

КАМЧАТКА И КОМАНДОРСКИЕ ОСТРОВА

**В.Н. Чебров¹, А.Ю. Чеброва¹, Е.А. Матвеевко¹, А.В. Ландер², С.В. Митюшкина¹,
Е.И. Иванова¹, Е.М. Гусева¹, В.А. Салтыков¹, Ю.А. Кугаенко¹, П.В. Воронаев¹**

¹ Камчатский филиал ГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский, ayuch@emsd.ru
² Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН,
г. Москва, land@mitp.ru

В 2009 г. продолжилась работа по модернизации сети сейсмических станций Камчатки. На станциях «Крутоберегово», «Беринг» и «Тиличики» было обновлено оборудование. На территории Камчатского края было установлено семь новых сейсмических станций: «Администрация_УК», «Арик», «Водозабор», «Дальний», «Кизимен», «Корякский ретранслятор», «Морской порт» (табл. 1 и 2). Кроме того, в 2009 г. была организована непрерывная передача сейсмических данных в реальном времени в Информационно-обрабатывающий центр «Петропавловск» со всех станций сети (кроме станции «Карымшина»).

Таблица 1. Параметры новых сейсмических станций Камчатки, установленных в 2009 г.

№	Станция			Дата открытия	Координаты			Тип аппаратуры
	Название	Код			φ°, N	λ°, E	h _y , м	
		межд.	рег.					
1	Администрация_УК		UK1	17.12.2009	56.2629	162.5857	5	GSR-24
2	Арик	KRX	KRX	19.08.2009	53.3590	158.6490	1410	Телеметрия
3	Водозабор		UK2	12.12.2009	56.2320	162.6463	2	GSR-24
4	Дальний	DALK	DAL	28.06.2009	53.0311	158.7537	57	Цифровая
5	Кизимен	KZV	KZV	28.09.2009	55.1132	160.2938	1500	Телеметрия
6	Корякский ретранслятор	KRER	KRE	11.02.2009	53.3040	158.7490	1845	Телеметрия
7	Морской порт		UK3	22.12.2009	56.2219	162.5233	4	GSR-24

Таблица 2. Параметры каналов регистрации

Название станции	Тип сейсмометра	Перечень каналов	Частотный диапазон, Гц	Частота опроса данных, Гц	Разрядность АЦП	Чувствительность, отсчет/(м/с)
Администрация_УК	CMG-5TD	HN (N, E, Z) a	0–40	100	24	6.3·10 ⁵
Арик	CM-3-BЧ	EH (Z) v	4–20	128	11	4.0·10 ⁸
Арик	CM-3	SH (N, E, Z) v	0.7–20	128	11	1.0·10 ⁷
Водозабор	CMG-5TD	HN (N, E, Z) a	0–40	100	24	6.3·10 ⁵
Дальний	CMG-6TD	BH (N, E, Z) v	0.033–40		24	4.1·10 ⁹
Кизимен	CM-3-BЧ	EH (Z) v	4–20	128	11	1.3·10 ⁶
Кизимен	CM-3	SH (N, E, Z) v	0.7–20	128	11	1.0·10 ⁷
Корякский ретранслятор	CM-3-BЧ	EH (Z) v	4–20	128	11	4.0·10 ⁸
Корякский ретранслятор	CM-3	SH (N, E, Z) v	0.7–20	128	11	1.0·10 ⁷
Морской порт	CMG-5TD	HN (N, E, Z) a	0–40	100	24	6.4·10 ⁵

Сведения о всех сейсмических станциях Камчатки, функционировавших в 2009 г., приведены в [1].

На основной части сейсмоактивной территории Камчатки расчетный уровень надежной регистрации в 2009 г. не изменился и составляет $K_{\min}=8.5$ [2]. Методика определения парамет-

ров землетрясений, изложенная в [3–5], также не изменилась: обработка сигналов цифровых сейсмических станций производится при помощи пакета программ DIMAS [6], расчет параметров гипоцентров и энергетических характеристик землетрясений – с использованием программы GIP [4].

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

Всего в 2009 г. локализованы 5618 землетрясений с $K_S = 3.8–15.8$, из них 927 с $K_S \geq 8.6$ помещены в каталог [7] в наст. сб., 743 из которых находится внутри зоны ответственности, 184 – вне ее. В верхней строке табл. 1 дано распределение $N(K_S)$ всех обработанных землетрясений, в нижней – лишь внутри границ региона.

Таблица 1. Распределение числа землетрясений по энергетическим классам K_S и суммарная сейсмическая энергия ΣE в 2009 г.

K_S	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	N_Σ	$\Sigma E, Дж$
$N_{\text{всего}}$	21	181	1446	1893	1150	606	207	67	34	8	2	2	1	5618	$9.14 \cdot 10^{15}$
$N_{\text{зона отв.}}$	21	181	1446	1892	1129	516	151	43	29	3	0	1	0	5412	$2.05 \cdot 10^{15}$

Уровень сейсмичности в регионе Камчатки и Командорских островов в 2009 г. оценивался по шкале «СОУС'09», предложенной в [8].

Целью создания формализованной шкалы уровня сейсмичности является терминологическая определенность в описании состояния сейсмичности отдельных территорий, что позволяет избежать ряда неоднозначностей при оценке и сравнении сейсмического режима различных пространственно-временных объемов.

Шкала «СОУС'09» привязана к статистической функции распределения F выделившейся сейсмической энергии E как к параметру, характеризующему уровень сейсмичности заданного пространственного объекта в определенный временной интервал. Этот подход вносит терминологическую определенность в описание состояния сейсмичности отдельных территорий и формализует понятие «сейсмический фон». Понятие «фона» ассоциируется со значением «обычный, наиболее распространенный, наиболее часто встречающийся», в противоположность «аномалии», которая наблюдается достаточно редко. Учитывая это, приняты следующие пороговые значения функции распределения: $F=0.005, 0.025, 0.15, 0.85, 0.975, 0.995$. Интервалы между ними формируют шкалу, включающую 5 уровней сейсмичности:

- экстремально высокий – $F(0.995) < \lg E$,
- высокий – $F(0.975) < \lg E < F(0.995)$,
- фоновый – $F(0.025) < \lg E < F(0.975)$,
- низкий – $F(0.005) < \lg E < F(0.025)$,
- экстремально низкий – $\lg E < F(0.005)$.

Исходя из такого разбиения, 95% времени мониторинга сейсмичность находится на обычном, нормальном, фоновом уровне, 4% – на высоком либо низком уровне, и лишь 1% времени отводится на аномалию как отклонение от нормы (экстремально высокий или экстремально низкий уровень сейсмичности).

Для повышения детальности фоновый уровень разбивается на три дополнительных подуровня:

- фоновый повышенный – $F(0.85) < \lg E < F(0.975)$,
- фоновый средний – $F(0.15) < \lg E < F(0.85)$,
- фоновый пониженный – $F(0.025) < \lg E < F(0.15)$.

В 2009 г. суммарная энергия зарегистрированных в зоне ответственности КФ ГС РАН землетрясений составила $2.05 \cdot 10^{15}$ Дж. Функция распределения F выделившейся за год сейсмической энергии построена по данным каталога за 1962–2009 гг. (рис. 1). Для 2009 г. $F=0.86 \pm 0.05$, что соответствует фоновому повышенному уровню по шкале «СОУС'09».

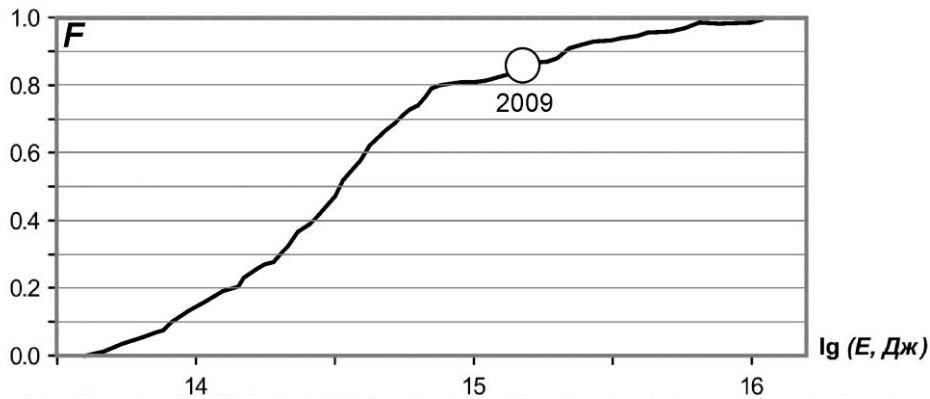


Рис. 1. Функция распределения F сейсмической энергии для региона Камчатки и Командорских островов

Кружком отмечено значение функции распределения F , соответствующее 2009 г.; диаметр кружка равен величине погрешности определения F .

На рис. 2 а, б представлены ежесуточные числа N землетрясений с $K_S \geq 8.6$ и кумулятивный график выделившейся 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 девять землетрясений в сутки. Одна наиболее заметная ступень на графике выделившейся сейсмической энергии (рис. 2 б) вызвана сильным событием у восточного побережья о. Парамушир в промежуточной зоне сейсмофокальной зоны Курил и Южной Камчатки [7]. Это землетрясение (14)¹ произошло 21 апреля в 05^h26^m с $K_S=15.3$, $M_w=6.2^2$ на глубине $h=168 \pm 4$ км и является сильнейшим событием года, локализованным в зоне ответственности сети КФ ГС РАН.

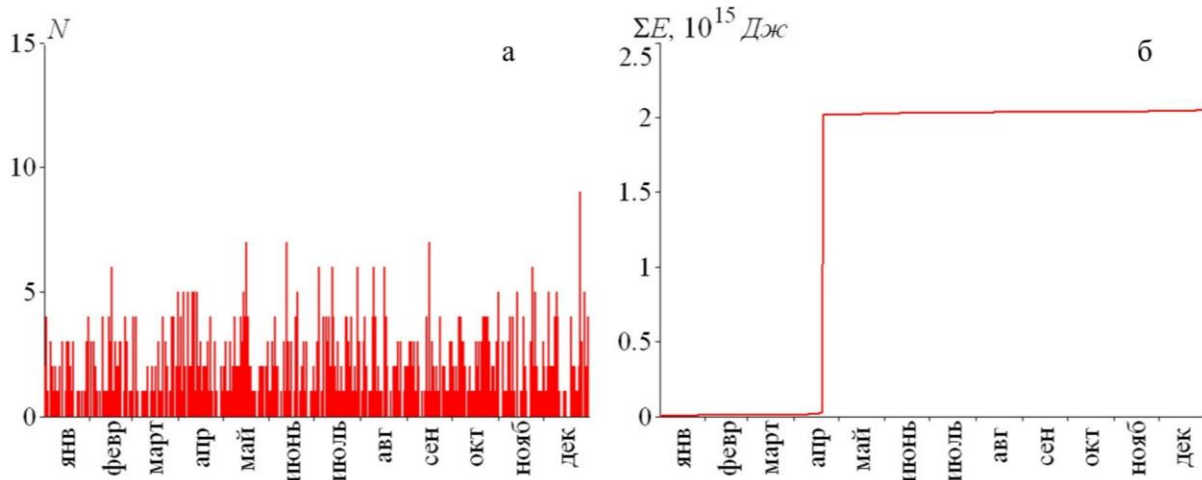


Рис. 2. Графики изменения во времени суточных чисел N землетрясений с $K_S \geq 8.6$ (а) и выделившейся сейсмической энергии ΣE (б) в 2009 г. для зоны ответственности сети КФ ГС РАН

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 2009 г. сетью КФ ГС РАН зарегистрировано 47 сильных ($K_S \geq 11.6$) землетрясений, из них 33 относятся к Камчатскому региону.

На территории Камчатского края, Северных Курил и Командорских островов в 2009 г. ощущалось 64 землетрясения ($K_S=8.7-15.8$) с интенсивностью I от 2 и до 5–6 баллов [7, 10]. По этим событиям были собраны 377 сообщений о землетрясениях из 75 пунктов.

¹ Номера событий здесь и далее соответствуют таковым в каталоге [7].

² Здесь и далее $M_w = M_w$ (GCMT) из [9].

Максимальное проявление интенсивности сотрясений $I_{\max}=5-6$ баллов наблюдалось на ГМС «Семячки» ($\Delta=76$ км) во время землетрясения (45), которое произошло 11 декабря в 01^h16^m ($h=23\pm 4$ км, $K_S=12.1$, $M_S=4.0^3$). Сотрясения интенсивностью до 5 баллов вызвали землетрясения 17 января в 09^h23^m ($h=39\pm 5$ км, $K_S=11.4$, $M_S=4.1$) на ГМС «Кроноки» ($\Delta=86$ км) и землетрясение 15 сентября в 19^h04^m с $K_S=10.5$, $M_S=3.5$, $h=3\pm 1$ км – на Тумрокских источниках ($\Delta=7$ км) [10].

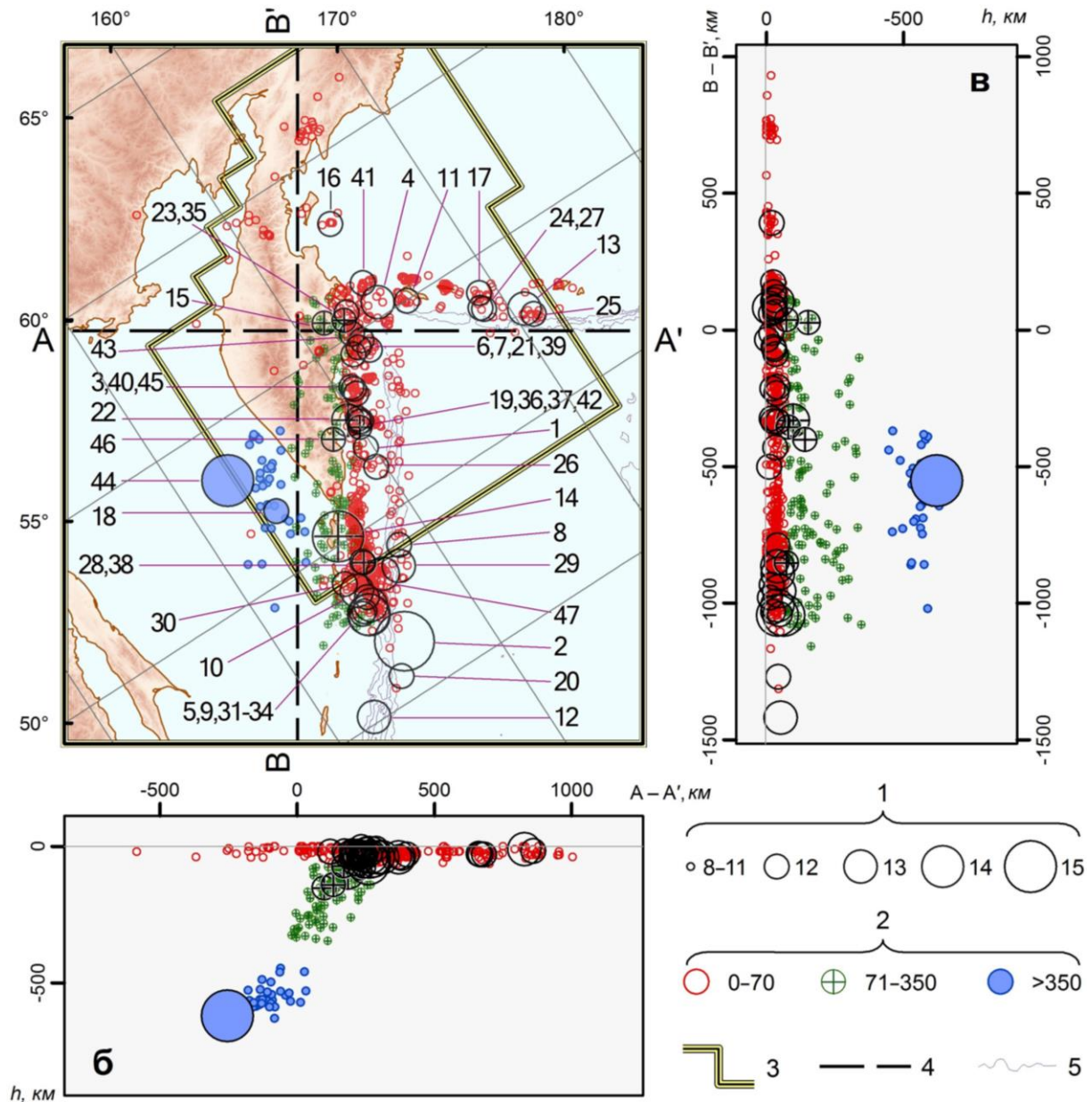


Рис. 3. Карта эпицентров землетрясений Камчатки с $K_S \geq 8.6$ (а) за 2009 г. и проекции гипоцентров на вертикальные плоскости А–А' (б) и В–В' (в)

1 – энергетический класс K_S по [5]; 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 1–47 соответствуют номерам сильных ($K_S \geq 11.6$) землетрясений в каталоге [7].

В г. Петропавловск-Камчатский сотрясения с интенсивностью I от 2 до 4 баллов ощущались в совокупности 24 раза [10] от землетрясений разных классов в диапазоне $K_S=9.6-15.8$.

Механизмы очагов определены по знакам первых вступлений объемных волн для 41 землетрясения с $K_S \geq 11.6$ [11] по программе FA2011 (усовершенствованная программа

³ Здесь и далее $M_S=M_s$ (ISC) из [9].

FA2002 [12, 13]). Использовались данные региональных станций и знаки вступлений *P*-волн из бюллетеней: NEIC [14], ГС РАН [15] и ISC [9]. Из распределения землетрясений по типам подвижек в табл. 2 виден ежегодно преобладающий тип – взбросо-сдвиг (60% событий).

Таблица 2. Распределение сильных землетрясений Камчатки и Командорских островов 2009 г. по типам подвижек в их очагах

Тип подвижки по классификации [16]	Номера землетрясений по [7]	N_i	N_i/N_{Σ} , %
Сбросо-сдвиг	8, 14, 26, 29, 38, 45, 46, 47	8	17
Взбросо-сдвиг	1, 6, 7, 9, 10, 11, 13, 15, 16, 18, 19, 21, 22, 23, 24, 25, 27, 28, 30, 32, 35, 36, 37, 39, 41, 42, 43, 44	28	60
Сдвиг	4, 17	2	4
Взброс	3, 31, 40	3	6
Не определен	2, 5, 12, 20, 33, 34	6	13
Сумма		47	100

Рассмотрим особенности сейсмического процесса региона по 10 зонам и слоям в зонах № 1 и № 2, перечисленным в графах 2, 3 табл. 3 (их подробное описание см. в [17]). 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 весь период инструментальных наблюдений 1962–2008 гг. При этом учитывались лишь землетрясения, входящие в зону ответственности КФ ГС РАН.

Таблица 3. Распределение числа землетрясений с $K_S \geq 8.6$ и $K_S \geq 11.6$, а также выделенной энергии по зонам за 2009 г. в сопоставлении с их средними оценками за период 1962–2008 гг. внутри границ региона Камчатки и Командорских островов

№	Зона	Слой	Средние значения за 1962–2008 гг.				Значения за 2009 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	197	22.2	10	1.36	187	25.2	3	0.04
		II	42	4.7	2	0.14	65	8.7	3	19.97
		III	5	0.6	<1	1.45	30	4.0	1	<0.01
2	Северная часть Камчатской сейсмофокальной зоны	I	332	37.4	11	1.44	200	26.9	12	0.12
		IIa	84	9.4	2	2.66	46	6.2	4	0.07
		IIIa	<1	<0.1	<0.1	0.02				
3	Командорский сегмент Алеутской дуги	I	113	12.7	5	1.25	122	16.4	8	0.20
4	Тихий океан	I	51	5.7	1	0.11	34	4.6	1	0.01
5	Северные Курилы	I	2	0.2		<0.01	2	0.3		<0.01
6	Континентальные области Камчатки	I	41	4.6	<1	0.11	14	1.9		<0.01
7	Корякский сейсмический пояс	I	19	2.1	<1	1.77	30	4.0	1	0.03
8	Берингово море	I	<0.1	<0.01		<0.01				
9	Залив Шелихова	I	<1	<0.1	<1	<0.01	12	1.6		<0.01
10	Охотия	I	<1	<0.1	<0.1	<0.01	1	0.1		<0.01
	Всего		888	100	33	10.3	743	100	33	20.5

Примечание. Для зон № 1 и № 2 в графе 3 цифрами I, II и III обозначены поверхностный ($0 < h < 70$ км), промежуточный ($70 < h < 350$ км) и глубокий ($h > 350$ км) слои соответственно; зона № 2 имеет границы промежуточного ($70 < h < 380$ км) и глубокого ($h > 380$ км) слоев, отличные от других; они обозначаются как IIa и IIIa соответственно.

Как следует из табл. 3, значения суммарной выделившейся энергии для всех зон оказались ниже среднегодовых значений. Исключением является промежуточный слой II Сейсмофокальной зоны Курил и Южной Камчатки (№ 1), значение суммарной выделившейся энергии в котором превысило среднее на два порядка. Распределение числа землетрясений по зонам № 1–№ 10 и слоям в зонах № 1и № 2 незначительно отличается от среднестатистических оценок. Следует отметить повышенное, относительно среднегодового, значение числа событий в глубоком слое зоны № 1. Кроме того, в этом слое зоны № 1, но за пределами границы зоны ответственности КФ ГС РАН, 10 декабря произошло сильное ($K_S=14.8$, $M_w=6.3$) глубокое ($h=621\pm 9$ км) землетрясение (44). Событие не вошло в статистику, но перечисленные факты говорят, безусловно, о продолжении активизации глубокого слоя III Сейсмофокальной зоны Курил и Южной Камчатки, которая началась в 2008 г. с двух сильных землетрясений (05.07.2008 г. с $M_w=7.7$, 24.11.2008 г. $M_w=7.3$) в акватории Охотского моря [18].

Для зон Камчатского региона по данным каталога за 1962–2009 гг. были построены функции распределения сейсмической энергии. Полученные значения функции распределения сейсмической энергии и категории уровня сейсмичности, согласно шкале «СОУС'09» [8] по зонам, указаны в табл. 4. В 2009 г. сейсмичность всех зон соответствует фоновому уровню. Следует отметить, что в 2009 г. для центральной, наиболее сейсмоактивной части Камчатского региона, ограниченной координатами $\varphi=50.5\text{--}56.5^\circ\text{N}$, $\lambda=156.0\text{--}167.0^\circ\text{E}$ и глубиной $h=0\text{--}300$ км, по данным оперативного каталога КФ ГС РАН отмечался абсолютный минимум сейсмической энергии землетрясений, установленный за все время детальных наблюдений с 1962 по 2009 г. [19]. Временной ход уровня сейсмичности по шкале «СОУС'09» для этого сейсмоактивного объема в различных временных окнах от одной недели до одного года приведен в [20].

Таблица 4. Значения функции распределения сейсмической энергии и категории уровня сейсмичности согласно шкале «СОУС'09» по зонам для 2009 г.

№	Зона	Энергия, Дж	Функция распределения F	Уровень сейсмичности
1	Сейсмофокальная зона Курил и Южной Камчатки	$2.0 \cdot 10^{15}$	0.97 ± 0.03	фоновый повышенный
2	Северная часть Камчатской сейсмофокальной зоны	$1.9 \cdot 10^{13}$	0.18 ± 0.06	фоновый средний
3	Командорский сегмент Алеутской дуги	$2.0 \cdot 10^{13}$	0.50 ± 0.07	фоновый средний
4	Тихий океан	$1.3 \cdot 10^{12}$	0.47 ± 0.07	фоновый средний
6	Корякский сейсмический пояс	$3.0 \cdot 10^{12}$	0.86 ± 0.05	фоновый повышенный
7	Континентальные области Камчатки	$6.5 \cdot 10^{10}$	0.45 ± 0.07	фоновый средний

Далее рассмотрим сейсмичность за 2009 г. по зонам № 1–№ 7 внутри границ Камчатского региона.

Сейсмофокальная зона Курил и Южной Камчатки (№ 1). Величина суммарной выделившейся энергии равна $\Sigma E=2.0 \cdot 10^{15}$ Дж, уровень сейсмичности – фоновый повышенный. События распределились по трем глубинным слоям следующим образом: поверхностные – $N=187$ (25.2%), промежуточные – $N=65$ (8.7%), глубокие – $N=30$ (4.0%). Карта эпицентров землетрясений, а также диаграммы механизмов очагов в проекции нижней полусферы с указанием типа подвижки в очаге показаны на рис. 4.

Всего в зоне № 1 произошло 11 ощутимых землетрясений с $K_S=9.6\text{--}15.3$ и интенсивностью сотрясений I от 2 до 4–5 баллов [10]. Максимальные сотрясения $I_{\max}=4\text{--}5$ баллов были зарегистрированы на м. Шипунский ($\Delta=63$ км) во время землетрясения 21 октября в $22^{\text{h}}27^{\text{m}}$ с $K_S=10.9$, $M_S=3.7$, $h=28\pm 3$ км.

В *поверхностном слое I* сейсмофокальной зоны Курил и Южной Камчатки в 2009 г. зафиксировано три сильных землетрясения (1, 26, 28). Для этих событий наблюдается низкая точность (E) определения механизмов, возможно, поэтому полученные механизмы очагов землетрясений (1, 26, 28) не соответствуют полю напряжений зоны субдукции. События (1) (14 января в $05^{\text{h}}14^{\text{m}}$ с $K_S=12.2$, $M_w=5.4$, $h=33\pm 8$ км) и (26) (22 июля в $21^{\text{h}}06^{\text{m}}$ с $K_S=11.6$, $M_S=4.4$,

$h=10\pm 5$ км) ощущались с интенсивностью $I=2-3$ балла. За событием (28), произошедшим 13 августа в $20^{\text{h}}29^{\text{m}}$ на глубине $h=38\pm 8$ км с $K_S=11.9$, $M_s=4.2$, последовала серия афтершоков из семи слабых землетрясений, отмеченных в [7].

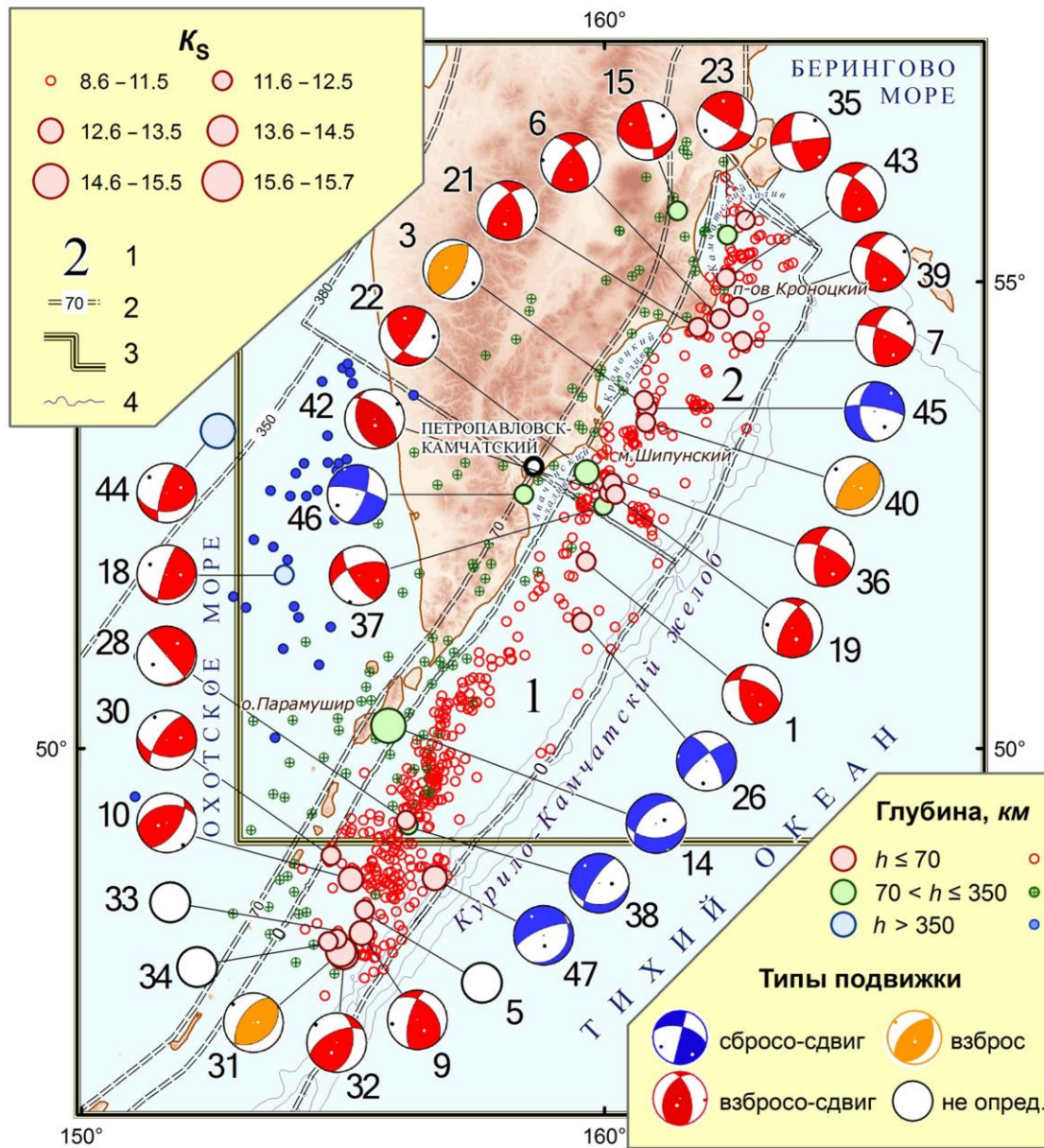


Рис. 4. Карта эпицентров и стереограммы механизмов очагов землетрясений Курило-Камчатской зоны субдукции (зоны № 1 и № 2) за 2009 г.

1 – номер зоны из табл. 3; 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 [7].

В промежуточном слое II сейсмофокальной зоны № 1 в пределах границы Камчатской зоны ответственности произошло сильнейшее землетрясение (14) 2009 г. с $K_S=15.3$, $M_w=6.2$. Оно возникло у о. Парамушир 21 апреля в $05^{\text{h}}26^{\text{m}}$ на глубине $h=168\pm 4$ км и ощущалось в семи населенных пунктах Камчатки и Северных Курильских о-ов, расположенных вдоль побережья Тихого океана на расстоянии до 364 км, с I от 2 до 3–4 баллов [7, 10]. Еще два сильных одиночных события (38 и 46) были зафиксированы с глубиной $h=73$ и 141 км. Землетрясение (38) возникло 20 ноября в $07^{\text{h}}01^{\text{m}}$ с $K_S=11.8$, $M_w=4.9$ на глубине $h=73\pm 9$ км. Землетрясение (46) произошло всего в 36 км от г. Петропавловск-Камчатский, недалеко от бухты Большая Саранная,

12 декабря в 02^h12^m с $K_S=11.8$, $M_w=5.1$, $h=141\pm 2$ км. Оно ощущалось с интенсивностью $I=4$ балла на ГМС «Семячки», а в г. Петропавловск-Камчатский – с $I=3$ балла. Тип механизма, определенного для очагов промежуточных землетрясений, сбросовый, с различной степенью сдвига; как правило, одна из нодальных плоскостей близпараллельна плоскости зоны субдукции.

В глубоком слое III сейсмофокальной зоны № 1 наблюдалась активность в районе очага сильного землетрясения 24.11.2008 г. с $M_w=7.3$ [18]: семь событий 2009 г. были отнесены⁴ к его афтершокам [7]. В зоне ответственности КФ ГС РАН 21 мая в 13^h52^m произошло сильное глубокое ($h=553\pm 6$ км) землетрясение (18) с $K_S=11.7$, $M_c=4.5$. По-видимому, движение произошло по субвертикальной плоскости. Данный механизм очага соответствует сжатию по падению глубокого участка погружающейся плиты.

Стоит также обратить внимание на сильное ($K_S=14.8$, $M_w=6.3$) глубокое ($h=621\pm 9$ км) землетрясение (44), которое произошло 10 декабря в 02^h30^m у западной границы зоны ответственности КФ ГС РАН, за ее пределами. Оно ощущалось с интенсивностью $I=3-4$ балла только в одном пункте – ГМС «Кроноки» ($\Delta=574$ км), расположенном на восточном побережье Камчатки. Наблюдаемый макросейсмический эффект характерен для глубоких землетрясений зоны субдукции. Следует подчеркнуть, что землетрясение (44) относится к Камчатской сейсмофокальной зоне.

В Северной части Камчатской сейсмофокальной зоны № 2 произошло 246 (33.1%) землетрясений с $K_S\geq 8.6$, из них 26.9% – поверхностных ($N=200$), 6.2% – промежуточных ($N=46$) и ни одного – в глубоком слое (рис. 4). 28 событий зоны № 2 с $K_S=9.2-12.7$ ощущались с интенсивностью I от 2 до 5–6 баллов. Величина суммарной выделившейся энергии $\Sigma E=1.9\cdot 10^{13}$ Дж, уровень сейсмичности – фоновый средний.

В поверхностном слое I зоны № 2 недалеко от м. Шипунский, на его подводном продолжении в хр. Шатского локализовано три сильных ($K_S=11.6-12.2$) землетрясения (19, 36, 42). Они характеризуются взбросо-сдвиговой дислокацией в очагах. Каждое из них ощущалось на побережье Камчатки и в г. Петропавловск-Камчатский. Наибольшие сотрясения с $I=5$ баллов на ГМС «Семячки» ($\Delta=76$ км) вызвало землетрясение (42), произошедшее 28 ноября в 17^h49^m с $K_S=12.2$, $M_w=5.1$, $h=42\pm 6$ км. Помимо этого, в Авачинском заливе произошло два землетрясения (22, 37) в промежуточном слое IIa, вызвавшие сотрясения до $I=4$ балла в населенных пунктах, расположенных в окрестности Авачинской бухты. Землетрясение (22) оказалось самым сильным в зоне № 2, оно реализовалось 11 июня в 01^h35^m на глубине $h=98\pm 3$ км с $K_S=12.7$, $M_w=5.1$. В очагах землетрясений (22 и 37) превалировали напряжения сжатия, ориентированные в восточном и юго-западном направлениях соответственно; тип движения – взбросы с элементами сдвига [11].

В Кроноцком заливе также зафиксировано три сильных ($K_S=11.6-12.1$) поверхностных землетрясения (3, 40, 45). Для (3) (19 января в 03^h38^m, $h=40\pm 12$ км, $K_S=11.6$, $M_s=5.3$) и (40) (28 октября в 08^h36^m, $h=36\pm 6$ км, $K_S=11.7$, $M_w=5.0$) получены механизмы, соответствующие полю напряжений зоны субдукции – взбросы с субгоризонтальной осью сжатия, направленной приблизительно по направлению движения Тихоокеанской плиты. Землетрясение (45), произошедшее 11 декабря в 01^h16^m, $h=23\pm 4$ км, $K_S=12.1$, $M_s=4.0$, выделяется среди всех событий максимальным макросейсмическим эффектом на территории Камчатского края. Как отмечено выше, колебания с интенсивностью $I=5-6$ баллов наблюдались в ближайшем от эпицентра пункте ГМС «Семячки» ($\Delta=76$ км).

Севернее Кроноцкого залива, вдоль побережья Кроноцкого п-ва и Камчатского залива, достаточно равномерно расположились эпицентры шести поверхностных (6, 7, 21, 35, 39, 43) и двух промежуточных (15, 23) землетрясений. Только два из них (7) и (23) не ощущались, остальные вызвали в камчатских населенных пунктах сотрясения с интенсивностью $I=2-4$ балла. Для (6, 7, 21, 23, 39, 43) определены механизмы очагов, в целом типичные для Камчатской сейсмофокальной зоны: тип подвижки – взброс с элементами сдвига, одна из нодальных плоскостей круто падает под Камчатку в направлении простирания зоны субдукции. Для

⁴ Сведения о группируемости землетрясений получены Н.М. Кравченко с помощью программы В.Б. Смирнова (Физический факультет, МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва), использующей метод Молчана–Дмитриевой [21].

событий (15, 35) также отмечается взбросо-сдвиговый тип подвижки, но простирание нодальных плоскостей субширотное, что соответствует северо-восточному краю зоны № 2.

В **Командорском сегменте Алеутской дуги (зона № 3)** произошло 122 землетрясения с $K_S \geq 8.6$, восемь событий имеют $K_S \geq 11.6$ (рис. 5). Число сильных событий несколько превысило среднегодовое значение (8 вместо 5), но все они были с умеренной энергией ($K_S = 11.6 - 12.8$), поэтому суммарная их энергия, равная $\Sigma E = 2.0 \cdot 10^{13}$ Дж, оказалась почти на порядок ниже среднегодового значения (табл. 3). Уровень сейсмичности – фоновый средний (табл. 4). Все землетрясения зоны реализовались в поверхностном слое. Шесть землетрясений с $K_S = 10.1 - 12.8$ ощущались в населенных пунктах Камчатского края с интенсивностью сотрясений I от 2 до 3–4 баллов. Самые сильные сотрясения от землетрясений зоны № 3 с $I = 3 - 4$ балла трижды тревожили жителей пос. Никольское и один раз зрителей маяка на мысе Африка.

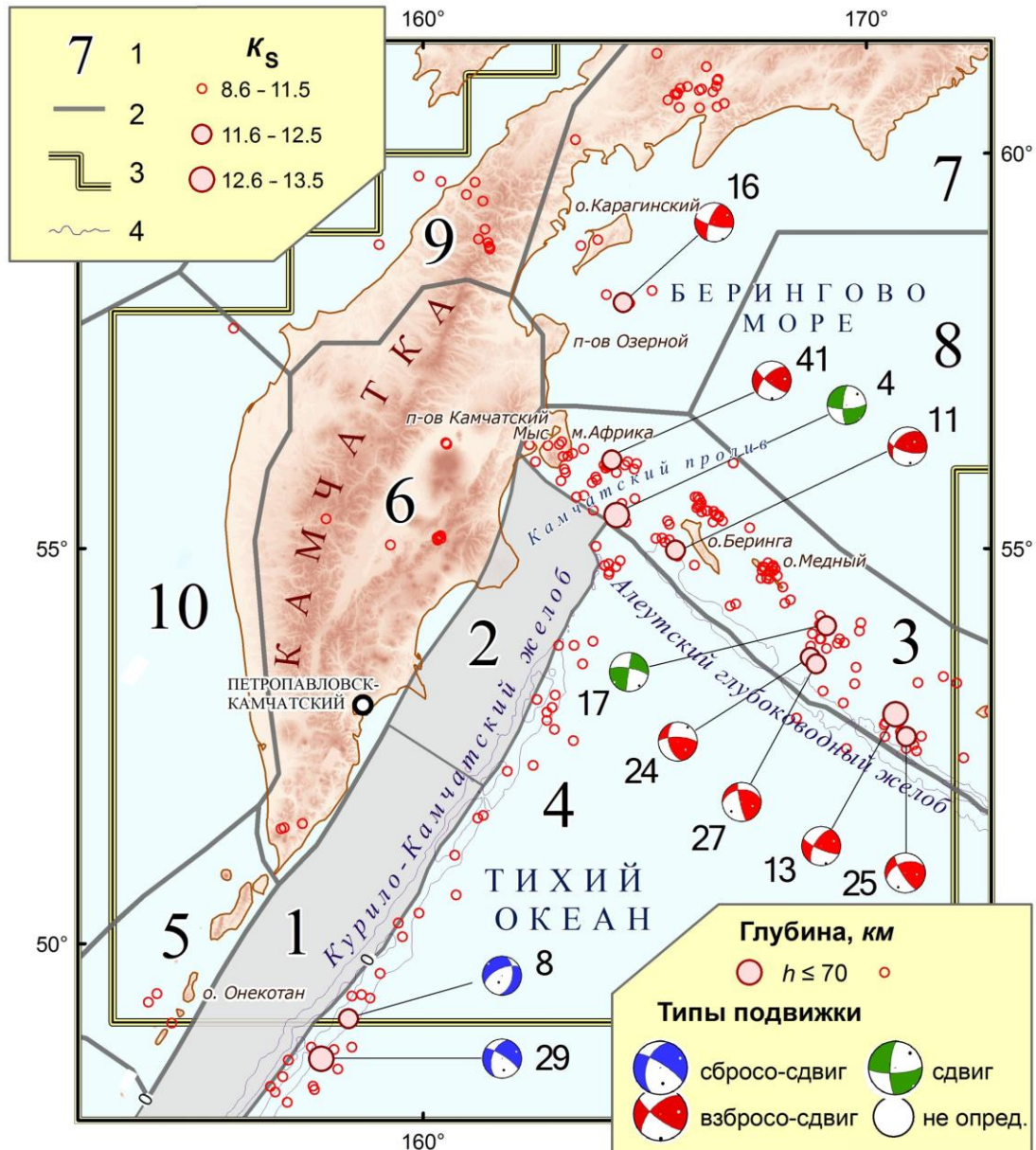


Рис. 5. Карта эпицентров землетрясений зон № 3–№ 10 за 2009 г.

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 целом в зоне № 3 наблюдалось типичное распределение событий в основном, вдоль южной и северной параллельных границ Командорской микроплиты [17].

В районе п-ва Камчатского мыса регистрировалась рассеянная сейсмичность без сильных событий и роев, предположительно связанная со взаимодействием Камчатки и Командорского блока Алеутской дуги.

На северной границе Командорской микроплиты происходят события, соответствующие правостороннему сдвигу по разлому Беринга [17, 22]. Здесь в 2009 г. наблюдалось несколько групп землетрясений: 1) в Камчатском проливе; 2) севернее о. Беринга; 3) в районе о. Медный. Первая группа включает 14 событий, в том числе сильное ($K_S=11.6$, $M_S=4.6$) землетрясение (41), которое произошло 24 ноября в $10^{\text{h}}41^{\text{m}}$ с $h=25\pm 3$ км, и вызвало до конца года четыре слабых афтершока [7]. Для события (41) определен механизм очага [11], согласно которому по обеим возможным плоскостям разрыва произошел сдвиг со взбросовой компонентой, правосторонний сдвиг наблюдается для плоскости, простирающейся в направлении на юго-восток ($STK=226^\circ$), вдоль простирания Алеутской островной дуги. Во второй группе зафиксировано 17 событий с $K_S=8.6-11.2$. Из них одно, зарегистрированное 31 июля ($03^{\text{h}}19^{\text{m}}$, $h=20\pm 3$ км, $K_S=11.2$, $M_w=4.8$), ощущалось в пос. Никольское (на о. Беринга) с $I=3$ балла. Возле о. Медный наблюдалась группа из 14 слабых землетрясений с $K_S=8.7-11.1$.

На границе Командорской микроплиты и Тихоокеанской плиты зарегистрировано два сильных события (4, 11). В начале года 27 января в $23^{\text{h}}57^{\text{m}}$ было зарегистрировано самое сильное ($K_S=12.8$, $M_w=5.5$) событие (4) зоны № 3 на глубине $h=40\pm 12$ км. По одной из нодальных плоскостей (NPI), имеющей субмеридиональное простирание ($STK=182^\circ$) и крутой угол падения ($DP=74^\circ$), возможное движение соответствует правостороннему сдвигу. Землетрясение ощущалось в ближайших к эпицентру пунктах пос. Никольское ($\Delta=105$ км) и на м. Африка ($\Delta=111$ км) с $I=3-4$ балла, а в более удаленном пос. Усть-Камчатск ($\Delta=149$ км) – с $I=2-3$ балла. 16 апреля в $19^{\text{h}}15^{\text{m}}$ западнее о. Беринга произошло сильное ($K_S=12.1$, $M_S=4.7$) событие (11) на глубине $h=30\pm 3$ км. В его очаге преобладали напряжения сжатия, ориентированные на юг-юго-восток. Более вероятным решением является взброс (с компонентами правостороннего сдвига) по нодальной плоскости NPI , наклоненной к горизонту под углом $DP=67^\circ$, ее простирание – близширотное ($STK=105^\circ$). Это землетрясение ощущалось в пос. Никольское с $I=3-4$ балла.

Юго-восточнее о. Медный в 2009 г. произошло пять событий с $K_S\geq 11.6$ (13, 17, 24, 25, 27). На территории Камчатского края ни одно из них не ощущалось. Землетрясения располагаются на краю зоны ответственности, поэтому, учитывая одностороннее расположение сети, механизмы в данном районе определяются ненадежно.

В Тихом океане (зона № 4) наиболее сильное ($K_S=12.1$, $M_w=5.1$) землетрясение (8) произошло на восточном склоне Курило-Камчатского желоба, напротив о. Онекотан (Северные Курилы) (рис. 5). Это одиночное событие зарегистрировано 22 февраля в $10^{\text{h}}33^{\text{m}}$ с $h=40\pm 8$ км. Тип подвижки в очаге – сброс вдоль простирания океанического вала с элементами левостороннего сдвига. Всего в зоне № 4 локализовано 34 события с $K_S\geq 8.6$ (табл. 3). Уровень сейсмичности – фоновый средний (табл. 4).

В соседней зоне № 6 (Континентальные области Камчатки) зарегистрировано 14 землетрясений с $K_S=8.6-10.5$ с $h=0-27$ км. Наиболее сильные произошли вблизи влк. Кизимен 15 сентября в $19^{\text{h}}04^{\text{m}}$ с $K_S=10.5$, $h=3\pm 1$ км и 28 июля в $09^{\text{h}}34^{\text{m}}$ с $K_S=10.1$, $h=1\pm 1$ км [7]. Уровень сейсмичности – фоновый средний (табл. 4).

В Корьякском сейсмическом поясе (зона № 7) наблюдался фоновый повышенный уровень сейсмичности (табл. 4). Всего отмечено 30 землетрясений с $K_S\geq 8.6$ (табл. 3), в том числе одно (16) – с $K_S\geq 11.6$. В 2009 г. продолжались афтершоки Олюторского землетрясения 20.04.2006 г. с $M_w=7.6$, $I_0=9-10$ [23]. Всего зарегистрировано 17 афтершоков с $K_S=8.6-11.2$ [7], девять из которых ощущались в Корьякском округе Камчатского края с интенсивностью I до 4 баллов.

Сильное ($K_S=12.4$, $M_w=5.4$) одиночное событие (16) произошло 8 мая в $21^{\text{h}}22^{\text{m}}$ на глубине $h=20\pm 2$ км в западной части Берингова моря приблизительно на равном удалении (70–80 км) от о-ва Карагинский и п-ва Озерной (рис. 5). В этом районе, в радиусе 100 км от эпицентра сильные события наблюдаются редко. В камчатском каталоге имеется информация всего о восьми событиях с $K_S\geq 11.6$, одно из которых – это Озерновское землетрясение 22.11.1969 г. с $M=7.7$, $I_0=8$ [24], породившее волны цунами до 15 м. Тип подвижки в его очаге – сдвиг с компонентами взброса.

В зонах **Северные Курилы (№ 5)**, **Залив Шелихова (№ 9)** и **Охотия (№ 10)** зафиксировано 3, 12 и 2 слабых (с $K_S < 10.6$) землетрясения соответственно. Зона **Берингово море (№ 8)** в 2009 г. была асейсмична (табл. 3). Для этих зон низкая сейсмическая активность является типичной.

Несколько сотен записей сильных движений грунта получено в 2009 г. сетью цифровых акселерографов [25]; эти записи относятся к нескольким десяткам землетрясений с энергетическим классом $K_S \geq 7.9$. Для этой публикации в качестве данных о сильных движениях грунта рассматривалось подмножество записей акселерографов, для которых значение пикового ускорения $a_{\text{пик}}$ превысило уровень $a = 1.5 \text{ см/с}^2$ хотя бы на одной компоненте. В табл. 5 приведен список из 34 землетрясений, для которых удалось получить хотя бы одну такую запись.

Таблица 5. Параметры землетрясений 2009 г. с пиковыми ускорениями $a_{\text{пик}} \geq 1.5 \text{ см/с}^2$

№	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	05 14 18	52.00	159.65	33	12.2	5.4	18	19.06	09 05 59	55.50	162.35	72	11.7	
2	15.01	17 49 33	46.58	155.78	23	15.8	7.4	19	06.07	07 10 15	54.94	166.12	21	8.2	
3	17.01	08 03 45	60.74	165.73	0	10.2		20	31.07	03 19 06	55.55	166.25	20	11.2	4.8
4	27.01	23 57 13	55.42	164.37	40	12.8	5.5	21	02.09	16 27 31	55.08	165.47	36	11.0	
5	31.01	22 24 23	53.39	159.98	47	10.9		22	03.09	15 42 47	56.31	163.08	6	10.7	
6	16.02	11 50 41	60.77	165.74	0	11.2		23	30.09	21 34 26	55.66	162.70	32	11.9	
7	01.04	20 31 27	60.57	166.08	14	8.0		24	08.10	05 25 13	52.84	160.15	20	11.7	
8	05.04	07 15 56	54.90	165.75	28	10.5		25	18.10	20 47 25	52.60	159.98	80	11.8	
9	16.04	19 15 37	54.98	165.70	30	12.1		26	21.10	22 27 02	52.62	159.56	28	10.9	
10	21.04	05 26 08	50.24	155.87	168	15.3	6.2	27	22.10	08 21 33	52.63	159.56	27	9.6	
11	23.04	02 11 42	55.76	161.40	153	11.8	5.2	28	14.11	07 36 52	60.58	166.24	24	9.2	
12	05.05	02 31 47	56.35	163.13	8	10.1		29	28.11	17 49 13	52.74	160.09	42	12.2	5.1
13	10.05	20 05 11	60.74	166.62	15	7.9		30	06.12	22 31 42	52.72	159.84	32	10.9	
14	25.05	19 59 24	52.72	160.21	25	11.6		31	11.12	01 16 50	53.65	160.82	23	12.1	
15	31.05	09 27 43	52.09	159.28	28	10.8		32	12.12	02 16 50	52.72	158.46	141	11.8	5.1
16	06.06	04 15 26	54.51	161.79	34	12.0	5.2	33	20.12	19 44 33	60.92	166.64	0	11.1	
17	11.06	01 35 07	52.96	159.66	98	12.7	5.1	34	22.12	14 41 43	49.72	156.72	60	10.1	

В табл. 6 для каждого землетрясения из табл. 5 приведены пиковые значения ускорений и скоростей для той станции, которая записала это землетрясение с наибольшей амплитудой ускорения. Значения пиковых скоростей получены интегрированием записей акселерографов в подходящей полосе частот, в основном 0.1–40 Гц.

Таблица 6. Пиковые ускорения и скорости землетрясений из табл. 5 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	Амплитуда $a_{\text{пик}}$, см/с^2			Скорость $v_{\text{пик}}$, см/с		
								Компонента			Компонента		
								N	E	Z	N	E	Z
1	14.01	05 14 18	RIB	127	131	12.2	2–3	3.39	2.203	1.98	0.181	0.165	0.0628
2	15.01	17 49 33	VIL	731	731	15.8	4	19.1	10.04	7.29	1.22	0.734	0.529
3	17.01	08 03 45	TL1	40	40	10.2	2–3	4.18	1.85	1.17	0.153	0.0943	0.0466
4	27.01	23 57 13	KBG	139	145	12.8		5.122	6.11	3.53	0.281	0.301	0.194
5	31.01	22 24 23	NIC	116	125	10.9		1.56	2.15	0.261	0.0801	0.0982	0.0129
6	16.02	11 50 41	TL1	42	42	11.2	4	11.5	6.86	4.21	0.519	0.335	0.202
7	01.04	20 31 27	TL1	14	20	8.0		5.74	6.46	2.76	0.121	0.159	0.033
8	05.04	07 15 56	BKI	36	46	10.5	3	2.99	1.66	1.67	0.117	0.0662	0.0467
9	16.04	19 15 37	BKI	30	42	12.1	3–4	6.57	10.4	5.07	0.274	0.588	0.212
10	21.04	05 26 08	VIL	347	385	15.3		2.74	2.72	1.25	0.273	0.219	0.122
11	23.04	02 11 42	KBG	99	182	11.8		4.03	4.09	2.42	0.236	0.246	0.0828
12	05.05	02 31 47	KBG	28	29	10.1	2	12.9	13.2	5.07	0.526	0.626	0.158
13	10.05	20 05 11	TL1	42	44	7.9		2.13	2.46	0.661	0.0657	0.0565	0.0173
14	25.05	19 59 24	SCH	107	109	11.6	2	1.57	0.864	0.524	0.0571	0.0434	0.0181

№	Дата, д м	t_0 , ч мин с	Код* станции	Δ , км	R , км	K_S	I , балл	Амплитуда $a_{\text{пик}}$, см/с ²			Скорость $v_{\text{пик}}$, см/с		
								Компонента			Компонента		
								N	E	Z	N	E	Z
15	31.05	09 27 43	RIB	105	109	10.8	3	2.37	2.47	1.21	0.0881	0.0658	0.0332
16	06.06	04 15 26	KBG	203	206	12.0		1.41	1.63	0.792	0.141	0.147	0.0651
17	11.06	01 35 07	IVS	71	121	12.7	4	17.8	15.5	11.4	1.11	0.881	0.381
18	19.06	09 05 59	KBG	87	113	11.7		2.5	3.59	1.53	0.209	0.169	0.0954
19	06.07	07 10 15	BKI	30	36	8.2		3.84	3.51	1.59	0.0963	0.0725	0.0296
20	31.07	03 19 06	BKI	43	47	11.2	3	2.12	2.61	1.05	0.117	0.251	0.586
21	02.09	16 27 31	BKI	35	50	11.0	3-4	2.76	3.59	2.18	0.0778	0.1003	0.0724
22	03.09	15 42 47	KBG	23	24	10.7		3.75	3.97	2.47	0.226	0.171	0.0899
23	30.09	21 34 26	KBG	67	74	11.9	2-3	2.11	2.01	1.24	0.157	0.185	0.126
24	08.10	05 25 13	SCH	100	102	11.7	3-4	2.57	1.673	1.28	0.136	0.078	0.0427
25	18.10	20 47 25	RIB	104	131	11.8		2.35	1.81	1.03	0.071	0.0417	0.0235
26	21.10	22 27 02	DAL	71	76	10.9		3.01	4.75	1.94	0.0719	0.139	0.0479
27	22.10	08 21 33	DAL	70	75	9.6		2.39	3.22	0.863	0.046	0.072	0.0176
28	14.11	07 36 52	TL1	16	29	9.2	4	6.52	6.92	2.33	0.237	0.322	0.0924
29	28.11	17 49 13	DAL	95	104	12.2		2.68	4.59	2.04	0.106	0.149	0.059
30	06.12	22 31 42	IVS	91	97	10.9	2-3	3.54	4.91	2.01	0.131	0.156	0.0588
31	11.12	01 16 50	IVS	161	162	12.1	3	2.28	3.43	1.15	0.118	0.216	0.0586
32	12.12	02 16 50	IVS	40	146	11.8	2-3	1.71	1.22	1.23	0.162	0.223	0.111
33	20.12	19 44 33	TL1	59	59	11.1	4	16.5	15.31	5.44	0.703	0.557	0.234
34	22.12	14 41 43	SKR	114	129	10.1		1.82	1.41	0.825	0.0232	0.0165	0.0091

Примечание. Δ , R – эпи- и гипоцентральное расстояние соответственно; I – макросейсмическая интенсивность в пункте наблюдения; * – региональный код станции.

В качестве иллюстрации на рис. 6 для землетрясения (22), произошедшего 11 июня в 01^h35^m в Авачинском заливе (рис. 4) на глубине $h=98\pm 3$ км с $K_S=12.7$, $M_w=5.1$, показаны его акселерограммы на станции IVS («Институт») для трех компонент и сглаженные спектры Фурье по ускорению. Спектр Фурье этого землетрясения имеет форму, характерную для Камчатских землетрясений [26].

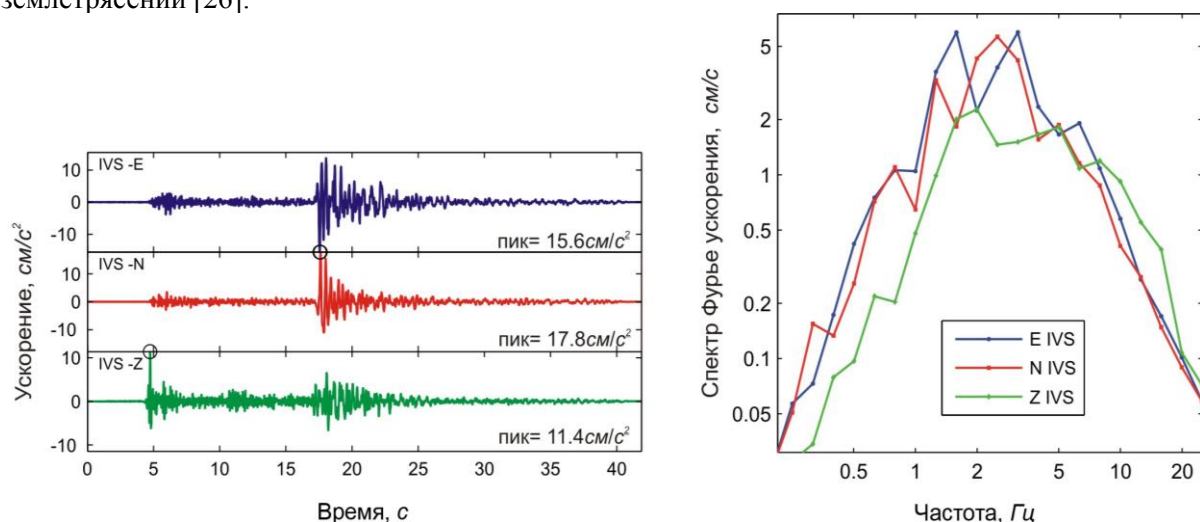


Рис. 6. Три компоненты ускорения грунта от землетрясения 11 июня в 01^h35^m с $M_w=5.1$, $\Delta=71.5$ км и его сглаженные амплитудные спектры Фурье по записям сейсмической станции «Институт» (IVS) на каналах HNE, HNN, HNZ

Временные наблюдения. В 2008–2009 гг. в восточной части Узон-Гейзерной депрессии (территория Кроноцкого государственного природного биосферного заповедника, район Долины Гейзеров и вулканического массива Кихпиныч) впервые были проведены полевые сейсмологические наблюдения. Вопрос об организации в районе Долины Гейзеров полевых сейсмологических исследований начал рассматриваться в 2007 г. после катастрофического оползня, изменившего ландшафт этого всемирно известного природного комплекса [27]. Отметим, что

крупномасштабные процессы склоновой неустойчивости в долине реки Гейзерной продолжаются и в 2014 г. [28].

В 2008 г. здесь был организован полевой сейсмологический полигон, наблюдения на котором были продолжены в 2009 г. (табл. 7, рис. 7). Для регистрации использовались широкополосные цифровые сейсмометры Guralp CMG-6TD (частотный диапазон – от 0.03–100 Гц; динамический диапазон – 138 дБ; чувствительность – 2×1200 В/м/с). Обработка локальных землетрясений велась с использованием программы DIMAS [6] и регионального камчатского географа [29]. Всего за период наблюдений было зарегистрировано 117 землетрясений с $K_S=1.9-11$ [30]. Результаты полевых исследований наиболее полно представлены в [31].

Таблица 7. Станции временной сети, работавшие в 2008–2009 гг. в восточной части Узон-Гейзерной депрессии

Код станции	Координаты			Период работы	
	φ°, N	λ°, E	$h_y, м$	начало	конец
DG1	54.468	160.188	942	30.09.2008 02.09.2009	05.11.2008 15.10.2009
DG2	54.436	160.135	526	05.10.2008 04.09.2009	05.11.2008 15.10.2009
DG3	54.414	160.134	776	02.10.2008	05.11.2008
DG4	54.437	160.174	995	02.10.2008 05.09.2009	28.10.2008 15.09.2009
DG5	54.433	160.102	876	04.10.2008	05.11.2008
DG6	54.449	160.128	861	01.10.2008	05.11.2008
DG7	54.454	160.156	840	01.10.2008 03.09.2009	11.10.2008 01.10.2009

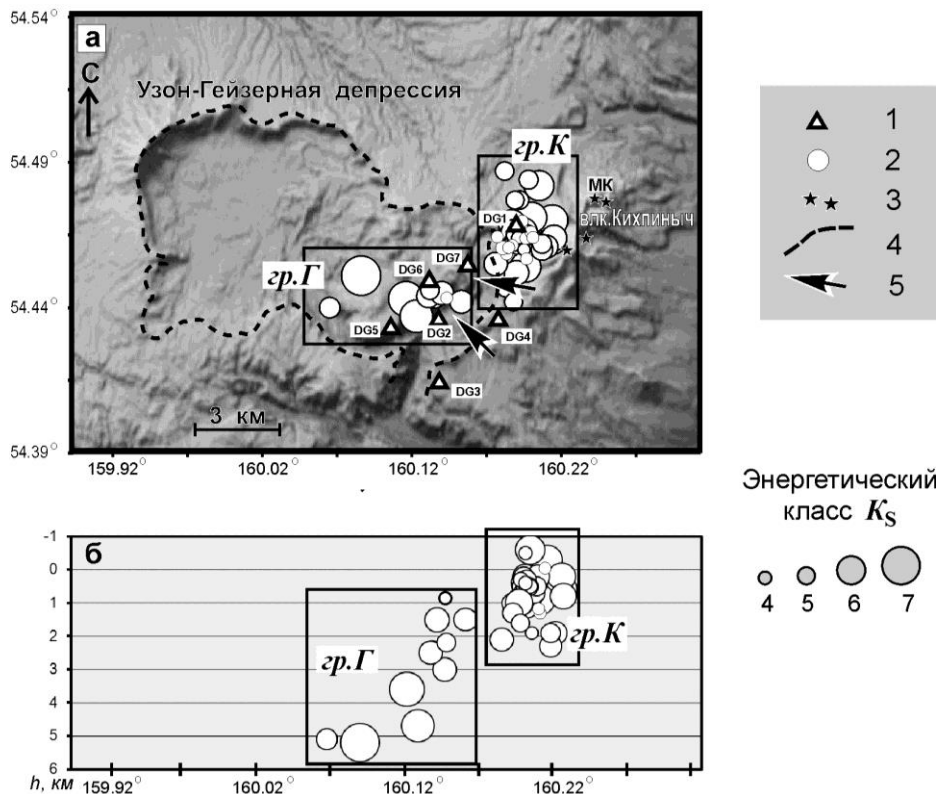


Рис. 7. Карта эпицентров землетрясений Узон-Гейзерной депрессии по данным полевых наблюдений 2008–2009 гг. (а) и проекция на вертикальную широтную плоскость (б)

1 – временная сейсмическая станция; 2 – энергетический класс K_S ; 3 – постройки вулканического массива Кихпинич; 4 – граница Узон-Гейзерной вулканотектонической депрессии; 5 – районы формирования обвально-оползневых процессов 2007 и 2014 гг. в долине р. Гейзерной; МК – влк. Молодой Кихпинич; выделенные прямоугольниками группы землетрясений *гр. Г* и *гр. К* описаны в тексте.

На рис. 7 представлены эпицентры землетрясений, зарегистрированных при полевых работах в 2008–2009 гг., которые определены по данным не менее трех полевых сейсмических станций. Выделяются две группы сейсмических событий: первая – под восточной частью депрессии и Долиной Гейзеров (*гр. Г*), вторая – тяготеет к влк. Кихпиныч (*гр. К*).

События *группы Г* немногочисленны. Они попадают в диапазон глубин 1–5 км, погружаясь от Долины Гейзеров на запад, под зону экстрезивных куполов в восточной части депрессии. Наклонная плоскость, очерченная гипоцентрами *группы Г*, выходит на дневную поверхность в районе бортового уступа кальдеры, в зоне произошедших в 2007 и 2014 гг. обрушений склонов.

Группа К захватывает диапазон глубин до 2 км. Находившейся в этой зоне временной сейсмической станцией DG1 зафиксировано более 100 близких ($t_{S-P} < 1$ с) слабых землетрясений. Сейсмичность этой зоны неравномерно распределена во времени и носит роевый характер (рис. 8). Следует отметить, что землетрясения *группы К* происходят в области современных гидротермальных проявлений, однако по характеру записей с четкими вступлениями объемных волн относятся к тектоническим.

Основным результатом полевых сейсмологических наблюдений в районе Долины Гейзеров в 2008–2009 гг. является выявление локальной сейсмической активности на основании обнаружения большого числа слабых землетрясений с $K_S=3-7$, не регистрируемых региональной сетью (рис. 7). Анализ распределения гипоцентров локальных землетрясений в пространстве показал, что оно хорошо согласуется с моделью глубинного источника поверхностной деформации, которая была разработана в [32] по данным SAR-интерферометрии. Локальные землетрясения сосредоточены в двух пространственно разобщенных группах событий, совпадающих с областями максимальных модельных глубинных подвижек, вызвавших поверхностную деформацию в районе Долины Гейзеров.

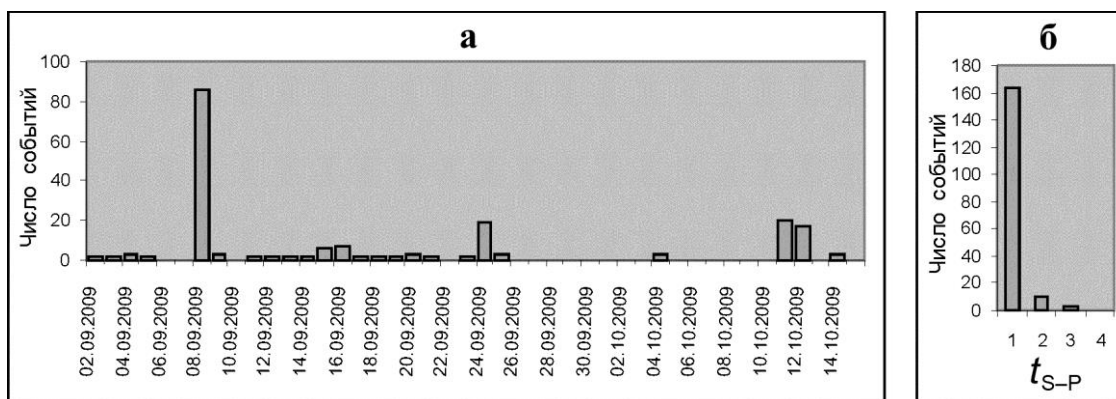


Рис. 8. Распределение по времени (а) и по t_{S-P} (б) землетрясений, зарегистрированных в сентябре-октябре 2009 г. временной сейсмической станцией DG1 (западное подножие вулканического массива Кихпиныч)

Подводя итоги, отметим, что в 2009 г. на Камчатке и Командорских островах наблюдался обычный сейсмический режим. По шкале «СОУС'09» в пределах зоны ответственности зафиксирован фоновый повышенный уровень сейсмичности. Ни в одной из зон не наблюдалось заметного усиления активности. Полученные механизмы очагов в целом 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., Яцук В.В., Музуров Е.Л. (сост.). Сейсмические станции сети Камчатки и Командорских островов в 2009 г. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
2. Чебров В.Н., Матвеев Е.А., Митюшкина С.В., Иванова Е.И., Гусева Е.М., Левина В.И., Ландер А.В., Шевченко С.А., Гусева Е.М. Камчатка и Командорские острова // Землетрясения Северной Евразии, 2008 год. – Обнинск: ГС РАН, 2014. – С. 195–207.
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. Дроздин Д.В., Дроздина С.Я. Интерактивная программа обработки сейсмических сигналов DIMAS // Сейсмические приборы. – 2010. – 46. – № 3. – С. 22–34.
7. Чеброва А.Ю., Шевченко Н.А. (отв. сост.), Матвеев Е.А., Митюшкина С.В., Пархоменко С.А., Пилипенко Л.В., Раевская А.А. (сост.). Каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов за 2009 г. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
8. Салтыков В.А. Статистическая оценка уровня сейсмичности: методика и результаты применения на примере Камчатки // Вулканология и сейсмология. – 2011. – № 2. – С. 53–59.
9. International Seismological Centre. On-Line Bulletin // International Seismological Centre [сайт]. [2012]. – URL: <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/>.
10. Митюшкина С.В. (отв. сост.), Раевская А.А. (сост.). Макросейсмический эффект ощутимых землетрясений в населенных пунктах Камчатки и Командорских островов в 2009 г. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
11. Иванова Е.И. (сост.). Каталог механизмов очагов землетрясений Камчатки и Командорских островов за 2009 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 2009 год / Отв. ред. О.Е. Старовойт. – Обнинск: ГС РАН, 2009–2010. – URL: ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_bulletin/2009/.
16. Зобин В.М. Механизм очагов землетрясений и сейсмотектоническое деформирование Камчатско-Командорского региона в 1964–1982 гг. // Вулканология и сейсмология. – 1987. – № 6. – С. 78–92.
17. 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.
18. 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) // Землетрясения Северной Евразии, 2008 год. – Обнинск: ГС РАН, 2014. – С. 359–377.
19. Салтыков В.А., Кравченко Н.М., Пойгина С.Г. Оценка уровня сейсмической активности регионов России // Землетрясения России в 2009 году. – Обнинск: ГС РАН, 2011. – С. 58–62.
20. Салтыков В.А., Кугаенко Ю.А., Кравченко Н.М., Коновалова А.А. Параметрическое представление динамики сейсмичности Камчатки // Вулканология и сейсмология. – 2013. – № 1. – С. 65–84.
21. Молчан Г.М., Дмитриева О.Е. Идентификация афтершоков: обзор и новые подходы // Современные методы интерпретации сейсмологических данных (Вычислительная сейсмология, Вып. 24). – 1991. – С. 19–50.
22. Global CMT – URL: <http://www.globalcmt.org/>.
23. 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.
24. Федотов С.А., Гусев А.А., Зобин В.М., Кондратенко А.М., Чепкунас К.Е. Озерновское землетрясение и цунами 22 (23) ноября 1969 г. // Землетрясения в СССР в 1969 году. – М.: Наука, 1973. – С. 195–208.
25. Чебров В.Н., Дроздин Д.В., Кугаенко Ю.А., Левина В.И., Сениюков С.Л., Сергеев В.А., Шевченко Ю.В., Яшук В.В. Система детальных сейсмологических наблюдений на Камчатке в 2011 г. // Вулканология и сейсмология. – 2013. – № 1. – С. 18–40
26. Гусев А.А., Петухин А.Г., Гусева Е.М., Гордеев Е.И., Чебров В.Н. Средние спектры Фурье сильных движения грунта при землетрясениях Камчатки // Вулканология и сейсмология. – 2006. – № 5. – С. 60–70.

27. **Пинегина Т.К., Делемень И.Ф., Дрознин В.А., Калачёва Е.Г., Чирков С.А., Двигало В.Н., Леонов В.Л., Мелекесцев И.В., Селивёрстов Н.И.** Камчатская Долина Гейзеров после катастрофы 3 июня 2007 г. // Вестник ДВО РАН. – 2008. – № 1. – С. 33–44.
28. **Леонов В.Л.** Обвал и оползень, произошедшие 4 января 2014 г. в Долине Гейзеров, Камчатка, и их последствия // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. – 2014. – Вып. 23. – № 1.– С. 7–20.
29. **Кузин И.П.** Фокальная зона и строение верхней мантии в районе Восточной Камчатки. – М.: Наука, 1974. – 132 с.
30. **Кугаенко Ю.А. (отв. сост.)**. Каталог локальных землетрясений, зарегистрированных в районе Долины Гейзеров в ходе полевых работ 2008–2009 гг. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
31. **Кугаенко Ю.А., Салтыков В.А., Коновалова А.А.** Локальная сейсмичность района Долины Гейзеров по данным полевых наблюдений 2008–2009 гг. // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. – 2010. – Вып.15. – № 1.– С. 90–99.
32. **Lundgren P., Lu Zh.** Inflation model of Uzon caldera, Kamchatka, constrained by satellite radar interferometry observations // Geophysical Research Letters. – 2006. – 33. – L06301, doi:10.1029/2005GL025181.