

## КАМЧАТКА И КОМАНДОРСКИЕ ОСТРОВА

В.Н. Чебров<sup>1</sup>, Е.А. Матвеев<sup>1</sup>, С.В. Митюшкина<sup>1</sup>, Е.И. Иванова<sup>1</sup>,В.И. Левина<sup>2</sup>, А.В. Ландер<sup>3</sup>, С.А. Шевченко<sup>1</sup>, Е.М. Гусева<sup>1</sup><sup>1</sup> Камчатский филиал ГС РАН, Петропавловск-Камчатский, [van@emsd.ru](mailto:van@emsd.ru)<sup>2</sup> Геофизическая служба РАН, г. Обнинск, [vlr.levina@gmail.com](mailto:vlr.levina@gmail.com)<sup>3</sup> Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН, г. Москва, [land@mitp.ru](mailto:land@mitp.ru)

В 2007 г. продолжилась работа по модернизации сети сейсмических станций Камчатки [1, 2]. В августе установлены две новые станции «Безымянный-Грива» (BZGR) и «Безымянный-Запад» (BZWR) (табл. 1, 2), переоборудована станция «Оссора»-(OSS), на которой велосиметр CM-3 заменен на велосиметр CM-3-OC, что привело к изменению типа каналов с SH(N, E, Z) на BH(N, E, Z). В октябре были развернуты пять новых пунктов регистрации сильных землетрясений («НИГТЦ»)-(НИ), «Николаевка»-(НИС), «Рыбачий»-(РИБ), «Школа»-(SCH), «Вилючинск»-(ВИЛ)) и переоборудованы станции «Институт»-(INSR), где к уже имеющемуся оборудованию добавлены широкополосный велосиметр и акселерометр [3], и «Паужетка»-(PAU), на которой дополнительно установлен акселерометр. В декабре была переоборудована станция «Беринг»-(ВКИ), где установлен акселерометр и заменен велосиметр с датчиком CM-3-OC на велосиметр с датчиком CMG-3ТВ. Сведения о сейсмических станциях Камчатки, установленных до 2007 г., приведены в [4]. Параметры новых и модернизированных станций даны в табл. 1, 2.

**Таблица 1.** Параметры сейсмических станций Камчатки, установленных и модернизированных в 2007 г.

Станция Название	Код		Дата открытия	Координаты			Аппаратура
	межд.	рег.		$\varphi^\circ, N$	$\lambda^\circ, E$	$h_y, м$	
Безымянный-Запад	BZWR	BZW	13.08.2007	55.965	160.496	1624	Телеметрия
Безымянный-Грива	BZGR	BZG	19.08.2007	55.940	160.696	1152	Телеметрия
Беринг	BKI	BKI	20.11.1962	55.1940	165.9840	15	GSR-24 – цифровая
Вилючинск		VIL	01.10.2007	52.9310	158.4045	40	GSR-24 – цифровая
Институт	INSR	INS	20.11.1981	53.0665	158.6086	170	Телеметрия, GSR-24 – цифровая
НИГТЦ		НИ	01.10.2007	53.0803	158.6407	190	GSR-24 – цифровая
Николаевка		НИС	01.10.2007	53.0456	158.3409	25	GSR-24 – цифровая
Оссора	OSSR	OSS	02.06.1968	59.2650	163.0820	20	СЦСС – цифровая
Паужетка	PAU	PAU	30.04.1961	51.4680	156.8150	130	СЦСС, GSR-24
Рыбачий		РИБ	01.10.2007	52.9182	158.5330	100	GSR-24 – цифровая
Школа		SCH	01.10.2007	52.9583	158.6743	70	GSR-24 – цифровая

**Таблица 2.** Данные об аппаратуре цифровых и телеметрических станций Камчатки, установленных и модернизированных в 2007 г.

Название станции	Тип датчика	Перечень каналов	Частотный диапазон, Гц	Частота опроса данных, Гц	Разряд- ность АЦП	Чувствительность, велосиграф – отсчет/(м/с), акселерограф – отсчет/(м/с <sup>2</sup> )
Безымянный-Запад	CM-3	SH (N, E, Z) v	0.7–20	128	11	$2.0 \cdot 10^7$
Безымянный-Грива	CM-3	SH (N, E, Z) v	0.7–20	128	11	$2.0 \cdot 10^7$
Беринг	CMG-3ТВ	BH (N, E, Z) v	0.0083–40	100	24	$2.0 \cdot 10^8$
	CMG-5Т	HN (N, E, Z) a	0–40	100	24	$5.0 \cdot 10^5$

Название станции	Тип датчика	Перечень каналов	Частотный диапазон, Гц	Частота опроса данных, Гц	Разрядность АЦП	Чувствительность, велосигграф – отсчет/(м/с), акселерограф – отсчет/(м/с <sup>2</sup> )
Вилючинск	CMG-5T	HN (N, E, Z) a	0–40	100	24	5.0·10 <sup>5</sup>
Институт	СКД	LH (N, E, Z) x	0.04–1	128	11	5.0·10 <sup>5</sup>
	CMG-3T	BH (N, E, Z) v	0.0083–40	100	24	2.0·10 <sup>8</sup>
	CMG-5T	HN (N, E, Z) a	0–40	100	24	5.0·10 <sup>5</sup>
НИГТЦ	CMG-5T	HN (N, E, Z) a	0–40	100	24	5.0·10 <sup>5</sup>
Николаевка	CMG-5T	HN (N, E, Z) a	0–40	100	24	5.0·10 <sup>5</sup>
Оссора	CM-3-OC	BH (N, E, Z) v	0.02–7	100	24	3.0·10 <sup>9</sup>
Паужетка	CMG-5T	HN (N, E, Z) a	0–40	100	24	5.0·10 <sup>5</sup>
Рыбачий	CMG-5T	HN (N, E, Z) a	0–40	100	24	5.0·10 <sup>5</sup>
Школа	CMG-5T	HN (N, E, Z) a	0–40	100	24	5.0·10 <sup>5</sup>

Расчетный уровень надежной регистрации землетрясений на сейсмоактивной территории Камчатки в 2007 г. практически не изменился, по сравнению с таковым в 2006 г. [4], и составляет  $K_{\min}=8.5$  для наиболее активной территории и  $K_{\min}=9.5$  для всего региона внутри границ ответственности региональной сети (рис. 1).

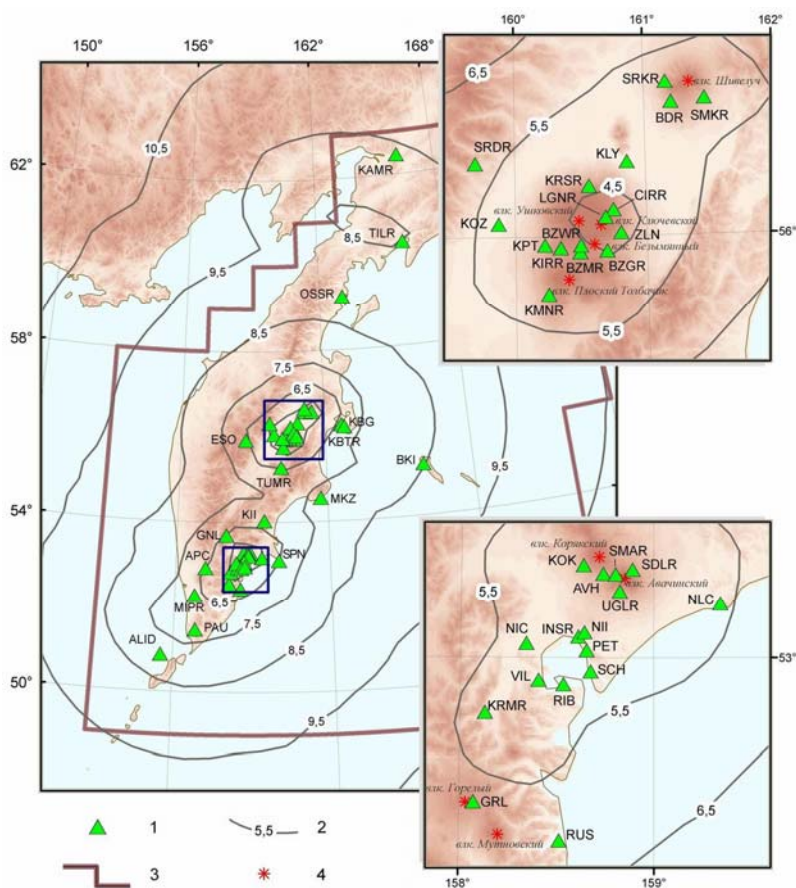


Рис. 1. Карта энергетической представительства землетрясений  $K_{\min}$  и сеть сейсмических станций Камчатки в 2007 г.

1 – сейсмическая станция; 2 – изолиния  $K_{\min}$ ; 3 – граница зоны ответственности региональной сети КФ ГС РАН; 4 – вулкан.

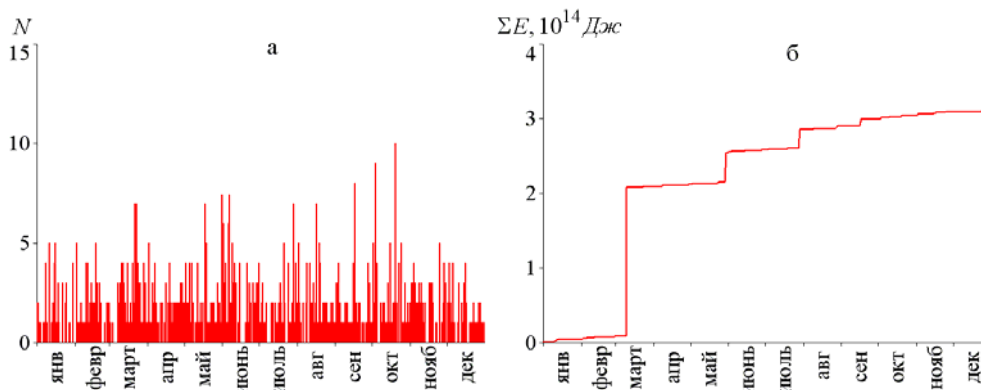
Методика определения параметров землетрясений, изложенная в [5–7], не изменилась. Обработка сигналов цифровых сейсмических станций производится при помощи пакета программ DIMAS [8].

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

**Таблица 3.** Распределение числа землетрясений по энергетическим классам  $K_S$  и суммарная сейсмическая энергия  $\Sigma E$  в 2007 г.

$K_S$	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	$N_S$	$\Sigma E, 10^{14} \text{ Дж}$
$N_{\text{всего}}$	29	256	1369	1928	1148	488	205	61	26	3	2	5515	3.15
$N_{\text{зона отв}}$	29	256	1369	1928	1141	465	190	55	25	3	2	5463	3.11

Всего в 2007 г. локализованы 5515 землетрясений с  $K_S=3.7-14.3$ , из них 785 с  $K_S \geq 8.6$  помещены в каталог [9] в наст. сб. (740 находится внутри зоны ответственности, 45 – вне). В верхней строке табл. 3 дано распределение  $N(K_S)$  всех обработанных землетрясений, в нижней – лишь внутри границ региона. Суммарная сейсмическая энергия, высвобожденная внутри границ региона, составила  $\Sigma E=3.11 \cdot 10^{14} \text{ Дж}$ , что в несколько раз ниже ее среднегодового значения ( $\Sigma E_{\text{ср}}=9.1 \cdot 10^{14} \text{ Дж}$ ) за 1962–2006 гг.



**Рис. 2.** Графики изменения во времени суточных чисел  $N$  землетрясений с  $K_S \geq 8.6$  (а) и накопленной сейсмической энергии  $\Sigma E$  (б) в 2007 г. для зоны ответственности сети КФ ГС РАН

На рис. 2 а, б представлены ежесуточные числа  $N$  землетрясений с  $K_S \geq 8.6$  и накопленной энергии  $\Sigma E$ . В день регистрируется в среднем 2–3 события. В течение года не зафиксировано значительных всплесков активности (максимальное значение  $N(t)$  не превышает 10 событий в сутки). Три наиболее заметные ступени на графике высвобожденной сейсмической энергии (рис. 2 б) вызваны отдельными сильными ( $K_S \geq 13.4$ ) событиями (5, 10, 24)<sup>1</sup>, произошедшими 10 марта в 21<sup>h</sup>12<sup>m</sup> с  $K_S=14.3$ , 30 мая в 20<sup>h</sup>22<sup>m</sup> с  $K_S=13.6$  и 29 июля в 04<sup>h</sup>54<sup>m</sup> с  $K_S=13.4$  [9]. Самая большая энергетическая ступень имеет причиной событие (5), реализовавшееся на юге Камчатского залива в поверхностном слое Северной части Камчатской сейсмофокальной зоны (№ 2) на глубине  $h=40 \text{ км}$ .

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  $B-B'$ ). Основные черты сейсмичности региона, выявленные по данным за 1962–2006 гг., сохраняются и в 2007 г. Как всегда, большинство (75%) землетрясений сосредоточено в наклонной зоне субдукции Тихоокеанской и Охотоморской плит в диапазоне глубин  $h=0-614 \text{ км}$ . Число землетрясений убывает с глубиной. Землетрясения в 2007 г. распределены вдоль фокальной зоны довольно неравномерно – наблюдаются сгущения эпицентров в Кроноцком заливе и в Тихом океане напротив Северных Курил. В северном участке сейсмофокальной зоны зарегистрировано редкое землетрясение на глубине  $h>380 \text{ км}$ . В пределах Алеутской дуги восточнее о. Медный наблюдается усиление сейсмической активности (рис. 3 а). Земная кора п-ва Камчатка в 2007 г. была относительно спокойна.

В 2007 г. зарегистрировано 31 сильное ( $K_S \geq 11.6$ ) землетрясение [9], из которых 30 входят в зону ответственности Камчатского филиала.

Ощутимых землетрясений с интенсивностью  $I$  от 2 до 5–6 баллов было 46 [9]. Наиболь-

<sup>1</sup> Номера событий здесь и далее приводятся по каталогу [9].

шая интенсивность сотрясений  $I=5-6$  баллов наблюдалась на ГМС «Семячик» и была вызвана землетрясением (23) с  $K_S=12.0$ ,  $M_w=5.0$  [9], произошедшим 16 сентября в  $20^h43^m$  в 20 км южнее Кроноцкого полуострова. Самая большая область макросейсмического проявления из-за значительной ( $h=129$  км) глубины гипоцентра наблюдалась для землетрясения (10) с  $K_S=13.6$ ,  $M_w=6.4$ , зарегистрированного на юге полуострова 30 мая в  $20^h22^m$ . Землетрясение ощущалось на восточном побережье Камчатки от мыса Лопатка до Кроноцкого полуострова и на о. Беринг, а также на восточном побережье о. Парамушир с интенсивностью сотрясений от 2 до 4–5 баллов. В г. Петропавловске-Камчатском ощущалось 20 землетрясений с интенсивностью  $I=2-4$  балла [10]. Диапазон их классов соответствует  $K_S=9.5-14.3$ . Максимальную интенсивность сотрясений  $I=4$  балла вызвало упомянутое выше землетрясение (10).

Механизмы очагов определены по знакам первых вступлений объемных волн для 30 землетрясений с  $K_S \geq 11.6$  [11] по программе FA2002 [12, 13]. Из распределения землетрясений по типам подвижек в их очагах (табл. 4) виден ежегодно преобладающий (58% событий) тип – взбросо-сдвиг. Чисто сбросовых подвижек в очагах не зафиксировано.

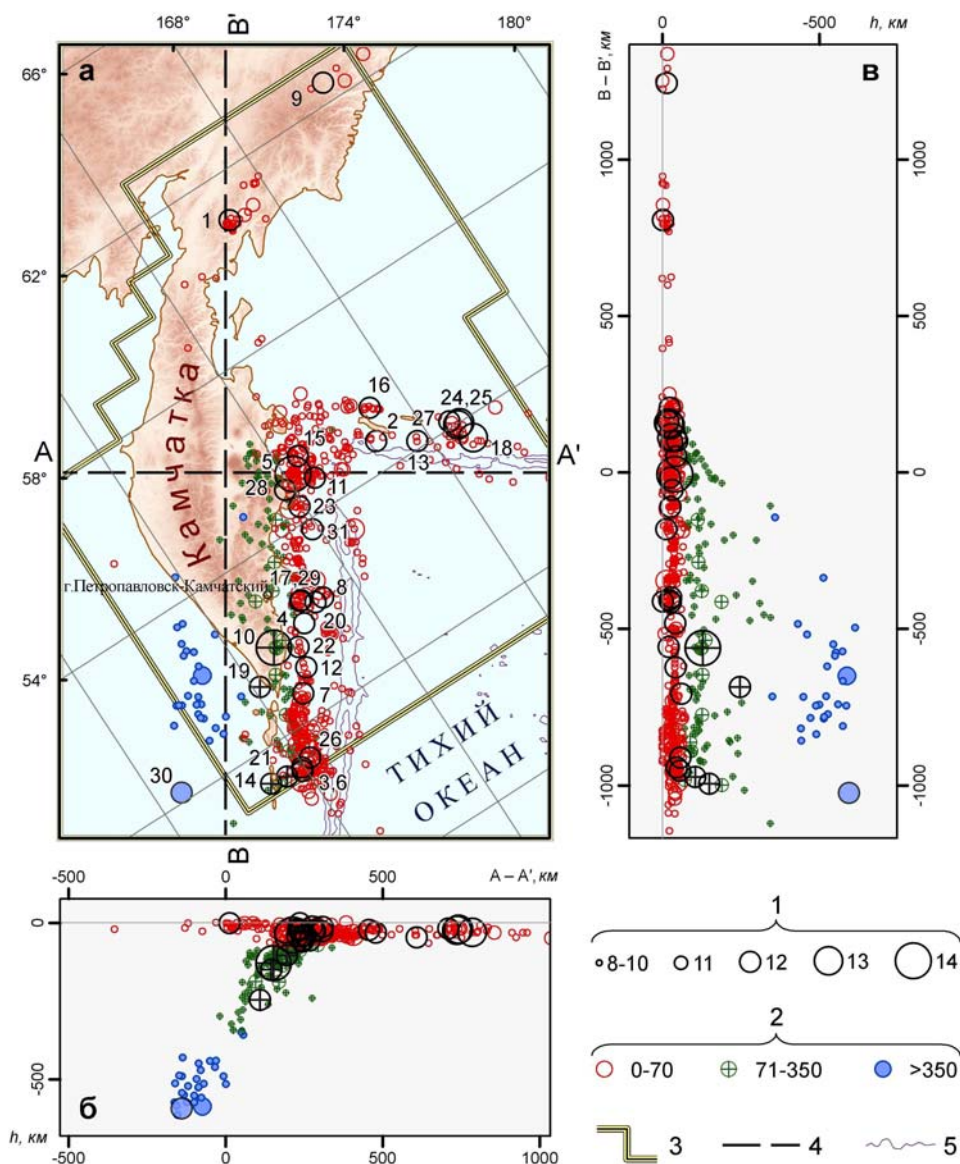


Рис. 3. Карта эпицентров землетрясений Камчатки ( $K_S \geq 8.6$ ) (а) и вертикальные разрезы по А–А' (б) и В–В' (в) за 2007 г.

1 – энергетический класс  $K_S$ ; 2 – глубина гипоцентра  $h$ , км; 3 – граница региона; 4 – линия разреза вкост ( $A-A'$ ) и вдоль ( $B-B'$ ) фокальной зоны; 5 – изобаты 6000 и 7000 м; числа 1–31 соответствуют номерам сильных ( $K_S \geq 11.6$ ) землетрясений в каталоге [9].

**Таблица 4.** Распределение землетрясений Камчатки и Командорских островов по типам подвижек в их очагах

Тип подвижки	Номера землетрясений [9]	$N_i$	$N_i/N_{\Sigma}$ , %
Сброс			
Сбросо-сдвиг	3, 8, 11, 13, 16, 19, 30	7	23
Взброс	4, 22, 28	3	10
Взбросо-сдвиг	1, 2, 5–7, 10, 14, 15, 17, 18, 20, 21, 23–27, 31	18	58
Сдвиг	9, 29	2	6
Не определен	11, 48	1	3
Сумма		31	100

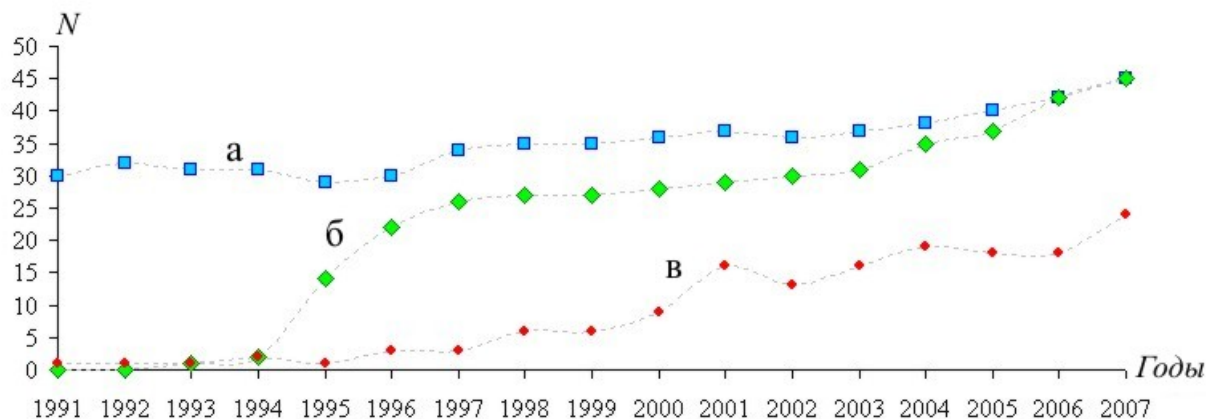
Рассмотрим особенности сейсмического процесса региона по зонам, подробное описание которых приведено в [4]. В табл. 5 представлены статистические характеристики землетрясений по зонам на двух энергетических срезах ( $K_S \geq 8.6$  и  $K_S \geq 11.6$ ), а также средние значения за весь период инструментальных наблюдений 1962–2006 гг. При этом учитывались лишь землетрясения, входящие в зону ответственности КФ ГС РАН.

**Таблица 5.** Распределение числа землетрясений с  $K_S \geq 8.6$  и  $K_S \geq 11.6$ , а также выделенной энергии по зонам за 2007 г. в сопоставлении с их средними оценками за период 1962–2006 гг.

№	Зона	Слой	Средние значения за 1962–2006 гг.				Значения за 2007 г.			
			$N$ ( $K_S \geq 8.6$ )	$N/N_{\Sigma}$ , %	$N$ ( $K_S \geq 11.6$ )	$\Sigma E$ , $10^{14}$ Дж	$N$ ( $K_S \geq 8.6$ )	$N/N_{\Sigma}$ , %	$N$ ( $K_S \geq 11.6$ )	$\Sigma E$ , $10^{14}$ Дж
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Сейсмофокальная зона Курил и Южной Камчатки	I	196	21.9	10	1.38	202	27.3	10	0.12
		II	40	4.5	2	0.14	62	8.4	4	0.45
		III	4	0.5	<1	0.04	24	3.2		<0.01
2	Северная часть Камчатской сейсмофокальной зоны	I	339	37.9	12	1.46	211	28.5	7	2.08
		IIa	85	9.5	2	2.78	56	7.6		<0.01
		IIIa	<1	<0.1	<0.1	0.02	1	0.1		<0.01
3	Командорский сегмент Алеутской дуги	I	113	12.6	5	1.29	97	13.1	7	0.39
		II	1	0.1	<0.1	<0.01	1	0.1		<0.01
4	Тихий океан	I	51	5.7	1	0.11	42	5.7		<0.01
5	Северные Курилы	I	1	0.2		<0.01	4	0.5		<0.01
6	Континентальные области Камчатки	I	42	4.8	<1	0.12	3	0.4		<0.01
7	Корякский сейсмический пояс	I	19	2.1	<1	1.85	34	4.6	2	0.04
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	1	0.1		<0.01
	Всего		894	100	33	9.2	740	99.9	30	3.1

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 отличные от других зон границы промежуточного ( $70 < h \leq 380$  км) и глубокого ( $h > 380$  км) слоев, которые обозначаются II а и III а соответственно.

Как следует из табл. 5, число землетрясений и их энергия за анализируемый год близки к соответствующим среднестатистическим оценкам распределения числа землетрясений и выделенной энергии в каждой из зон, за исключением глубокого слоя сейсмофокальной зоны Курил и Южной Камчатки, где отметим высокую сейсмическую активность относительно средних оценок. С 1996 г. наблюдается постепенный рост зарегистрированных событий в этой зоне, что возможно связано с увеличением числа цифровых станций, активно вводимых в эксплуатацию с 1995 г. (рис. 4).



**Рис. 4.** График изменения общего числа станций (а) Камчатской региональной сети, числа цифровых станций (б) и числа зарегистрированных землетрясений (в) с  $K_S \geq 8.6$  в глубоком слое сейсмофокальной зоны Курил и Южной Камчатки за 1991–2007 гг.

**Эффект группируемости землетрясений.** По данным детальных наблюдений землетрясения на Камчатке реализуются как в виде одиночных толчков, так и групп типа форшоки-афтершоки или рой. Доля группирующихся событий от общего числа землетрясений за период 1962–2006 гг. составляет 24%; для сильных ( $K_S \geq 11.6$ ) землетрясений этот эффект выше – 44%. В 2007 г. число группирующихся землетрясений незначительно ниже многолетних значений как для всех землетрясений (17%), так и для сильных (39%). Сравнительная статистика группирующихся событий с главными событиями с  $K_{max} \geq 11.6$  за 1962–2006 гг. и 2007 г. представлена в табл. 6 по наиболее сейсмоактивным зонам Камчатки. Анализ группируемости землетрясений проведен по каталогу афтершоков, предоставленному Н.М. Кравченко (КФ ГС РАН).

**Таблица 6.** Распределение числа сильных ( $K_S \geq 11.6$ ) группирующихся землетрясений по тектоно-географическим структурам Камчатки в 1962–2006 гг. и 2007 г.

№ зоны	Тектоно-географическая структура (зона)	$N_{\Sigma}$ ( $K_S \geq 11.6$ )	$N_{\Sigma гр}$ ( $K_S \geq 11.6$ )	$N_{\Sigma гр}/N_{\Sigma}$ , %	$n_{гр}$
1962–2006 гг.					
1	Сейсмофокальная зона Курил и Южной Камчатки	604	216	36	67
2	Северная часть Камчатской сейсмофокальной зоны	607	290	48	109
3	Командорский сегмент Алеутской дуги	218	106	49	37
4	Тихий океан	63	15	24	9
6	Континентальные области Камчатки	27	22	81	9
7	Корякский сейсмический пояс	38	30	79	3
	Зона ответственности КФ ГС РАН	1557	679	44	234
2007 г.					
1	Сейсмофокальная зона Курил и Южной Камчатки	15	3	20	3
2	Северная часть Камчатской сейсмофокальной зоны	7	4	57	4
3	Командорский сегмент Алеутской дуги	7	4	57	2
4	Тихий океан				
6	Континентальные области Камчатки				
7	Корякский сейсмический пояс	2	1	50	0
	Зона ответственности КФ ГС РАН	31	12	39	9

Примечание.  $N_{\Sigma}$  – общее число землетрясений в зоне;  $N_{\Sigma гр}$  – общее число группирующихся землетрясений;  $n_{гр}$  – число групп, зафиксированных в зоне (в зонах №№ 5, 8–10 группирующихся землетрясений с  $K_S \geq 11.6$  зафиксировано не было).

Как следует из табл. 6, для периода 1962–2006 гг. доля сильных группирующихся землетрясений максимальна в зоне Континентальные области Камчатки и чуть меньше в Корякском

сейсмическом поясе, что является характерной особенностью этих зон. Высокий процент групповых землетрясений для Корякского сейсмического пояса, возможно, связан с отсутствием сети, позволяющей регистрировать слабые землетрясения. В остальных зонах степень группировки не превышает 50%.

Статистика группирующихся землетрясений в 2007 г. несколько отличается от многолетней. Корякский сейсмический пояс и зона Курил и Южной Камчатки показывают в полтора раза меньшую долю группируемых событий. В зонах Континентальные области Камчатки и Тихий океан наблюдается значительное снижение сейсмической активности – здесь не было зафиксировано ни одного землетрясения с  $K_S \geq 11.6$  и, как следствие, отсутствуют группы землетрясений, содержащие сильные события (табл. 6). Список главных толчков групп в 2007 г. по зонам представлен в табл. 7.

Таблица 7. Основные сведения о группах землетрясений с  $K_{max} \geq 11.6$ , отмеченных в 2007 г.

Зона	№	Начало группы		Параметры максимального события					Параметры группы				
		Дата, д м	$t_0$ , ч мин с	$K_{max}$	$M_w$	$MPSP$	$h$ , км	№ [9]	$N$ (все)	$N$ ( $K_S \geq 8.6$ )	$\Sigma E$ , $10^{14}$ Дж	$h$ , км	№ [9]
<i>l</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Сейсмофокальная зона Курил и Южной Камчатки	1	08.04	03 22 02	12.3	5.0	5.3	56.2	6	16	12	0.02	18–87	6
	2	30.05	20 22 12	13.6	6.4	6.2	129.4	10	26	5	0.40	114–129	10
	3	17.11	17 16 39	12.4	5.0	5.3	2.2	29	40	1	0.03	2–2	29
Северная часть Камчатской сейсмофокальной зоны	4	10.03	21 12 58	14.3	5.8	6.2	40	5	119	26	2.00	9–62	5
	5	01.06	11 51 31	11.9	5.0	5.0	24.9	11	39	16	<0.01	12–32	11
	6	16.09	20 43 07	12	5.0	5.4	26.2	23	14	1	0.01	26–26	23
	7	24.12	07 42 01	12		5.1	13	31	5	1	0.01	13–13	31
Командорский сегмент Алеутской дуги	8	04.07	17 34 46	11.8	4.8	5.1	23.9	16	21	10	<0.01	14–24	16
	9	17.09	00 35 19	12.6	5.4	5.3	24.5	25	10	10	0.10	16–40	24, 25, 27

Примечание. В графах 5, 6 даны магнитуды  $M_w$ (GCMТ) [14] и  $MPSP$ (MOS) [15] соответственно; в графах 9, 10 приводятся числа землетрясений в группе, всех и с  $K_S \geq 8.6$  соответственно.

Далее рассмотрим сейсмичность по отдельным зонам.

**Сейсмофокальная зона Курил и Южной Камчатки (№ 1)** является наиболее активной по числу землетрясений с  $K_S \geq 8.6$  ( $N_{\Sigma} = 288$ ), это 39% от общего числа ( $N_{\Sigma} = 740$ ) землетрясений с  $K_S \geq 8.6$  (табл. 5), зарегистрированных в зоне ответственности. События распределились по трем глубинным слоям следующим образом: поверхностные –  $N = 202$  (27.3%), промежуточные –  $N = 62$  (8.4%), глубокие –  $N = 24$  (3.2%). Зафиксировано 15 землетрясений с  $K_S \geq 11.6$  (3, 4, 6, 7, 10, 12, 14, 17, 19–22, 26, 29, 30), что близко к среднегодовому значению, но, несмотря на это, величина суммарной выделившейся энергии ( $\Sigma E = 0.57 \cdot 10^{14}$  Дж) уступает долговременному среднему значению более чем в два раза (табл. 5). Три землетрясения (6, 10, 29) реализовались в составе групп, остальные являются одиночными (табл. 6, 7).

Всего в зоне № 1 произошло 20 ощутимых землетрясений с интенсивностью сотрясений  $I$  от 2 до 4–5 баллов [9].

Карта эпицентров землетрясений, а также диаграммы механизмов очагов в проекции нижней полусферы с указанием типа подвижки показаны на рис. 5.

Самым сильным в этой зоне было событие (10), произошедшее 30 мая в 20<sup>h</sup>22<sup>m</sup> в промежуточном слое с  $K_S = 13.6$ ,  $M_w = 6.4$ ,  $h = 129$  км. Эпицентр землетрясения находился в районе влк. Ходутка. За ним последовал рой из 26 землетрясений с  $K_S = 6.2–10.7$  и  $h = 114–129$  км, пять из которых с  $K_S \geq 8.6$  представлены в [9]. Эпицентральная зона роя смещена относительно главного события в восточном направлении. Суммарная сейсмическая энергия роя составила  $\Sigma E = 0.2 \cdot 10^{13}$  Дж. Тип подвижки в очаге – взбросо-сдвиг. Нодальная плоскость  $NPI$  круто ( $DP = 81^\circ$ ) падает на запад, по ней наблюдается взброс с компонентой сдвига. Вторая – пологая ( $DP = 14^\circ$ ) нодальная плоскость – простирается на северо-восток, по ней произошла сдвиговая подвижка.

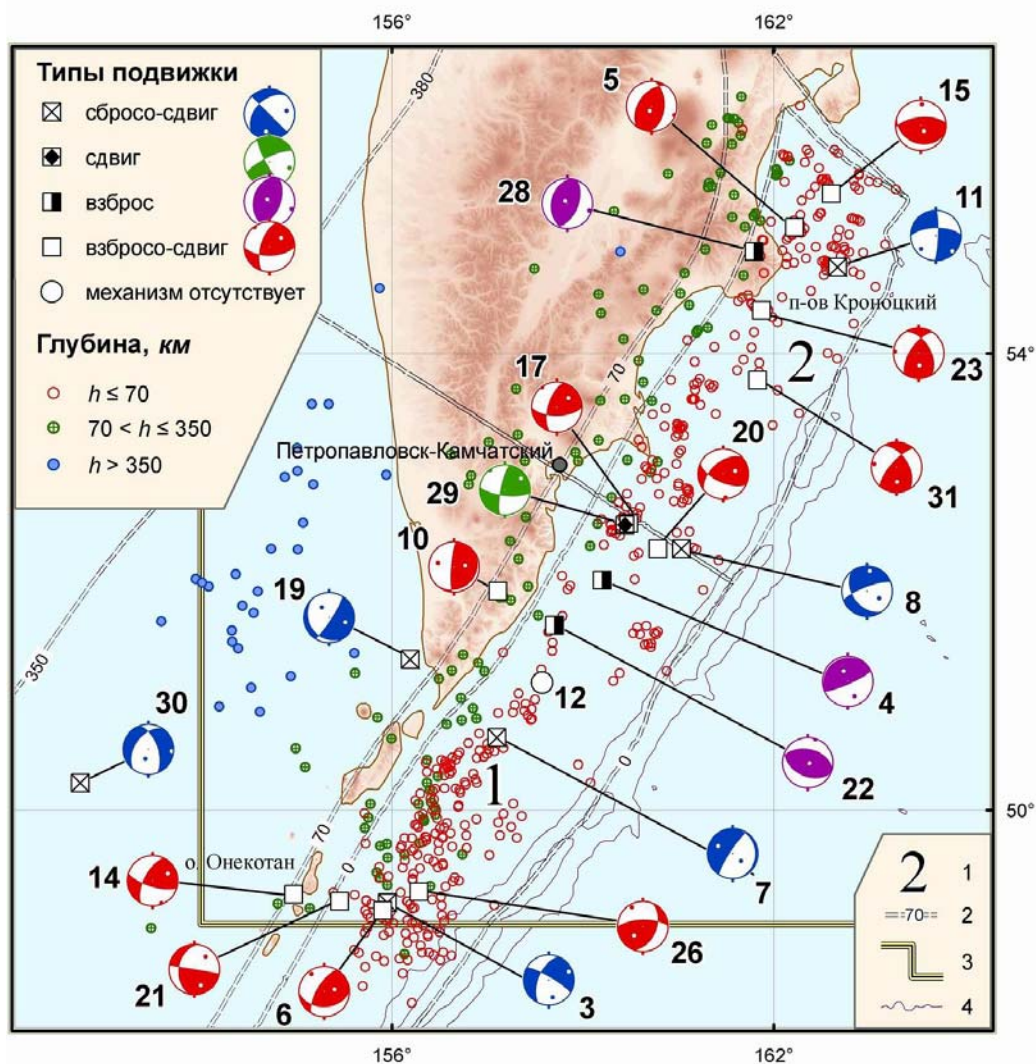


Рис. 5. Карта эпицентров и диаграммы механизмов очагов землетрясений Курило-Камчатской зоны субдукции (зоны 1 и 2) за 2007 г.

1 – номер зоны [4]; 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 диаграммы механизма очага соответствует номеру землетрясения в каталоге [9].

Землетрясение (10) вызвало сотрясения в населенных пунктах Камчатки и Курильских островов, интенсивность которых достигала 4–5 баллов (табл. 8). Отсутствие населенных пунктов на юге Камчатки не позволяет составить детальную картину макросейсмических проявлений землетрясения, произошедшего в промежуточном слое сейсмофокальной зоны. Тем не менее имеющиеся данные могут дать некоторое представление о его макросейсмическом поле (рис. 6). Максимальные сотрясения наблюдались в северо-восточном секторе от эпицентра на расстоянии  $\Delta=31$ – $290$  км, в то время как на западном побережье на более близких расстояниях ( $\Delta=77$ – $139$  км) землетрясение не ощущалось совсем. Интересны данные, полученные из пунктов Никольское ( $\Delta=660$  км) и Северо-Курильск ( $\Delta=177$  км), где были зафиксированы значительные для таких расстояний сотрясения ( $I=3$ – $4$  и  $I=4$ – $5$  баллов соответственно). Недостаточное количество данных не дает возможности сделать вывод о смещении макросейсмического эпицентра относительно инструментального, но полученное макросейсмическое поле похоже на то, что наблюдалось при Тумрокских землетрясениях 2003–2004 гг. [16]. Статистика ощутимых землетрясений из промежуточного слоя сейсмофокальной зоны довольно малочисленна, поэтому любое событие, для которого удастся собрать макросейсмические данные, является важным для понимания особенностей макросейсмического поля таких землетрясений.



Таблица 8. Макросейсмические данные о землетрясении 30 мая 2007 г. с  $K_S=13.6$ ,  $M_w=6.4$

№	Пункт	$\Delta$ , км	№	Пункт	$\Delta$ , км
	<u>4–5 баллов</u>		14	Петропавловск	140
1	ГМС Водопадная	31	15	Никольское	660
2	Маяк Круглый	47		<u>3 балла</u>	
3	Северо-Курильск	177	16	Апача	118
	<u>4 балла</u>		17	Паратунка	124
4	МГеоЭС-1	74	18	Елизово	150
5	р. Карымшина (стационар КФ ГС)	106	19	Мыс Шипунский	207
6	Вилючинск	123	20	РНС Подгорная	243
7	Рыбачий	127		<u>2 балла</u>	
8	Маяк Петропавловский	134	21	Мыс Лопатка	136
9	Начики	134		<u>Не ощущалось</u>	
10	Чапаевка	148	22	Паужетка	77
11	Радыгино	155	23	Октябрьский	129
12	ГМС Семячки	290	24	Усть-Большерецк	139
	<u>3–4 балла</u>				
13	Вулканный	138			

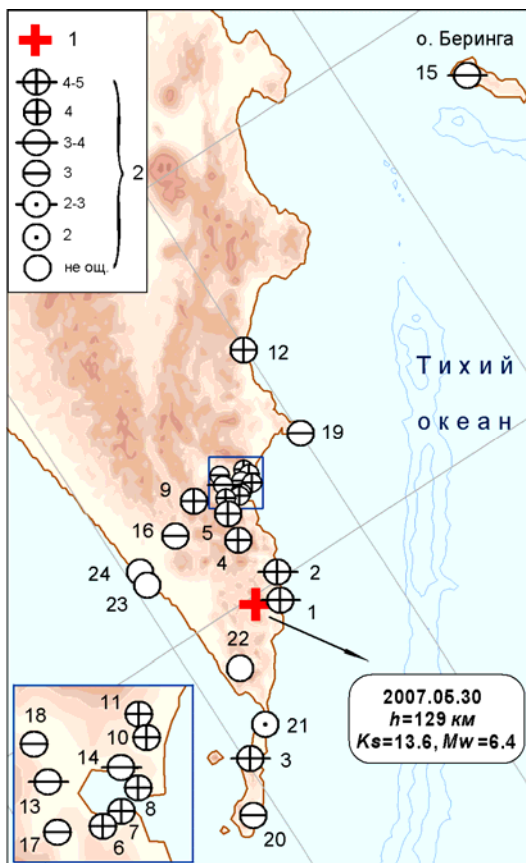


Рис. 6. Карта пунктов-баллов для землетрясения 30 мая 2007 г. с  $K_S=13.6$ ,  $M_w=6.4$

1 – инструментальный эпицентр землетрясения; 2 – интенсивность сотрясения в баллах шкалы MSK-64 [17]; номера пунктов на карте соответствуют таковым в табл. 8.

Незадолго до землетрясения (10), 23 мая в 20<sup>h</sup>57<sup>m</sup> на глубине  $h=137$  км произошло землетрясение с  $K_S=11.1$ , вызвавшее на маяке Круглом ( $\Delta=17$  км) сотрясения с интенсивностью  $I=4-5$  баллов.

Кроме группового землетрясения (10) в промежуточном слое зоны № 1 произошло еще три события. Самое глубокое ( $h=246.7$  км) в этом слое землетрясение (19) зафиксировано 8 августа в 09<sup>h</sup>09<sup>m</sup> с  $K_S=11.9$ ,  $M_w=5.1$  в Охотском море в 20 км на юго-запад от пос. Озерного (ГМС «Озерной») (рис. 5). Механизм землетрясения соответствует сбросу северо-восточного простирания с небольшой сдвиговой составляющей. Два других события: 28 июня в 20<sup>h</sup>48<sup>m</sup> с  $K_S=11.8$ ,  $h=149.9$  км (14) и 28 августа в 01<sup>h</sup>16<sup>m</sup> с  $K_S=12.4$ ,  $M_w=5.6$ ,  $h=104.9$  км (21) реализовались на самом юге региона вблизи о. Онекотан и имеют взбросо-сдвиговую дислокацию в очаге.

В поверхностном слое зоны № 1 произошло десять землетрясений (рис. 5), два из них (6, 29) образуют группы (табл. 7). Землетрясение (6), произошедшее 8 апреля в 03<sup>h</sup>22<sup>m</sup> с  $K_S=12.3$ ,  $M_w=5.0$ ,  $h=56.2$  км на юге региона, сопровождалось серией из 12 афтершоков. Главная ось сжатия механизма основного толчка субгоризонтальна и имеет северо-западное направление. Тип дислокации – взбросо-сдвиг. Аналогичную подвижку в очаге имеют землетрясения (4, 17, 20, 26, 29).

Событие (17), реализовавшееся 19 июля в 08<sup>h</sup>18<sup>m</sup> с  $K_S=11.6$ ,  $M_s=3.8$  на глубине  $h=22.8$  км на востоке Авачинского залива (рис. 5), вызвало сотрясения интенсивностью  $I=3-4$  балла на ГМС «Семячки» ( $\Delta=180$  км),  $I=2-3$  балла в г. Петропавловске-Камчатском ( $\Delta=92$  км) и пос. Рыбачьем ( $\Delta=94$  км). Спустя четыре месяца – 17 ноября в

17<sup>h</sup>16<sup>m</sup> – практически в том же месте произошло землетрясение (29) с  $K_S=12.4$ ,  $M_w=5.0$ ,  $h=2$  км, которое вызвало в г. Петропавловск-Камчатский ( $\Delta=90$  км) сотрясения интенсивностью  $I=3-4$  балла. За событием (29) последовала группа афтершоков. Эпицентральная зона для 70% событий этой группы представляет собой пятнадцатикилометровую линию, вытянутую в северо-северо-западном направлении от эпицентра главного события.

В глубоком слое зоны № 1 за пределами границ региона 12 декабря в 06<sup>h</sup>29<sup>m</sup>  $MPSP=4.7$ ,  $h=594$  км произошло землетрясение с  $K_S=12.6$  (30). Механизм очага – сбросо-сдвиг.

**В Северной части Камчатской сейсмофокальной зоны № 2** в 2007 г. произошло 268 (36.1%) землетрясений с  $K_S \geq 8.6$ , из них поверхностных –  $N=211$  (28.5%), промежуточных –  $N=56$  (7.6%) и одно в глубоком слое. Семь сильных событий (5, 8, 11, 15, 23, 28, 31) с  $K_S \geq 11.6$  расположились в поверхностном слое зоны (рис. 5). Зарегистрировано 17 ощутимых землетрясений с  $K_S=9.8-14.3$  и интенсивностью сотрясений от 2–3 до 5–6 баллов. Доля группирующихся событий в зоне № 2 составила 57% от общего числа землетрясений с  $K_S \geq 11.6$  (табл. 6).

В глубоком слое зоны № 2, как уже было отмечено выше, 5 мая в 20<sup>h</sup>36<sup>m</sup> произошло редкое для региона землетрясение с  $h=513$  км. За период 1962–2006 гг. было отмечено всего четыре таких события.

Самое сильное ( $K_S=14.3$ ,  $M_w=5.8$ ) землетрясение (5) в этой зоне реализовалось 10 марта в 21<sup>h</sup>12<sup>m</sup> с  $h=40$  км. Оно было локализовано на юге Камчатского залива. Событие имело макросейсмические проявления в населенных пунктах восточного побережья Камчатки от Камчатского до Авачинского заливов. На маяке Кроноцком ( $\Delta=42$  км), а также в Усть-Камчатске ( $\Delta=124$  км) интенсивность сотрясений достигала  $I=4-5$  баллов. Землетрясение (5) сопровождалось афтершоковым процессом – до конца года зафиксировано 119 толчков с  $K_S=5.8-11.2$ , из них 25 имеют  $K_S \geq 8.6$  [9].

Механизм очага землетрясения (5) – взбросо-сдвиг, обе нодальные плоскости простираются в северо-восточном направлении. Аналогичный механизм реализовался в очагах землетрясений (23, 28, 31).

Самые сильные макросейсмические проявления были зарегистрированы у события (23) с  $K_S=12.0$ ,  $M_w=5.0$ ,  $h=26$  км, произошедшего 16 сентября в 20<sup>h</sup>43<sup>m</sup> в 20 км южнее Кроноцкого полуострова. Интенсивность сотрясений достигала  $I=5-6$  баллов на ГМС «Семячки» ( $\Delta=123$  км),  $I=5$  баллов на ГМС «Кроноки» ( $\Delta=51$  км),  $I=3-4$  балла на маяке Кроноцком ( $\Delta=46$  км).

Тип движений, наблюдаемый в очагах землетрясений поверхностного слоя в зонах 1, 2, неоднородный. Типичные для зоны субдукции движения – сжатие под действием близгоризонтальных сил, направленных вкост простираения сейсмофокальной зоны, наблюдаются в очагах десяти событий (4–6, 17, 20, 23, 26, 27, 29, 31) из 16. Иное направление простираения возможных плоскостей разрыва или сжимающих напряжений, полученное для событий (3, 7, 8, 11, 15, 22) может быть связано с неоднородностью структур района.

**В Командорском сегменте Алеутской дуги (зона № 3)** произошло 98 землетрясений с  $K_S \geq 8.6$ , семь событий имеют  $K_S \geq 11.6$  (рис. 7), три из них (2, 13, 18) – одиночные, а четыре (16, 24, 25, 27) – входят в состав групп. Следует отметить сейсмическую активизацию, реализовавшуюся юго-восточнее о. Медный. Началом ее явилось землетрясение (18) – сильнейшее ( $K_S=13.4$ ,  $M_w=5.9$ ) в зоне № 3 в 2007 г., произошедшее 29 июля в 04<sup>h</sup>54<sup>m</sup> с  $h=31$  км. Через полтора месяца в этом же районе был зафиксирован интенсивный рой землетрясений, в состав которого входят 10 землетрясений с  $K_S \geq 8.6$ , три из них (24, 25, 27) имеют  $K_S \geq 11.6$ .

Практически во всех очагах землетрясений, для которых определены механизмы [11], наблюдаются подвижки типа правосторонний сдвиг по плоскостям, субпараллельным простираению Алеутского глубоководного желоба (рис. 7), что согласуется с предполагаемой моделью скольжения на северо-запад Командорского блока, параллельно движению Тихоокеанской плиты [18].

Три землетрясения ощущались в населенных пунктах Камчатского края. Максимальные сотрясения с интенсивностью  $I=4$  балла в пос. Никольское ( $\Delta=45$  км) вызвало землетрясение (16) с  $K_S=11.8$ ,  $M_w=4.8$ , произошедшее 4 июля в 17<sup>h</sup>34<sup>m</sup>.

**В Тихом океане (зона № 4)** произошло 42 землетрясения с  $K_S \geq 8.6$ , событий с  $K_S \geq 11.6$  зарегистрировано не было (табл. 5).

**В Корьякском сейсмическом поясе (зона № 7)** зарегистрировано 272 события, из них 35 землетрясений с  $K_S \geq 8.6$  включены в каталог [9]. Активность очага Олюторского землетрясения 2006 г. [19] заметно снизилась, тем не менее 86% ( $N=235$ ) событий в зоне являются про-

должением афтершоковой серии (рис. 7). В 2007 г. эта серия дала 5 ощутимых событий с интенсивностью  $I=2-5$  баллов. Событие 11 января в  $04^{\text{h}}27^{\text{m}}$  с  $K_S=12.4$ ,  $M_w=5.0$ ,  $h=1.5$  км (1) ощущалось в пос. Тиличики ( $\Delta=56$  км) с интенсивностью  $I=5$  баллов. Такая же интенсивность наблюдалась в пос. Хаилино ( $\Delta=15$  км) от более слабого землетрясения 28 февраля в  $19^{\text{h}}37^{\text{m}}$  с  $K_S=11.1$ ,  $h=12.2$  км.

В очаге землетрясения (1) наблюдался сдвиг с компонентами взброса (рис. 7). Обращает на себя внимание некоторая активизация северо-восточной части Корякского нагорья, где зафиксировано четыре землетрясения с  $K_S \geq 8.6$ . Одно из них – 24 мая в  $12^{\text{h}}39^{\text{m}}$  с  $K_S=12.1$ ,  $M_w=5.3$ ,  $h=13.9$  км (9) – ощущалось в г. Анадырь ( $\Delta=360$  км) с  $I=4$  балла. В очаге землетрясения (9) наблюдался правосторонний сдвиг по плоскости, ориентированной вдоль структур Корякского нагорья.

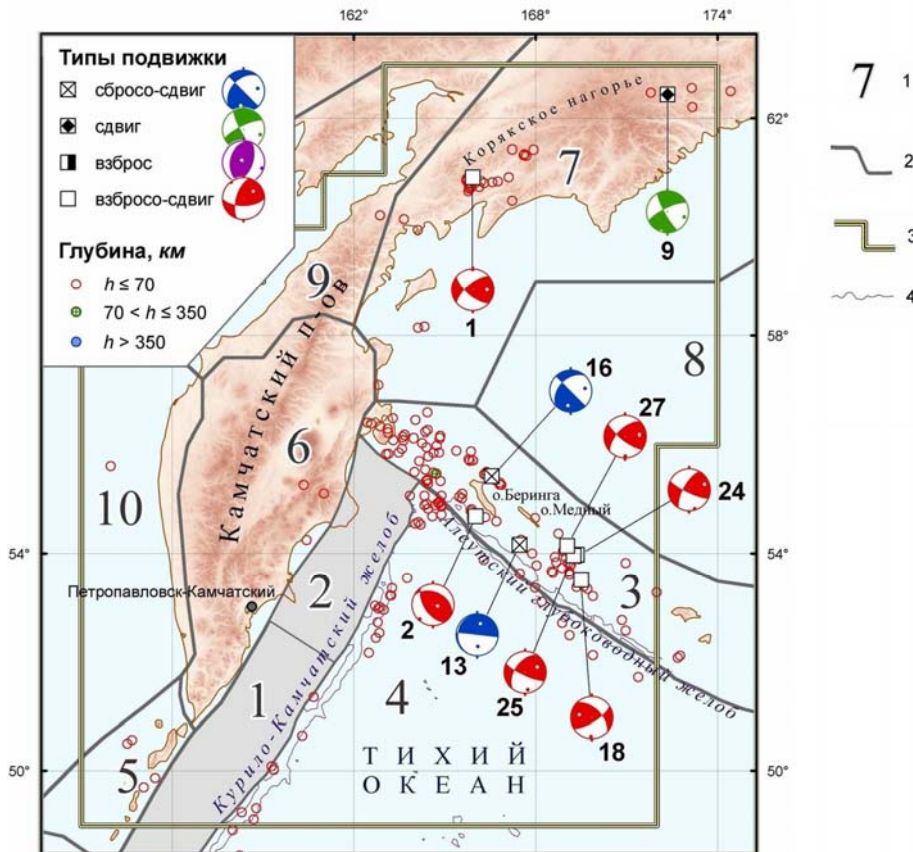


Рис. 7. Карта эпицентров землетрясений зон № 3–10 за 2007 г.

1 – номер зоны по [4]; 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 диаграммы механизма очага соответствует номеру землетрясения в каталоге [9].

Зоны № 5 (Северные Курилы), № 6 (Континентальные области Камчатки), № 9 (Залив Шелихова) и № 10 (Охотия) в 2007 г. характеризуются низким уровнем сейсмической активности (рис. 7): в них нет землетрясений с  $K_S \geq 11.6$ , а число событий с  $K_S \geq 8.6$  не превысило  $N=4$  (табл. 5). Зона № 8 (Берингово море) асейсмична (рис. 7). Подобная низкая сейсмичность является типичной для всех зон, кроме № 6, для которой она обычно несколько выше.

**Сильные движения** грунта от землетрясений в 2007 г. описаны по данным цифрового акселерографического канала низкого увеличения «LG» широкополосной цифровой сейсмостанции «Петропавловск».

В табл. 9 даны зарегистрированные максимальные ускорения и скорости грунта, скорректированные за АЧХ прибора, для всех случаев, когда хотя бы одно значение ускорения превышало  $0.5 \text{ см/с}^2$ . На рис. 8 показаны две записи (скорректированные за прибор) с наибольшими амплитудами на станции «Петропавловск», которые получены от землетрясений 10 марта (5) и 30 мая (10), и их сглаженные спектры Фурье. Спектры Фурье этих землетрясений имеют форму, характерную для Камчатских землетрясений [20].

Таблица 9. Максимальные скорости и ускорения грунта по записям землетрясений на станции «Петропавловск» за 2007 г. ( $a_{max} > 0.5 \text{ см/с}^2$ )

№	Дата, д м	$t_0$ , ч мин с	Эпицентр		$h$ , км	$\Delta$ , км	$K_S$	$M_w$ [14]	$MPSP$ [15]	$I$ , балл	Компо- нента	$v_{max}$ , см/с	$a_{max}$ , см/с <sup>2</sup>
			$\varphi^\circ$ , N	$\lambda^\circ$ , E									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	02.02	16 57 28	53.06	158.93	126	19	11.1		4.5		N	0.033	0.545
											E	0.058	0.803
											Z	0.032	1.25
2	11.02	21 02 54	52.02	159.31	41	120	11.6		5.0		N	0.037	1.26
											E	0.025	1.06
											Z	0.014	0.564
3	11.02	21 16 51	54.12	160.64	66	180	11.4		4.8		N	0.033	0.773
											E	0.035	0.632
											Z	0.021	0.414
4	10.03	21 12 58	55.11	162.33	40	334	14.3	5.8	6.2	3–4	N	0.092	1.020
											E	0.117	1.073
											Z	0.046	0.461
5	30.05	20 22 12	51.92	157.67	129	140	13.6	6.4	6.2		N	0.341	3.042
											E	0.247	2.76
											Z	0.097	2.14
6	03.07	13 07 38	53.6	159.67	115	93	11.1		4.8	2–3	N	0.021	0.328
											E	0.028	0.515
											Z	0.013	0.427
7	19.07	08 18 19	52.51	159.72	23	92	11.6		4.8	2–3	N	0.095	2.06
											E	0.075	1.39
											Z	0.025	0.636
8	17.11	17 16 39	52.5	159.66	2.2	90	12.4	5.0	5.3	3–4	N	0.031	0.747
											E	0.0269	0.767
											Z	0.017	0.506

Примечание. Макросейсмическая интенсивность указана по данным станции «Петропавловск»; в графе 7 указано эпицентральное расстояние до станции «Петропавловск».

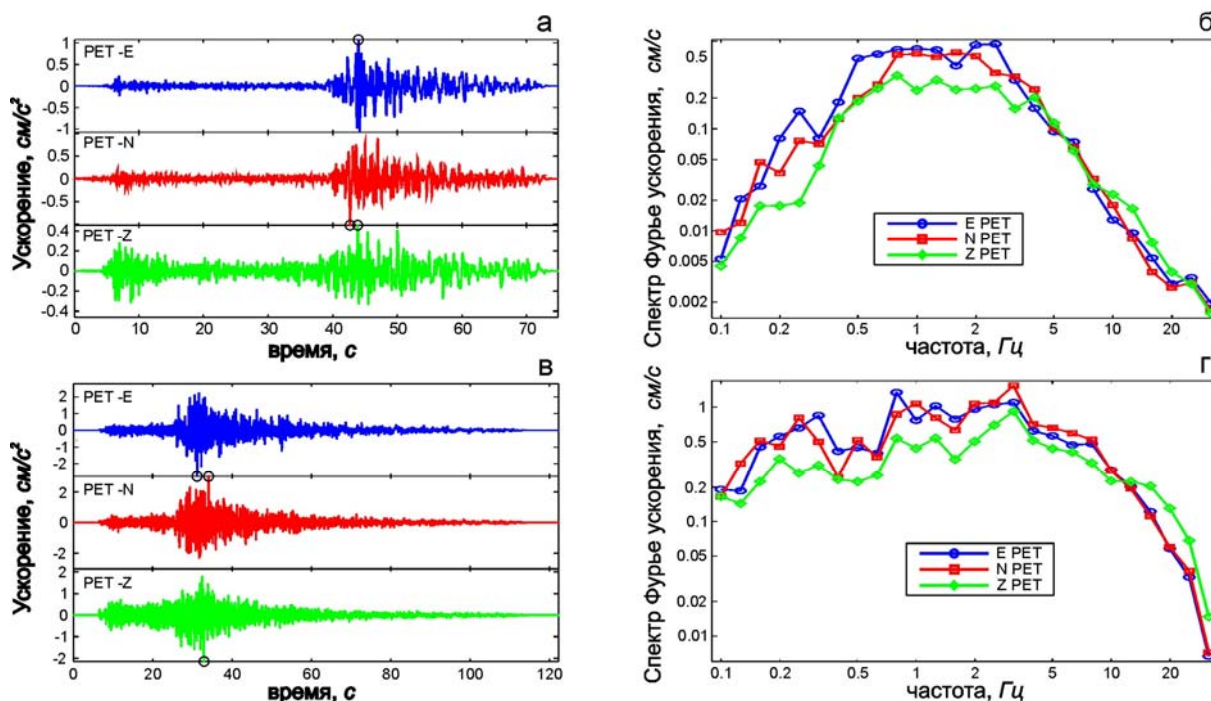


Рис. 8. Акселерограммы землетрясений 10 марта в 21<sup>h</sup> 13<sup>m</sup> (а) и 30 мая в 20<sup>h</sup> 22<sup>m</sup> (в) – слева, а их smoothed амплитудные спектры Фурье – справа, по данным широкополосной сейсмической станции «Петропавловск»

## Л и т е р а т у р а

1. **Комплексные сейсмологические и геофизические исследования Камчатки и Командорских островов** (отчет за 01.01.2007–31.12.2007). – Петропавловск-Камчатский: Фонды КФ ГС РАН, 2007. – 268 с.
2. **Чебров В.Н., Дрознин Д.В., Захарченко Н.З., Мишаткин В.Н., Сергеев В.А., Сеницын В.И., Шевченко Ю.В.** Опорная сейсмическая станция «Петропавловск» для Службы предупреждения о цунами // Сейсмические приборы. – 2010. – 6. – № 1. – С. 5–15.
3. **Комплексный сейсмический и геофизический мониторинг геодинамических процессов в зоне сочленения Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг.** (отчет по теме НИР, № государственной регистрации 01.2.006 05661). – Петропавловск-Камчатский: Фонды КФ ГС РАН, 2009. – 704 с.
4. **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 в 2006 году. – Обнинск: ГС РАН, 2012. – С. 195–213.
5. **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.
6. **Гусев А.А.** Определение гипоцентров близких землетрясений Камчатки на ЭВМ // Вулканология и сейсмология. – 1979. – № 1. – С. 74–81.
7. **Федотов С.А.** Энергетическая классификация Курило-Камчатских землетрясений и проблема магнитуд. – М.: Наука, 1972. – 117 с.
8. **Дрознин Д.В., Дрознина С.Я.** Интерактивная программа обработки сейсмических сигналов DIMAS // Сейсмические приборы. – 2010. – 46. – № 3. – С. 22–34.
9. **Левина В.И., Чеброва А.Ю., Шевченко Н.А. (отв. сост.), Бахтиарова Г.М., Карпенко Е.А., Кривогорницына Т.М., 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 2007 г. ( $N=785$ ). (См. Приложение к наст. сб. на CD).
10. **Митюшкина С.В. (отв. сост.), Раевская А.А.** Макросейсмический эффект ощутимых землетрясений в населенных пунктах ( $n=172$ ) Камчатки в 2007 г. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
11. **Иванова Е.И. (отв. сост.)**. Каталог механизмов очагов землетрясений Камчатки и Командорских островов за 2007 г. ( $N=30$ ). (См. Приложение к наст. сб. на CD).
12. **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.
13. **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.
14. **Bulletin of the International Seismological Centre for 2007.** – Thatcham, United Kingdom: ISC, 2009. – URL: <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/>
15. **Сейсмологический бюллетень (ежедекадный) за 2007 год** / Отв. ред. О.Е. Старовойт. – Обнинск: ГС РАН, 2007–2008. – URL: [ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic\\_bulletin/2007](ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_bulletin/2007).
16. **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 год. – Обнинск: ГС РАН, 2010. – С. 314–323.
17. **Медведев С.В. (Москва), Шпонхойер В. (Иена), Карник В. (Прага).** Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.
18. **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  $MS=6.8$ ,  $I_0=7$  (Командорские острова) // Землетрясения Северной Евразии, 2003 год. – Обнинск: ГС РАН, 2009. – С. 374–381.
19. **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 год. – Обнинск: ГС РАН, 2012. – С. 314–329.
20. **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.