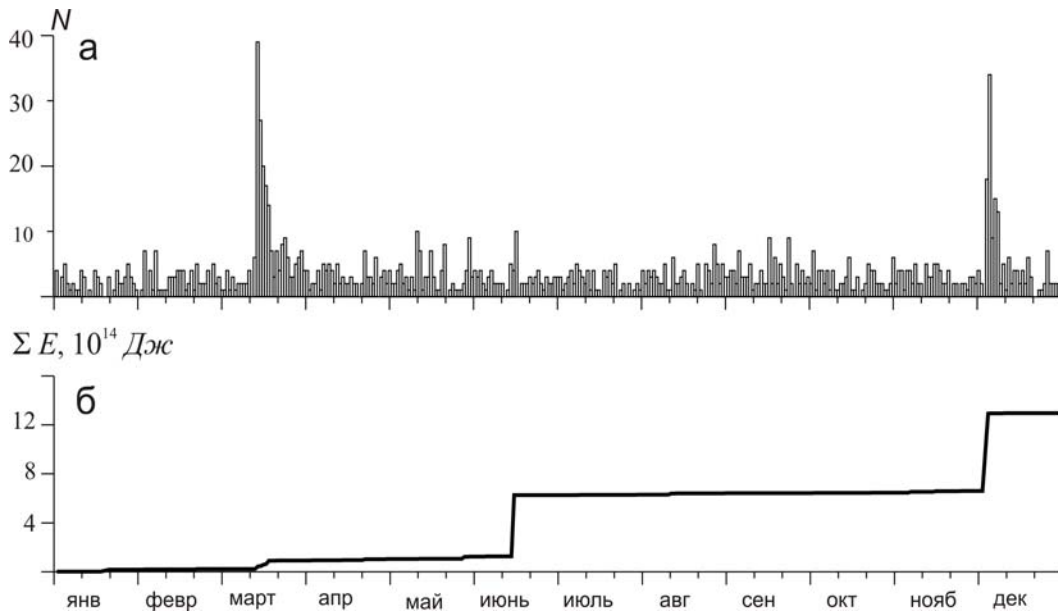


Рис. 3. Графики изменения суточных чисел N землетрясений с $K_S \geq 8.6$ (а) и высвобожденной сейсмической энергии ΣE (б) за 2003 г.

На том же рис. 3 видно, что наиболее заметны всплески числа землетрясений в марте и декабре. Первый из них связан со значительным роем землетрясений в Авачинском заливе, второй – с сильным землетрясением в Камчатском проливе и серией его афтершоков. Карта эпицентров всех землетрясений с $K_S \geq 8.6$ приведена на рис. 4 вместе с вертикальными разрезами поля гипоцентров по продольному (В–В') и поперечному (А–А') профилям.

Общее число землетрясений с $K_S \geq 11.6$ составило 52, из которых для 43 удалось определить механизм очага [8] по знакам первых вступлений волны P . Для остальных недостатков данных (меньше 25 станций со знаками) не позволил рассчитать тип подвижки в очаге. Механизмы очагов рассчитывались по программе FA2002 [9, 10]. Распределение землетрясений по типам подвижки за 2003 г. приведено в табл. 3, откуда видно, что преобладающим (46%) типом подвижки на Камчатке является взброс и взбросо-сдвиг (46% событий), сбросо-сдвиговые подвижки реализовались в 25% очагов, сдвиги – реже (12%), а чистый сброс – лишь в одном очаге.

Таблица 3. Распределение землетрясений Камчатки и Командорских островов по типам подвижек в их очагах

№	Тип подвижки	Номера землетрясений по [7]	N_i	N_i/N_Σ , %
1	Сброс	28	1	2
2	Сбросо-сдвиг	5, 8, 9, 16, 18–21, 25, 27, 33, 48	12	23
3	Взброс	22, 34, 42	3	6
4	Взбросо-сдвиг	1–4, 10, 14, 17, 23, 26, 29, 32, 35	21	40
5	Сдвиг	6, 11, 12, 15, 36, 46	6	12
6	Не определен	7, 13, 24, 38, 39, 40, 43, 47, 50	9	17

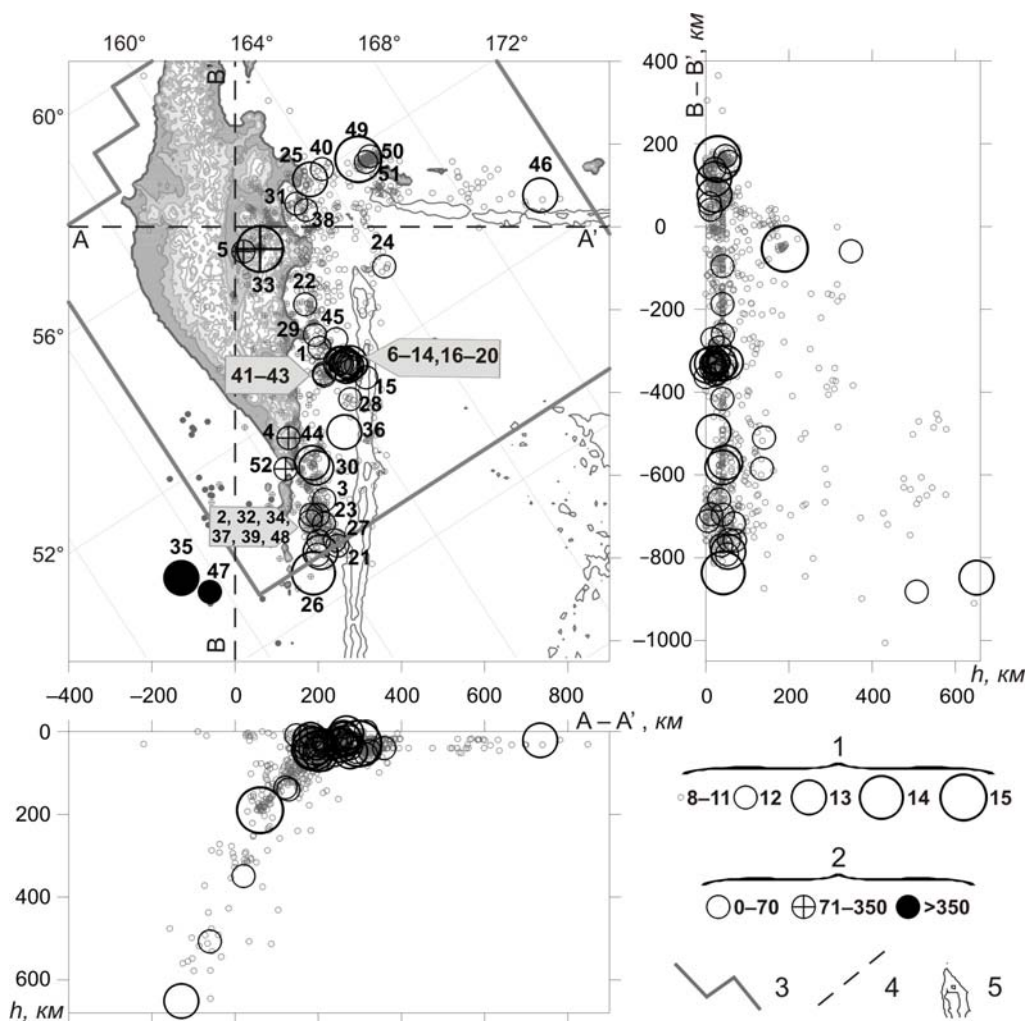


Рис. 4. Карта эпицентров землетрясений Камчатки за 2003 г. с $K_S \geq 8.6$ и глубинные вертикальные разрезы по профилям вдоль (B–B') и вкост (A–A') фокальной зоны

1 – энергетический класс K_S ; 2 – глубина гипоцентра h , км; 3 – граница региона; 4 – линия вертикального разреза фокальной зоны; 5 – изобаты 6000 и 7000 м; числа соответствуют номерам землетрясений первой графы каталога [7].

Ощутимых землетрясений с интенсивностью I от 2 до 6 баллов было 55 [7]. Наибольшую интенсивность сотрясений $I=6$ баллов на маяке Кроноцкий вызвало землетрясение (33) с $K_S=14.7$. Близкие по интенсивности сотрясения с $I=5-6$ баллов в пос. Никольское вызвало землетрясение (49) с $K_S=14.8$, произошедшее 5 декабря в Камчатском проливе.

Рассмотрим особенности сейсмического процесса по зонам. В табл. 4 даны сведения о числе землетрясений и суммарной энергии по зонам №№ 1, 2, 4, 5 только для землетрясений, вошедших в зону ответственности Камчатского филиала.

Таблица 4. Распределение числа землетрясений и выделенной энергии по зонам в 2003 г. с $K_S \geq 8.6$

Зона	Камчатская сейсмофокальная зона			Континентальная часть п-ва Камчатка	Командорский сегмент Алеутской дуги	Северо-Западная часть Тихого океана	Сумма
	№	1	2				
Слой	A	B	C	A	A	A	
N	680	198	16	12	65	225	1205
$\Sigma E, 10^{13} \text{ Дж}$	13.88	50.74	0.03	<0.01	0.16	64.81	129.63

Примечание. А, В, С – слои с $h \leq 70$ км, $70 < h \leq 350$ км и $h > 350$ км соответственно; в зонах №№ 3, 6–9 произошло большое число слабых землетрясений.

Основные черты сейсмичности региона в 2002 г. сохранились и в 2003 г. Но в 2003 г., в отличие от 2002 г., был довольно активен промежуточный слой сейсмофокальной зоны, где произошло четыре сильных землетрясения, вследствие чего доля сейсмической энергии в этом слое более чем в три раза превысила суммарную энергию землетрясений поверхностного слоя. Также повышенная активность наблюдалась в Командорском сегменте Алеутской дуги. Число землетрясений и доля сейсмической энергии в этой зоне превысили более чем в два раза их среднегодовые значения за 1962–2002 гг.

Наиболее детально рассмотрена **Камчатская сейсмофокальная зона (№ 1)**, т.к. она, как всегда, наиболее активна (рис. 5). Здесь произошло 894 (74.2%) события с $K_S \geq 8.6$, из них 680 (56.4%) поверхностных, 198 (16.4%) промежуточных и 16 (1.3%) глубоких. Статистика сильных событий с $K_S=11.6-14.7$ представлена следующим образом: поверхностных землетрясений – 36, промежуточных – 4, глубоких – 0. Карта эпицентров землетрясений фокальной зоны, а также диаграммы механизмов в проекции нижней полусферы с указанием типа подвижки показаны на рис. 5.

В поверхностной части сейсмофокальной зоны № 1 ($h \leq 70$ км) наибольшего внимания заслуживает упоминавшийся выше рой землетрясений 15 марта. На западном склоне Курило-Камчатского глубоководного желоба в Авачинском заливе, в зоне очага землетрясения 08.05.2002 г. [6] снова произошла активизация, начавшаяся сильным ($K_S=13.3$, $M_w=6.0$) землетрясением (6) 15 марта в $19^{\text{h}}41^{\text{m}}$, $h=4$ км и продолжавшаяся до ноября. Второе по энергии землетрясение (19) было отмечено 19 марта в $14^{\text{h}}43^{\text{m}}$ на глубине $h=48$ км. Между этими двумя землетрясениями в эпицентральной зоне зарегистрировано 12 событий с $K_S=11.7-12.8$. Эпицентральная зона имеет форму эллипса с осями 60 и 80 км и простирается с северо-запада на юго-восток. Очаги располагались на глубинах 0–60 км. Суммарная сейсмическая энергия, выделившаяся в процессе роя, составила $\Sigma E=6.8 \cdot 10^{13}$ Дж. Тип подвижки в очаге определен для всех сильных событий (рис. 5, врезка), за исключением землетрясений (7) и (13). Здесь имеют место как сбросо-сдвиги в очагах землетрясений (8, 9, 16, 18, 19, 20), так и взбросо-сдвиги – в (10, 14, 17), а также сдвиги – в (6, 11, 12).

В очаге основного толчка роя (6) реализовался сдвиг. Одна из возможных плоскостей разрыва простирается в северо-восточном направлении. По ней произошел левосторонний сдвиг, другая – в северо-западном, с правосторонним сдвигом. Оси напряжений сжатия и растяжения близгоризонтальны ($PL_P=3^\circ$ и $PL_T=16^\circ$ [8]). Характер подвижки в очаге землетрясения (19) – сброс, осложненный сдвиговой компонентой по обеим плоскостям. Обе нодальные плоскости простираются с юго-запада на северо-восток ($STK_1=211^\circ$, $STK_2=74^\circ$ [8]). Преобладающий тип подвижки для очагов этого роя – сбросо-сдвиг. Полученные по знаковой методике механизмы землетрясений роя 15 марта противоречат общей картине регионального сжатия [11], наблюдаемой для субдукционных событий, происходящих в поверхностном слое фокальной зоны № 1. Это может быть связано с довольно низкой точностью определения механизмов. Землетрясения (6) и (19) вызвали на территории Камчатки сотрясения интенсивностью 2–3 балла [7]. Кроме роя 15 марта, в поверхностном слое сейсмофокальной зоны отмечено еще восемь групп землетрясений.

Другой рой землетрясений – в районе Северных Курил – начался 20 января землетрясением (2) с $K_S=13.2$, $M_w=5.1$. Всего в этом рое зафиксировано 18 событий с $K_S \geq 8.6$. Рой продолжался шесть месяцев и закончился 10 июля землетрясением (34) с $K_S=12.3$. Эпицентры роевых событий заполнили площадь около 60×60 км². Суммарная энергия, выделившаяся во время роя, составила $\Sigma E=1.8 \cdot 10^{13}$ Дж. Очаги землетрясений формировались в условиях сжимающих напряжений, ориентированных в запад–северо-западном направлении. Одна из возможных плоскостей разрыва в очаге (2) ориентирована в юго-западном направлении ($STK_1=242^\circ$), другая – в северо-восточном ($STK_2=27^\circ$). По обеим плоскостям произошел взброс в сочетании с элементарным сдвигом. Ось напряжения сжатия близгоризонтальна ($PL_P=17^\circ$) [8].

С 30 марта по 17 мая в этом же районе, в 60 км северо-восточнее роя 20 января, произошла еще одна серия землетрясений, в которой зафиксировано 28 событий с $K_S \geq 8.6$, два из них имели $K_S \geq 11.6$ (21 и 27). Событие (27) выходит за пределы границы ответственности региональной сети. Эпицентральная область имеет северо-восточное простирание и занимает площадь 40×60 км², суммарная выделившаяся энергия составила $\Sigma E=0.5 \cdot 10^{13}$ Дж. Землетрясения

возникли под действием превалирующего напряжения растяжения, что определило сбросовый тип подвижки. В обоих очагах одна из возможных плоскостей разрыва NP_2 падает на северо-восток ($STK_2=56^\circ$ и 201° для очагов (21) и (27) соответственно), направление простирания двух других возможных плоскостей NP_2 разрыва – юго-западное ($STK_1=191^\circ$ для (21)) и северо-западное ($STK_1=310^\circ$ для (27)). Сбросовая подвижка в очагах сочетается с элементами сдвига.

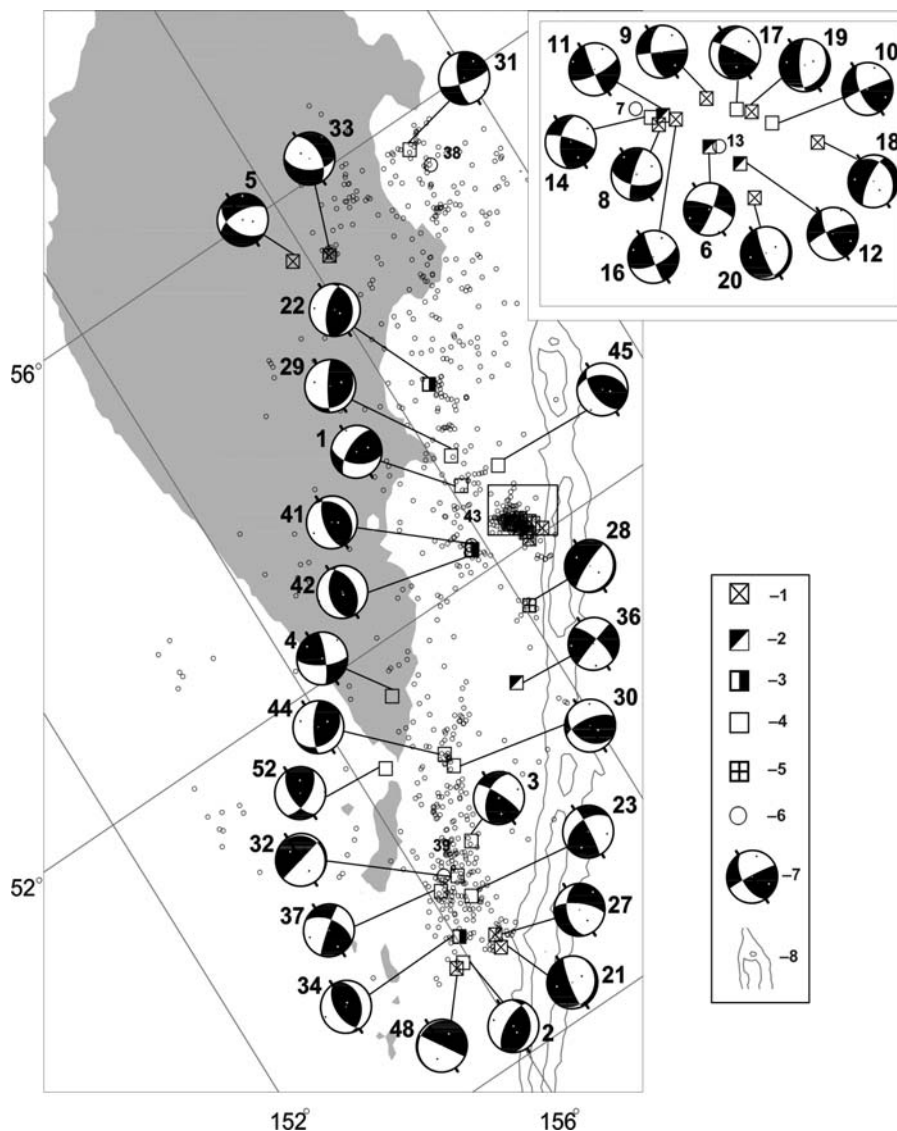


Рис. 5. Карта эпицентров и механизмы очагов землетрясений Камчатской сейсмофокальной зоны № 1 за 2003 г.

1–5 – тип подвижки в очагах сильных ($K_S \geq 11.6$) землетрясений (сбросо-сдвиг, сдвиг, взброс, взбросо-сдвиг и сброс соответственно); 6 – механизм очага не определен; 7 – стереограмма механизма очага (цифры около стереограмм соответствуют номерам землетрясений первой графы каталога [7]); 8 – изобаты 6000 и 7000 м; маленькие кружки – эпицентры всех землетрясений зоны № 1; на врезке – эпицентры и стереограммы механизмов очагов землетрясений из района, обозначенного на основной карте квадратом.

Там же, в районе Северных Курил, напротив о. Парамушир, 3 июня прошла серия из 34 землетрясений с $K_S \geq 8.6$. Эпицентральная область размером $50 \times 60 \text{ км}^2$ имеет северо-восточное простирание, суммарная энергия, выделившаяся в рое, составляет $\Sigma E = 0.3 \cdot 10^{13} \text{ Дж}$. В этом рое зафиксировано три землетрясения (32, 37, 39) с $K_S \geq 11.6$. В очаге землетрясения (32) по вертикальной ($DP_1=90^\circ$) плоскости произошел взброс с незначительной компонентой левостороннего сдвига, по полого ($DP_2=9^\circ$) залегающей плоскости – правосторонний сдвиг. Тип подвижки в очаге (37) – также взбросо-сдвиг: правосторонний по NP_1 и левосторонний, со сбросовой компонентой – по NP_2 . Механизм очага землетрясения (39) не определен.

В Авачинском заливе, к западу от эпицентральной зоны роя 15 марта, 3 октября началась еще одна серия землетрясений, которая продолжалась до конца года и достигла 13 событий с $K_S \geq 8.6$. Здесь также зафиксировано три землетрясения (41, 42, 43) с $K_S \geq 11.6$. Эпицентральная область имеет субмеридиональное простирание и занимает площадь $30 \times 50 \text{ км}^2$, суммарная выделившаяся энергия составила $\Sigma E = 0.2 \cdot 10^{13} \text{ Дж}$. Механизм очага землетрясения (43) не определен. Взбросовый тип подвижки в очагах (41) и (42) обусловлен действием субгоризонтально ($PL_p = 18^\circ$ и 0° соответственно) направленных напряжений сжатия. И в том, и другом очаге обе нодальные плоскости залегают в субмеридиональном направлении. Механизм очага землетрясения (42) – чистый взброс ($PL_p = 0^\circ$), землетрясения (41) – взброс, осложненный левосторонним сдвигом по $NP2$.

Кроме вышеописанных серий землетрясений, в поверхностном слое сейсмофокальной зоны № 1 были зарегистрированы еще и незначительные серии землетрясений, состоящие из слабых, за исключением основного события, землетрясений. Это роевые последовательности, вызванные землетрясениями (22, 28, 29, 30, 31, 44). Кроме события (28), землетрясения имеют взбросо-сдвиговую подвижку в очаге, характерную для землетрясений этой зоны. Практически в каждом очаге, кроме (30), одна из нодальных плоскостей круто падает в северо-западном направлении. Тип подвижки в очаге землетрясения (28) – сброс.

В течение 2003 г. в поверхностном слое сейсмофокальной зоны № 1 было отмечено восемь одиночных землетрясений (1, 3, 23, 36, 38, 45, 48). Наиболее сильное из них (36) произошло 12 августа в $11^{\text{h}}45^{\text{m}}$ с $K_S = 13.0$ и $h = 19 \text{ км}$ в южной части сейсмофокальной зоны. Землетрясение имеет сдвиговую дислокацию в очаге. Одна из возможных плоскостей разрыва ($NP2$) круто ($DP_2 = 72^\circ$) падает в субмеридиональном ($STK_2 = 343^\circ$) направлении, другая ($NP1$), также крутая ($DP_1 = 87^\circ$) плоскость, субширотна ($STK_1 = 252^\circ$). Оси напряжения сжатия и растяжения близгоризонтальны ($PL_1 = 11^\circ$, $PL_p = 15^\circ$) [8]. Движение в этом очаге возникло под действием одинаковых по величине напряжений сжатия и растяжения.

В районе Северных Курил зафиксировано два одиночных события (3, 23). Механизмы их очагов типичны для этого района и представляют собой взбросо-сдвиг под действием сил, направленных вкрест фокальной зоны. Одна из нодальных плоскостей ($NP1$) круто падает в субмеридиональном направлении, по ней произошел взброс с левосторонним сдвигом. Взброс по плоскости $NP2$ сочетается с компонентой правостороннего сдвига.

На подводном продолжении Шипунского п-ва зафиксировано два одиночных события (1, 45) со взбросо-сдвиговой подвижкой в очаге. Нодальные плоскости землетрясения $NP1$ простираются в субширотном направлении, ось напряжения сжатия ориентирована на север. Иное направление простирания возможных плоскостей разрыва и сжимающих напряжений имеет событие (45). Возможно, это обусловлено неоднородностью геолого-тектонических структур данного района.

В Камчатском заливе 14 августа также произошло одиночное землетрясение (38) с $K_S = 11.6$, $h = 12 \text{ км}$. Механизм очага не определен.

В промежуточном слое сейсмофокальной зоны № 1 ($h = 70\text{--}350 \text{ км}$) произошло 198 землетрясений, что составляет 16.4% всех событий. Среди них четыре сильных события (4, 5, 33, 52). Наиболее примечательное из них – (33), произошедшее 16 июня с $K_S = 14.7$, $M_w = 6.9$, $h = 190 \text{ км}$ возле хр. Тумрок. Землетрясение такой энергии произошло в этом районе впервые за время детальных наблюдений. Оно сопровождалось серией из 16 слабых ($K_S = 8.6\text{--}10$) афтершоков. Их эпицентры располагались на площади примерно $25 \times 25 \text{ км}^2$, диапазон глубин – $170\text{--}190 \text{ км}$. Землетрясение ощущалось на территории Камчатки с интенсивностью до 6 баллов [7]. Землетрясение произошло под действием растягивающих напряжений северо-восточного направления, вызвавших подвижку типа сбросо-сдвиг. Одна из возможных плоскостей разрыва располагается в субмеридиональном направлении, по ней произошел сброс с компонентой левостороннего сдвига. Сброс по второй нодальной плоскости, залегающей в северо-западном направлении, сочетается с элементами правостороннего сдвига. Ось напряжения растяжения близгоризонтальна [8].

Три одиночных землетрясения (4, 5, 52) промежуточного слоя сейсмофокальной зоны произошли 6 февраля в $04^{\text{h}}42^{\text{m}}$, $h = 140 \text{ км}$, $K_S = 11.7$, $MPSP = 5.2$; 21 февраля в $12^{\text{h}}07^{\text{m}}$, $h = 349 \text{ км}$,

$K_S=12.5$, $MPSP=4.7$; 30 декабря 02^h56^m , $h=135$ км, $K_S=11.6$, $MPSP=4.8$ (рис. 5). Землетрясение (5), зарегистрированное на полградуса западнее события (33), имеет тип подвижки, аналогичный событию (33), – сбросо-сдвиг. По нодальной плоскости субширотного простираения произошел сброс. По второй плоскости наблюдается сброс с компонентой левостороннего сдвига. Ось напряжения растяжения направлена на северо-восток и близгоризонтальна, также как и в очаге землетрясения (33). Землетрясения (4, 52) промежуточного слоя произошли на южной оконечности п-ва Камчатка (рис. 5). Оба события имеют взбросо-сдвиговую дислокацию в очаге. Одна из возможных плоскостей разрыва в обоих очагах простирается в субмеридиональном направлении, взбросовая компонента сочетается с элементами правостороннего сдвига для события (4) и левостороннего – для события (52). Оси напряжения сжатия близгоризонтальны (0° и 7°) и направлены на запад.

В глубококом слое сейсмофокальной зоны № 1 ($h>350$ км) произошло 16 землетрясений, что составляет 1.3% всех событий. Сильных землетрясений, находящихся в пределах зоны ответственности сети Камчатского филиала, в 2003 г. зафиксировано не было.

За пределами региональных границ ответственности сети КФ ГС РАН в сейсмофокальной зоне № 1 имеется еще три землетрясения (26, 35 и 47) с $K_S \geq 11.6$ (рис. 6).

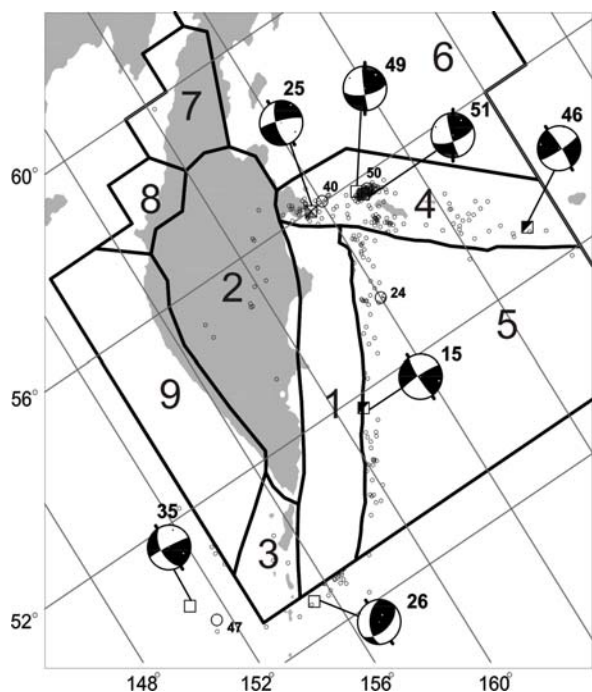


Рис. 6. Карта эпицентров землетрясений зон №№ 2–9 Камчатки и прилегающих территорий

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

Одиночное землетрясение (46) произошло 16 ноября в 00^h39^m ($h=21$ км, $K_S=12.7$, $M_w=5.0$) в пределах Алеутского глубокоководного желоба восточнее о. Медный. Механизм очага формировался под действием близких по величине напряжений растяжения и сжатия. По обоим нодальным плоскостям наблюдается сдвиг с элементами взброса.

Одиночное землетрясение (46) произошло 16 ноября в 00^h39^m ($h=21$ км, $K_S=12.7$, $M_w=5.0$) в пределах Алеутского глубокоководного желоба восточнее о. Медный. Механизм очага формировался под действием близких по величине напряжений растяжения и сжатия. По обоим нодальным плоскостям наблюдается сдвиг с элементами взброса.

В Северо-Западной части Тихоокеанской плиты (зона № 5) в 2003 г. зафиксировано всего 225 событий $K_S \geq 8.6$ в поверхностном слое (табл. 4) и одно – в промежуточном. Только

Общее число землетрясений в **Командорском сегменте Алеутской дуги (зона № 4)** равно $N_S=227$, из которых 225 произошли в поверхностном слое, в том числе 65 с $K_S \geq 8.6$ (табл. 4). Шесть землетрясений (25, 40, 46, 49, 50, 51) имеют $K_S \geq 11.6$ (рис. 6). Событие (49), произошедшее 5 декабря ($K_S=14.8$, $M_w=6.7$, $h=29$ км) в Камчатском проливе севернее о. Беринг, является одним из самых сильных событий года. Оно сопровождалось мощной серией афтершоков.

Основной толчок (49) имеет взбросо-сдвиговую подвижку в очаге. По плоскости, простирающейся с запада на восток, наблюдается правосторонний сдвиг. Ось напряжения сжатия близгоризонтальна, направлена на северо-запад. Подвижка в очаге землетрясения (51), произошедшего 8 декабря в 20^h27^m ($h=29$ км, $K_S=12.1$, $MS=4.8$), также взбросо-сдвиг. Механизм очага афтершока (50) не определен. Подробному описанию процессов, происходивших в очаговой области этого землетрясения, посвящена отдельная статья [12] в наст. сб.

Кроме афтершоковой серии землетрясения (49), в Командорском сегменте Алеутской дуги 23 апреля в 10^h23^m зафиксирована еще одна группа землетрясений, которая началась землетрясением (25) с $K_S=12.9$, $M_w=5.6$, $h=20$ км. Эпицентральная область группы имеет северо-северо-восточное простираение и занимает площадь 30×50 км², суммарная энергия составила $\Sigma E=0.8 \cdot 10^{13}$ Дж. Движение в очаге землетрясения (25) представлено сдвигом со сбросовой компонентой по обоим возможным плоскостям разрыва. Ось напряжения растяжения близгоризонтальна и ориентирована на северо-восток.

два из них имеют энергетический класс $K_S \geq 11.6$. Первое – землетрясение (15), зарегистрированное 17 марта в 21^h49^m на западном склоне Курило-Камчатского глубоководного желоба в районе Авачинского залива с $K_S=11.8$, $MS=4.5$, $h=0$ км; второе – (24), отмеченное 19 апреля в 08^h42^m с $K_S=11.6$, $MPSP=4.5$, $h=40$ км. Землетрясение (15) имеет сдвиговую дислокацию в очаге. Одна из возможных плоскостей разрыва круто падает в субмеридиональном направлении, другая имеет субширотное простирание.

Число землетрясений, зарегистрированное в остальных зонах, невелико. В **Континентальной части п-ва Камчатки (зоне № 2)** отмечено 12 землетрясений с $K_S \geq 8.6$, максимальное ($K_S=9.9$.) из которых возникло 16 апреля в 00^h13^m с $h=8$ км и $K_S \geq 9.9$. На территории **Северных Курил (зона № 3)** на уровне $K_S \geq 8.6$ локализовано три землетрясения равной энергии ($K_S=8.8$): 8 февраля в 11^h47^m с $h=0$ км, 13 июля в 03^h24^m с $h=90$ км и 22 сентября в 20^h18^m с $h=79$ км. Еще меньше событий с $K_S \geq 8.6$ зарегистрировано в **Корякии и западной части Берингова моря (зона № 6)**: 24 марта в 21^h18^m с $h=3$ км, $K_S=8.7$ и 6 июня в 21^h30^m с $h=40$ км, $K_S=9.5$. Всего одно землетрясение с $K_S \geq 8.6$ зафиксировано на **Камчатском перешейке (зона № 7)** 19 сентября в 08^h44^m с $h=30$ км и $K_S=10.0$. И совсем не было землетрясений с $K_S \geq 8.6$ на территории **Утхолок (зона № 8)** и **Западной Камчатки (зона № 9)** [7].

Сильные движения в 2003 г. зарегистрированы для пяти землетрясений (табл. 1, 5). Приводятся материалы регистрации колебаний грунта трехкомпонентным акселерографическим каналом LG широкополосной цифровой сейсмической станции «Петропавловск». Используются форс-балансные (ФБА) акселерографы с обратной связью с собственной частотой 46 Гц и затуханием $D=0.77$. Частота опроса равна 80 отсчет/с. Записи получены от ощутимых камчатских землетрясений с $M > 5.5$. В табл. 5 даны зарегистрированные максимальные ускорения и скорости грунта, скорректированные за АЧХ прибора.

Таблица 5. Максимальные «истинные» скорости и ускорения грунта по записям землетрясений за 2003 г. на станции «Петропавловск»

№	Дата, д м	t_0 , ч мин с	Эпицентр		h , км	Δ , км	K_S	I , балл	M_w	Состав- ляющая	v_{max} см/с	a_{max} см/с ²
			φ° , N	λ° , E								
6	15.03	19 41 24.3	52.15	160.66	4	168	13.3	3	6.0	E	0.17	0.71
										N	0.12	1.16
										Z	0.11	0.39
16	18.03	05 37 27.4	52.23	160.61	15	137	12.7	2	5.3	E	0.067	0.60
										N	0.091	1.21
										Z	0.049	0.59
19	19.03	14 43 34.7	52.16	160.85	48	169	13.4	2–3	5.6	E	0.062	0.31
										N	0.029	0.24
										Z	0.022	0.19
33	16.06	22 08 01.8	55.30	160.34	190	281	14.7	3–4	6.9	E	0.41	2.55
										N	0.24	2.25
										Z	0.14	1.54
49	05.12	21 26 14.1	55.78	165.43	29	536	14.8	2–3	6.7	E	0.031	0.39
										N	0.039	0.32
										Z	0.022	0.19

Для обработки записей был применен новый программный пакет, развивающий ранее отработанную методику [13]. В пакете частично использован модуль деконволюции, любезно предоставленный В.М. Павловым. Алгоритм реализует следующую последовательность операций:

- выбор сегмента обработки (в диалоге);
- коррекция за передаточную функцию прибора в максимально широкой полосе частот путем деконволюции в частотной области «вслепую»;
- интерактивный выбор рабочей полосы частот для надежного восстановления амплитуд сигнала;
- повторная деконволюция в частотной области в пределах выбранной полосы, расчет восстановленных сигналов ускорения, скорости и смещения;
- снятие максимальных амплитуд ускорения, скорости и смещения;

– расчет оценки сглаженного амплитудного спектра Фурье в пределах выбранной полосы с предварительным выбеливанием сигнала;
 – расчет спектра реакции.

Важным новым элементом программного пакета является использование при оценке сглаженного амплитудного спектра Фурье процедуры предварительного выбеливания (prewhitening) сигнала. Этот метод был первоначально разработан для расчета оценок спектров мощности стационарных сигналов [14]. Впервые он применен к оценке сглаженного спектра Фурье сейсмической записи. Метод позволяет существенно подавить искажения оценок спектра при наличии в нем участков крутого спада или нарастания. Известно, что простое сглаживание приводит в подобных случаях к заметному искажению оценок за счет просачивания мощности от «более тяжелой» к «более легкой» стороне сглаживающего окна. Данная проблема является вполне реальной. В частности, крутой спад спектров Фурье в области высоких частот за счет поглощения сейсмических волн в Земле – неперенное свойство наблюдаемого сигнала. Часто достаточно крутым является также спад спектра ускорений объемных волн в области низких частот. В обоих случаях при сглаживании обычным путем спектры заведомо искажаются. Использование предварительного выбеливания сигнала позволяет почти полностью подавить искажения.

На рис. 7 показаны скорректированные за прибор акселерограммы землетрясений 16 июня в 22^h08^m и 5 декабря в 21^h26^m вместе с их сглаженными спектрами Фурье. Спектры Фурье полной записи в основном отражают спектр энергии *S*-волн. Форма спектров соответствует ожидаемой при *M*=6–6.5 и эпицентральной расстоянии 300–600 км.

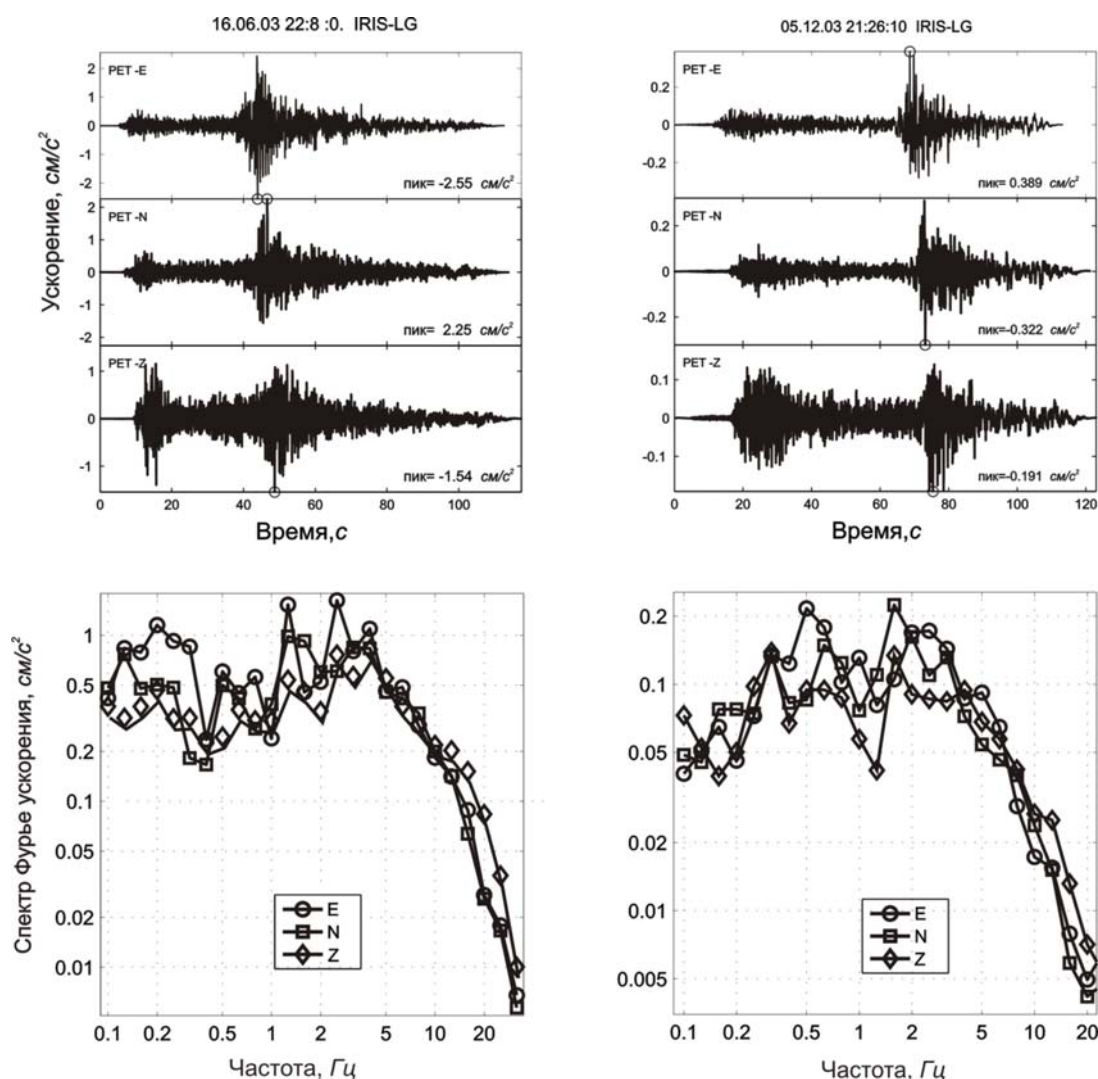


Рис. 7. Записи (вверху) землетрясений 16 июня и 5 декабря на широкополосной сейсмической станции «Петропавловск» и их спектры Фурье (внизу)

Л и т е р а т у р а

1. Старовойт О.Е., Мишаткин В.Н. Сейсмические станции Российской академии наук (состояние на 2001 г.). – Москва–Обнинск: ГС РАН, 2001. – 86 с.
2. Левина В.И., Иванова Е.И., Гусева Е.И. Камчатка и Командорские острова // Землетрясения Северной Евразии в 2001 году. – Обнинск: ГС РАН, 2007. – С. 213–222.
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. Левина В.И., Иванова Е.И., Ландер А.В., Гусева Е.М. Камчатка и Командорские острова // Землетрясения Северной Евразии, 2002 г. – Обнинск: ГС РАН, 2008. – С. 215–225.
7. Левина В.И., Лепская Т.С. (отв. сост.), Антипова О.Г., Бахтиярова Г.М., Карпенко Е.А., Кобзева А.А., Кривогорницына Т.М., Митюшкина С.В., Пархоменко С.А., Пилипенко Л.В., Шевченко Н.А. Каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов за 2003 год. (См. Приложение к наст. сб. на CD)
8. Иванова Е.И. (отв. сост.). Каталог механизмов очагов землетрясений Камчатки и Командорских островов за 2003 год. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
9. Комплексные сейсмологические и геофизические исследования Камчатки и Командорских островов (отчет за 01.01.2003 г.–31.12.2003 г.). – Петропавловск-Камчатский: Фонды КФ ГС РАН, 2004. – 350 с.
10. Комплексные сейсмологические и геофизические исследования Камчатки и Командорских островов (отчет за 01.01.2005 г.–31.12.2005 г.). – Петропавловск-Камчатский: Фонды КФ ГС РАН, 2006. – 478 с.
11. Зобин В.М. Механизм очагов землетрясений и сеймотектонические деформирования Камчатско-Командорского региона в 1964–1982 гг. // Вулканология и сейсмология. – 1987. – № 6. – С. 78–82.
12. Левина В.И., Чеброва А.Ю., Ландер А.В., Иванова Е.И., Митюшкина С.В., Титков Н.Н. Командорское-II землетрясение 5 декабря 2003 года с $M_S=6.8$, $I_0=7$ (Командорские острова). (См. раздел III (Сильные и ощутимые землетрясения) в наст. сб.).
13. Гусева Е.М., Гусев А.А., Оскорбин Л.С. Пакет программ для цифровой обработки сейсмических записей и его опробование на примере некоторых записей сильных движений // Вулканология и сейсмология. – 1989. – № 5. – С. 35–49.
14. Бриллинджер Д. Временные ряды. Обработка данных и теория. – М.: Мир, 1980. – 536 с.