

КАМЧАТКА И КОМАНДОРСКИЕ ОСТРОВА

Д.В. Чебров¹, С.Я. Дрознина¹, Е.А. Матвеев¹, А.Ю. Чеброва¹, С.В. Митюшкина¹,
 Е.И. Иванова¹, Е.М. Гусева¹, П.В. Воропаев¹, А.В. Ландер²,
 В.М. Павлов¹, И.Р. Абубакиров¹

¹Камчатский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский, sva07@emsd.ru

²Международный институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН, г. Москва, land@mitp.ru

Аннотация. Приведен обзор сейсмичности Камчатки и прилегающих территорий за 2012 г. В течение года в регионе зарегистрировано 4865 землетрясений, из них 69 событий с $K_s \geq 11.6$. Для 64 землетрясений определены механизмы очагов. Ощущались 92 землетрясения на территории Камчатского края, Северных Курил и Командорских островов с интенсивностью I от 2 до 6 баллов. Самое сильное ($K_s=14.8$, $M_w=6.5$) землетрясение 2012 г. произошло в промежуточном слое сейсмофокальной зоны Курил и Южной Камчатки 16 ноября в 18^h12^m на глубине $h=77.5$ км. Максимальная интенсивность сотрясений в 2012 г. составила $I_{\max}=6$ баллов и наблюдалась на ГМС мыс Озерной ($\Delta=36$ км) во время землетрясения 24 июня в 03^h14^m с $K_s=13.9$, $M_w=6.0$, $h=40.2$ км с эпицентром на севере залива Озерной. За время детальных наблюдений это первое сильное и ощутимое событие, произошедшее в области очага Озерновского землетрясения 22.11.1969 г. с $M=7.7$. По шкале «СОУС'09» уровень сейсмичности для трех зон региона (Сейсмофокальная зона Курил и Южной Камчатки; Командорский сегмент Алеутской дуги и Корьякский сейсмический пояс) оценен в 2012 г. как фоновый повышенный. В 2012 г. на территории Камчатского края была установлена одна новая станция и модернизировано три станции.

Abstract. The seismicity overview of Kamchatka and surrounding territories for 2012 is adduced. There were 4865 earthquakes, including 69 events with $K_s \geq 11.6$, in the region during this year. Mechanisms of 64 earthquakes were defined. 92 earthquakes with intensity from 2 to 6 were felt on the territory of Kamchatsky Krai, North Kuril and Komandor's islands. Strongest earthquake with $M_w=6.5$ (November 16, $h=77.5$ km) was in an intermediate layer of South Kamchatka and Kuril seismofocal zone. The greatest macroseismic effect ($I=6$) in GMS cape Ozernoy was caused by the earthquake which occurred in the north of the Ozernoy bay on June, 24, 1969, ($h=40.2$ km, $M_w=6$). This earthquake is the first strong and felt event which occurred in the area of the Ozernovskoe earthquake in 1969 ($M=7.7$) since 1962 till 2011. In 2012 year the seismicity level within the three areas of the region (South Kamchatka and Kuril seismofocal zone, Komandor-Aleutians and Koryaksky Belt) was heightened background on the «SESL'09» scale. One seismic station was installed and three were upgraded at the territory of Kamchatsky Krai in 2012.

В 2012 г. продолжилась работа по модернизации сети сейсмических станций Камчатки [1].

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

12 августа 2012 г. введена в действие сейсмическая станция в п. Тигиль, которая оснащена велосиметром CMG6TD и сервером сбора данных на основе микрокомпьютера. Передача данных осуществляется по спутниковому каналу. Сейсмокамера была установлена еще в 2011 г. и представляет собой бетонный бункер, заглубленный на 4 м, с бетонным постаментом, вентиляцией, электричеством. Наземная часть выполнена из бетона с металлической дверью, на ней установлена спутниковая антенна. Станции присвоено название «Тигиль» с региональным кодом (TIGL).

Таблица 1. Сведения о сейсмических станциях, установленных и модернизированных Камчатским филиалом ФИЦ ЕГС РАН в 2012 г.

Станция			Дата открытия /модернизации станции	Координаты			Тип аппаратуры
Название	Код			φ° , N	λ° , E	h_y , м	
	межд.	рег.					
Киришева	KIRR	KIR	11.09.2012	55.953	160.342	1470	Телеметрия/цифровая
Мишенная		MSN	16.08.2012	53.044	158.639	381	Цифровая
Нальчево	NLC	NLC	01.02.2012	53.172	159.348	6	Цифровая
Оссора	OSSR	OSS	24.07.2012.	59.262	163.072	35	Телеметрия/цифровая,
Тигиль	TIGL	TIGL	12.08.2012	57.765	158.671	115	Цифровая

Таблица 2. Данные об аппаратуре цифровых и телеметрических станций, установленных и модернизированных Камчатским филиалом ФИЦ ЕГС РАН в 2012 г.

Название станции	Тип станции и сейсмометра	Перечень каналов	Частотный диапазон, Гц	Частота опроса данных, Гц	Разрядность АЦП	Чувствительность, велосиграф – отсчет/(м/с), акселерограф – отсчет/(м/с ²)
Киришева	СМ-3	SH (E, N, Z) v	0.7–20	128	11	$1.8 \cdot 10^7$
Киришева	СМG-DM24+ СМG6TD	BH (N, E, Z) v	0.033–40	100	24	$2.5 \cdot 10^9$
Мишенная	GSR-24+СМG5TD	HN (N, E, Z) a	0–40	100	24	$3.2 \cdot 10^5$
Налычево	GSR-24+СМG5TD	HN (N, E, Z) a	0–40	100	24	$3.2 \cdot 10^5$
Оссора	СЦСС +СМ-3-ОС	BH (N, E, Z) v	0.02–7	100	24	$4.5 \cdot 10^9$
Оссора	СМ-3	EH (Z) v	0.7–40	100	24	$3.0 \cdot 10^9$
Тигиль	СМG-DM24+ СМG6TD	BH (N, E, Z) v	0.033–40	100	24	$2.1 \cdot 10^9$

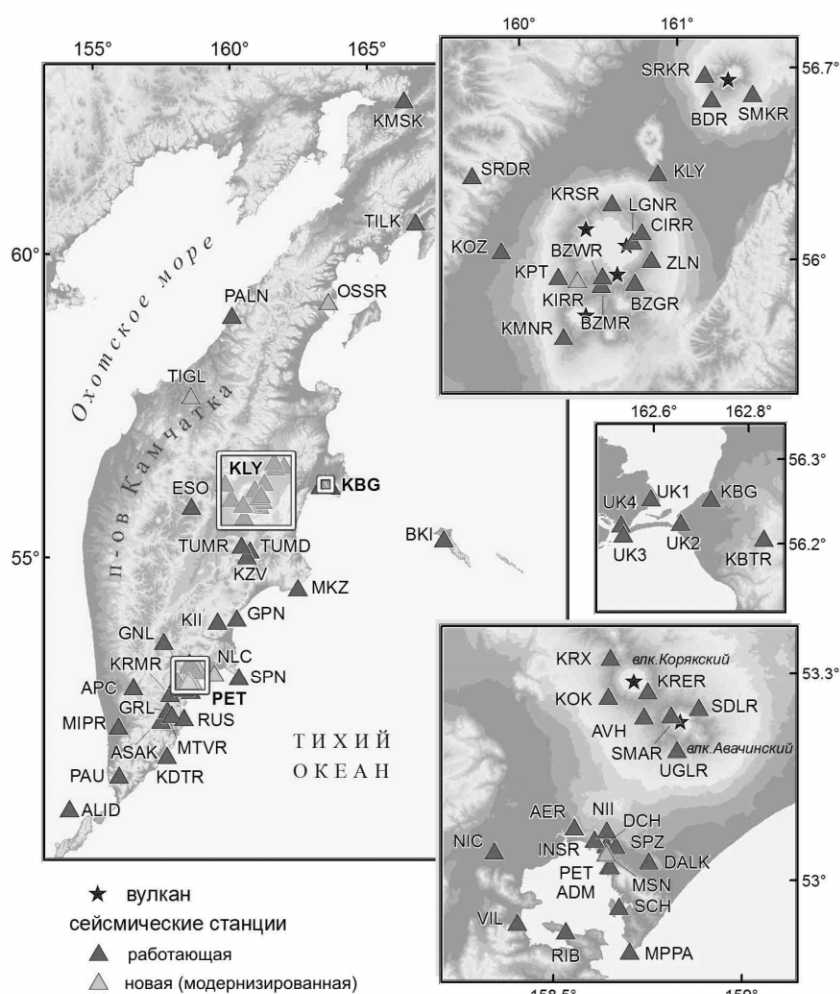


Рис. 1. Сеть сейсмических станций Камчатки в 2012 г. [2]

В июле 2012 г. проведены работы по переносу аппаратуры сейсмической станции «Оссора» в помещение новой сейсмокамеры. Строительство сейсмокамеры было завершено в 2010 г., в 2011 г. были устранены обнаруженные недостатки. На крыше камеры установлена спутниковая антенна. Предусмотрен дублирующий канал передачи данных через Wi-Fi и ADSL модем. Новая точка регистрации расположена в 685 м на юго-запад от места прежней установки, название и код станции остались прежними. Датой начала работы станции на новом месте следует считать 24 июля 2012 г.

В течение года модернизированы станции: «Киришева» и «Мишенная». На станции «Налычево» был снят короткопериодный прибор.

С 2010 г. [3] обработка сигналов сейсмических станций, расчет параметров гипоцентров и энергетических характеристик землетрясений производится при помощи программы DIMAS [4]. На основной части сейсмоактивной территории Камчатки расчетный уровень надежной регистрации в 2012 г. не изменился и составляет $K_{\min}=8.5$. Анализ сейсмичности в данной статье проводится по всем зарегистрированным Камчатской региональной сетью землетрясениям, начиная с $K_S \geq 8.6$. Более детально параметры сейсмического режима проанализированы в работе [5].

Всего в 2012 г. определены эпицентры 4865 землетрясений в энергетическом диапазоне $K_S=3.2-14.8$, содержащихся в оригинале каталога КФ [6]. Однако в каталог [7], публикуемый в настоящем ежегоднике, включено лишь 1197 землетрясений с $K_S \geq 8.6$. Из них 1012 событий находятся внутри зоны ответственности сети КФ ФИЦ ЕГС РАН (рис. 2), а 185 – за ее пределами. В каталоге присутствует восемь вулканических событий: два из района Северной группы вулканов и шесть из района влк. Плоский Толбачик. Все вулканические землетрясения имеют соответствующий признак в отдельной графе каталога.

На рис. 2 представлена карта эпицентров землетрясений с $K_S \geq 8.6$, вертикальные разрезы поля гипоцентров (поперечный А-А' и продольный В-В'), на врезке (а) представлен район северных Курил, выделенный на карте (б). Сильные землетрясения ($K_S \geq 11.6$) пронумерованы на картах (а) и (б), всего их в 2012 г. – 69, из них 51 событие относится к Камчатскому региону.

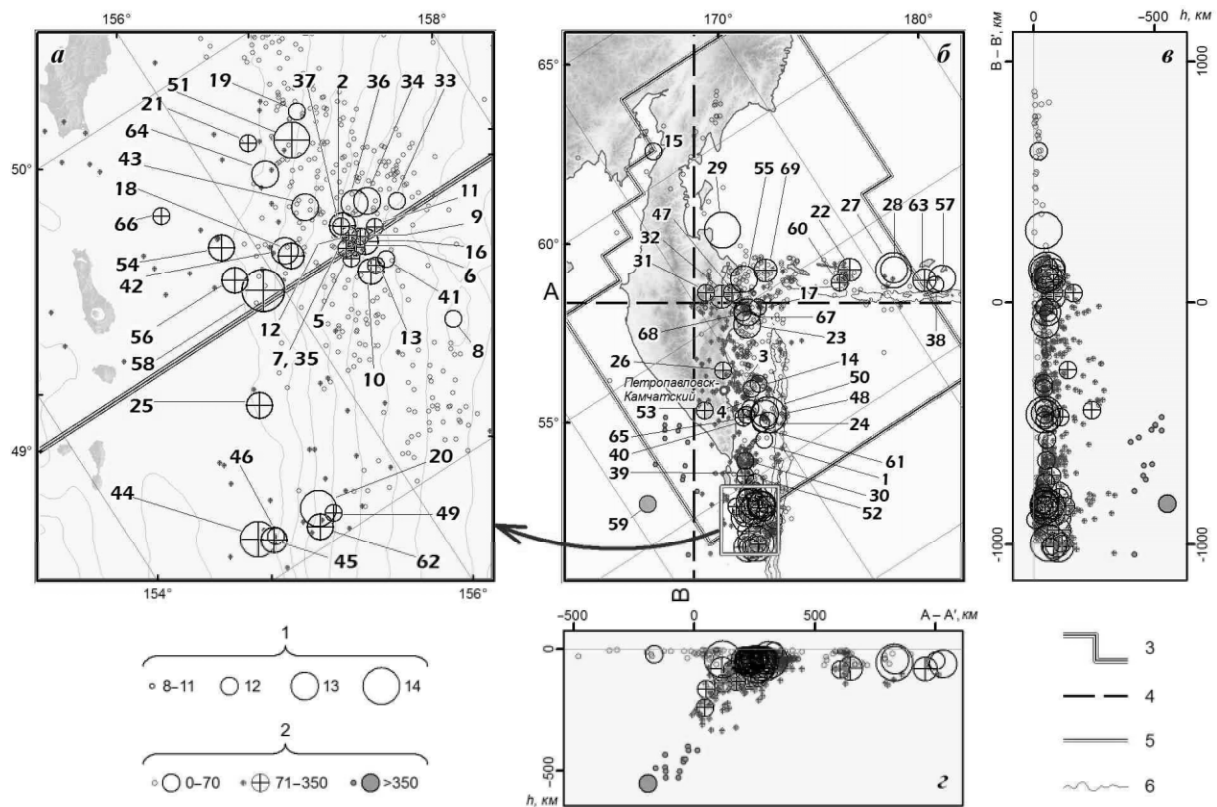


Рис. 2. Карта эпицентров землетрясений Камчатки с $K_S \geq 8.6$ за 2012 г. (б) и расширенная карта сейсмичности вблизи Северных Курил (а), проекции на вертикальные плоскости В-В' (в) и А-А' (г)

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 – границы района, представленного на «врезке»; 6 – изобаты 6000 и 7000 м; числа 1–69 соответствуют номерам сильных ($K_S \geq 11.6$) землетрясений в каталоге [7].

Распределение землетрясений по энергетическим классам приведено в табл. 3, содержащей два ряда чисел: первый показывает число и суммарную энергию всех землетрясений, которые определены в Камчатском филиале, второй – только тех, что находятся внутри формальных границ ответственности сети КФ ФИЦ ЕГС РАН.

Таблица 3. Распределение числа землетрясений по энергетическим классам K_S и суммарная сейсмическая энергия ΣE в 2012 г.

K_S	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	N_{Σ}	$\Sigma E, Дж$
$N_{\text{всего}}$	3	21	113	776	1522	1236	738	286	101	38	23	7	1	4865	$1,74 \cdot 10^{15}$
$N_{\text{зона отв}}$	3	21	113	776	1522	1227	648	232	81	29	16	5	1	4671	$1,47 \cdot 10^{15}$

Уровень сейсмичности в регионе Камчатки и Командорских островов оценивался исходя из величины функции распределения F выделившейся в 2012 г. сейсмической энергии. Методика расчета функции распределения F и градации шкалы уровня сейсмичности «СОУС'09» описаны в [8, 9]. В 2012 г. суммарная энергия всех зарегистрированных в зоне ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН землетрясений составила $1,47 \cdot 10^{15}$ Дж. Функция распределения F выделившейся за год сейсмической энергии построена по данным за 1962–2012 гг. (рис. 3). Для 2012 г. $F=0,84 \pm 0,05$, что соответствует фоновому среднему уровню по шкале «СОУС'09».

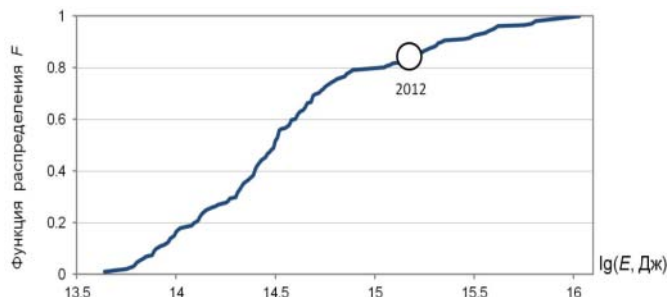


Рис. 3. Функция распределения F сейсмической энергии для региона Камчатки и Командорских островов (кружком отмечено значение функции распределения F в 2012 г.; диаметр кружка равен величине погрешности определения F)

Помимо этого, оценка уровня сейсмичности рассчитывалась в пространственных областях, определенных в соответствии с регионализацией сейсмоактивного объема Камчатки и прилегающих территорий [10], учитывающей тектоно-географическое положение землетрясений. В табл. 4 приведены оценки для шести из десяти выделенных зон (для которых возможны статистические оценки) и для четырех подрегионов Камчатки, определяемых географическим положением.

Таблица 4. Значения суммарной сейсмической энергии в 2012 г. для различных сейсмоактивных областей

№ зоны	Пространственная область	Энергия $E, Дж$	$F(\lg E)$	Уровень сейсмичности
1	Сейсмофокальная зона Курил и Южной Камчатки	$1,1 \cdot 10^{15}$	$0,94 \pm 0,03$	фоновый повышенный
2	Северная часть Камчатской сейсмофокальной зоны	$5,1 \cdot 10^{13}$	$0,47 \pm 0,07$	фоновый средний
3	Командорский сегмент Алеутской дуги	$2,0 \cdot 10^{14}$	$0,92 \pm 0,04$	фоновый повышенный
4	Тихий океан	$4,0 \cdot 10^{11}$	$0,15 \pm 0,05$	фоновый средний
6	Континентальные области Камчатки	$2,3 \cdot 10^{11}$	$0,64 \pm 0,07$	фоновый средний
7	Корякский сейсмический пояс	$7,9 \cdot 10^{13}$	$0,93 \pm 0,04$	фоновый повышенный
	Камчатский залив	$4,5 \cdot 10^{13}$	$0,80 \pm 0,06$	фоновый средний
	Кроноцкий залив	$7,1 \cdot 10^{12}$	$0,34 \pm 0,07$	фоновый средний
	Авачинский залив	$4,6 \cdot 10^{12}$	$0,19 \pm 0,06$	фоновый средний
	Юг Камчатки (от мыса Лопатка до Авачинского залива)	$4,9 \cdot 10^{12}$	$0,50 \pm 0,07$	фоновый средний

На рис. 4 а, б представлено ежесуточное число N землетрясений с $K_S \geq 8,6$ и кумулятивный график выделившейся энергии ΣE для зоны ответственности Камчатского филиала. В среднем регистрируется 2–3 события в день. Максимальный скачок на графике выделившейся сейсмической энергии (рис. 4 б) проявился благодаря сильнейшему ($K_S=14,8, M_w=6,5^1$)

¹ Здесь и далее $M_w=M_w_{\text{ГСМТ}}$ из [11].

землетрясению (58)² в регионе за 2012 г., зарегистрированному 16 ноября 18^h12^m в сейсмофокальной зоне Курил и Южной Камчатки на глубине $h=77$ км [7].

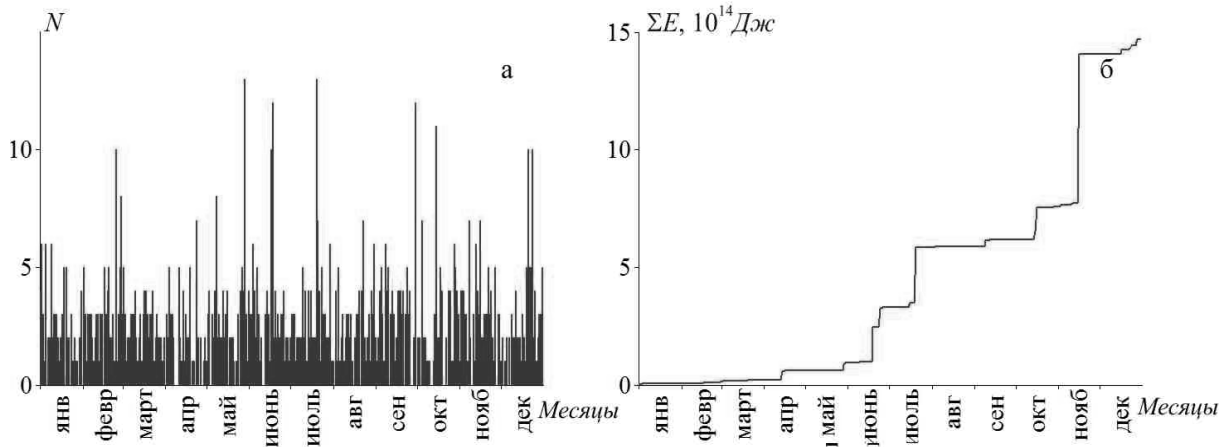


Рис. 4. Графики изменения во времени суточного числа N землетрясений с $K_S \geq 8.6$ (а) и выделившейся суммарной сейсмической энергии ΣE (б) в 2012 г. для зоны ответственности сети КФ ФИЦ ЕГС РАН

На территории Камчатского края, Северных Курил и Командорских островов в 2012 г. ощущались 92 землетрясения с интенсивностью I от 2 до 6 баллов [12] по шкале MSK-64 [13], из них 91 землетрясение с $K_S=9.1-14.8$ включено в каталог [7], публикуемый в настоящем ежегоднике. Всего было собрано 572 сообщения о землетрясениях из 68 пунктов. Ощущались землетрясения в 37 пунктах [14].

Максимальная интенсивность сотрясений в 2012 г. составила $I_{\max}=6$ баллов и наблюдалась на ГМС мыс Озерной ($\Delta=36$ км) во время землетрясения (29), произошедшего 24 июня в 03^h14^m с $K_S=13.9$, $M_w=6.0$, $h=40$ км, с эпицентром на севере залива Озерной в зоне № 7. Сотрясения с интенсивностью $I=5$ баллов также наблюдались в с. Крутоберегово ($\Delta=157$ км) и пос. Усть-Камчатске ($\Delta=163$ км). Еще 11 землетрясений (зоны № 1 и 2) с $K_S=11.2-14.8$ вызвали 5-балльные сотрясения на маяке Круглый, ГМС Кроноки и в г. Северо-Курильск [12].

В г. Петропавловск-Камчатский сотрясения с интенсивностью I от 2 до 3–4 баллов ощущались за год 28 раз от землетрясений с $K_S=10.8-14.0$ [12].

Механизмы очагов в [15] определены по знакам первых вступлений P -волн для 64 из 69 зарегистрированных в 2012 г. землетрясений с $K_S \geq 11.6$ по программе FA2011 (усовершенствованная программа FA2002 [16, 17]). Использовались данные региональных станций и знаки вступлений P -волн из бюллетеней ГС РАН [18] и ISC [11]. В табл. 5 приведено полученное в итоге распределение землетрясений по типам подвижек.

Таблица 5. Распределение сильных землетрясений Камчатки и Командорских островов в 2012 г. по типам подвижек в их очагах

Тип подвижки	Номера землетрясений по [7]	N_i	N_i/N_{Σ} , %
Сбросо-сдвиг	7, 9, 10, 12, 18, 24, 26, 29, 35, 46, 51, 52, 53	13	19
Взбросо-сдвиг	1, 2, 3, 6, 11, 13, 16, 17, 19, 20, 21, 23, 25, 30, 31, 32, 33, 34, 36, 38, 39, 42, 45, 49, 55, 57, 58, 61, 62, 63, 64, 65, 67, 68, 69	35	51
Сдвиг	5, 15, 22, 27, 28, 54	6	8
Взброс	4, 14, 40, 44, 47, 56, 60	7	10
Сброс	48, 50, 59, 66	4	6
Не определен	8, 37, 41, 43	4	6
Сумма		69	100

² Номера событий здесь и далее соответствуют таковым в каталоге [7].

Рассмотрим особенности сейсмического процесса региона по десяти зонам и их слоям, перечисленным в графах 2, 3 табл. 6. Подробное описание зон дано в работах [19, 20]. Статистические характеристики по зонам приведены для землетрясений, входящих в регион ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН на двух энергетических срезах – $K_S \geq 8.6$ и $K_S \geq 11.6$. Они сравниваются с соответствующими средними значениями за весь период инструментальных наблюдений с 1962 г. по 2011 г.

Таблица 6. Распределение числа землетрясений с $K_S \geq 8.6$ и $K_S \geq 11.6$, а также выделенной энергии по зонам за 2012 г. в сопоставлении с их средними оценками за период 1962–2011 гг. внутри границ региона Камчатки и Командорских островов

№	Зона	Слой	Средние значения за 1962–2011 гг.				Значения за 2012 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	175	19.2	9	1.21	333	33.0	15	3.02
		II	47	5.1	2	0.54	131	13.0	17	8.27
		III	7	0.7	<1	0.39	11	1.1		<0.01
2	Северная часть Камчатской сейсмо-фокальной зоны	I	367	40.1	14	1.59	224	22.2	7	0.31
		IIa	85	9.3	2	2.51	79	7.8	4	0.24
		IIIa	<1	<0.1	<1	0.02				
3	Командорский сегмент Алеутской дуги	I	114	12.5	5	1.20	132	13.0	6	2.04
		II	1	0.1	<1	<0.01				
4	Тихий океан	I	51	5.6	1	0.11	56	5.6		<0.01
		II	<1	<0.1	<1	<0.01	9	0.9		<0.01
5	Северные Курилы	I	2	0.2		<0.01				
6	Континентальные области Камчатки	I	42	4.5	<1	0.11	11	1.1		<0.01
7	Корякский сейсмический пояс	I	20	2.2	<1	1.66	21	2.1	1	0.80
		II	<1	<0.1		<0.01				
8	Берингово море	I	<1	<0.1		<0.01				
9	Залив Шелихова	I	1	0.1	<1	<0.01	4	0.4	1	<0.01
10	Охотия	I	<1	<0.1	<1	<0.01	1	<0.1		<0.01
	Всего		914	100	35	9.4	1012	100.0	51	14.69

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.

Сейсмофокальная зона Курил и Южной Камчатки № 1 значительно превысила свой среднегодовой фон сейсмичности как по числу землетрясений, так и по уровню выделившейся энергии (табл. 6). События распределились по трем глубинным сейсмическим слоям следующим образом: поверхностные – $N=348$ (33 % всех событий), промежуточные – $N=148$ (13 %) и глубокие – $N=11$ (1.1 %). Зафиксировано 32 сильных землетрясения с $K_S \geq 11.6$ (рис. 5).

В этой зоне произошло 45 ощутимых землетрясений (пять событий вне зоны ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН) с $K_S=9.6-14.8$ и интенсивностью сотрясений I от 2 до 5 баллов, из них 29 с $K_S \geq 11.6$, одно событие с $K_S=8.1$ [12]. Максимальные сотрясения $I_{\max}=5$ баллов были вызваны четырьмя землетрясениями (42, 43, 51, 58) в г. Северо-Курильск ($\Delta=170, 161, 134, 180$ км, соответственно) и во время землетрясений (40 и 65) на маяке Круглый ($\Delta=50$ и 36 км соответственно).

Сильнейшее ($K_S=14.8, M_w=6.5$) в каталоге Камчатки и Командорских островов в 2012 г. землетрясение (58) 16 ноября в $18^{\text{h}}12^{\text{m}}$, упомянутое выше, зарегистрировано в промежуточном слое сейсмофокальной зоны № 1. Механизм его очага оценен в [15] как взброс с компонентой сдвига (рис. 5). Оно ощущалось с интенсивностью $I_{\max}=5$ баллов в г. Северо-Курильске ($\Delta=180$ км).

Уровень сейсмичности в зоне № 1 в 2012 г. был оценен как фоновый повышенный (табл. 4).

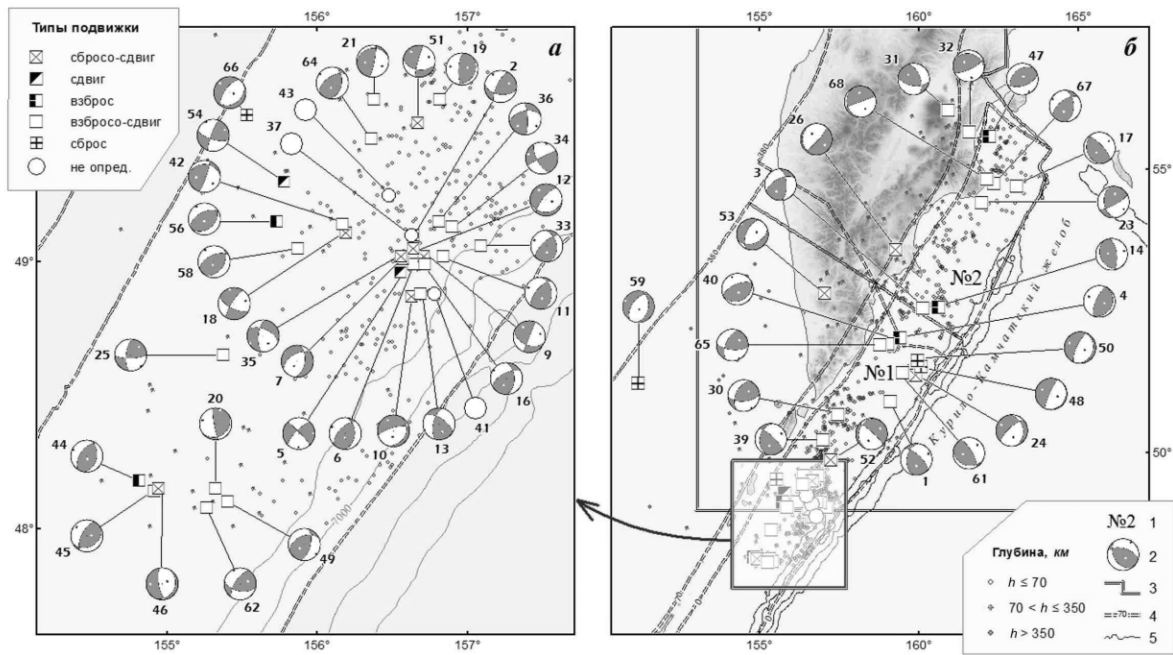


Рис. 5. Карта эпицентров и диаграммы механизмов очагов землетрясений Курило-Камчатской зоны субдукции (зоны № 1 и № 2) за 2012 г. (б) и расширенная карта сейсмичности вблизи Северных Курил (а)

1 – номер зоны из табл. 6; 2 – диаграмма очага землетрясения в проекции нижней полусферы, число возле диаграммы соответствует номеру землетрясения в каталоге [7]; 3 – граница региона; 4 – 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); 5 – изобаты 6000 и 7000 м.

В северной части Камчатской сейсмофокальной зоны № 2 произошло 303 землетрясения с $K_S \geq 8.6$ (30 % всех событий), из них 22.2 % поверхностных ($N=224$), 7.8 % – промежуточных ($N=79$) – меньше среднегодовых значений. В глубоком слое в 2012 г. землетрясений не было. Зарегистрировано 11 сильных событий с $K_S \geq 11.6$ (рис. 5).

В зоне зафиксировано 29 ощутимых землетрясений с $K_S=9.7-13.3$ и интенсивностью сотрясений I от 2 до 5 баллов, из них десять с $K_S \geq 11.6$ [12]. Максимальные сотрясения $I_{\max}=5$ баллов были зарегистрированы на маяке Круглый ($\Delta=74$ км) при землетрясении (4) и на ГМС Кроноки ($\Delta=53, 122, 78$ и 32 км соответственно) при событиях (23, 32, 67 и землетрясении с $K_S=11.2$ 31 декабря в 05^h41^m с $h=44$ км). Землетрясение (32) с $K_S=13.3$, $M_w=5.6$, зарегистрированное 16 июля в 03^h08^m, вызвало сотрясения $I=4-5$ баллов в ближайших от эпицентра пунктах п. Ключи ($\Delta=87$ км) и г. Усть-Камчатск ($\Delta=88$ км), а в более удаленном ГМС Кроноки ($\Delta=122$ км) – 5 баллов [7, 12].

В Командорском сегменте Алеутской дуги (зона № 3) произошло 132 землетрясения с $K_S \geq 8.6$ (рис. 6), шесть событий (22, 27, 28, 55, 60, 69) имеют $K_S \geq 11.6$, все они реализовались в поверхностном слое. Еще три сильных события с $K_S \geq 11.6$ (38, 57, 63) зарегистрированы в этой же зоне за пределами формальных границ ответственности Камчатского филиала. Максимальное в зоне событие (27) с $K_S=14.1$, $M_w=6.0$, произошло 19 июня в 15^h56^m на глубине $h=54$ км, тип подвижки в очаге – чистый сдвиг. Данный тип механизма наиболее типичен для зоны 3.

В этой зоне зафиксировано 11 ощутимых землетрясений с $K_S=9.1-13.4$ и интенсивностью сотрясений I от 2 до 4 баллов [7, 12]. Из шести сильных землетрясений зоны только для двух наблюдался макросейсмический эффект: событие (55), записанное 2 ноября в 01^h52^m с $K_S=12.6$, $M_w=5.6$, ощущалось с интенсивностью $I_{\max}=3$ балла на мысе Африка ($\Delta=49$ км), в с. Крутоберегово ($\Delta=67$ км) и в п. Усть-Камчатск ($\Delta=72$ км); событие (69) за 28 декабря в 13^h42^m с $K_S=13.4$, $M_w=5.1$ ощущалось с интенсивностью $I_{\max}=4$ балла в с. Никольское ($\Delta=87$ км), и $I=2-3$ балла – в с. Крутоберегово ($\Delta=151$ км) и п. Усть-Камчатск ($\Delta=159$ км).

В Тихом океане (зона № 4) за 2012 г. произошло 65 землетрясений с $K_S \geq 8.6$ [7]. Сильных же землетрясений, с $K_S \geq 11.6$, зарегистрировано только одно, произошедшее 27 февраля в 03^h42^m с $K_S=11.7$.

В континентальных областях Камчатки (зона № 6) зафиксировано 11 землетрясений с $K_S=8.7-11.3$ [7], восемь из которых являются вулканическими: два – из района Северной группы вулканов, шесть – из района влк. Плоский Толбачик, для одного из них гипоцентр определен выше уровня моря. Землетрясение с $K_S=10.2$, зарегистрированное 18 апреля в 13^h04^m на глубине $h=41$ км, ощущалось в п. Ключи ($\Delta=34$ км) с интенсивностью $I_{max}=2-3$ балла [7, 12].

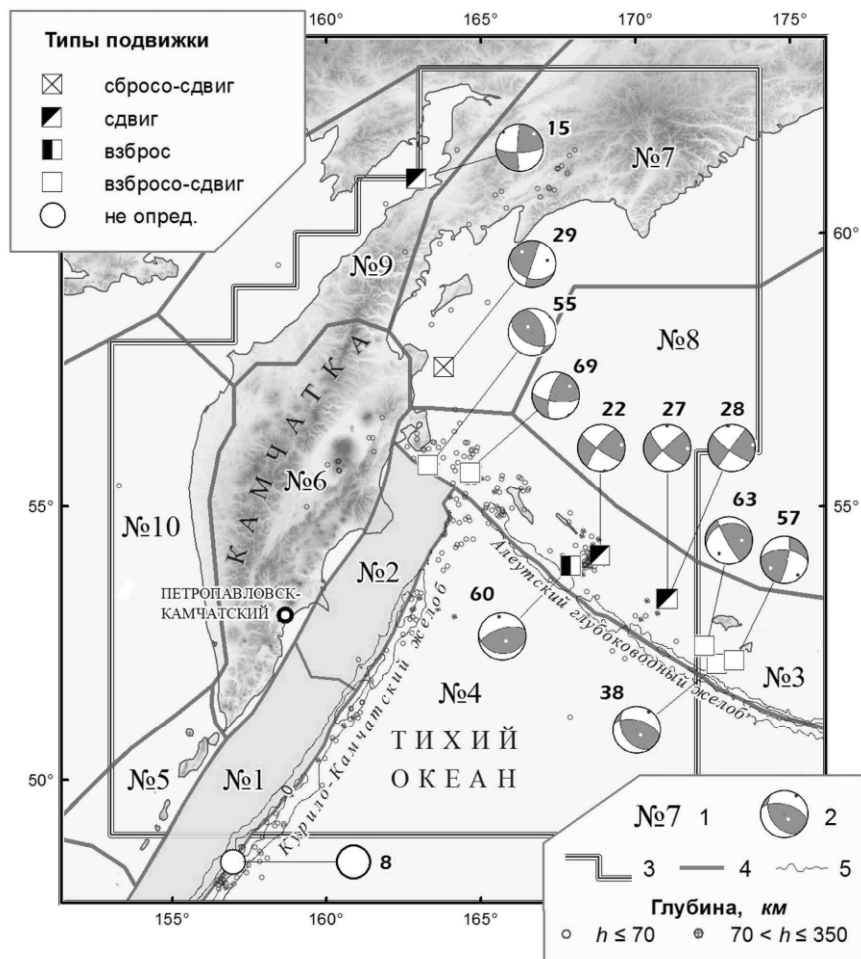


Рис. 6. Карта эпицентров землетрясений зон № 3–№ 10 за 2012 г.

1 – номер зоны из табл. 6; 2 – диаграмма очага землетрясения в проекции нижней полусферы, число возле диаграммы соответствует номеру землетрясения в каталоге [7]; 3, 4 – граница зоны и региона соответственно; 5 – изобаты 6000 и 7000 м.

В Корякском сейсмическом поясе (зона № 7) произошло 21 землетрясение с $K_S \geq 8.6$, все локализованы в поверхностном слое, эпицентры большинства из них находятся в очаговой области Олюторского землетрясения 20.04.2006 г. [21]. Это соответствует имеющимся представлениям о корякской зоне – поясе рассеянной сейсмичности с мелкофокусными землетрясениями.

Землетрясение (29), зафиксированное в зоне 24 июня в 03^h14^m с $K_S=13.9$, $h=40$ км, $M_w=6.0$, вызывает особый интерес, поскольку в западной части Берингова моря сильные события происходят редко. В период с 1962 г. по 2011 г. здесь зарегистрировано всего восемь землетрясений с $K_S \geq 11.6$. Гипоцентр землетрясения (29) располагался на континентальном склоне впадины Берингова моря приблизительно в 40 км к востоку от п-ва Озерной (рис. 7). Землетрясение (29) примечательно тем, что это первое сильное ($M_w=6.0$) и ощутимое событие в области очага Озерновского землетрясения 22.11.1969 г. с $M=7.7$, облако афтершоков которого протянулось более чем на 100 км [22]. Озерновское землетрясение в свое время заставило пересмотреть представления сейсмологов о сейсмоопасности и цунамиопасности побережья Берингова моря. Афтершоков за событием (29) не последовало, в отличие от Озерновского землетрясения 1969 г.

Механизм очага (29), определенный по знакам первых вступлений P -волн в [15], представляет собой сдвиг с незначительными элементами сброса (рис. 6), аналогично охарактеризо-

вана подвижка по первым вступлениям Озерновского землетрясения – почти чистый сдвиг [22]. Механизмы, рассчитанные по знакам объемных P -волн, характеризуют только начало очагового процесса. Для землетрясения 24 июня 2012 г. был произведен расчет механизма по широкополосным волновым формам, который относится к очагу в целом. Примененный в этом случае алгоритм [23] позволяет оценивать как тензор сейсмического момента, так и глубину эквивалентного точечного источника (при этом положение эпицентра считается известным; здесь – принято по каталогу [7]). Алгоритм существует в двух модификациях: 1) расчет тензора «с нулевым следом» и 2) расчет тензора типа «двойной диполь без момента». В первом случае механизм оценивается по полученному в расчетах тензору (так называемый ближайший двойной диполь), во втором случае он рассчитывается по волновым формам непосредственно. Расчеты были проведены обоими способами; результаты оказались близки. На рис. 7 показан результат непосредственного расчета «двойного диполя без момента»: $h=5$ км, $M_w=5.9$; ориентация вариантов вектора подвижки (механизм): $NP1$ – угол простираения плоскости $STK_1=169^\circ$, угол падения $DP_1=36^\circ$, угол подвижки $SLP=65^\circ$; $NP2$ – $STK_2=18^\circ$, $DP_2=58^\circ$, $SLP_2=107^\circ$.

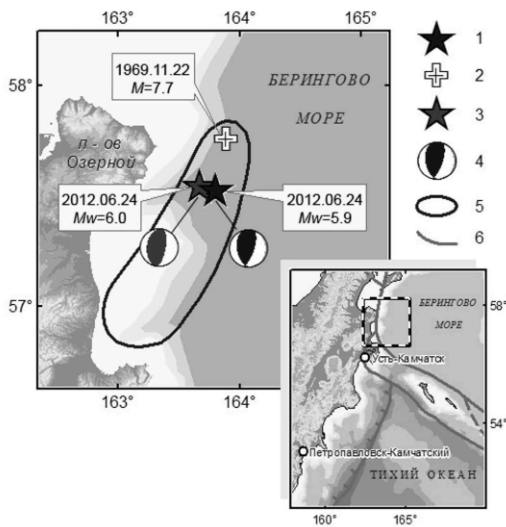


Рис. 7. Карта эпицентров землетрясений с $M \geq 6$ в очаговой зоне Озерновского землетрясения 22.11.1969 г. [22] за время детальных сейсмологических наблюдений (1962–2012 гг.)

1 – эпицентр землетрясения 24 июня 2012 г. [7]; 2 – эпицентр землетрясения 22.11.1969 г. по [22]; 3 – положение центра землетрясения 24 июня 2012 г. по данным GCMТ [24]; 4 – диаграммы механизма очага землетрясения 24 июня 2012 г. в равноплощадной проекции нижней полушеры согласно результатам расчета тензора, проведенного в данной работе (более темный), и по данным GCMТ [24] (более светлый); 5 – граница области, содержащей основную часть афтершоков землетрясения 22 ноября 1969 г. согласно работе [22]; 6 – границы литосферных плит (штрих-пунктир – дискуссионные) [25, 26].

Для сравнения рассмотрим тензор сейсмического момента рассматриваемого землетрясения 24 июня 2012 г. из глобального каталога GCMТ [24], в котором расчет тензора приводится для случая «нулевой след», а механизм – для ближайшего двойного диполя [27, 28]. Оценки глубины, магнитуды и механизма из каталога GCMТ [24] отличаются от наших оценок незначительно. Наименьший угол поворота осей одного механизма до совмещения с соответствующими осями другого [29] составляет 11° . Взбросовый характер механизма очага землетрясения с субширотным направлением оси сжатия указывает на коллизионный характер взаимодействия в этом районе сочленения литосферных плит [25, 26].

Землетрясение (29) 24 июня 2012 г. проявилось с интенсивностью сотрясений $I_{\max}=6$ баллов в ближайшем пункте ГМС мыса Озерной ($\Delta=36$ км); 5 баллов – в с. Крутоберегово ($\Delta=157$ км) и г. Усть-Камчатск ($\Delta=163$ км); 3 балла – в с. Ивашка ($\Delta=145$ км). Оно стало землетрясением с максимальной в 2012 г. интенсивностью сотрясений. Цунами землетрясение (29) не вызвало.

Всего в зоне № 7 ощущалось пять событий с $K_S=9.3$ –13.9 и интенсивностью сотрясений от 2 до 6 баллов.

В зоне № 9, заливе Шелихова, зафиксировано четыре землетрясения. Наиболее сильное из них с $K_S=11.7$ произошло 10 марта в 19^h13^m на $h=21$ км и ощущалось в с. Ильпырское ($\Delta=133$ км) с интенсивностью $I_{\max}=2$ –3 балла [7].

В зоне № 10 Охотия произошло лишь одно землетрясение с $K_S=10.2$, зарегистрированное 30 января в 10^h15^m на глубине $h=4$ км.

В зонах Северные Курилы (№ 5) и Берингово море (№ 8) в 2012 г. Камчатской региональной сетью станций землетрясений с $K_S \geq 8.6$ не зарегистрировано вовсе. Для этих зон низкая сейсмическая активность является типичной.

Сильные движения. В 2012 г. сетью цифровых акселерографов [30] получена 381 запись сильных движений грунта с пиковым ускорением, превышающим 0.5 см/с². В табл. 7 приведен

список из 23 землетрясений с пиковым ускорением, превышающим 2.0 см/с^2 . 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 2012 г., записанные цифровыми акселерографами, для которых пиковые ускорения $a_{\text{пик}} \geq 2.0 \text{ см/с}^2$

№	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	01.14	06 11 40	52.55	160.11	40	11.9	4.8	13	07.14	00 13 15	50.56	157.56	66	10.6	
2	01.27	08 57 27	52.04	159.4	40	11.9	4.9	14	07.16	03 08 29	55.66	161.58	79	13.3	5.6
3	03.10	07 15 41	50.42	157.76	81	10.4		15	07.20	03 40 09	49.13	156.9	43	12.9	5.5
4	03.16	13 41 30	53.07	159.28	102	10.9		16	07.20	06 10 22	49.02	156.56	53	14.3	6.0
5	05.07	04 00 30	54.9	165.71	41	11		17	07.20	06 32 57	49.15	156.81	70	13.4	5.8
6	05.07	14 19 39	60.65	166.93	2	10.3		18	07.30	01 29 15	50.24	156.98	75	11.8	
7	05.09	01 48 03	50.72	157.15	96	9.6		19	07.31	01 35 50	50.25	157.11	42	10.6	
8	05.18	11 46 22	49.61	156.38	106	12.2		20	08.03	10 45 41	51.92	159.02	45	11.8	
9	05.24	05 58 06	55.22	165.38	64	10.5		21	08.08	19 10 12	50.32	157.2	49	10.4	
10	06.20	14 46 50	49.34	155.79	94	11.5		22	08.20	05 53 39	50.52	157.94	80	11	
11	06.25	21 16 02	50.68	157.46	50	12.3	4.8	23	09.09	05 39 16	49.14	156.17	43	12.9	5.9
12	06.26	14 17 39	56.05	160.92	164	12.3	5.3								

В качестве иллюстрации на рис. 7 для землетрясения 25 июня в $21^{\text{h}} 16^{\text{m}}$ с $K_S=12.3$, $M_w=4.8$ [7] показаны три компоненты акселерограммы станции «Северо-Курильск» (SKR), а также соответствующие сглаженные спектры Фурье и спектры реакции по ускорению. Оба спектра имеют высокочастотный характер, необычный для камчатских землетрясений [31]. Предположительная причина аномалии – в специфике грунтовых условий этой станции.

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 $a_{\text{пик}}, \text{ см/с}^2$			Скорость $v_{\text{пик}}, \text{ см/с}$		
							Компонента			Компонента		
							N	E	Z	N	E	Z
1	01.14	06 11 40	IVS	116.1	122.8	11.9	1.77	2.32	0.739	0.0622	0.0873	0.0307
2	01.27	08 57 27	RIB	113.9	120.8	11.9	2.39	1.7	1.76	0.0958	0.0781	0.0467
3	03.10	07 15 41	SKR	119.5	144.3	10.4	2.63	4.07	1.38	0.0543	0.0559	0.0167
4	03.16	13 41 30	VIL	60.6	118.6	10.9	2.12	1.62	0.947	0.0954	0.0744	0.0303
5	05.07	04 00 30	BKI	37	55.2	11	6.18	7.92	3.14	0.185	0.3	0.0783
6	05.07	14 19 39	TL1	48.5	48.6	10.3	1.3	1.44	2.18	0.0712	0.0673	0.0343
7	05.09	01 48 03	SKR	73.1	120.6	9.6	2.68	2.21	0.979	0.0433	0.0488	0.0124
8	05.18	11 46 22	SKR	119.4	159.7	12.2	9.19	8.9	2.96	0.225	0.232	0.0599
9	05.24	05 58 06	BKI	38.4	74.6	10.5	14.1	8	7.05	0.334	0.21	0.123
10	06.20	14 46 50	SKR	149.8	176.8	11.5	1.41	2.86	0.484	0.0285	0.0665	0.0115
11	06.25	21 16 02	SKR	94.7	107.1	12.3	11.8	10.9	3.94	0.307	0.284	0.0767
12	06.26	14 17 39	KBG	113.4	199.4	12.3	2.55	2.39	0.937	0.149	0.17	0.0675
13	07.14	00 13 15	SKR	102.6	122	10.6	4.4	3.89	2.66	0.0738	0.0577	0.0214
14	07.16	03 08 29	BKI	282.6	293.4	13.3	4.88	3.14	2.27	0.16	0.131	0.113
15	07.20	03 40 09	SKR	180.3	185.3	12.9	2.45	1.68	0.658	0.0755	0.0567	0.0322
16	07.20	06 10 22	SKR	186.3	193.7	14.3	5.7	5.63	2.33	0.201	0.252	0.12
17	07.20	06 32 57	SKR	176.2	189.6	13.4	2.44	2.95	0.902	0.137	0.163	0.0744
18	07.30	01 29 15	SKR	77.7	108	11.8	4.28	5.58	3.38	0.105	0.0856	0.04
19	07.31	01 35 50	SKR	84.5	94.4	10.6	4.71	4.77	3.27	0.0778	0.0657	0.0333
20	08.03	10 45 41	RIB	115.8	124.2	11.8	2.72	1.69	1.12	0.0957	0.0943	0.037
21	08.08	19 10 12	SKR	86	99	10.4	1.96	2.17	1.24	0.0524	0.0324	0.0125
22	08.20	05 53 39	SKR	129.8	152.5	11	4.65	4.65	2.79	0.0542	0.0686	0.0304
23	09.09	05 39 16	SKR	170.2	175.6	12.9	6.14	6.16	1.92	0.166	0.156	0.0537

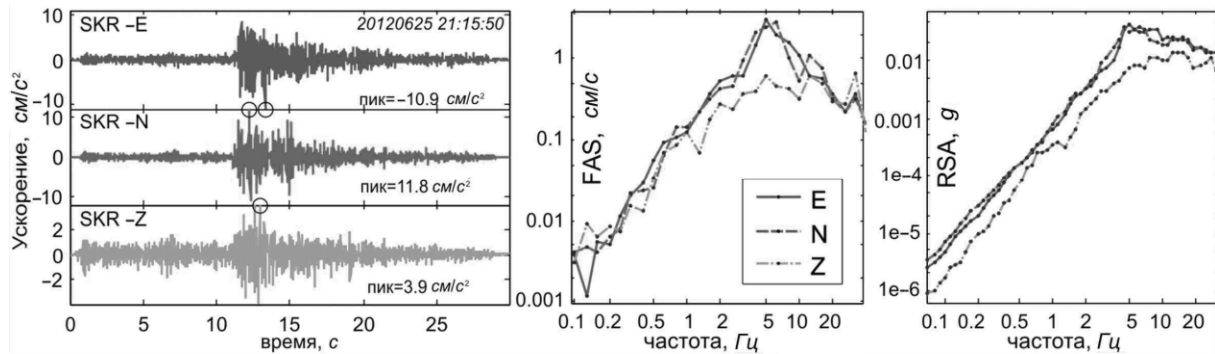


Рис. 8. Три компоненты записи ускорения грунта на станции «Северо-Курильск» от землетрясения 25 июня в 21^h 16^m с $K_S=12.3$, $M_w=4.8$, сглаженные амплитудные спектры Фурье (FAS) и спектры реакции по ускорению (RSA) для этих записей (записи получены каналами HNE/ HNN/ HNЗ сейсмической станции «Северо-Курильск»)

Заключение. Среднегодовой фон сейсмичности в 2012 г. по числу землетрясений с $K_S \geq 8.6$ превышен в шести из десяти выделенных зон, а именно в зонах № 1, 3, 4, 7, 9 и 10. Общий уровень сейсмичности для трех из них (Сейсмофокальная зона Курил и Южной Камчатки № 1; Командорский сегмент Алеутской дуги № 3 и Корякский сейсмический пояс № 7) оценен в 2012 г. как фоновый повышенный. В Корякском сейсмическом поясе – зоне, где сильные землетрясения происходят редко, 24 июня в 03^h 14^m зарегистрировано сильное землетрясение (29) с $M_w=6.0$ [7]. За время детальных наблюдений с 1962 г. это первое сильное и ощутимое событие, произошедшее в области очага 8-балльного Озерновского землетрясения 22.11.1969 г. с $M_w=7.7$ [32]. В целом сейсмический режим является обычным для региона: большая часть землетрясений относится к зоне субдукции Тихоокеанской плиты.

Л и т е р а т у р а

1. Чебров В.Н., Дрознина С.Я., Сениюков С.Л. Камчатка и Командорские острова // Землетрясения России в 2012 г. – Обнинск: ГС РАН, 2014. – С. 56–62.
2. Чебров Д.В., Матвеев Е.А., Шевченко Ю.В., Ящук В.В., Музуров Е.Л. (сост.). Сейсмические станции сети Камчатки и Командорских островов в 2012 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 21 (2012 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – Приложение на CD_ROM.
3. Чебров В.Н., Левина В.И., Ландер А.В., Чеброва А.Ю., Сениюков С.Л., Дрознин Д.В., Дрознина С.Я. Региональный каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов 1962–2010 гг.: технология и методика создания // Землетрясения Северной Евразии, 2010 год. – Обнинск: ГС РАН, 2016. – С. 396–406.
4. Дрознин Д.В., Дрознина С.Я. Интерактивная программа обработки сейсмических сигналов DIMAS // Сейсмические приборы. – 2010. – 46. – № 3. – С. 22–34.
5. Салтыков В.А., Кравченко Н.М. Количественный анализ сейсмичности Камчатки // Землетрясения России в 2012 году. – Обнинск: ГС РАН, 2014. – С. 70–76.
6. Сениюков С.Л., Дрознина С.Я. (отв. сост.), Карпенко Е.А., Леднева Н.А., Назарова З.А., Кожевникова Т.Ю., Митюшкина С.В., Напылова Н.А., Раевская А.А., Ромашева Е.И. Каталог (оригинал) землетрясений Камчатки и Командорских островов за 2012 г. ($N=4865$). Петропавловск: Фонды КФ ФИЦ ЕГС РАН, 2013. – 99 с.
7. Сениюков С.Л., Дрознина С.Я. (отв. сост.), Карпенко Е.А., Леднева Н.А., Назарова З.А., Кожевникова Т.Ю., Митюшкина С.В., Напылова Н.А., Раевская А.А., Ромашева Е.И. (сост.). Каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов за 2012 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 21 (2012 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – Приложение на CD_ROM.
8. Салтыков В.А. Статистическая оценка уровня сейсмичности: методика и результаты применения на примере Камчатки // Вулканология и сейсмология. – 2011. – № 2. – С. 53–59.
9. 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.

10. 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.
11. **International Seismological Centre**, Thatcham, Berkshire, United Kingdom, 2015 [Сайт]. – URL: <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/>
12. Митюшкина С.В. (отв. сост.), Раевская А.А. (сост.). Макросейсмический эффект ощутимых землетрясений в населенных пунктах Камчатки в 2012 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 21 (2012 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – Приложение на CD_ROM.
13. Медведев С.В. (Москва), Шпонхойер В. (Иена), Карник В. (Прага). Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.
14. Митюшкина С.В., Раевская А.А., Пойгина С.Г. (сост.). Сведения о пунктах, для которых имеется информация о макросейсмических проявлениях ощутимых землетрясений Камчатки за 2012 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 21 (2012 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – Приложение на CD_ROM.
15. Иванова Е.И. (сост.). Каталог механизмов очагов землетрясений Камчатки и Командорских островов за 2012 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 21 (2012 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – Приложение на CD_ROM.
16. **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.
17. **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.
18. **Сейсмологический бюллетень (ежедекадный) за 2012 год** [Электронный ресурс] / Отв. ред. О.Е. Старовойт. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2012–2013. – URL: ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_bulletin/2012
19. Левина В.И., Иванова Е.И., Гусева Е.И. Камчатка и Командорские острова // Землетрясения Северной Евразии, 2002. – Обнинск: ГС РАН, 2008. – С. 215–225.
20. Матвеевко Е.А., Митюшкина С.В., Иванова Е.И., Чеброва А.Ю., Левина В.И., Ландер А.В., Чебров В.Н., Гусева Е.М. Камчатка и Командорские острова // Землетрясения Северной Евразии, 2006 год. – Обнинск: ГС РАН, 2012. – С. 195–213.
21. **Олюторское землетрясение (20 (21) апреля 2006 г., Корякское нагорье). Первые результаты исследований** / Отв. ред. В.Н. Чебров. – Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2007. – 290 с.
22. 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 г. – М.: Наука, 1973. – С. 195–208.
23. Павлов В.М., Абубакиров И.Р. Алгоритм расчета тензора сейсмического момента сильных землетрясений по региональным широкополосным сейсмограммам объемных волн // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. – 2012. – № 2(20). – С. 149–158.
24. **Global Centroid Moment Tensor (CMT) Catalog** [Сайт]. – URL: <http://www.globalcmt.org/CMTsearch.html>
25. Ландер А.В., Букчин Б.Г., Дрознин Д.В., Киришин А.В. Тектоническая позиция и очаговые параметры Хаилинского (Корякского) землетрясения 8 марта 1991 г.: существует ли плита Берингия? // Вычислительная сейсмология. – Вып. 26. – М.: Наука, 1994. – С. 103–122.
26. Чебров Д.В., Кугаенко Ю.А., Ландер А.В., Абубакиров И.Р., Воропаев П.В., Гусев А.А., Дрознин Д.В., Дрознина С.Я., Иванова Е.И., Кравченко Н.М., Матвеевко Е.А., Митюшкина С.В., Отогюк Д.А., Павлов В.М., Раевская А.А., Салтыков В.А., Сениюков С.Л., Скоркина А.А., Се- рафимова Ю.К. Южно-озерновское землетрясение 29.03.2017 г. с $M_w=6.6$, $K_S=15.0$, $I=6$ (Камчатка) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. – 2017. – № 3. – Вып. 35 – С. 7–21.
27. **Dziewonski A.M., Chou T.A., Woodhouse J.H.** Determination of earthquake source parameters from waveform data for studies of global and regional seismicity // Journal of Geophysical Research. – 1981. – 86. – № B4. – P. 2825–2852.
28. **Ekstrom G., Nettles M., Dziewonski A.M.** The global CMT project 2004–2010: Centroid-moment tensors for 13,017 earthquakes // Physics of the Earth and Planetary Interiors. – 2012. – 200. – P. 1–9.

-
29. **Kagan Y.** Simplified algorithms for calculating double-couple rotation // *Geophys. J. Int.* –2007. – **171**. – P. 411–418.
 30. **Чебров В.Н., Дроздин Д.В., Кугаенко Ю.А., Левина В.И., Сениюков 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.
 31. **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.
 32. **Кондратенко А.М., Шумилина Л.С. (отв. сост.), Потапова О.В., Федотов С.А.** X. Камчатка [1737–1974 гг.; $M \geq 6.0$; $I_0 \geq 7$] // *Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г.* – М.: Наука, 1977. – С. 426–447.