

**КАМЧАТКА И КОМАНДОРСКИЕ ОСТРОВА****В.И. Левина, Е.И. Иванова, Е.М. Гусева***Камчатский филиал ГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский, valeria@emsd.iks.ru*

**Сеть сейсмических станций** Камчатки в 2000 г. несколько изменилась. В 1999 г. была законсервирована станция «Подкова» и вышла из строя широкополосная цифровая станция «Каменское». Информация о параметрах сейсмических станций, работавших в 2000 г., представлена в табл. 1 и 2, а также в работе [1].

**Таблица 1.** Аналоговые сейсмические станции с регистрацией на фотобумагу

№	Станция		Дата открытия	Координаты			Аппаратура				
	Название	Код		$\varphi^\circ, N$	$\lambda^\circ, E$	$h_y, м$	Тип прибора	Компонента	$V_{max}$	$\Delta T, с$	
		межд.	рег.								
1	Апача	APC	APC	23.02.1990	52.925	157.158	100	СМЗ	N, E, Z	10000	0.15–1.2
								СМЗ	E	500	0.15–1.2
2	Беринг	BKI	BKI	20.11.1962	55.204	165.972	10	СМЗ	N, E, Z	5000	0.15–1.2
								СМЗ	E	250	0.15–1.2
3	Кроноки	KRN	KRI	01.09.1966	54.596	161.134	50	СМЗ	N, E, Z	5000	0.15–1.2
								СМЗ	E	250	0.15–1.2
4	Крутоберегово	KBG	KBG	10.04.1968	56.255	162.705	30	СМЗ	N, E, Z	5000	0.15–1.2
								СМЗ	E	250	0.15–1.2
5	Оссора	OSSR	OSS	01.01.1973	59.25	163.06	5	СМЗ	N, E, Z	5000	0.15–1.2
								СМЗ	E	250	0.15–1.2
6	Паужетка	PAU	PAU	03.11.1961	51.467	156.811	110	СМЗ	N, E, Z	5000	0.15–1.2
								СМЗ	E	250	0.15–1.2
7	Эссо	ESO	ESO	23.11.1965	55.925	158.7	490	СКМ-3	N, E, Z	40000	0.15–1.2
								СКМ-3	E	2000	0.15–1.2

**Таблица 2.** Аналоговые сейсмотелеметрические станции с цифровой регистрацией

№	Станция		Дата открытия	Координаты			Аппаратура						
	Название	Код		$\varphi^\circ, N$	$\lambda^\circ, E$	$h_y, м$	Тип прибора	Компонента	Полоса пропускания, $с$	Частота опроса, $Гц$	Разрядность АЦП	Чувствительность, отсчет/ $м$	
		межд.	рег.										
1	Авача	AVH	AVH	30.05.1976	53.265	158.738	900	СМЗ	N, E, Z	0.05–1.3	128	11	$10^7$
								ВЧС	Z	0.05–0.25			$4 \cdot 10^8$
2	Ганалы	GNL	GNL	17.01.1988	53.695	157.942	1200	СМЗ	N, E, Z	0.05–1.3	128	11	$10^7$
								ВЧС	Z	0.05–0.25			$4 \cdot 10^8$
3	Горелый	GRL	GRL	14.08.1980	52.552	158.073	1250	СМЗ	N, E, Z	0.05–1.3	128	11	$10^7$
								ВЧС	Z	0.05–0.25			$2 \cdot 10^8$
4	Зеленая	ZLN	ZLN	30.10.1988	56.017	160.804	1100	СМЗ	N, E, Z	0.05–1.3	128	11	$10^7$
5	Институт	INS		20.11.1981	53.066	158.605	175	СКД	N, E, Z	2.0–25.0	128	11	$10^7$
													отсчет/ $м$
6	Каменистая	KMNR	KMN	10.11.1990	55.756	160.247	1150	СМЗ	N, E, Z	0.05–1.3	128	11	$10^7$
								ВЧС	Z	0.05–0.25			$4 \cdot 10^8$
7	Карымский-2	KRYR*	KRY	30.09.1989	54.036	159.449	900	СМЗ	N, E, Z	0.05–1.3	128	11	$10^7$
								ВЧС	Z	0.05–0.25			$2 \cdot 10^7$
8	Ключи	KLY	KLY	14.02.1989	56.317	160.858	50	СМЗ	N, E, Z	0.05–1.3	128	11	$10^7$
9	Козырь	KOZR	KZY	14.11.1989	56.066	159.895	70	СМЗ	N, E, Z	0.05–1.3	128	11	$10^7$

№	Станция		Дата открытия	Координаты			Аппаратура					
	Название	Код межд. рег.		$\varphi^\circ, N$	$\lambda^\circ, E$	$h_y, m$	Тип прибора	Комп- нента	Полоса пропуска- ния, $\text{с}$	Частота опроса, $\text{Гц}$	Разряд- ность АЦП	Чувстви- тельность, $\text{м/с}$
10	Копыто	KPT	25.10.1997	55.966	160.222	1000	СМЗ	N, E, Z	0.05–1.3	128	11	$10^7$
11	Коряка	KOK	30.08.1977	53.292	158.636	1050	СМЗ ВЧС	N, E, Z Z	0.05–1.3 0.05–0.25	128	11	$10^7$ $4 \cdot 10^8$

Расположение станций и система изолиний представительной регистрации приведены на рис. 1. Методика определения параметров землетрясений не изменилась и изложена в [2–4].

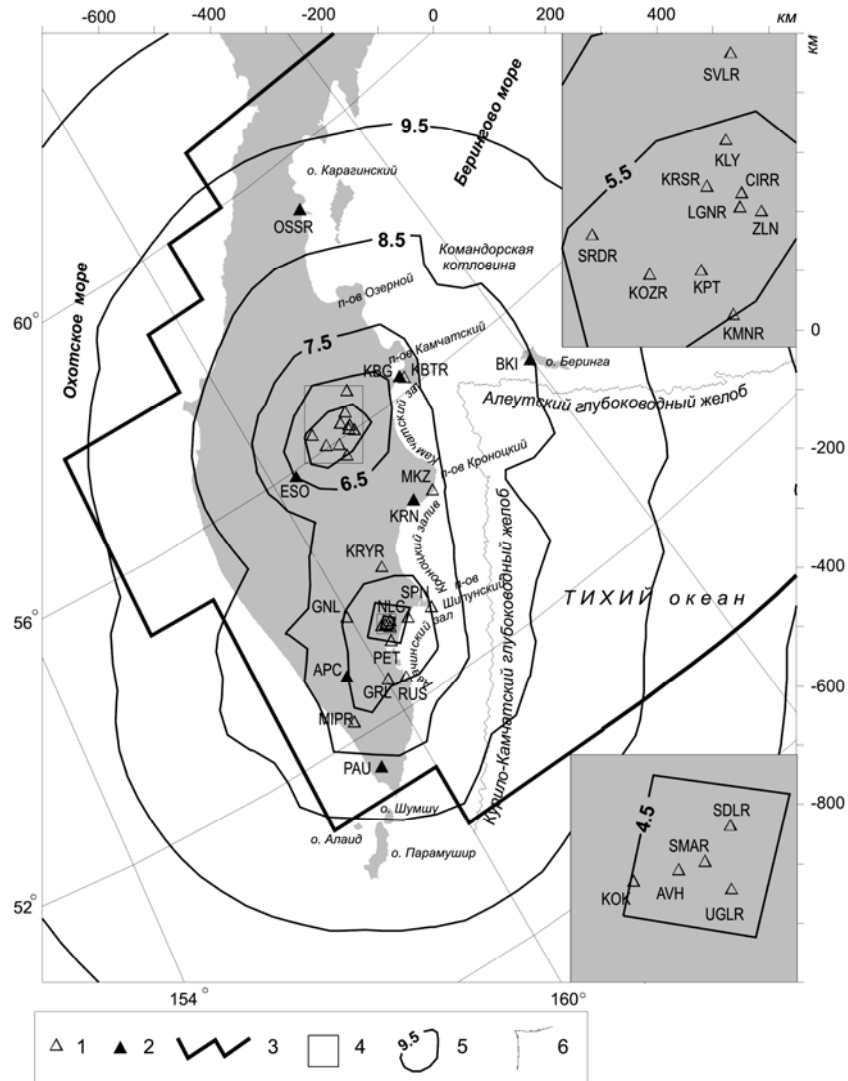


Рис. 1. Карта энергетической представительности землетрясений  $K_{min}$  и сеть сейсмических станций Камчатки в 2000 г.

1 – радиотелеметрические сейсмические станции (SVLR – «Шивелуч», KLY – «Ключи», KRSR – «Крестовский», CIRR – «Цирк», LGNR – «Логинов», ZLN – «Зеленая», SRDR – «Срединный», KOZR – «Козырь», KPT – «Копыто», KMNR – «Каменистая», KBTR – «Крутоберегово-1», MKZ – «Мыс Козлова», KRY – «Карымский», SPN – «Шипунский», GNL – «Ганалы», NLC – «Налычева», SDLR – «Седловина», KOK – «Коряка», AVH – «Авача», UGLR – «Угловая», PET – «Петропавловск», GRL – «Горелый», RUS – «Русская», MIPR – «Малая Ипелька»); 2 – сейсмические станции с регистрацией на фотобумагу (OSSR – «Оссора», ВКI – «Беринг», KBG – «Крутоберегово», ESO – «Эссо», KRN – «Кроноки», APC – «Апача», PAU – «Паужетка»); 3 – граница региона; 4 – границы районов, изображенных на врезках; 5 – изолиния  $K_{min}$ ; 6 – изобата 5000м. На врезках показаны сети сейсмических станций Северной группы вулканов (вверху) и Авачинско-Корякской группы вулканов (внизу). Названия станций даны по [1].

Общее число зарегистрированных в регионе землетрясений составило  $N=3714$  землетрясений в диапазоне  $K_S=4.7-13.1$ , 894 из которых с  $K_S \geq 8.6$  приведены в каталоге [5]. На рис. 2(а, б) представлены графики распределения во времени ежесуточного числа землетрясений и накопления высвобожденной сейсмической энергии. Обстановка в регионе была относительно спокойная, не наблюдалось каких-либо значительных всплесков сейсмической активности.

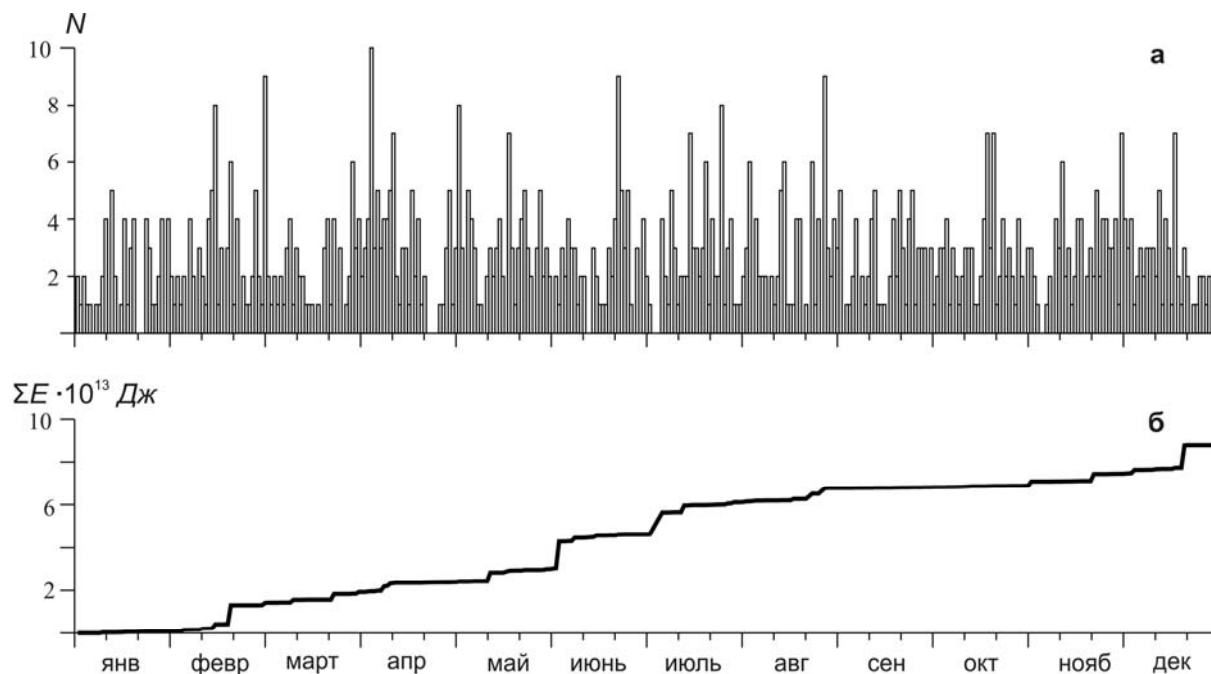


Рис. 2. Графики изменения суточных чисел  $N$  землетрясений с  $K_S \geq 8.6$  (а) и высвобожденной сейсмической энергии  $\Sigma E$  (б) за 2000 г.

Распределение землетрясений по классам  $K_S$  приведено в табл. 3. Суммарная энергия, выделившаяся в процессе формирования очагов 2000 г., составляет  $\Sigma E = 8.8 \cdot 10^{13}$  Дж, что значительно ниже среднегодового значения выделенной энергии ( $\Sigma E = 12 \cdot 10^{14}$  Дж), рассчитанной по материалам 1962–1999 гг.

Таблица 3. Распределение числа землетрясений  $N$  по энергетическим классам  $K_S$

$K_S$	$\leq 8.5$	9	10	11	12	13	$N_{\Sigma}$	$\Sigma E \cdot 10^{13}, \text{ Дж}$
$N$	2820	577	224	63	25	5	894	8.8

Примечание.  $K_S$  здесь и далее соответствует  $K_{S1.2}^{\Phi 68}$  из [4].

Представляет определенный интерес сравнение уровня сейсмической активности в 2000 г. относительно других лет. Поскольку для всего каталога Камчатки и Командорских островов за 1962–2000 гг. представительным классом является  $K_S=8.6$ , данное сравнение проведено на этом энергетическом уровне для различных диапазонов глубин. В табл. 4 представлены для трех интервалов глубин ежегодные значения числа землетрясений и количества высвобожденной сейсмической энергии для тех лет, когда эти показатели были минимальны и максимальны (в сопоставлении с таковыми за 2000 г.). Видно, что сейсмическая активность в 2000 г. была невысокой, за исключением глубин более 150 км. Число событий, произошедших на этих глубинах, близко к максимальному, при этом выделившаяся сейсмическая энергия близка к минимуму.

Карта эпицентров показана на рис. 3 а, где все землетрясения до  $K_S=11.5$  изображены одинаково малыми кругами, чтобы лучше могли быть представлены более сильные толчки с  $K_S=12$  и 13. Землетрясений старшего класса реализовалось пять: одно (17) произошло 6 июля

в  $06^h15^m$  с  $K_S=13.0$  в Алеутском глубоководном желобе и четыре (5, 12, 14, 30) – в южной части прибрежной зоны (19 февраля в  $19^h31^m$  с  $K_S=12.9$ , 12 мая в  $17^h21^m$  с  $K_S=12.6$ , 3 июня в  $03^h54^m$  с  $K_S=13.1$ , и 20 декабря в  $09^h19^m$  с  $K_S=13.0$ ). Землетрясений большей энергии в 2000 г. не было.

Таблица 4. Сравнительные характеристики сейсмической активности региона

Число землетрясений/ значение энергии $\Sigma E$	$K_S \geq 8.6$			$K_S \geq 11.6$		
	$0 \leq h \leq 40$ км	$40 < h \leq 150$ км	$h > 150$ км	$0 \leq h \leq 40$ км	$40 < h \leq 150$ км	$h > 150$ км
$N_{\min}$	364(1995 г.)	110(1965 г.)	10(1962 г.)	8(1977 г.)	2(1962 г.)	1(1962 г.)
$N_{\max}$	1818(1997 г.)	370(1983 г.)	64(1998 г.)	126(1997 г.)	18(1972 г.)	6(1972 г.)
$N$ за 2000 г.	592	241	61	19	9	2
$[\Sigma E \cdot 10^{13} \text{ Дж}]_{\min}$	2.8(1995 г.)	0.4(1986 г.)	0.01(1990 г.)			
$[\Sigma E \cdot 10^{13} \text{ Дж}]_{\max}$	389(1997 г.)	797(1971 г.)	1262(1971 г.)			
$[\Sigma E \cdot 10^{13} \text{ Дж}]$ за 2000 г.	4	4	0.2			

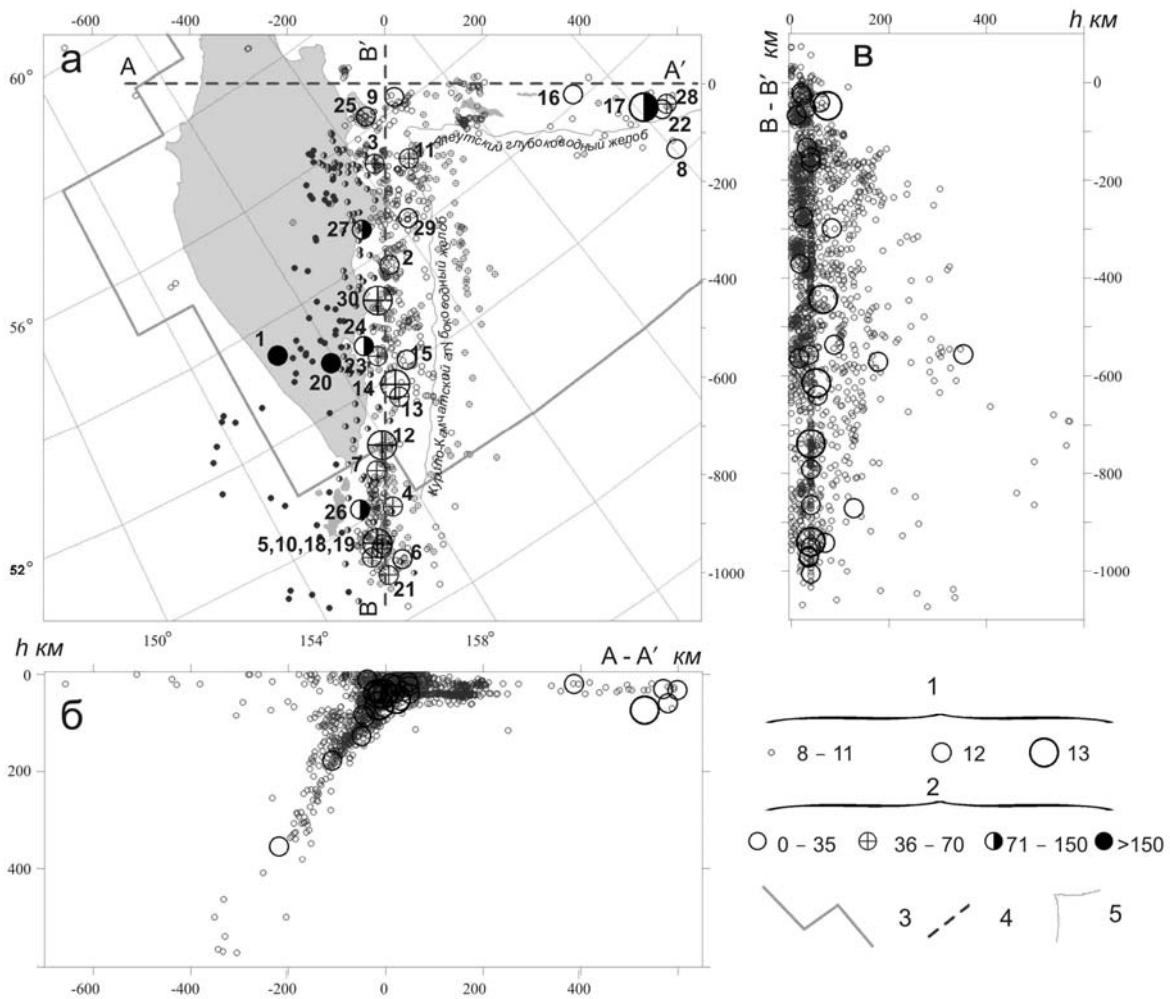


Рис. 3. Карта эпицентров землетрясений Камчатки за 2000 г. (а) и глубинные разрезы на вертикальные плоскости А–А' (б) и В–В' (в)

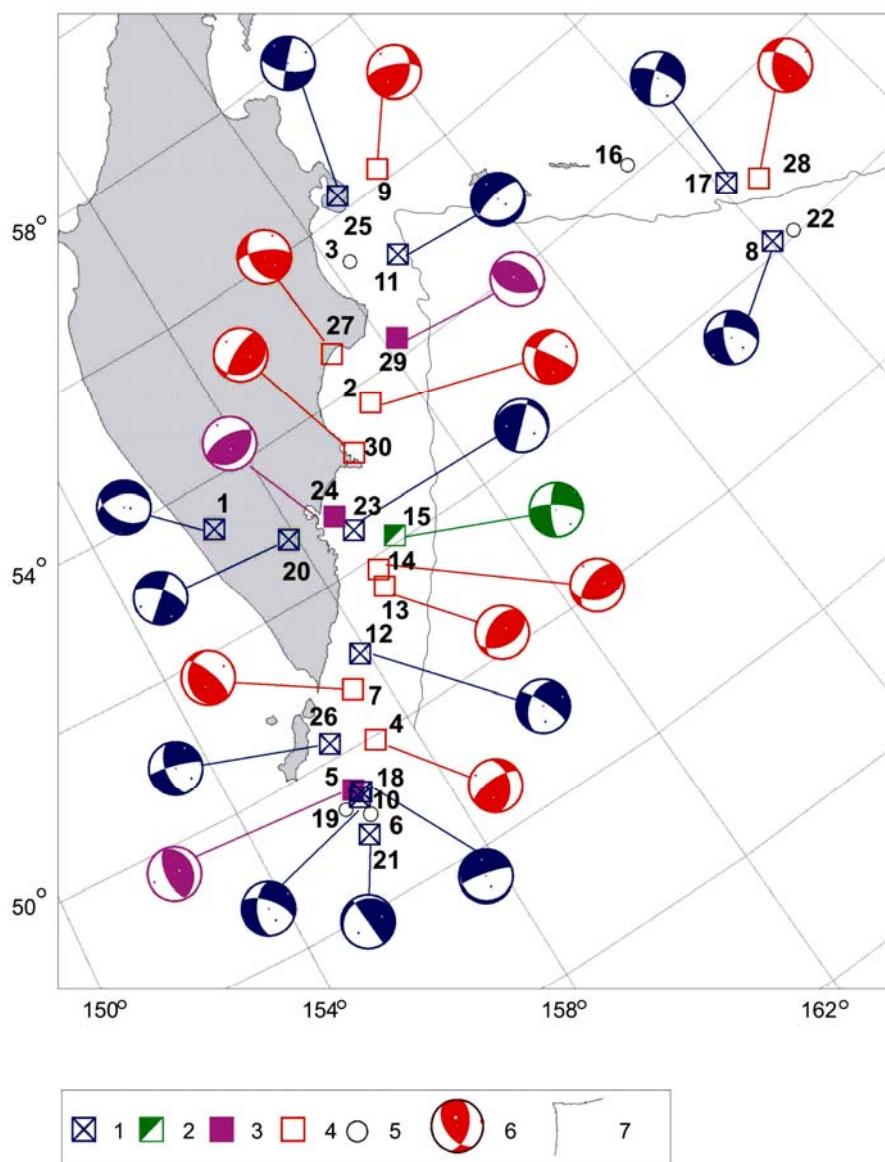
1 – энергетический класс  $K_S$ ; 2 – глубина  $h$  гипоцентра, км; 3 – граница региона; 4 – линии вертикальных разрезов фокальной зоны; 5 – изобата морских глубин, 5000 м. Числа соответствуют номерам землетрясений с  $K_S \geq 11.6$  в первой графе каталога [5].

Вертикальные разрезы поля гипоцентров землетрясений с  $K_S \geq 8.6$  изображены на рис. 3(б, в). Землетрясения, принадлежащие Камчатской зоне субдукции, располагаются в полосе шириной 150–200 км к юго-западу от Курило-Камчатского глубоководного желоба. По мере удаления от желоба наклонная зона субдукции сужается и сходит на нет на глубинах около 400 км.

В коровой части п-ова Камчатка на глубинах 0–50 км наблюдаются единичные слабые землетрясения. Очаги Алеутского глубоководного жлоба располагаются в основном в северо-восточной его части на глубинах не более 50 км. В южной и юго-западной части командорской котловины (около острова Беринга и полуострова Озерной) также наблюдаются небольшие скопления землетрясений на глубинах 0–50 км.

Как обычно, основная сейсмичность в 2000 г. сосредоточена в верхней части сейсмофокального слоя на глубинах 0–50 км (490 событий, или около 55%). Довольно активен юг Камчатки (север Курильских островов). Здесь, за границей региона, сетью зарегистрировано 192 землетрясения, что составляет 21% от общего числа событий с  $K_S \geq 8.6$ .

В 2000 г. в регионе произошло 30 сильных ( $K_S \geq 11.6$ ) землетрясений (рис. 4), что близко для Камчатки к среднему значению. Отличительной чертой сейсмической активности этого года явилось отсутствие землетрясений высоких энергетических классов (выше 13). Максимальное землетрясение (№ 14) с  $K_S = 13.1$  ( $M_w = 5.5$ ) произошло 3 июня в океане, южнее Авачинского залива (рис. 3, 4).



**Рис. 4.** Карта эпицентров сильных  $K_S \geq 11.6$  землетрясений Камчатки и Командорских островов за 2000 г. 1–5 – эпицентры землетрясений и тип подвижки (1 – сбросо-сдвиг; 2 – сдвиг; 3 – взброс; 4 – взбросо-сдвиг; 5 – механизм не определен); 6 – диаграмма механизма очага; 7 – изобата морских глубин, 5000 м. Числа возле эпицентров соответствуют номерам землетрясений первой графы каталога [5].

**Ощутимых** землетрясений на территории Камчатки отмечено 52 с интенсивностью  $I$  от 2 до 5–6 баллов [5]. С интенсивностью 5–6 баллов ощущалось в Крутоберегово и Усть-Камчатске одно неглубокое ( $h=11$  км) землетрясение (25) с  $K_S=12.3$ ,  $M_w=5.0$ , которое произошло 27 августа в 06<sup>h</sup>06<sup>m</sup> [5].

**Механизмы очагов** определены для 25 землетрясений (рис. 4 [6]) по знакам первых вступлений  $P$ -волн на региональных сейсмических станциях и с привлечением данных мировой сети. Механизмы рассчитывались по программе FA2002, составленной А.В. Ландером и описанной в [7]. Программа определяет механизм землетрясения, основываясь на методе максимального правдоподобия, а также вычисляет доверительные области для тензорных, векторных и скалярных характеристик решений. Землетрясения разделены на классы точности (А–Е) согласно значениям параметра, характеризующего объем доверительной области решения [7, 8].

Ниже приведено описание наиболее сильных событий.

*В пределах Алеутского глубоководного желоба* произошло пять землетрясений (8, 16, 17, 22, 28) с  $K_S \geq 11.6$ , для трех из них определены механизмы очагов. Движение в очагах (8, 17), представленное сбросом, происходило под воздействием близгоризонтально расположенных сил растяжения. Землетрясение (28) является взбросовым с незначительной сдвиговой компонентой по обеим нодальным плоскостям. Одна из плоскостей разрыва в очагах всех землетрясений направлена вдоль простирания структур глубоководного желоба.

*В зоне стыка Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг* зарегистрировано четыре сильных землетрясения (3, 9, 11, 25), для трех из них определены механизмы очагов. Два события (11, 25) имеют характерный для этого региона [9] тип подвижки – сбросо-сдвиг с близгоризонтальным расположением оси растяжения. Одна из нодальных плоскостей залегает круто, движение по ней – сброс. Третье землетрясение (9) является взбросо-сдвиговым с близгоризонтально расположенной осью сжатия. Одна из возможных плоскостей разрыва имеет субмеридиональное простирание, другая ориентирована в северо-восточном направлении. Возможные плоскости разрыва ориентированы как вдоль Курило-Камчатских, так и вдоль Алеутских геологических структур.

*В области Курило-Камчатской сейсмофокальной зоны* на глубинах 0–70 км зарегистрировано 16 землетрясений (2, 4–7, 10, 12–15, 18, 19, 21, 23, 29, 30), для 14 из них определены механизмы очагов. Восемь событий имеют взбросовый (5, 29) и взбросо-сдвиговый характер подвижки (2, 4, 7, 13, 14, 30), что соответствует региональным характеристикам подвижек, определенным в [9]. Землетрясения 10, 12, 18, 21, 23 – сбросо-сдвигового типа, а событие (15) – почти чистый сдвиг. Как правило, во всех очагах этого района одна из возможных плоскостей разрыва ориентирована вдоль тектонических структур региона.

*В зоне субдукции* на глубинах более 70 км произошло пять землетрясений. Подвижки в очагах (24, 27), представленные взбросо-сдвигом, произошли под воздействием близгоризонтальных сил растяжения, ориентированных в южном направлении. Сбросо-сдвиговые события (1, 20, 26) располагаются в юго-западной части фокальной зоны, оси растяжения близгоризонтальны, одна из возможных плоскостей разрыва направлена поперек структур Курило-Камчатской сейсмофокальной зоны.

Распределение землетрясений по типам подвижек приведено в табл. 5.

**Таблица 5.** Распределение землетрясений Камчатки и Командорских островов по типам подвижек за 2000 г.

№	Тип подвижки	Номера землетрясений с $K_S \geq 11.6$ по [5]	$N$
1	Сброс		–
2	Сбросо-сдвиг	1, 8, 10–12, 17, 18, 20, 21, 23, 25, 26	12
3	Взброс	5, 24, 29	3
4	Взбросо-сдвиг	2, 4, 7, 9, 13, 14, 27, 28, 30	9
5	Сдвиг	15	1
6	Механизм очага не определен	3, 6, 16, 19, 22	5

**Сильные движения** записаны для восьми землетрясений с помощью цифрового акселерографического канала LG широкополосной цифровой сейсмостанции «Петропавловск». В табл. 6 даны зарегистрированные максимальные ускорения грунта, скорректированные за АЧХ прибора.

Таблица 6. Максимальные ускорения грунта по записям землетрясений за 2000 г.

№	Дата, д м	$t_0$ , ч мин с	Эпицентр		$h$ , км	$\Delta$ , км	$K_S$	$M_w$	Состав- ляющая	$a_{max}$ (скорректи- рованная), $см/с^2$
			$\varphi^\circ, N$	$\lambda^\circ, E$						
1	12.05	17 21 55.8	51.03	157.85	40	231.9	12.6	5.2	N E Z	0.524 -0.531 -0.344
2	18.05	23 16 36.9	51.62	159.04	54	161.9	11.9	4.9	N E Z	-1.525 -0.688 0.787
3	03.06	03 54 44.6	51.85	159.13	51	143.8	13.1	5.5	N E Z	-9.581 5.261 3.750
4	08.06	13 53 51.5	52.11	159.82	16	129.6	12.2	5.1	N E Z	-0.318 -0.223 0.276
5	29.07	09 54 42.2	52.81	157.83	178	187.9	11.7	5.3	N E Z	-0.421 0.346 0.712
6	27.08	01 45 29.3	52.75	158.95	88	95.2	11.7	5.1	N E Z	-4.897 -7.008 5.271
7	21.11	07 44 00.9	54.56	160.88	83	239.7	12.5	5.2	N E Z	0.675 -0.883 0.416
8	20.12	09 19 51.7	53.31	160.06	65	118.4	13.0	5.4	N E Z	3.781 -4.647 -1.969

На рис. 5 показана нескорректированная запись землетрясения (15) 8 июня в 13<sup>h</sup>53<sup>m</sup> и ее спектры Фурье (с коррекцией за прибор).

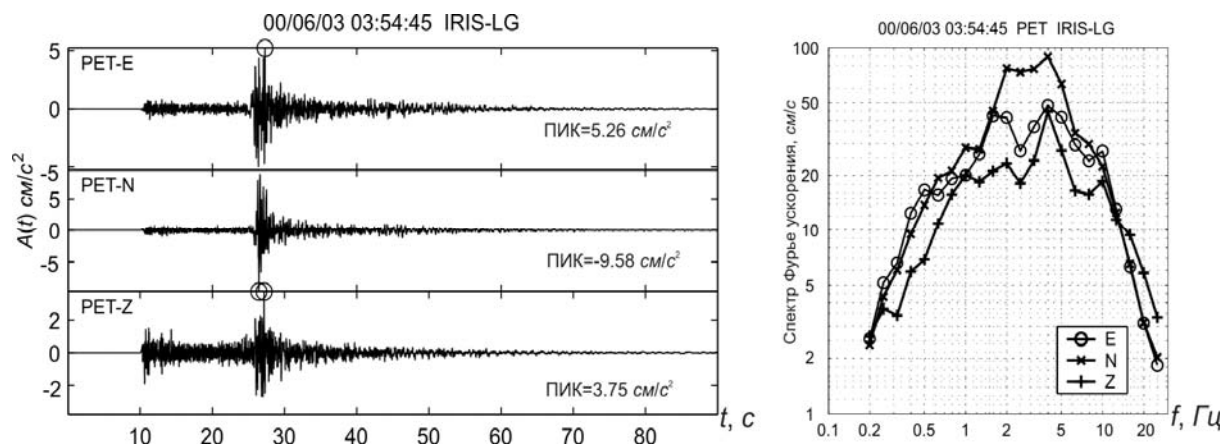


Рис. 5. Записи землетрясения 3 июня в 13<sup>h</sup>54<sup>m</sup> широкополосной сейсмической станцией «Петропавловск» и его спектры Фурье (справа)

### 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. 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.

- 
3. **Гусев А.А.** Определение гипоцентров близких землетрясений Камчатки на ЭВМ // Вулканология и сейсмология. – 1979. – № 1. – С. 74–81.
  4. **Федотов С.А.** Энергетическая классификация Курило-Камчатских землетрясений и проблема магнитуд. – М.: Наука, 1972. – 117 с.
  5. **Левина В.И., Лепская Т.С. (отв. сост.), Бахтиярова Г.М., Карпенко Е.А., Кобзева А.А., Кривогорницына Т.М., Митюшкина С.В., Пархоменко С.А., Пилипенко Л.В., Шевченко Н.А.** Камчатка и Командорские острова. (См. раздел VI (Каталоги землетрясений) в наст. сб. на CD).
  6. **Иванова Е.И. (отв. сост.).** Камчатка и Командорские острова. (См. раздел V (Каталоги механизмов очагов землетрясений) в наст. сб. на CD).
  7. **Комплексные сейсмологические и геофизические исследования Камчатки и Командорских островов за 2003 г.** (Отчет КОМСП ГС РАН). – Петропавловск-Камчатский: Фонды КОМСП ГС РАН, 2004. – 350 с.
  8. **Комплексные сейсмологические и геофизические исследования Камчатки и Командорских островов за 2005 г.** (Отчет КОМСП ГС РАН). – Петропавловск-Камчатский: Фонды КОМСП ГС РАН, 2006. – 330 с.