

КАМЧАТКА И КОМАНДОРСКИЕ ОСТРОВА

В.Н. Чебров¹, Е.А. Матвеев¹, Е.И. Ромашева¹, А.Ю. Чеброва¹, С.Я. Дрознина¹,**С.В. Митюшкина¹, Е.И. Иванова¹, Е.М. Гусева¹, П.В. Воропаев¹, А.В. Ландер²**¹ Камчатский филиал ГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский, van@emsd.ru² Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН,
г. Москва, land@mitp.ru

В 2010 г. работа по модернизации сети сейсмических станций была продолжена. Мероприятия были направлены на повышение надежности работы аппаратуры существующих станций, оснащение станций новым оборудованием, а также на расширение сети регистрирующих пунктов.

В течение года были открыты четыре новые станции: «Звездный», «Автодор», «Каменская», «Маяк»; шесть станций модернизированы: «Администрация_ПК», «Дачная», «Карымшина», «Налычево», «Петропавловск», «Русская». Станция «Каменское» 6 июня 2010 г. была закрыта.

Сведения о сейсмических станциях Камчатки приведены в [1], их расположение представлено на рис. 1. 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 2010 г.

Станция			Дата открытия/ модернизации станции	Координаты			Тип аппаратуры
Название	Код			φ°, N	λ°, E	h _y , м	
	межд.	рег.					
Дачная		DCH	18.02.2010	53.058	158.639	160	Цифровая, GSR-24
Администрация_ПК		ADM	04.03.2010	53.023	158.647	5	Цифровая, GSR-24
Петропавловск	PET	PET	18.03.2010	53.023	158.65	100	Телеметрия, IRIS, GSR-24
Каменская*	KMSK	KAM, KAMR	05.07.2010	62.467	166.206	40	Цифровая, CMGCD-24
Звездный		SPZ	13.07.2010	53.056	158.666	168	Цифровая, GSR-24
Автодор		UK4	25.10.2010	56.234	162.520	5	CMG-DM24
Маяк		MPPA	18.11.2010	52.887	158.704	130	Цифровая, Wi-Fi
Русская	RUS	RUS	21.12.2010	52.432	158.513	125	Телеметрия, цифр., Wi-Fi
Карымшина	KRMR	KRM	22.12.2010	52.828	158.131	85	CMG-DM24
Налычево	NLC	NLC	24.12.2010	53.172	159.348	6	Телеметрия, цифр., Wi-Fi

Примечание. * Код станции «Каменская» менялся в течение года: (KAM) – с 05.04.2010 г. по 07.12.2011 г.; (KAMR) – с 07.12.2010 г. по 09.02.2011 г.

Таблица 2. Данные об аппаратуре цифровых и телеметрических станций, установленных и модернизированных Камчатским филиалом ГС РАН в 2010 г.

Название станции	Тип сейсмометра	Перечень каналов	Частотный диапазон, Гц	Частота опроса данных, Гц	Разряд- ность АЦП	Чувствительность, велосигграф – от- счет/(м/с), акселеро- граф – отсчет/(м/с ²)
Автодор	CMG-5TD	HN (E, N, Z) a	0–40	100	24	5.0·10 ⁵
Администрация_ПК	CMG-5TD	HN (E, N, Z) a	0–40	100	24	3.3·10 ⁵
Дачная	CMG-5T	HN (E, N, Z) a	0–40	100	24	6.3·10 ⁵
Звездный	CMG-5T	HN (E, N, Z) a	0–40	100	24	6.3·10 ⁵
Каменская	CMG-6TD	BH (E, N, Z) v	0.03–2.5	100	24	2.5·10 ⁹
Карымшина	CMG-5TD	HN (E, N, Z) a	0–40	100	24	3.2·10 ⁵
	CMG-6TD	BH (E, N, Z) v	0.033–40	100	24	2.5·10 ⁹

Название станции	Тип сейсмометра	Перечень каналов	Частотный диапазон, Гц	Частота опроса данных, Гц	Разрядность АЦП	Чувствительность, велосиграф – отсчет/(м/с), акселерограф – отсчет/(м/с ²)
Маяк	CMG-5TD	HN (E, N, Z) a	0–40	100	24	$5.0 \cdot 10^5$
Налычево	CM-3	SH (E, N, Z) v	0.7–20	128	11	$2.0 \cdot 10^7$
	CM-3-вч	EH (Z) v	4–20	128	11	$3.7 \cdot 10^8$
	CMG-5TD	HN (E, N, Z) a	0–40	100	24	$3.2 \cdot 10^5$
Петропавловск	CM-3	SH (E, N, Z) v	0.7–20	128	11	$2.0 \cdot 10^7$
	CM-3-вч	EH (Z) v	4–20	128	11	$8.0 \cdot 10^8$
	STS-1 V/VBB	BB (E, N, Z) v	0.0027–10	20	24	$1.0 \cdot 10^9$
	CMG-5T	HN (E, N, Z) a	0–40	100	24	$5.0 \cdot 10^5$
	FBA-23	HN (E, N, Z) a	0–40	80	24	$5.3 \cdot 10^4$
	GS-13	SH (E, N, Z) v	0.7–20	40	24	$4.0 \cdot 10^9$
	CM-3	SH (E, N, Z) v	0.7–20	128	11	$1.1 \cdot 10^7$
	CM-3-вч	EH (Z) v	4–20	128	11	$7.5 \cdot 10^8$
Русская	CMG-5TD	HN (E, N, Z) a	0–40	100	24	$3.2 \cdot 10^5$

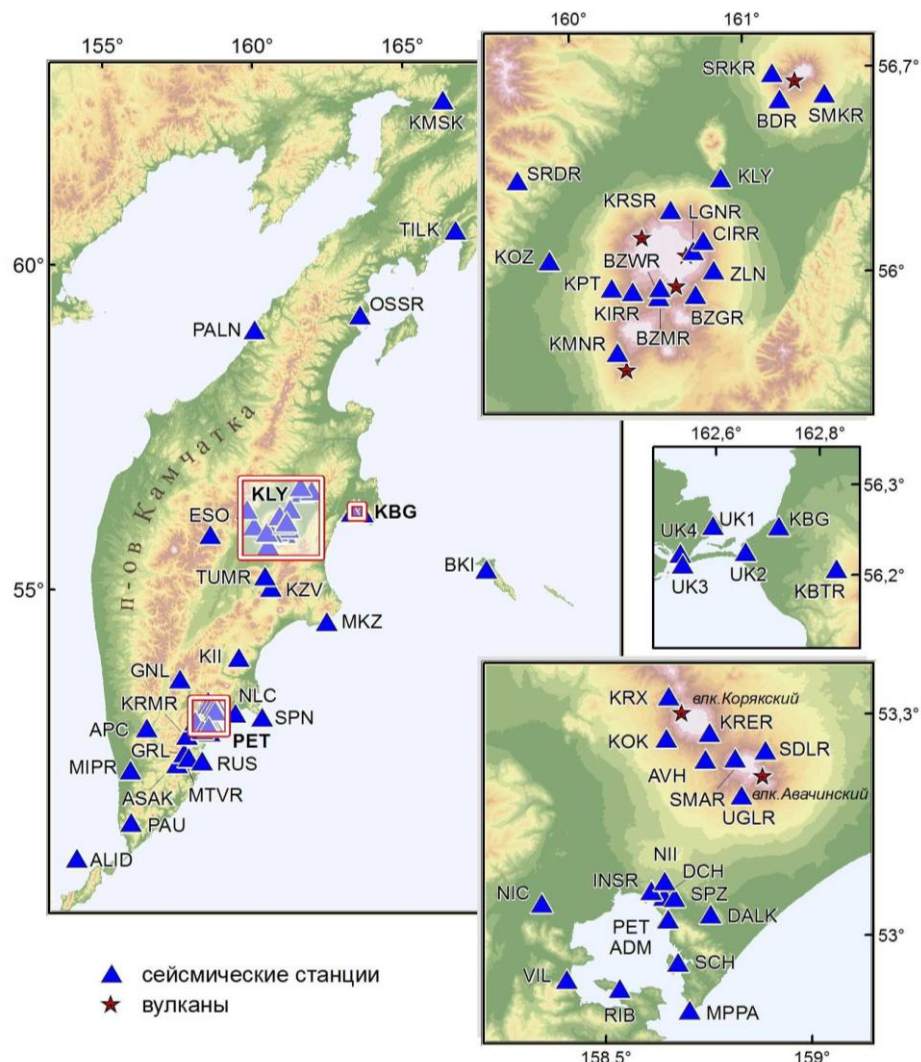


Рис. 1. Сеть сейсмических станций Камчатки в 2010 г. [1]

На основной части сейсмоактивной территории Камчатки расчетный уровень надежной регистрации в 2010 г. не изменился и составляет $K_{\min}=8.5$ [5].

В 2010 г. в работе Камчатской региональной сети произошли организационные преобразования, отразившиеся в некоторых изменениях процесса обработки землетрясений и создания

регионального каталога. В частности, изменилась группа аналитиков, создающих окончательный каталог, и программа обработки. С 2010 г. обработка сигналов цифровых сейсмических станций и расчет параметров гипоцентров и энергетических характеристик землетрясений производится при помощи программы DIMAS [2]. В программе существует возможность использования различных годографов и поиска решений гипоцентра выше уровня моря, необходимых для локации землетрясений из вулканических областей, которые включаются в региональный каталог, начиная с $K_S \geq 7.5$, а с $K_S \geq 8.6$ присутствуют в каталоге [3]. Детально вопрос перехода на новую методику обработки в 2010 г. рассматривается в отдельной статье наст. сб. [4].

В табл. 3 приведены оценки смещений основных параметров землетрясений с $K_S \geq 8.6$, полученные на материале 2009 г., специально обработанном параллельно по процедурам, максимально приближенным к старому и новому процессам создания каталога. Полученные расхождения для всего массива землетрясений с $K_S \geq 8.6$ находятся в пределах допустимых ошибок метода определения, заложенного в программах обработки данных. Как обычно, наибольшие расхождения отмечаются для событий, расположенных на краях области полигона регистрации землетрясений, где наблюдается меньшее число и точность определения землетрясений.

Таблица 3. Оценки расхождения параметров землетрясений с $K_S \geq 8.6$ ($N=789$), полученных на материале 2009 г., обработанного по процедурам, максимально приближенным к старому и новому процессам создания каталога.

Параметры землетрясения	$ \overline{\Delta X} $	$[\Delta X]_{0.5}$	σ
t_0, c	0.2	0.1	2.3
$\varphi, ^\circ$	0.03	0	0.18
$\lambda, ^\circ$	0.22	0.11	0.43

Параметры землетрясения	$ \overline{\Delta X} $	$[\Delta X]_{0.5}$	σ
$h, км$	8	8	26
K_S	0.1	0	0.4

Примечание: $\overline{\Delta X}$ – среднее значение; $[\Delta X]_{0.5}$ – медиана; σ – среднеквадратичное отклонение; N – число землетрясений, участвующих в расчете.

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

Всего в 2010 г. определены эпицентры 5168 землетрясений в энергетическом диапазоне $K_S=3.3-14.1$. В каталог [3] включены 1228 землетрясений с $K_S \geq 8.6$, из них 1091 находится внутри зоны ответственности сети КФ ГС РАН, 137 – за ее пределами. В каталоге присутствует 84 события из района влк. Кизимен, 47 из них имеют гипоцентр, расположенный выше уровня моря. Все вулканические землетрясения имеют соответствующий признак в отдельной графе каталога. Распределение землетрясений по энергетическим классам приведено в табл. 4, содержащей два ряда чисел: первый указывает число и суммарную энергию всех землетрясений, которые определены в Камчатском филиале, второй – только тех, что находятся внутри формальных границ ответственности сети КФ ГС РАН. Всего зарегистрировано 35 сильных ($K_S \geq 11.6$) землетрясений, из них 28 относится к Камчатскому региону.

Таблица 4. Распределение числа землетрясений по энергетическим классам K_S и суммарная сейсмическая энергия ΣE в 2010 г.

K_S	3.3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14.1	N_Σ	$\Sigma E, Дж$
$N_{\text{всего}}$	3	17	95	731	1704	1390	758	331	104	19	13	3	5168	$3.84 \cdot 10^{14}$
$N_{\text{зона отв.}}$	3	17	95	731	1704	1390	721	257	85	16	10	2	5031	$2.95 \cdot 10^{14}$

Уровень сейсмичности в регионе Камчатки и Командорских островов оценивался исходя из величины функции распределения F выделившейся в 2010 г. сейсмической энергии. Методика расчета функции распределения F и градации шкалы уровня сейсмичности «СОУС'09» описаны в [5, 6]. В 2010 г. суммарная энергия зарегистрированных в зоне ответственности КФ ГС РАН землетрясений составила $2.95 \cdot 10^{14}$ Дж. Функция распределения F выделившейся за год сейсмической энергии построена по данным за 1962–2010 гг. (рис. 2). Для 2010 г. $F=0.46 \pm 0.07$, что соответствует фоновому среднему уровню по шкале «СОУС'09».

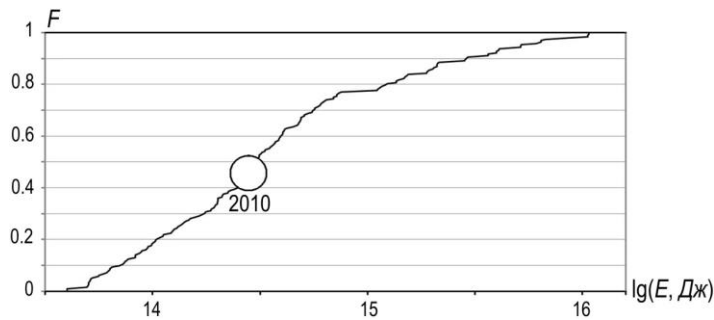


Рис. 2. Функция распределения F сейсмической энергии для региона Камчатки и Командорских островов

Кружком отмечено значение функции распределения F в 2010 г.; диаметр кружка равен величине погрешности определения F .

На рис. 3 а, б представлены ежесуточные числа N землетрясений с $K_S \geq 8.6$ и кумулятивный график выделившейся энергии ΣE . В среднем регистрируется 3–5 событий в день. Максимум на рис. 3 а с $N=33$ обязан серии афтершоков события (11) 30 июля в 03^h56^m с $K_S=14.1$, $M_w=6.5^1$ и $h=38$ км, произошедшего у восточного побережья Камчатки в поверхностном слое сейсмофокальной зоны Курил и Южной Камчатки [3]. Это же событие ответственно и за скачок на графике выделившейся сейсмической энергии (рис. 3 б).

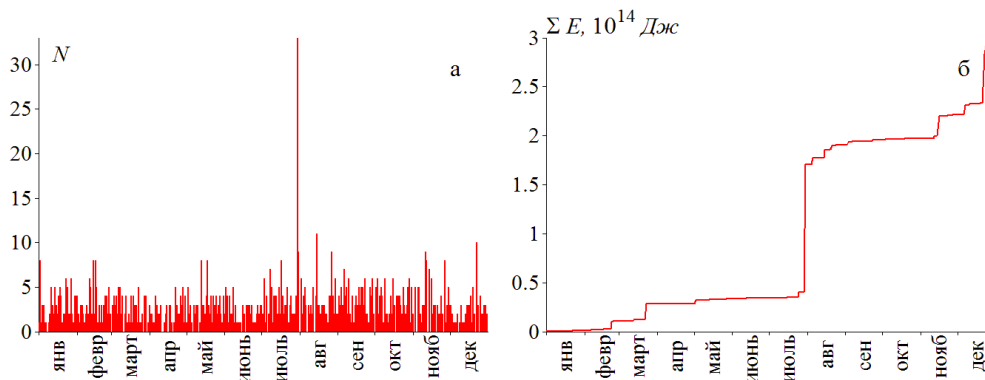


Рис. 3. Графики изменения во времени суточного числа N землетрясений с $K_S \geq 8.6$ (а) и выделившейся сейсмической энергии ΣE (б) в 2010 г. для зоны ответственности сети КФ ГС РАН

Землетрясение (11)² явилось сильнейшим событием года, локализованным в зоне ответственности сети КФ ГС РАН в 2010 г. Оно вызвало сотрясения с интенсивностью $I=4$ –5 баллов на расстояниях до 200 км, в том числе в Петропавловске-Камчатском (151 км) [3].

Ниже (рис. 4) дана карта эпицентров всех землетрясений с $K_S \geq 8.6$ и вертикальные разрезы поля гипоцентров (поперечный $A-A'$ и продольный $B-B'$).

На территории Камчатского края, Северных Курил и Командорских островов в 2010 г. ощущалось 59 землетрясений ($K_S=8.9$ –14.1) с интенсивностью I от 2 и до 5 баллов [3, 8]. По этим событиям были собраны 302 сообщения о землетрясениях из 61 пункта. Ощущались землетрясения в 40 пунктах [9].

Максимальная интенсивность сотрясений в 2010 г. составила $I_{\max}=5$ баллов, и наблюдалась неоднократно. Дважды такая интенсивность зафиксирована на ГМС «Кроноки» ($\Delta=37$ км и $\Delta=32$ км соответственно) во время землетрясений 19 августа в 08^h45^m с $K_S=10.6$, $h=48$ км и 12 ноября в 06^h31^m с $K_S=12.4$, $M_w=5.0$, $h=71$ км, с эпицентрами в Кроноцком заливе вблизи мыса Козлова, на юге Кроноцкого полуострова. 5-балльные сотрясения наблюдались также в поселках Крутоберегово ($\Delta=16$ км) и Усть-Камчатск ($\Delta=22$ км) при землетрясении (18), зафиксированном 20 сентября в 02^h12^m с $K_S=11.7$, $M_s=3.9^3$, $h=27$ км. Такая же интенсивность отмечена на Тумрокских источниках ($\Delta=7$ км и $\Delta=12$ км соответственно [8]) от двух землетрясений, связанных с активизацией вулкана Кизимен [8]. Они произошли 27 ноября в 18^h56^m с $K_S=11.4$, $M_s=4.2$, $h=-2$ км и в 19^h29^m – с $K_S=11.8$, $M_s=4.9$, $h=4$ км.

¹ Здесь и далее $M_w=M_{w\text{ГСМТ}}$ из [7].

² Номера событий здесь и далее соответствуют таковым в каталоге [3].

³ Здесь и далее $M_s=M_{s\text{ISC}}$ из [7].

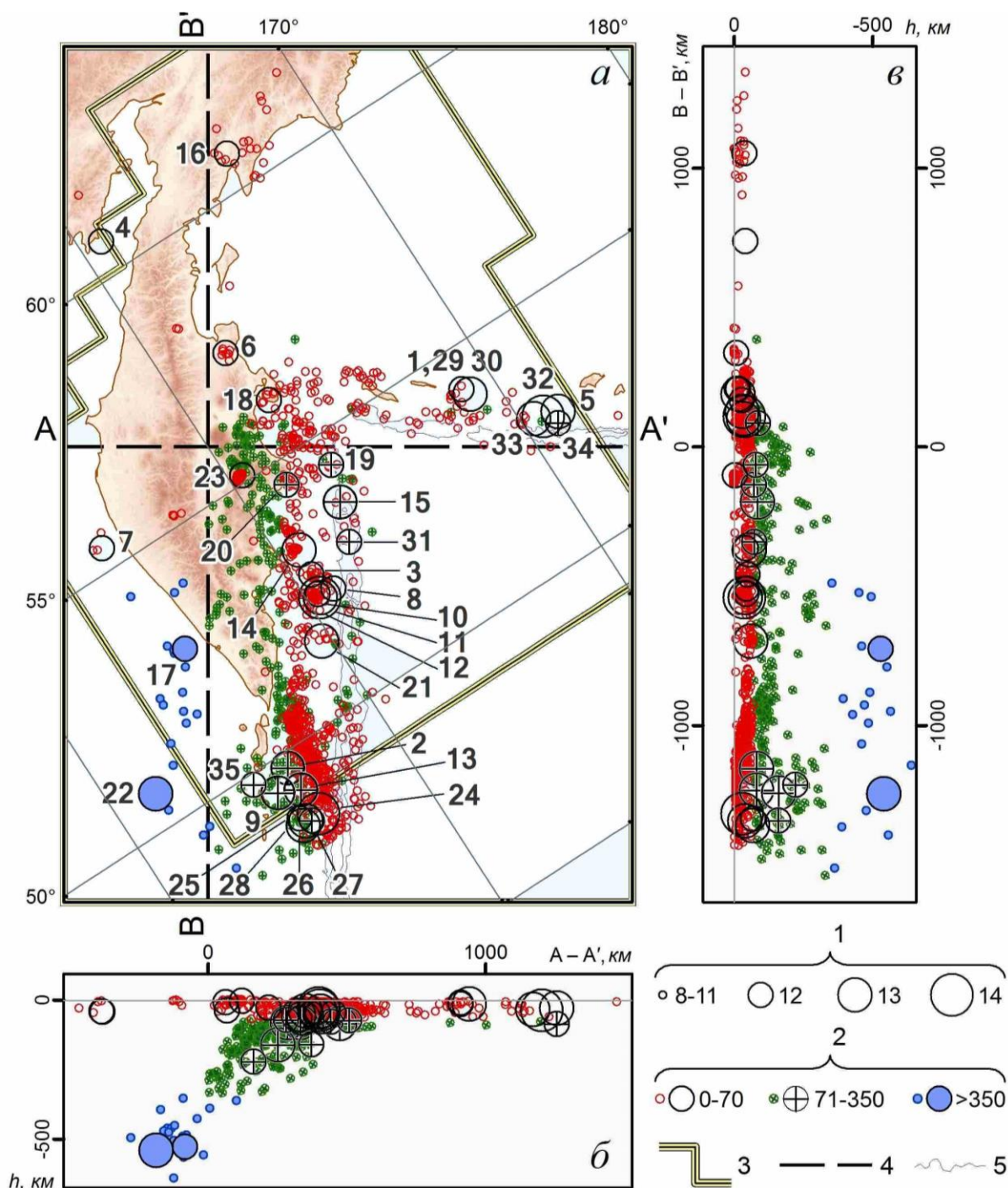


Рис. 4. Карта эпицентров землетрясений Камчатки с $K_S \geq 8.6$ (а) за 2010 г. и проекции на вертикальные плоскости А–А' (б) и В–В' (в)

1 – энергетический класс K_S ; 2 – глубина гипоцентра h , км; 3 – граница региона; 4 – линия вертикального разреза вкрест (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 [3].

В г. Петропавловск-Камчатский сотрясения с интенсивностью I от 2 до 4–5 баллов ощущались в совокупности 16 раз от землетрясений разных классов в диапазоне $K_S = 9.6$ –14.1 [8].

Механизмы очагов [11] определены по знакам первых вступлений объемных волн для 29 землетрясений с $K_S \geq 11.6$ по программе FA2011 (усовершенствованная программа FA2002 [12, 13]). Использовались данные региональных станций и знаки вступлений P -волн из бюллетеней: NEIC [14], ГС РАН [15] и ISC [7]. Из распределения землетрясений по типам подвижек в табл. 5 виден ежегодно преобладающий тип – взбросо-сдвиг (40 % событий).

Таблица 5. Распределение сильных землетрясений Камчатки и Командорских островов 2010 г. по типам подвижек в их очагах

Тип подвижки по классификации [10]	Номера землетрясений по [3]	N_i	N_i/N_{Σ} , %
Сбросо-сдвиг	2, 3, 6, 8, 9, 13, 15, 17, 21, 32, 35	11	32
Взбросо-сдвиг	10, 11, 12, 14, 18, 20, 24, 27, 28, 29, 30, 31, 33, 34	14	40
Сдвиг	1, 5	2	6
Сброс	19, 22	2	6
Не определен	4, 7, 16, 23, 25, 26	6	17
Сумма		35	100

Рассмотрим особенности сейсмического процесса региона по 10 зонам и их слоям, перечисленным в графах 2, 3 табл. 6 (подробное описание зон см. в [16, 17]). В 2013 г. границы зон были несколько пересмотрены. Основные изменения относятся к Сейсмофокальной зоне Курил и Южной Камчатки и северной части Камчатской сейсмофокальной зоны. Новые границы опубликованы в сборнике «Землетрясения России в 2013 году» [17]. В таблице 6 представлены значения, полученные с учетом новых границ как для 2010 г., так и за весь период инструментальных наблюдений с 1962 г. по 2009 г. Статистические характеристики 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 период с 1962 г. по 2009 г. При этом учитывались лишь землетрясения, входящие в зону ответственности КФ ГС РАН. Сравнение табл. 6 этого сборника с аналогичными таблицами прошлых лет (в рамках прежних границ зон) некорректно.

Таблица 6. Распределение числа землетрясений с $K_s \geq 8.6$ и $K_s \geq 11.6$, а также выделенной энергии по зонам за 2010 г. в сопоставлении с их средними оценками за период 1962–2009 гг. внутри границ региона Камчатки и Командорских островов

№	Зона	Слой	Средние значения за 1962–2009 гг.				Значения за 2010 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	164	18.3	9	1.26	309	28.3	1	0.22
		II	42	4.7	2	0.56	126	11.5	4	0.21
		III	6	0.7	<1	1.42	16	1.5	1	0.03
2	Северная часть Камчатской сейсмофокальной зоны	I	370	41.2	14	1.59	246	22.5	6	1.42
		IIa	85	9.4	2	2.61	104	9.5	2	0.05
		IIIa	<1	<0.1	<1	0.02				
3	Командорский сегмент Алеутской дуги	I	114	12.7	5	1.23	103	9.4	7	0.87
		II	1	0.1	<1	<0.01	5	0.5	1	0.03
4	Тихий океан	I	51	5.7	1	0.11	41	3.8		<0.01
		II	<1	<0.1	<1	<0.01	10	0.9	2	0.05
5	Северные Курилы	I	2	0.2		<0.01	1	<0.1		<0.01
6	Континентальные области Камчатки	I	41	4.5	<1	0.11	100	9.2	2	0.05
7	Корякский сейсмический пояс	I	19	2.1	<1	1.73	23	2.1	1	0.01
		II	<1	<0.1		<0.01	1	<0.1		<0.01
8	Берингово море	I	<1	<0.1		<0.01				
9	Залив Шелихова	I	1	0.1	<1	<0.01	2	0.2		<0.01
10	Охотия	I	<1	<0.1	<1	<0.01	4	0.4	1	<0.01
	Всего		897	100	35	10.6	1091	100	28	2.95

Примечание. Для зон № 1 и № 2 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.

Далее проведем обзор сейсмичности региона отдельно по зонам.

Сейсмофокальная зона Курил и Южной Камчатки № 1 превысила свой среднегодовой фон сейсмичности по числу землетрясений в два раза (табл. 6). Здесь реализовалось чуть меньше половины ($N=451$) из зарегистрированных землетрясений в пределах зоны ответственности КФ ГС РАН с $K_S \geq 8.6$. События распределились по трем глубинным сейсмическим слоям следующим образом: поверхностные – $N=309$ (28.3 %), промежуточные – $N=126$ (11.5 %) и глубокие – $N=16$ (1.5 %). Зафиксировано 6 сильных землетрясений с $K_S \geq 11.6$ (рис. 5).

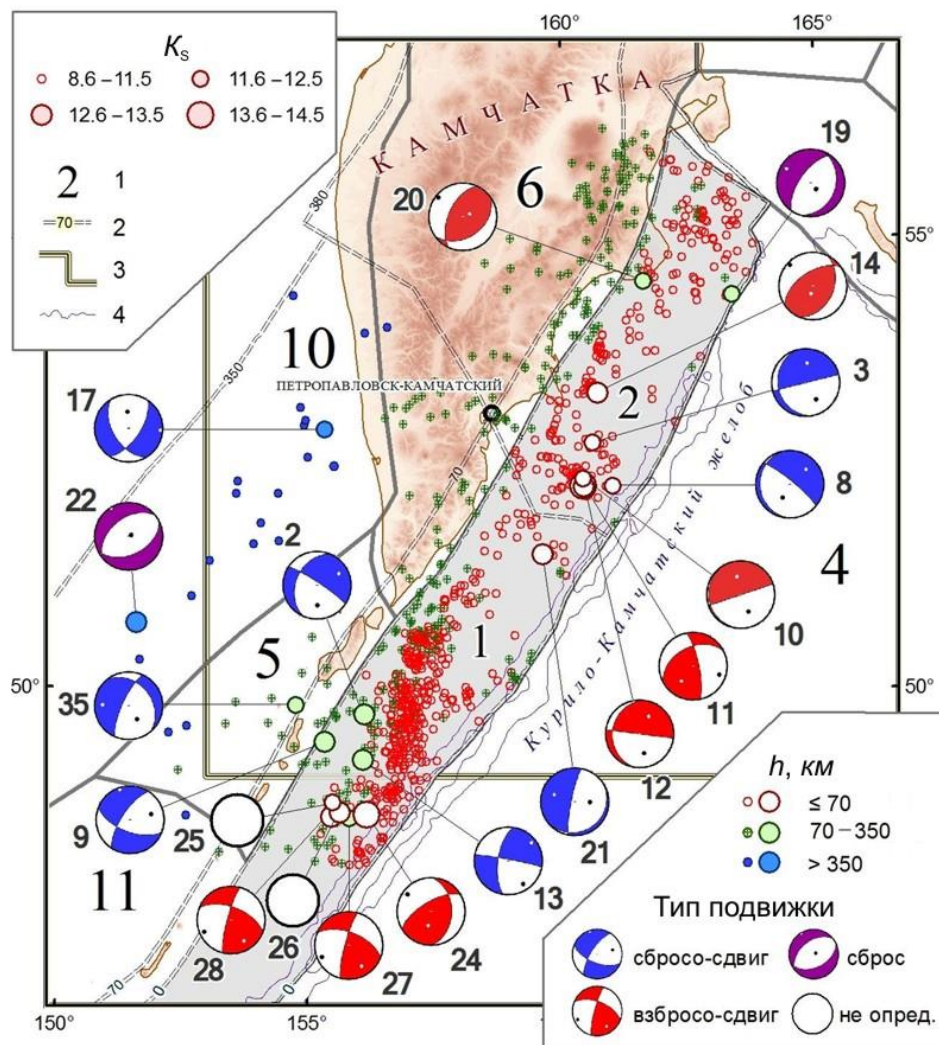


Рис. 5. Карта эпицентров и стереограммы механизмов очагов землетрясений Курило-Камчатской зоны субдукции (зоны № 1 и № 2) за 2010 г.

1 – номер зоны из табл. 6; 2 – граница зоны (обозначениями: $=0=$, $=70=$, $=350(380)=$ показаны границы слоев с $h=0$, $h=70$, $h=350$ или 380 км соответственно, в зонах № 1 и № 2); 3 – граница региона; 4 – изобаты 6000 и 7000 м; число возле стереограммы соответствует номеру землетрясения в каталоге [3].

В **зоне № 1** произошло 11 ощутимых землетрясений (3 события вне зоны ответственности КФ ГС РАН) с $K_S=9.5-13.7$ и интенсивностью сотрясений I от 2 до 4–5 баллов [8]. Максимальные сотрясения $I_{\max}=4-5$ баллов были зарегистрированы на РНС Подгорная ($\Delta=85$ км) во время землетрясения 17 января в 10^{14} м с $K_S=11.0$, $h=26$ км.

В поверхностном слое сейсмофокальной зоны Курил и Южной Камчатки в 2010 г. зафиксировано сильное ($K_S=13.3$, $M_w=5.4$) землетрясение (21), произошедшее 16 ноября в 10^{10} м на глубине $h=61$ км. Оно возникло в условиях преобладания растягивающих напряжений, ориентированных в запад–северо-западном направлении. Тип движения по обеим плоскостям – сброс с компонентами сдвига. Землетрясение ощущалось с интенсивностью $I_{\max}=4$ балла в поселках Паратунка и Термальный (193 км); 3 балла – в г. Петропавловск-Камчатский (186 км) и в Николаевке (198 км).

В промежуточном слое произошло 126 землетрясений с $K_S \geq 8.6$, что в три раза больше среднегодового показателя. Четыре события (2, 9, 13 и 35) имели $K_S \geq 11.6$, два из которых были ощутимыми.

Событие (2) 23 февраля в 10^h43^m с $K_S=12.9$, $M_w=5.3$, $h=82$ км ощущалось с интенсивностью $I_{\max}=2-3$ балла в г. Северо-Курильск ($\Delta=109$ км), 2 балла – на мысе Лопатка (136 км). Землетрясение возникло под действием превалирующих растягивающих напряжений, ориентированных в восток–северо-восточном направлении [11]. Тип подвижки по крутопадающей плоскости – сброс с компонентами правостороннего сдвига. Движение по нодальной плоскости $NP2$ представлено левосторонним сдвигом с элементами сброса.

Событие (9) 25 июля в 12^h56^m с $K_S=12.7$, $M_w=5.6$, $h=161$ км ощущалось в двух пунктах: с интенсивностью $I_{\max}=3-4$ балла на маяке Круглый ($\Delta=364$ км) и 2 балла – в г. Северо-Курильск ($\Delta=153$ км). Землетрясение возникло под действием преимущественно растягивающих напряжений, ориентированных в север–северо-западном направлении. Тип движения по обеим нодальным плоскостям – сдвиг с компонентой сброса [11].

Событие (13), произошедшее 5 августа в 19^h03^m с $K_S=12.8$ и $M_w=5.0$ на глубине $h=81$ км, возникло под действием почти равных по величине растягивающих и сжимающих напряжений [11], ориентированных в северо-восточном и юго-восточном направлениях соответственно. Обе нодальные плоскости залегают достаточно круто. Тип движения по обеим плоскостям – сдвиги с компонентами сброса.

Землетрясение (35) 30 декабря в 19^h56^m с $K_S=11.9$, $M_w=5.0$, $h=222 \pm 27$ км возникло под действием напряжений растяжения, ориентированных на запад. Тип подвижки по крутопадающей плоскости – сброс с компонентами левостороннего сдвига. Движение по нодальной плоскости $NP2$ представлено правосторонним сдвигом с элементами сброса [11].

В глубоком слое было зафиксировано 15 событий $K_S \geq 8.6$, из них одно (17) сильное – с $K_S \geq 11.6$.

Землетрясение (17) 3 сентября в 04^h13^m с $K_S=12.4$, $h=528$ км возникло под действием растягивающих напряжений, ориентированных в восточном направлении. Обе нодальные плоскости залегают достаточно круто. Тип движения в очаге – сдвиги по обеим плоскостям с компонентами сброса.

В северной части Камчатской сейсмофокальной зоны № 2 произошло 350 (32.0 % всех событий) землетрясений с $K_S \geq 8.6$ (рис. 5), из них 22.5 % поверхностных ($N=246$), 9.5 % – промежуточных ($N=104$). В глубоком слое в 2010 г. землетрясений не было. Восемь событий (3, 8, 10, 11, 12, 14, 19 и 20) имели $K_S \geq 11.6$, семь из них были ощутимыми. Всего в зоне № 2 зафиксировано 26 ощутимых землетрясений с $K_S=8.9-14.1$ и интенсивностью сотрясений I от 2 до 5 баллов [8]. Максимальные сотрясения $I_{\max}=5$ баллов были зарегистрированы 12 ноября в 06^h31^m на ГМС Кроноки ($\Delta=32$ км) при землетрясении с $K_S=12.4$, $h=71$ км.

В поверхностном слое северной части Камчатской сейсмофокальной зоны произошли шесть сильных ($K_S \geq 11.6$) событий (3, 8, 10, 11, 12 и 14), три из которых (10, 11 и 12) были локализованы в одном районе и произошли в один день 30 июля.

Землетрясение (3) 13 марта в 21^h42^m с $K_S=12.1$, $M_w=5.3$, $h=49$ км возникло под действием равных по величине напряжений сжатия и растяжения, ориентированных в направлениях юг–юго-восток и на север соответственно. Тип движения по $NP1$ – вертикальный сброс с элементами правостороннего сдвига, по $NP2$ – левосторонний сдвиг [11]. Это событие имело макро-сейсмическое проявление с $I_{\max}=3-4$ балла в пунктах р. Карымшина (стационар КФ ГС РАН) ($\Delta=169$ км) и на Мутновской геотермальной электростанции ($\Delta=177$ км); 2–3 балла – в г. Петропавловск-Камчатский ($\Delta=138$ км). Было зарегистрировано три его афтершока с $8.8 \leq K_S \leq 9.8$ в поверхностном слое ($h=51$, 34 и 27 км) и один – в промежуточном ($h=78$ км) [3].

Землетрясение (8) 15 июля в 20^h28^m с $K_S=11.7$, $h=45$ км возникло под действием превалирующих по величине растягивающих напряжений, ориентированных в северо-восточном направлении.

Событие (11) 30 июля в 03^h56^m стало самым сильным ($K_S=14.1$, $M_w=6.5$) землетрясением в 2010 г. Началось землетрясение с достаточно сильного ($K_S=11.6$, $M_s=3.6$) форшока (10), реализовавшегося 30 июля в 01^h48^m с $h=44$ км под действием близких по величине напряжений сжатия и растяжения [11]. Тип движения по крутопадающей плоскости в его очаге – вертикальный взброс с элементами правостороннего сдвига, по пологой – левосторонний сдвиг (рис. 5). Оно ощущалось в г. Петропавловск-Камчатский ($\Delta=146$ км) с интенсивностью $I_{\max}=2-3$ балла.

Через два часа (в 03^h56^m) произошел основной толчок с $K_S=14.1$, $M_w=6.5$, $h=38$ км напротив Авачинского залива, на западном склоне Курило-Камчатского глубоководного желоба, в 150 км от г. Петропавловск-Камчатский, где вызвало колебания с $I_{\max}=4-5$ баллов. Афтершоковая последовательность события (11) состояла из 49 землетрясений с $K_S=8.6-12.6$, индексированных в каталоге [3]. Их эпицентральная зона имеет форму эллипса и простирается с северо-запада на юго-восток с главным событием в юго-восточной части (рис. 6).

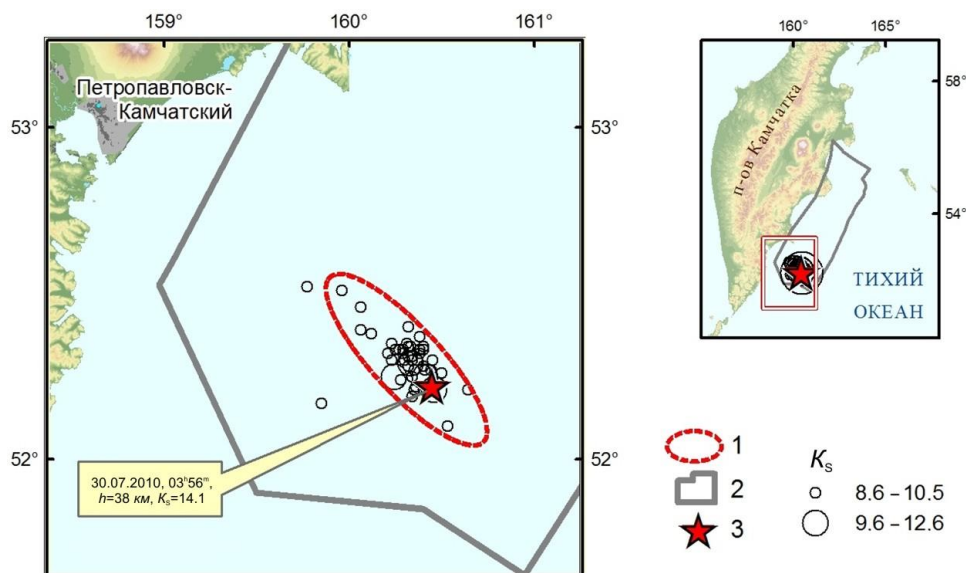


Рис. 6. Схема расположения эпицентра землетрясения (11), произошедшего 30 июня в 03^h56^m с $K_S=11.6$, и его афтершоков с энергетическими классами $K_S \geq 8.6$.

K_S – энергетический класс; 1 – граница эпицентральной зоны; 2 – граница северной части Камчатской сейсмофокальной зоны № 2 [17]; 3 – эпицентр главного толчка (11) [3].

Главное событие (11) проявилось с интенсивностью сотрясений до 4–5 баллов в девяти населенных пунктах, расположенных вдоль побережий Авачинского и Кроноцкого заливов. Землетрясение ощущалось на восточном побережье Камчатки начиная от Кроноцкого полуострова ($\Delta=271$ км, $I=4$) и до крайнего юга Камчатки, а далее до г. Северо-Курильск ($\Delta=348$ км, $I=2$) на о. Парамушир [8]. Очаг землетрясения возник под действием напряжений сжатия, ориентированных на юго-восток [11]. Нодальная плоскость $NP1$ крутая ($DP_1=76^\circ$) и простирается в север–северо-западном направлении. Вторая плоскость более пологая ($DP_2=43^\circ$), ее простираение запад–юго-западное ($STK_2=243^\circ$). Движение по крутопадающей плоскости – взброс с компонентами левостороннего сдвига. По нодальной плоскости $NP2$ произошел правосторонний сдвиг (с компонентами взброса).

Землетрясение (12), ставшее максимальным афтершоком события (11), реализовалось 30 июля в 04^h28^m с $K_S=12.6$, $M_w=5.4$, $h=40$ км. Оно возникло под действием близких по величине напряжений растяжения и сжатия. Тип движения по крутопадающей плоскости – вертикальный взброс с элементами правостороннего сдвига, по пологой – левосторонний сдвиг. Ощущалось в г. Петропавловск-Камчатский ($\Delta=152$ км), г. Вилючинск ($\Delta=158$ км) и пос. Паратунка ($\Delta=172$ км) с интенсивностью $I_{\max}=2-3$ балла.

15 августа в 02^h10^m произошло землетрясение (14) с $K_S=12.9$, $M_w=5.5$, $h=56$ км, $I_{\max}=4-5$ баллов на ГМС Кроноки ($\Delta=156$ км). В г. Петропавловск-Камчатский ($\Delta=142$ км) оно ощущалось с интенсивностью $I=3-4$ балла. Землетрясение возникло под действием преобладающего по величине напряжения сжатия, ориентированного на северо-запад. Тип движения по обеим плоскостям – вбросы с компонентой правостороннего сдвига по $NP1$ и левостороннего – по $NP2$ [11]. За этим событием последовала серия из 14 афтершоков с $8.7 \leq K_S \leq 11.4$, индексированных в [3].

В промежуточном слое северной части Камчатской сейсмофокальной зоны произошло два сильных и ощутимых землетрясения: (19) – 23 сентября в 17^h13^m, с $K_S=12.0$, $M_w=5.1$, $h=78$ км; (20) – 12 ноября в 06^h31^m с $K_S=12.4$, $M_w=5.0$, $h=71$ км. Это были одиночные события, без последующих афтершоков.

Событие (19), ощущавшееся в единственном пункте ГМС Кроноки ($\Delta=145$ км) с интенсивностью сотрясения $I_{\max}=2$ балла, возникло под действием растягивающих напряжений, ориентированных в направлении северо-запад. Обе нодальные плоскости простираются в направлении юго-запад – северо-восток. Тип движения по обеим плоскостям – сбросы с компонентами левостороннего сдвига по $NP1$ и правостороннего – по $NP2$.

Событие (20) характеризуется максимальной в 2010 г. сотрясаемостью $I_{\max}=5$ баллов. Такая интенсивность наблюдалась на ГМС Кроноки ($\Delta=32$ км). Меньшая интенсивность $I=4-5$ баллов отмечена на ГМС Семячки ($\Delta=115$ км) и 3 балла – в г. Петропавловск-Камчатский ($\Delta=255$ км). Землетрясение возникло под действием сжимающих напряжений, ориентированных в направлении северо-запад. Обе нодальные плоскости простираются в направлении юго-запад – северо-восток. Тип движения по обеим плоскостям – взбросы с компонентами сдвига [11].

В **Командорском сегменте Алеутской дуги (зона № 3)** произошло 108 землетрясений с $K_S \geq 8.6$ (рис. 7), восемь событий (1, 5, 18, 29, 30, 32–34) имеют $K_S \geq 11.6$, семь из которых реализовались в поверхностном слое и одно – в промежуточном. В зоне № 3 зафиксировано 8 ощутимых землетрясений с $K_S=9.2-11.7$ и интенсивностью сотрясений I от 2 до 5 баллов [3, 8].

Землетрясение (18) произошло 20 сентября в 02^h12^m с $K_S=11.7$, $M_s=3.9$, $h=27$ км. Оно ощущалось с интенсивностью $I_{\max}=5$ баллов в поселках Крутоберегово ($\Delta=16$ км) и Усть-Камчатск ($\Delta=22$ км). В его очаге преобладали напряжения сжатия, ориентированные на северо-запад. По крутопадающей плоскости произошел взброс с левосторонней сдвиговой компонентой, по более пологой $NP2$ – левосторонний сдвиг с компонентой взброса [11].

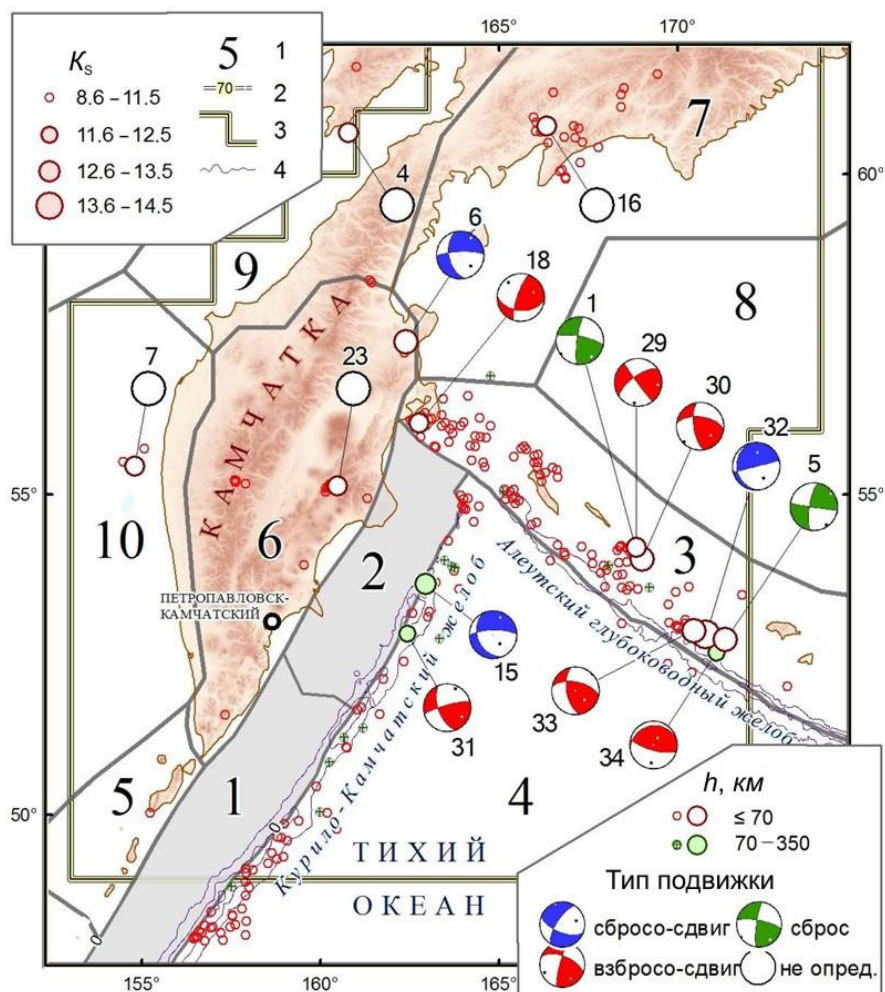


Рис. 7. Карта эпицентров землетрясений зон № 3–№ 10 за 2010 г.

1 – номер зоны из табл. 6; 2, 3 – граница зоны и региона соответственно; 4 – изобаты 6000 и 7000 м; число возле стереограммы соответствует номеру землетрясения в каталоге [3].

В Тихом океане (зона № 4) за 2010 г. произошло 51 землетрясение с $K_S \geq 8.6$ [3], из которых два сильных события – (15) и (31) – зарегистрированы 21 августа в 00^h54^m с $K_S=12.6$, $M_w=5.2$, $h=84$ км и 11 декабря в 10^h49^m с $K_S=11.9$, $M_w=5.0$, $h=74$ км соответственно. Они локализованы в промежуточном слое зоны № 4. Землетрясение (15) возникло под действием напряжений растяжения, ориентированных в северо-восточном направлении. Ось напряжения сжатия ориентирована на юго-восток. Нодальная плоскость $NP1$ имеет субширотное простираание ($STK=269^\circ$) и крутой ($DP=74^\circ$) угол падения. Нодальная плоскость $NP2$ более пологая ($DP=35^\circ$), простирается в близмеридиональном направлении ($STK=155^\circ$). Тип движения – сброс с компонентами правостороннего сдвига по $NP1$ и левосторонний сдвиг с элементами сброса – по $NP2$. Землетрясение (31) возникло под действием превалирующих по величине сжимающих напряжений, ориентированных в север–северо-восточном направлении. Обе нодальные плоскости имеют довольно крутые углы падения ($DP=80^\circ$ и 59°). Плоскость разрыва $NP1$ простирается в субширотном направлении ($STK=254^\circ$), вторая нодальная плоскость $NP2$ ориентирована в субмеридиональном направлении ($STK=159^\circ$). Тип подвижки по обеим плоскостям – сдвиги с компонентами взброса (левостороннего по $NP1$ и правостороннего по $NP2$).

В континентальных областях Камчатки (зона № 6) зафиксировано 100 землетрясений с $K_S=8.6–12.5$ [3] (рис. 7), из них 84 события из района влк. Кизимен. Два события (6 и 23) имели $K_S \geq 11.6$, все землетрясения реализовались в поверхностном слое. Четыре события с $11.2 \leq K_S \leq 12.5$ ощущались с интенсивностью I от 2 до 5 баллов.

Землетрясение (6) возникло 2 мая в 06^h23^m с $K_S=12.5$, $M_w=5.4$, $h=8$ км под действием растягивающих напряжений, ориентированных в северо-восточном ($AZM=32^\circ$) направлении. Тип движения по обеим плоскостям – сдвиги с компонентами сброса. Это событие ощущалось только в селе Ивашка ($\Delta=129$ км) с интенсивностью $I=3$ балла. Зарегистрировано восемь его афтершоков с $8.6 \leq K_S \leq 11.1$.

Три из четырех ощутимых землетрясений локализованы в постройке влк. Кизимен и связаны с его активизацией. Два наиболее сильных события 27 ноября в 18^h56^m с $K_S=11.4$, $M_s=4.2$ и (23) 27 ноября в 19^h29^m с $K_S=11.8$, $M_w=5.1$, $h=4$ км ощущались с интенсивностью сотрясений $I_{\max}=5$ баллов в ближайшем от вулкана пункте ист. Тумрокские ($\Delta=7$ и 12 км).

В Корякском сейсмическом поясе (зона № 7) произошло 24 землетрясения с $K_S \geq 8.6$, в поверхностном слое локализованы 23 события, одно – в промежуточном. Единственное сильное ($K_S=11.7$, $M_s=3.4$) землетрясение (16), зафиксированное в зоне 2 сентября в 21^h47^m с $h=38$ км, проявилось с интенсивностью сотрясений $I_{\max}=4$ балла в пункте Ледяное ($\Delta=28$ км), $I=3–4$ балла – в пос. Тиличики ($\Delta=38$ км), $I=3$ балла – в пос. Корф ($\Delta=45$ км). Всего в зоне № 7 ощущалось шесть событий ($K_S=10.6–11.7$) с интенсивностью сотрясений от 2 до 4–5 баллов.

В зоне Охотия (№ 10) отмечено 4 события $K_S=9.2–11.6$, локализованные в поверхностном слое. Единственное сильное ($K_S=11.6$, $M_s=3.9$, $h=43.5 \pm 33$ км) землетрясение (7), зафиксированное в зоне 13 мая в 13^h56^m с $h=43$ км, ощущалось с интенсивностью $I=4$ балла лишь в одном пункте – пос. Ича ($\Delta=75$ км). Механизм очага для него не определен в связи с малой представительностью данных.

В Заливе Шелихова (№ 9) зафиксировано два землетрясения с близкими эпицентрами: 23 августа в 22^h32^m на глубине $h=6$ км с $K_S=11.4$, которое ощущалось с интенсивностью $I_{\max}=3–4$ балла в пос. Палана ($\Delta=122$ км), 3 балла – в пос. Ивашка ($\Delta=56$ км), и близповерхностное ($h=0$ км) событие 25 августа в 18^h17^m с $K_S=10.2$

В зоне Северные Курилы (№ 5) 3 июля в 00^h16^m произошло одно слабое ($K_S=8.9$) землетрясение. Зона Берингово море (№ 8) в 2010 г. была асейсмична, так же как и ранее [5]. Для этих зон низкая сейсмическая активность является типичной.

В 2010 г. сетью цифровых акселерографов [18] получена 251 запись **сильных движений грунта** с пиковым ускорением $a_{\text{пик}} \geq 0.5$ см/с². В табл. 7 приведен список из 22 землетрясений с пиковым ускорением $a_{\text{пик}} \geq 2.5$ см/с². В табл. 8 приведены пиковые значения ускорений и скоростей для каждого землетрясения из табл. 7 для той станции, которая записала это землетрясение с наибольшей амплитудой. Значения пиковых скоростей получены путем интегрирования записей ускорений.

Таблица 7. Параметры землетрясений 2010 г. с пиковыми ускорениями $a_{\text{пик}} \geq 2.5 \text{ см/с}^2$

№	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	14.01	06 40 21	52.60	159.12	60	10.7		12	30.07	04 28 01	52.21	160.46	40	12.6	5.4
2	17.01	23 19 49	55.08	165.14	46	11.3		13	05.08	19 03 59	49.18	156.09	81	12.8	5.0
3	22.01	07 40 19	50.17	157.15	60	10.8		14	02.09	21 47 14	60.74	166.33	38	11.7	
4	14.02	21 40 35	50.23	157.09	40	9.9		15	03.09	07 53 49	52.49	159.19	60	10.4	
5	23.02	10 43 10	49.69	156.12	82	12.9	5.3	16	06.09	15 32 01	60.68	166.01	36	11.3	
6	27.02	01 17 35	52.41	159.18	61	10.8		17	06.09	19 40 29	60.80	166.03	40	11.3	
7	17.05	13 04 44	54.95	165.47	53	11.1		18	20.09	02 12 21	56.11	162.77	27	11.7	
8	27.05	03 45 45	49.36	156.97	41	11.3		19	29.09	02 00 31	56.12	163.49	20	11.2	
9	10.06	18 38 43	56.22	162.81	22	10.8		20	16.11	10 10 44	51.46	159.65	61	13.3	5.4
10	25.07	12 56 58	49.38	155.33	161	12.7	5.6	21	30.11	17 54 45	48.58	156.16	30	13.7	5.7
11	30.07	03 56 10	52.22	160.45	38	14.1	6.3	22	26.12	06 35 05	50.59	157.69	42	10.0	

Таблица 8. Пиковые ускорения и скорости землетрясений из табл. 7 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	Амплитуда $a_{\text{пик}}$, см/с ²			Скорость $v_{\text{пик}}$, см/с		
							Компонента			Компонента		
							N	E	Z	N	E	Z
1	14.01	06 40 21	DAL	54	80.6	10.7	5.02	3.92	1.62	0.135	0.0755	0.0345
2	17.01	23 19 49	BKI	55	71.5	11.3	3.69	2.84	2.07	0.112	0.0678	0.0452
3	22.01	07 40 19	SKR	92	110	10.9	3.51	3.19	1.44	0.0524	0.0731	0.0186
4	14.02	21 40 35	SKR	85	93.6	9.9	2.87	2.67	1.36	0.0413	0.0333	0.0161
5	23.02	10 43 10	SKR	109	136	12.9	3.64	3.51	1.29	0.0814	0.109	0.0432
6	27.02	01 17 35	RIB	71	93.7	10.9	3.89	3.55	1.86	0.123	0.0883	0.0356
7	17.05	13 04 44	BKI	41	67.3	11.1	16.9	5.84	7.69	0.627	0.241	0.241
8	27.05	03 45 45	SKR	158	163	11.3	1.78	2.72	0.634	0.0336	0.0612	0.00732
9	10.06	18 38 43	KBG	8	23.6	10.9	11.6	20.7	8.43	0.386	1.038	0.223
10	25.07	12 56 58	SKR	154	222	12.7	5.17	4.013	2.46	0.0996	0.114	0.0464
11	30.07	03 56 10	RIB	151	156	14.1	25.7	19.9	6.99	1.88	2.46	0.633
12	30.07	04 28 01	RIB	152	157	12.7	6.33	6.02	2.09	0.449	0.453	0.1303
13	05.08	19 03 59	SKR	166	184	12.9	5.04	6.38	1.79	0.109	0.146	0.03503
14	02.09	21 47 14	TIL	35	51.8	11.7	5.49	5.47	3.68	0.2014	0.166	0.125
15	03.09	07 53 49	DAL	133	151	10.5	3.51	1.57	1.31	0.0709	0.0402	0.0203
16	06.09	15 32 01	TIL	27	44.8	11.3	22.8	19.01	6.33	0.749	0.553	0.189
17	06.09	19 40 29	TIL	41	56.9	11.3	5.011	6.34	1.63	0.133	0.163	0.0417
18	20.09	02 12 21	KBG	16	31.5	11.7	21.2	20.7	12.2	0.9601	0.641	0.366
19	29.09	02 00 31	KBG	50	54.2	11.3	5.29	5.77	3.74	0.329	0.254	0.137
20	16.11	10 10 44	VIL	184	194	13.3	3.31	2.15	1.67	0.296	0.216	0.121
21	30.11	17 54 45	SKR	232	234	13.7	3.47	3.86	1.13	0.0996	0.106	0.0279
22	26.12	06 35 05	SKR	112	119	10.1	5.44	4.98	2.44	0.102	0.0634	0.0292

В качестве иллюстрации на рис. 8 для землетрясения 30 июля в 03^h56^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].

Подводя итоги, следует отметить, что особенностью сейсмичности региона Камчатки и Командорских островов в 2010 г. является значительное увеличение числа землетрясений с $K_S \geq 8.6$ в сейсмофокальной зоне Курил и Южной Камчатки ($N=450$), по сравнению со среднегодовым значением $N_{\text{ср}}=264$ за 1996–2009 гг. и $N_{\text{max}}=362$ – за 2008 г., при этом общее число зарегистрированных событий в зоне без ограничения по классу ($N=963$) изменилось не так заметно относительно среднего значения по этой зоне с 1998 г. ($N=828$).

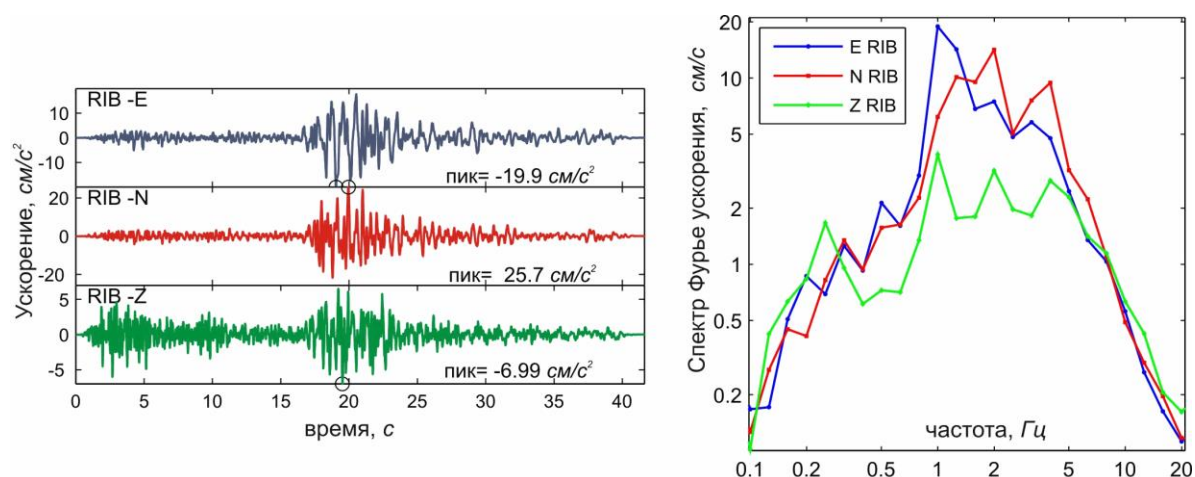


Рис. 8. Три компоненты записи ускорения грунта от землетрясения 30 июля (03^h56^m) и сглаженные амплитудные спектры Фурье этих записей

Записи получены каналами HNE, HNN, HNЗ сейсмической станцией RIB («Рыбачий»)

Северная часть Камчатской сейсмофокальной зоны имеет максимальное значение выделившейся энергии в сравнении с другими зонами. Здесь произошло восемь сильных землетрясений, одно из которых сильнейшее в 2010 г. В целом сейсмический режим обычен для рассматриваемой территории, а механизмы очагов в основном отражают тектонику региона, определяемую движением Тихоокеанской плиты под Охотоморскую.

Л и т е р а т у р а

1. **Чебров В.Н.**, Матвеев Е.А., Шевченко Ю.В., Яшук В.В., Музуров Е.Л. (сост.). Сейсмические станции сети Камчатки и Командорских островов в 2010 г. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
2. **Дрознин Д.В.**, **Дрознина С.Я.** Интерактивная программа обработки сейсмических сигналов DIMAS // Сейсмические приборы. – 2010. – 46. – № 3. – С. 22–34.
3. **Сенюков С.Л.**, **Дрознина С.Я.** (отв. сост.), **Козлова Н.И.**, **Карпенко Е.А.**, **Леднева Н.А.**, **Митюшкина С.В.**, **Назарова З.А.**, **Напылова Н.А.**, **Раевская А.А.**, **Ромашева Е.И.** (сост.). Каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов за 2010 г. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
4. **Чебров В.Н.**, **Левина В.И.**, **Ландер А.В.**, **Чеброва А.Ю.**, **Сенюков С.Л.**, **Дрознин Д.В.**, **Дрознина С.Я.** Региональный каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов 1962–2010 гг.: технология и методика создания. (См. раздел V (Методические вопросы) в наст. сб.).
5. **Чебров В.Н.**, **Чеброва А.Ю.**, **Матвеев Е.А.**, **Ландер А.В.**, **Митюшкина С.В.**, **Иванова Е.И.**, **Гусева Е.М.**, **Салтыков В.А.**, **Кугаенко Ю.А.**, **Воропаев П.В.** Камчатка и Командорские острова // Землетрясения Северной Евразии, 2009 год. – Обнинск: ГС РАН, 2015. – С. 180–195.
6. **Салтыков В.А.** Статистическая оценка уровня сейсмичности: методика и результаты применения на примере Камчатки // Вулканология и сейсмология. – 2011. – № 2. – С. 53–59.
7. **International Seismological Centre**, On-line Bulletin, Internatl. Seis. Cent., Thatcham, United Kingdom, 2013. – URL: <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/>.
8. **Митюшкина С.В.** (отв. сост.), **Раевская А.А.** (сост.). Макросейсмический эффект ощутимых землетрясений в населенных пунктах Камчатки и Командорских островов в 2010 г. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
9. **Митюшкина С.В.**, **Раевская А.А.**, **Пойгина С.Г.** (сост.). Сведения о пунктах, для которых имеется информация о макросейсмических проявлениях ощутимых землетрясений Камчатки за 2010 г. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
10. **Зобин В.М.** Механизм очагов землетрясений и сеймотектоническое деформирование Камчатско-Командорского региона в 1964–1982 гг. // Вулканология и сейсмология. – 1987. – № 6. – С. 78–92.
11. **Иванова Е.И.** (сост.). Каталог механизмов очагов землетрясений Камчатки и Командорских островов за 2010 г. (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. **USGS National Earthquake Information Centre**. – URL: <ftp://hazards.cr.usgs.gov/edr/>
 15. **Сейсмологический бюллетень (ежедекадный) за 2010 год** / Отв. ред. О.Е. Старовойт. – Обнинск: ГС РАН, 2010–2011. – URL: ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_bulletin/2010.
 16. **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.
 17. **Чебров В.Н., Дрознина С.Я., Сеньюков С.Л.** Камчатка и командорские острова // Землетрясения России в 2013 году. – Обнинск: ГС РАН, 2015. – С. 58–65.
 18. **Чебров В.Н., Дрознин Д.В., Кугаенко Ю.А., Левина В.И., Сеньюков С.Л., Сергеев В.А., Шевченко Ю.В., Ящук В.В.** Система детальных сейсмологических наблюдений на Камчатке в 2011 г. // Вулканология и сейсмология. – 2013. – № 1. – С. 18–40.
 19. **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.