

КАМЧАТКА И КОМАНДОРСКИЕ ОСТРОВА**В.Н. Чебров¹, Е.А. Матвеев¹, С.В. Митюшкина¹, Е.И. Иванова¹, Е.М. Гусева¹,****В.И. Левина², А.В. Ландер³**¹ Камчатский филиал ГС РАН, Петропавловск-Камчатский,
г. Петропавловск-Камчатский, van@emsd.ru² Геофизическая служба РАН, г. Обнинск, vlr.levina@gmail.com³ Институт теории прогноза землетрясений и математической
геофизики РАН, г. Москва, land@mitp.ru

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

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

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

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

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

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

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

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

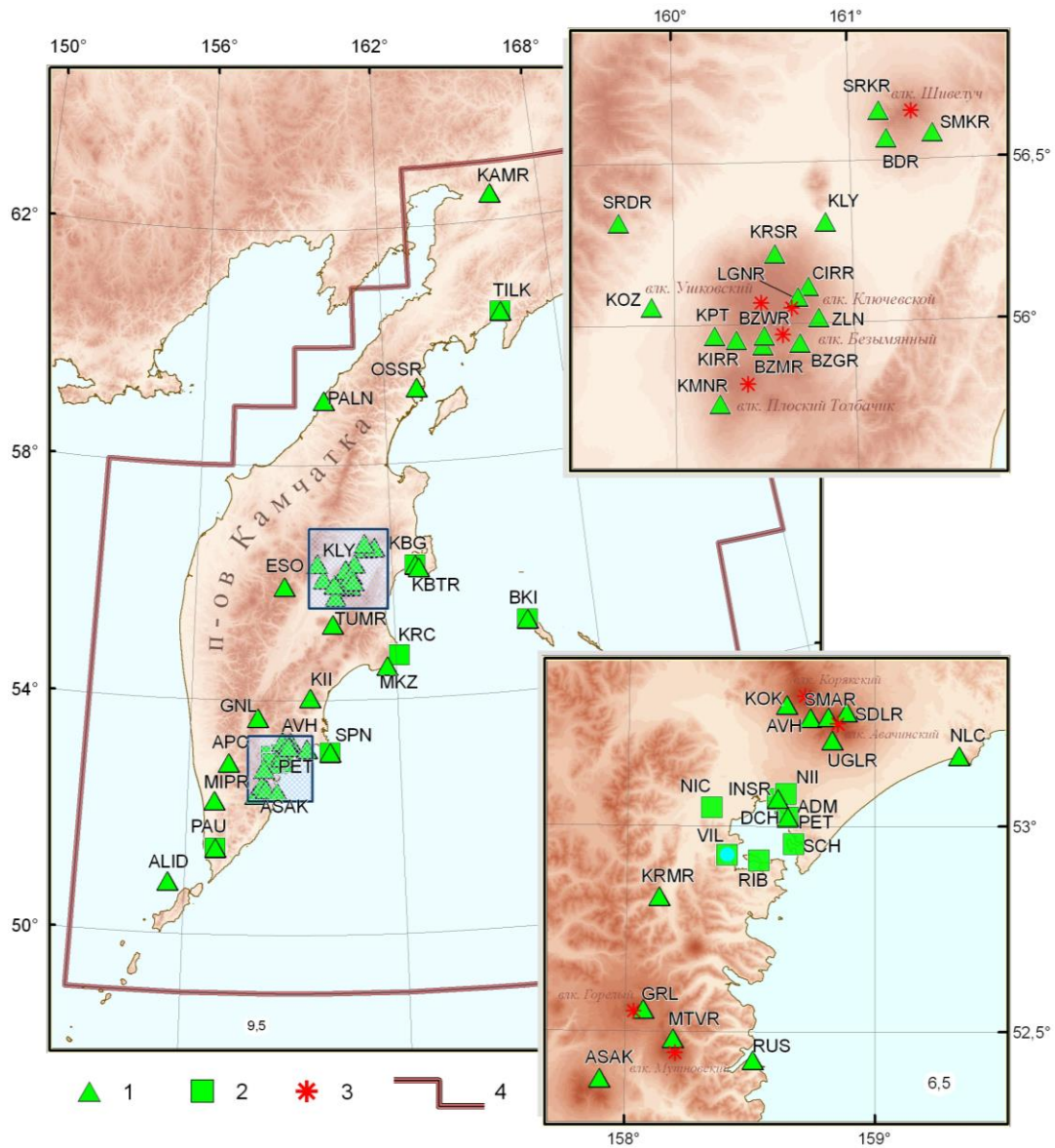


Рис. 1. Сеть сейсмических станций Камчатки в 2008 г.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

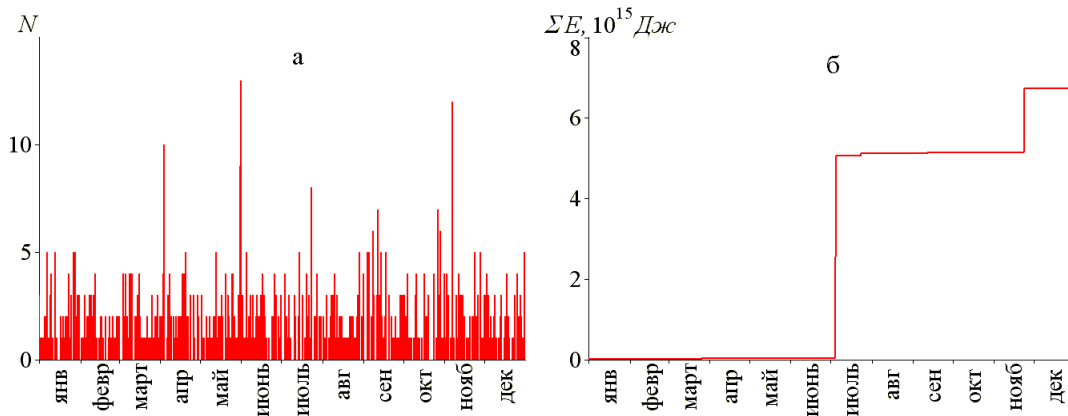


Рис. 2. Графики изменения во времени суточных чисел N землетрясений с $K_S \geq 8.6$ (а) и высвобожденной сейсмической энергии ΣE (б) в 2008 г. для зоны ответственности сети КФ ГС РАН

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

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

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

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

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

¹ Здесь и далее $M_w = M_{wGCMТ}$ из [8]

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

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

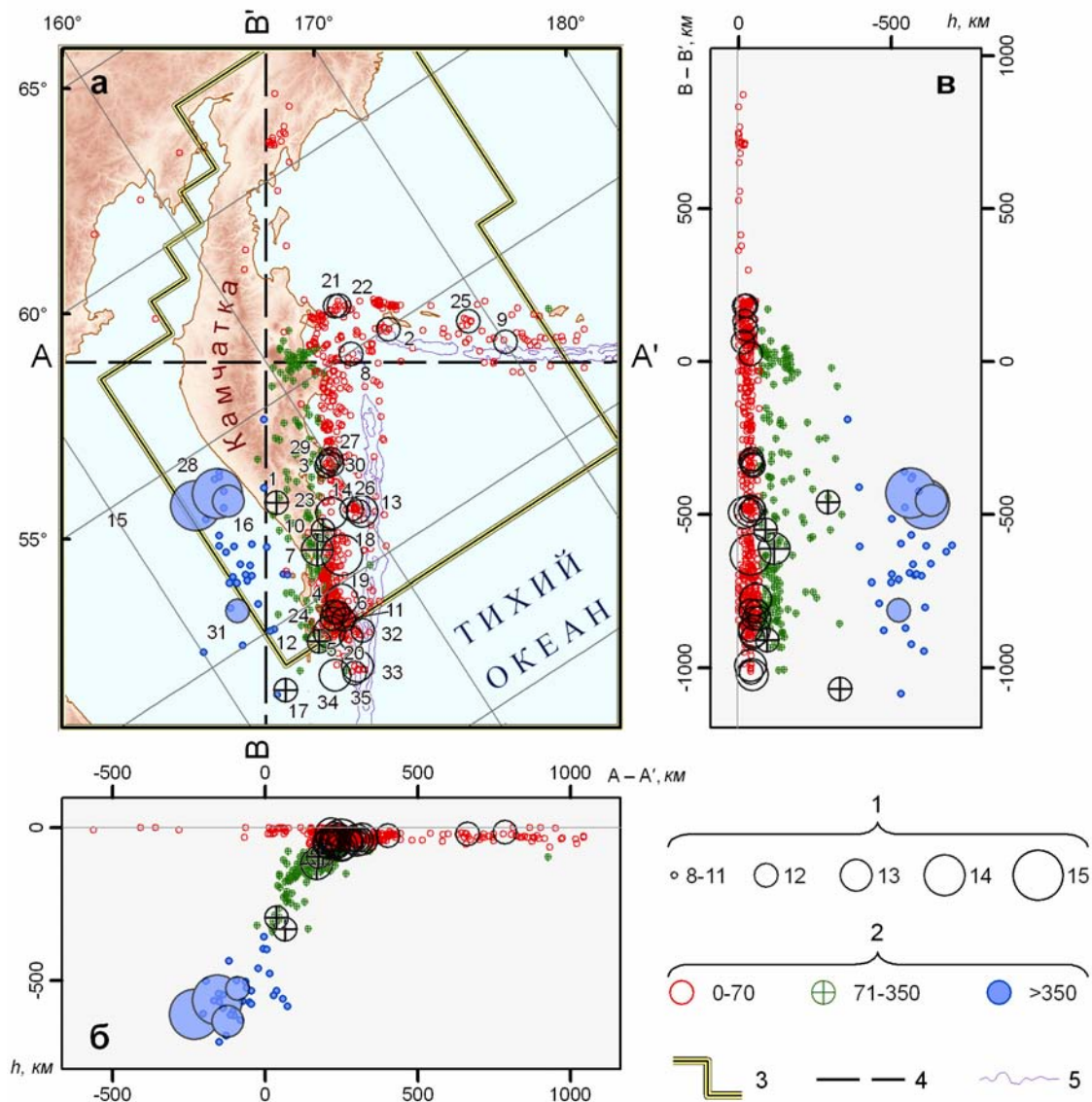


Рис. 3. Карта эпицентров землетрясений Камчатки с $K_S \geq 8.6$ (а) и глубинные разрезы на вертикальные плоскости А–А' (б) и В–В' (в) за 2008 г.

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

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

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

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

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

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

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

Далее рассмотрим сейсмичность по отдельным зонам.

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

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

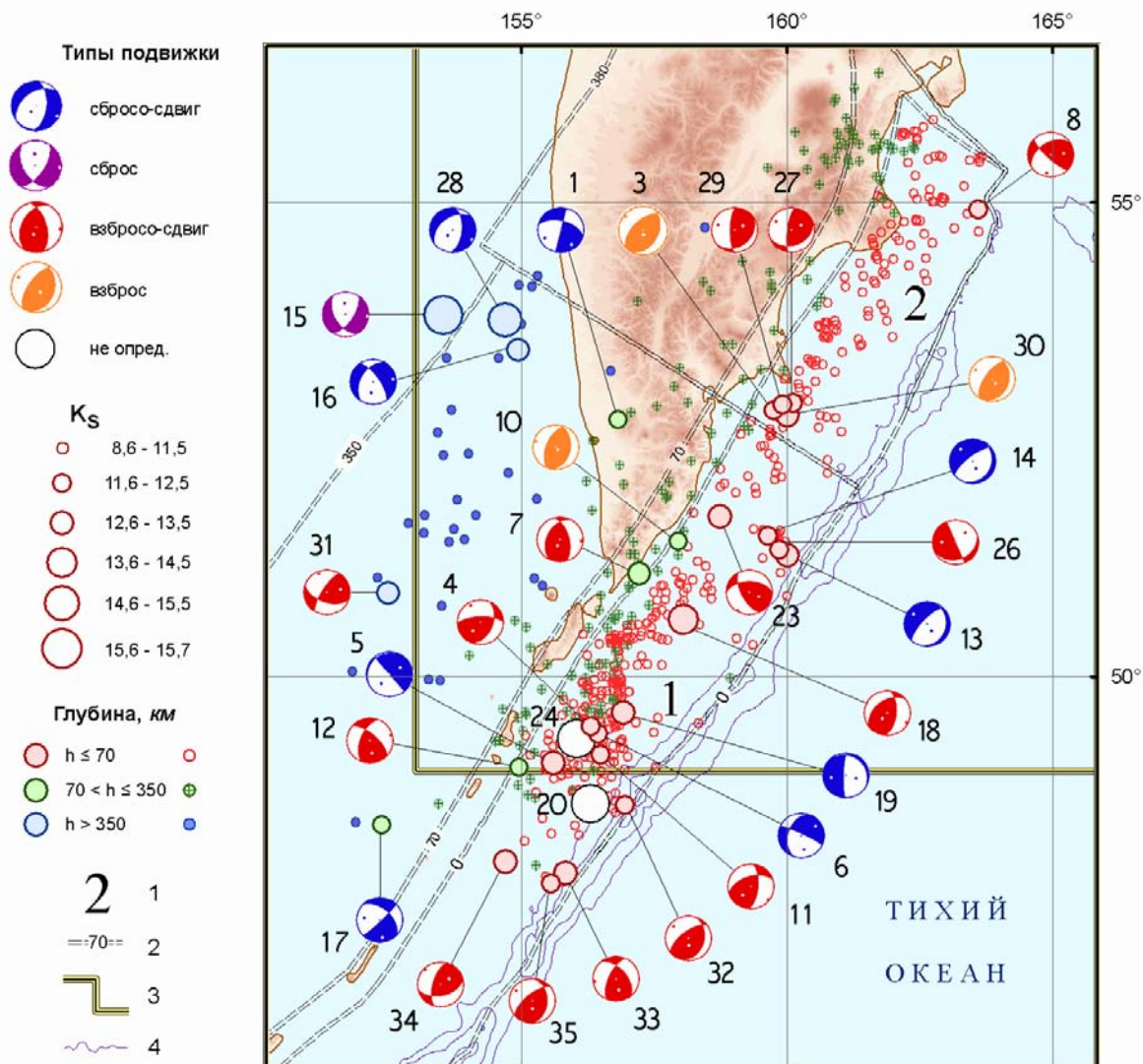


Рис. 4. Карта эпицентров и стереограммы механизмов очагов землетрясений Курило-Камчатской зоны субдукции (зоны 1 и 2) за 2008 г.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

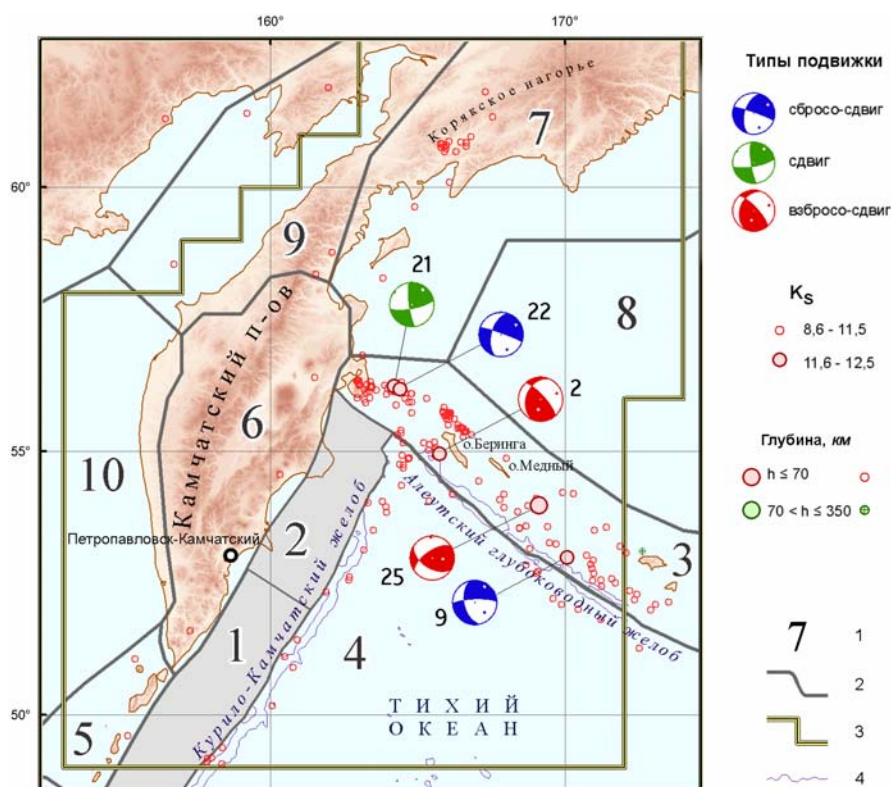


Рис. 5. Карта эпицентров землетрясений зон № 3–10 за 2008 г.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

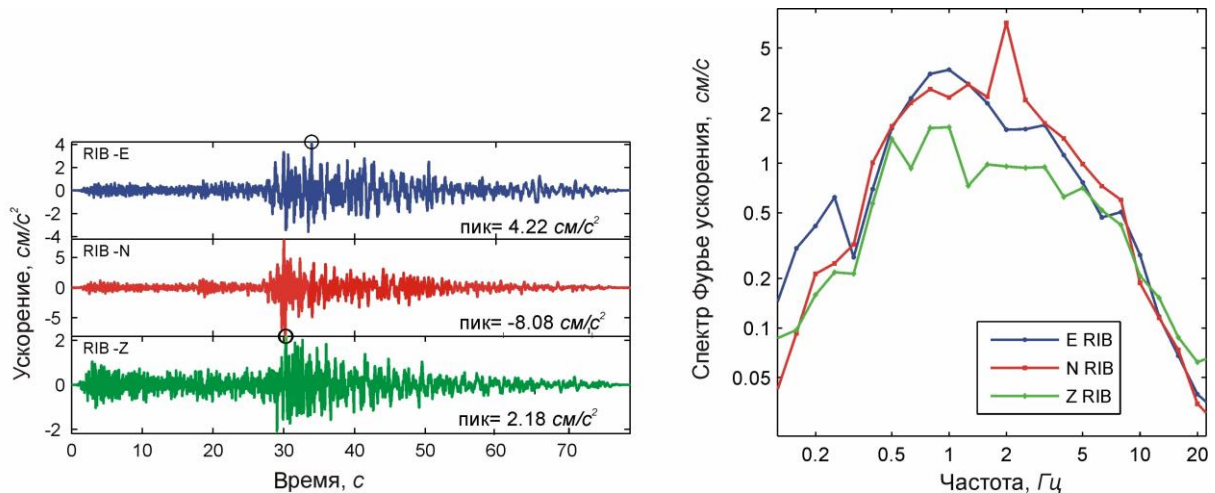


Рис. 6. Три компоненты ускорения грунта от землетрясения 24 июля в 01^h43^m с $M_w=6.2$ и его сглаженные амплитудные спектры Фурье по записям станции «Рыбачий» (RIB) на каналах HNE, HNN, HNZ

Л и т е р а т у р а

1. Матвеев Е.А., Митюшкина С.В., Иванова Е.И., Чеброва А.Ю., Левина В.И., Ландер А.В., Чебров В.Н., Гусева Е.М. Камчатка и Командорские острова // Землетрясения Северной Евразии, 2006 год. – Обнинск: ГС РАН, 2012. – С. 195–213.
2. Чебров В.Н., Матвеев Е.А., Митюшкина С.В., Иванова Е.И., Левина В.И., Ландер А.В., Шевченко С.А., Гусева Е.М. Камчатка и Командорские острова // Землетрясения Северной Евразии, 2007 год. – Обнинск: ГС РАН, 2013. – С. 202–214.
3. Федотов С.А., Зобин В.М., Гордеев Е.И., Иванова Е.И., Лепская Т.С., Митякин В.П., Синельникова Л.Г., Чиркова В.Н. Землетрясения Камчатки и Командорских островов // Землетрясения в СССР в 1985 году. – М.: Наука, 1988. – С. 155–169.
4. Гусев А.А. Определение гипоцентров близких землетрясений Камчатки на ЭВМ // Вулканология и сейсмология. – 1979. – № 1. – С. 74–81.
5. Федотов С.А. Энергетическая классификация Курило-Камчатских землетрясений и проблема магнитуд. – М.: Наука, 1972. – 117 с.
6. Дрознин Д.В., Дрознина С.Я. Интерактивная программа обработки сейсмических сигналов DIMAS // Сейсмические приборы. – 2010. – 46. – № 3. – С. 22–34.
7. Чеброва А.Ю., Матвеев Е.А., Шевченко Н.А. (отв. сост.), Бахтиарова Г.М., Митюшкина С.В., Пархоменко С.А., Пилипенко Л.В., Раевская А.А. Каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов за 2008 г. ($N=822$). (См. Приложение к наст. сб. на CD).
8. Bulletin of the International Seismological Centre for 2008. – Thatcham, United Kingdom: ISC, 2010. – URL: <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/>.
9. Митюшкина С.В. (отв. сост.), Раевская А.А. Макросейсмический эффект ощутимых землетрясений ($N=56$) в населенных пунктах Камчатки и Командорских островов в 2008 г. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
10. Левина В.И., Митюшкина С.В., Чеброва А.Ю., Иванова Е.И. Тумрокское-I землетрясение 16 июня 2003 г. с $M_w=6.9$, $I_0=6$ и Тумрокское-II землетрясение 10 июня 2004 г. с $M_w=6.8$, $I_0=5-6$ (Камчатка) // Землетрясения Северной Евразии, 2004 г. – Обнинск: ГС РАН, 2010. – С. 314–323.
11. Чеброва А.Ю., Митюшкина С.В., Иванова Е.И., Гусева Е.М. Охотоморское-I землетрясение 5 июля 2008 г. с $M_w=7.7$, $I_0=5$ и Охотоморское-II землетрясение 24 ноября 2008 г. с $M_w=7.3$, $I_0=5$ (Охотское море). (См. раздел III (Сильные и ощутимые землетрясения) в наст. сб.).
12. Иванова Е.И. (отв. сост.). Каталог механизмов очагов землетрясений Камчатки и Командорских островов за 2008 г. ($N=33$). (См. Приложение к наст. сб. на CD).

13. **Комплексные сейсмологические и геофизические исследования Камчатки и Командорских островов** (отчет за 01.01.2003–31.12.2003). – Петропавловск-Камчатский: Фонды КФ ГС РАН, 2004. – 350 с.
14. **Комплексные сейсмологические и геофизические исследования Камчатки и Командорских островов** (отчет за 01.01.2005–31.12.2005). – Петропавловск-Камчатский: Фонды КФ ГС РАН, 2006. – 478 с.
15. **Левина В.И., Ландер А.В., Митюшкина С.В., Чеброва А.Ю.** Сейсмичность Камчатского региона 1962–2011 гг. // Вулканология и сейсмология. – 2013. – № 1. – С. 41–64.
16. **Левина В.И., Чеброва А.Ю., А.В. Ландер, Иванова Е.И., Митюшкина С.В., Титков Н.Н.** Командорское-II землетрясение 5 декабря 2003 г. с $MS=6.8$, $I_0=7$ (Командорские острова) // Землетрясения Северной Евразии, 2003 г. – Обнинск: ГС РАН, 2009. – С. 374–381.
17. **Левина В.И., Ландер А.В., Митюшкина С.В., Иванова Е.И., Титков Н.Н.** Олюторское землетрясение 20 апреля 2006 г. с $M_w=7.6$. // Землетрясения Северной Евразии, 2006 г. – Обнинск: ГС РАН, 2012. – С. 314–329.
18. **Детальные сейсмологические исследования Камчатки и Командорских островов** (01.01.–31.12.1998 г., г. Петропавловск-Камчатский. Петропавловск-Камчатский: Фонды КФ ГС РАН, 1999. – 259 с.
19. **Гусев А.А., Петухин А.Г., Гусева Е.М., Гордеев Е.И., Чебров В.Н.** Средние спектры Фурье сильных движениях грунта при землетрясениях Камчатки // Вулканология и сейсмология. – 2006. – № 5. – С. 60–70.