

## КАМЧАТКА И КОМАНДОРСКИЕ ОСТРОВА

**Д.В. Чебров, А.Ю. Чеброва, Е.А. Матвеев, С.Я. Дроздина,  
С.В. Митюшкина, А.А. Гусев, В.А. Салтыков, П.В. Воропаев**

*Камчатский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский, ayuch@emsd.ru*

**Аннотация.** Приведен обзор сейсмичности Камчатки и прилегающих территорий за 2013 г. Представительность каталога землетрясений Камчатки в целом может оцениваться как  $K_{\min}=8.0$ , а для охотоморских землетрясений, происходящих на глубине нескольких сот километров,  $K_{\min}=9.5$ . Каталог землетрясений 2013 г. с  $K_S \geq 8.6$ , зарегистрированный Камчатской региональной сетью, публикуемый в настоящем сборнике, включает 1750 событий. 146 событий с  $K_S=8.6-17.0$  из публикуемого каталога ощущались с интенсивностью  $I$  от 2 до 7 баллов по шкале MSK-64 на Камчатке и прилегающих территориях в 2013 г. Механизмы очагов были определены двумя способами: 1) 107 механизмов очагов с  $K_S=11.6-17$  получено по знакам первых вступлений объемных волн; 2) 25 механизмов очагов с  $K_S=11.7-17$  – по волновым формам. В 2013 г. в пределах Камчатской зоны ответственности наблюдалась типичная картина расположения эпицентров землетрясений, при этом наблюдалась значительная сейсмическая активизация в Тихоокеанской зоне субдукции, в особенности в ее глубоком слое ( $h > 380$  км). Уровень сейсмичности в четырех зонах превысил средние значения по шкале «СОУС'09»: в Сейсмофокальной зоне Курил и Южной Камчатки № 1 он оценен как экстремально высокий; в Тихом океане № 4 – высокий; в Северной части Камчатской сейсмофокальной зоны № 2 и Корякском сейсмическом поясе № 7 – фоновый повышенный. Количество зафиксированных событий с  $K_S \geq 8.6$  превысило среднегодовое значение почти в два раза, а сильных с  $K_S \geq 11.6$  более чем в три. В 2013 г. зафиксировано сразу несколько уникальных событий: Ильпирское землетрясение 13 марта 2013 г. – редкое для Северной Камчатки сильное ощутимое землетрясение с магнитудой  $M_w=5.8$  в районе Камчатского перешейка; Охотоморское землетрясение 24 мая 2013 г. – сильнейшее в мире землетрясение ( $M_w=8.3$ ) среди событий сопоставимой глубины ( $h=630$  км); рой землетрясений в Авачинском заливе в мае 2013 г. – самый сильный рой землетрясений ( $M_{w_{\max}}=6.1$ ) из зарегистрированных камчатской региональной сетью за период детальных сейсмологических наблюдений с 1962 г.

**Ключевые слова:** Камчатка, сейсмичность, каталог, землетрясение, механизм очага, макросейсмика, уровень сейсмичности.

**DOI:** 10.7868/S0203030617020055

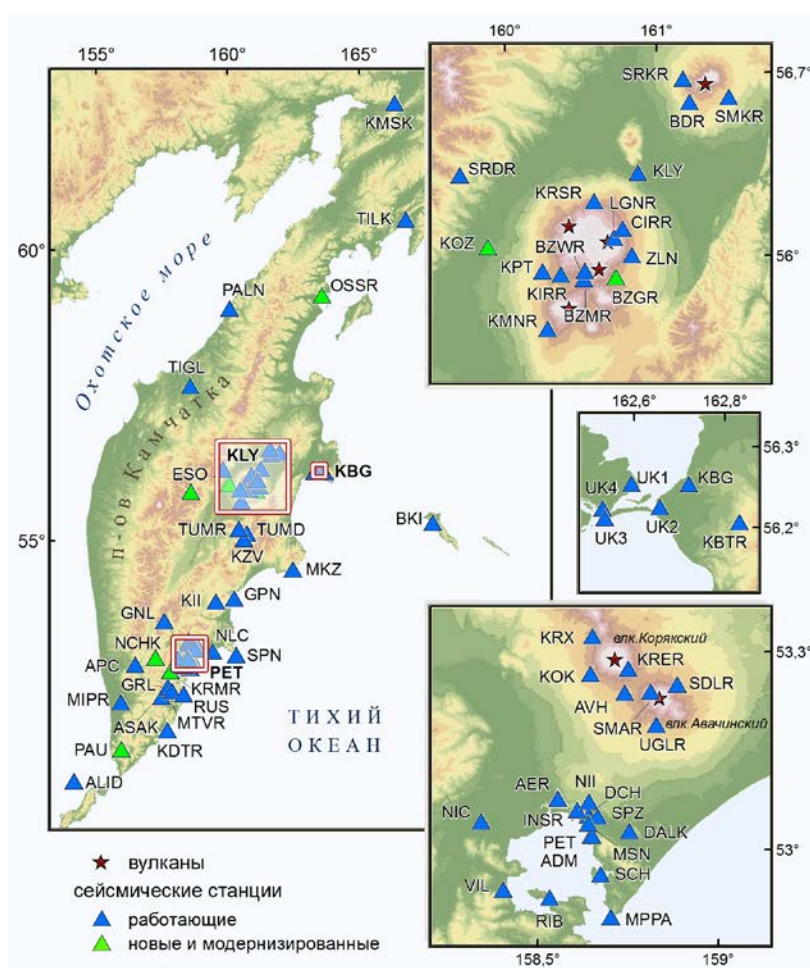
В 2013 г. продолжилась работа по модернизации сети сейсмических станций Камчатки [1]. Сведения о сейсмических станциях Камчатки приведены в [2], их расположение представлено на рис. 1. Параметры новых и модернизированных станций даны в табл. 1 и 2.

**Таблица 1.** Сведения о сейсмических станциях, установленных и модернизированных Камчатским филиалом ФИЦ ЕГС РАН в 2013 г.

Станция			Дата открытия/ модернизации станции	Координаты			Тип аппаратуры и каналов связи
Название	Код			$\varphi^\circ, N$	$\lambda^\circ, E$	$h_y, m$	
	межд.	рег.					
Безымянный-Грива	BZGR	BZG	2013.09.10	55.939	160.696	1150	PTCC, цифровая, VSAT
Карымшина	KRMR	KRM	2013.07.12	52.828	158.131	100	Цифровая, GSR-24, VSAT
Козыревск	KOZ	KOZ	2013.12.04	56.058	159.872	60	PTCC, цифровая, DSL, VSAT
Начики	NCHK	NCHK	2013.12.04	53.120	157.760	465	Цифровая, DSL
Оссора	OSSR	OSS	2013.08.03	59.262	163.072	35	Цифровая, DSL, VSAT
Паужетка	PAU	PAU	2013.07.17	51.468	156.815	130	Цифровая, GSR-24, VSAT
Эссо	ESO	ESO	2013.11.21	55.932	158.695	490	Цифровая, DSL, VSAT

**Таблица 2.** Данные об аппаратуре цифровых и телеметрических станций, установленных и модернизированных Камчатским филиалом ФИЦ ЕГС РАН в 2013 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 <sup>2</sup> )
Безымянный-Грива	CMG-6TD	BH (N, E, Z) v	0.033–40	100	24	2.5·10 <sup>9</sup>
	CM-3	SH (N, E, Z) v, EH (Z) v	0.7–20, 4–20	100	24	2.0·10 <sup>7</sup>
Карымшина	CMG-3TB	BH (N, E, Z) v	0.0083–4	100	24	2.1·10 <sup>8</sup>
	CMG-5TD	HN (N, E, Z) a	0–40	100	24	3.2·10 <sup>5</sup>
Козыревск	CMG-6TD	BH (N, E, Z) v	0.033–40	100	24	2.5·10 <sup>9</sup>
	CMG-5TDE	HN (N, E, Z) a	0–40	100	24	3.2·10 <sup>5</sup>
	CM-3	SH (N, E, Z) v, EH (Z) v	0.7–20, 4–20	100	24	1.8·10 <sup>7</sup>
Начики	CMG-6TD	BH (N, E, Z) v	0.033–40	100	24	2.5·10 <sup>9</sup>
Оссора	CMG-6T	BH (N, E, Z) v	0.033–40	100	24	3.7·10 <sup>9</sup>
	CMG-5T	HN (N, E, Z) a	0–40	100	24	3.5·10 <sup>5</sup>
Паужетка	CMG-6TD	BH (N, E, Z) v	0.033–40	100	24	4.1·10 <sup>9</sup>
	CMG-5T	HN (N, E, Z) a	0–40	100	24	5.4·10 <sup>6</sup>
Эссо	CMG-6TD	BH (N, E, Z) v	0.033–40	100	24	8.5·10 <sup>8</sup>
	CMG-5TDE	HN (N, E, Z) a	0–40	100	24	3.5·10 <sup>5</sup>



**Рис. 1.** Сеть сейсмических станций Камчатки в 2013 г. [2]

В 2013 г. на всех приемных центрах радиотелеметрической сети сейсмических станций (РТСС) внедрены в эксплуатацию технические и программные средства для демодуляции ЧМ-сигналов методами цифровой обработки, что обеспечило расширение динамического диапазона регистрируемых сигналов не менее чем на 6 Дб [2].

4 декабря 2013 г. введена в действие сейсмическая станция в пос. Начики, которая оснащена велосиметром CMG-6TD и сервером буферизации данных. Передача данных осуществляется в режиме реального времени по DSL-каналу в информационно-обработывающий центр г. Петропавловска-Камчатского. Станция расположена в бункере, в лесу на склоне сопки, в 900 м от пос. Начики. Между бункером, где установлены приборы, и пунктом, где расположен сервер буферизации, организован VDSL-канал связи. Станции присвоено название «Начики», региональный код – NCHK. В течение года модернизированы (произведена замена оборудования) станции: «Паужетка», «Оссора», «Эссо», «Карымшина», «Безыманный грива», «Беринг», «Козыревск». На станциях «Оссора», «Паужетка» и «Эссо» были сняты приборы CM-3OC и CM-3. На станциях «Институт», «Карымшина» отключены приборы СКД и CMG-6TD соответственно. На станции «Беринг» вышедший из строя прибор CMG-3ТВ заменен идентичным.

Обработка сигналов сейсмических станций, расчет параметров гипоцентров и энергетических характеристик землетрясений производится при помощи программы DIMAS [3, 4] в режиме, близком к реальному времени.

На рис. 2 показана карта представительности каталога землетрясений 2013 г. в зоне ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН. Как показано в [5], оценка региональной представительности по графику Гутенберга-Рихтера для больших пространственных областей некорректна, поэтому реальная представительность каталога землетрясений Камчатки может быть оценена путем сканирования сейсмоактивной области ячейками относительно небольшого размера и последующим объединением полученных результатов.

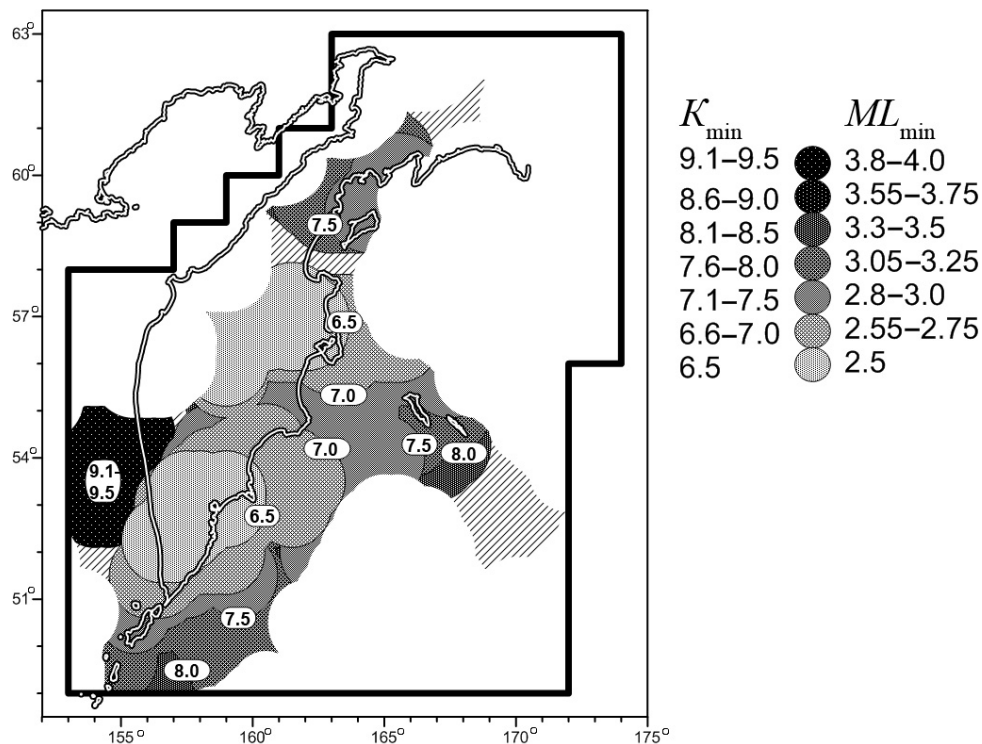
Карта на рис. 2 построена по результатам сканирования кругами радиусом 100 км с расчетом соответствующего уровня представительности каталога  $K_{\min}$  по энергетическому классу со статистической значимостью  $\alpha=0.3$ . Используемый каталог ограничен снизу энергетическим классом  $K_S=6.5$ , что позволяет отделить вулканические землетрясения, происходящие в локальных областях и зарегистрированные специализированными сейсмометрическими сетями, обеспечивающими локальную представительность, существенно отличающуюся от региональной. Представительность каталога землетрясений Камчатки в целом может оцениваться как  $K_{\min}=8.0$  ( $ML_{\min}=3.3$ ), а для охотоморских землетрясений, происходящих на глубине нескольких сот километров –  $K_{\min}=9.5$  ( $ML_{\min}^1=4.0$ ). Детальный анализ параметров сейсмического режима в 2013 г. представлен в работе [7].

Анализ сейсмичности в данной статье проводится по всем зарегистрированным Камчатской региональной сетью землетрясениям, начиная с  $K_S \geq 8.6$ . Каталог землетрясений с  $K_S \geq 8.6$  [8], публикуемый в настоящем сборнике, включает 1750 событий. Из них 1650 событий находятся внутри зоны ответственности сети КФ ФИЦ ЕГС РАН, а 100 – за ее пределами.

Всего в 2013 г. определены эпицентры 6672 землетрясений в энергетическом диапазоне  $K_S=3.2-17$ . 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.

---

<sup>1</sup> Локальная магнитуда землетрясений  $ML$  получена путем пересчета по формуле  $ML = \frac{K_S}{2} - 0.75$  [6].



**Рис. 2.** Карта региональной представительности каталога землетрясений 2013 г. в зоне ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН.

Диагональной штриховкой отмечены зоны с низкой плотностью зарегистрированных землетрясений (менее одного события с  $K_S \geq 5.5$  на  $1000 \text{ км}^2$ ). В незакрашенных областях землетрясения с  $K_S \geq 6.5$  в 2013 г. не зарегистрированы

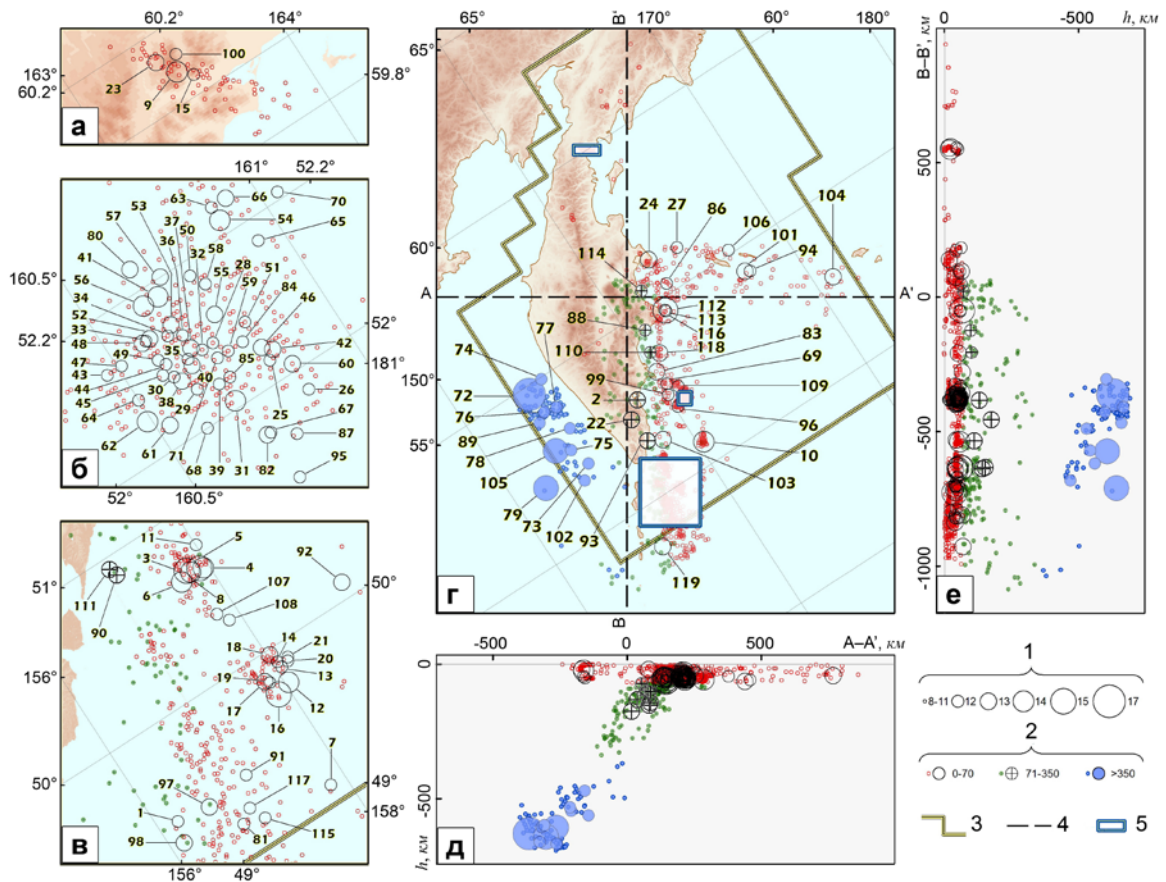
**Таблица 3.** Распределение числа землетрясений по энергетическим классам  $K_S$  и суммарная сейсмическая энергия  $\Sigma E$  в 2013 г.

$K_S$	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	$N_\Sigma$	$\Sigma E, \text{Дж}$
$N_{\text{всего}}$	4	22	144	971	2000	1781	987	474	170	69	33	10	6	0	1	6672	$1.09 \cdot 10^{17}$
$N_{\text{зона отв.}}$	4	22	144	971	2000	1774	945	435	153	69	32	10	5	0	1	6565	$1.08 \cdot 10^{17}$

Каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов с  $K_S \geq 8.5$ , доступен в Интернете по адресу <http://www.emsd.ru/sdis/earthquake/catalogue>. Для получения информации о более слабых событиях необходимо зарегистрироваться и оформить запрос на расширенный доступ.

На рис. 3 представлена карта эпицентров землетрясений с  $K_S \geq 8.6$ . На врезках (а)–(в) увеличены выделенные на общей карте (г) районы: (а) – район Камчатского перешейка; (б) – район Тихого океана напротив Авачинского залива; (в) – район северных Курил. Вертикальные разрезы поля гипоцентров показаны в областях (д) – поперечный разрез  $A-A'$  и (е) – продольный разрез  $B-B'$ . Сильные землетрясения ( $K_S \geq 11.6$ ) пронумерованы на картах (а)–(г), всего их в 2013 г. 119, из них 117 событий относится к Камчатскому региону.

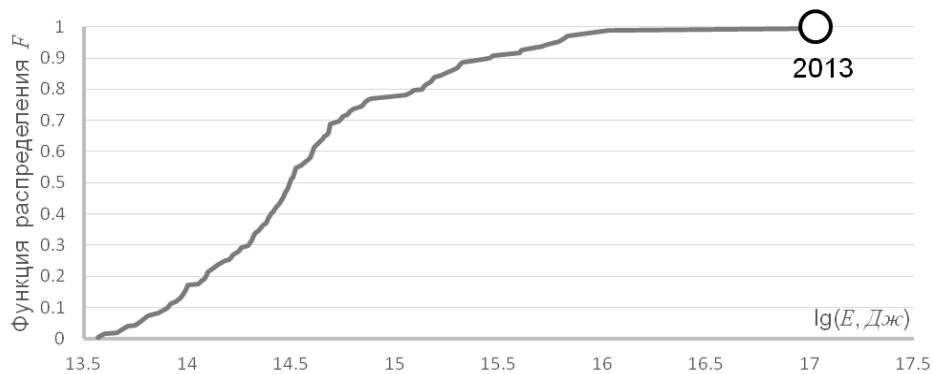
Уровень сейсмичности в регионе Камчатки и Командорских островов оценивался исходя из величины функции распределения  $F$  выделившейся в 2013 г. сейсмической энергии. Методика расчета функции распределения  $F$  и градации шкалы уровня сейсмичности «СОУС'09» описаны в [9, 10]. В 2013 г. суммарная энергия всех зарегистрированных в зоне ответственности Камчатского филиала ФИЦ ЕГС РАН землетрясений составила  $\Sigma E = 1.08 \cdot 10^{17} \text{ Дж}$ .



**Рис. 3.** Карта эпицентров землетрясений Камчатки с  $K_S \geq 8.6$  за 2013 г. (г) и расширенная карта сейсмичности в районах Камчатского перешейка (а), Тихого океана напротив Авачинского залива (б) и вблизи северных Курил (в); проекции на вертикальные плоскости А–А' (д) и В–В' (е).

- 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 – граница районов, представленных в виде расширенной карты; числа 1–119 соответствуют номерам сильных ( $K_S \geq 11.6$ ) землетрясений в каталоге [8]

Функция распределения  $F$  выделившейся за год сейсмической энергии построена по данным за 1962–2013 гг. (рис. 4). Для 2013 г.  $F=1$ , что соответствует экстремально высокому уровню сейсмичности по шкале «СОУС'09» и максимальному значению за весь период наблюдений.



**Рис. 4.** Функция распределения  $F$  сейсмической энергии для региона Камчатки и Командорских островов.

Кружком отмечено значение функции распределения  $F$  в 2013 г.

Помимо этого, оценка уровня сейсмичности рассчитывалась в пространственных областях, определенных в соответствии с регионализацией сейсмоактивного объема Камчатки и прилегающих территорий [1, 11], учитывающей тектоно-географическое положение землетрясений. В табл. 4 приведены оценки для шести из десяти выделенных зон № 1–4 и 6–7 (для которых возможны статистические оценки) и для пяти подрегионов Камчатки, определяемых географическим положением.

**Таблица 4.** Оценка уровня сейсмичности в 2013 г. для различных сейсмоактивных областей

№ зоны	Пространственная область	Энергия $\Sigma E$ , Дж	$F(\lg E)$	Уровень сейсмичности
1	Сейсмофокальная зона Курил и Южной Камчатки	$1.0 \cdot 10^{17}$	$0.995 \pm 0.005$	экстремально высокий
2	Северная часть Камчатской сейсмофокальной зоны	$2.7 \cdot 10^{15}$	$0.95 \pm 0.03$	фоновый повышенный
3	Командорский сегмент Алеутской дуги	$3.5 \cdot 10^{13}$	$0.60 \pm 0.07$	фоновый средний
4	Тихий океан	$6.5 \cdot 10^{13}$	$0.98 \pm 0.02$	высокий
6	Континентальные области Камчатки	$3.9 \cdot 10^9$	$0.03 \pm 0.02$	фоновый пониженный
7	Корякский сейсмический пояс	$8.9 \cdot 10^{13}$	$0.93 \pm 0.04$	фоновый повышенный
–	Камчатский залив	$1.0 \cdot 10^{15}$	$0.97 \pm 0.02$	фоновый повышенный
–	Кроноцкий залив	$1.1 \cdot 10^{13}$	$0.50 \pm 0.07$	фоновый средний
–	Авачинский залив	$1.3 \cdot 10^{13}$	$0.57 \pm 0.07$	фоновый средний
–	Юг Камчатки (от мыса Лопатка до Авачинского залива)	$1.7 \cdot 10^{15}$	1	экстремально высокий
–	Камчатская сейсмоактивная область ( $50.5\text{--}56.5^\circ\text{N}$ , $156\text{--}167^\circ\text{E}$ )	$4.9 \cdot 10^{15}$	$0.98 \pm 0.02$	высокий

На рис. 5 а, б представлено ежесуточное число  $N$  землетрясений с  $K_S \geq 8.6$  и кумулятивный график выделившейся энергии  $\Sigma E$  для зоны ответственности Камчатского филиала. В среднем в 2013 г. регистрировалось 2–4 события в день. Резкое увеличение потока сейсмичности, наблюдаемое в конце мая (рис. 5 а), связано с роем землетрясений в Авачинском заливе – максимальное количество  $N=145$  землетрясений с  $K_S \geq 8.6$  было зарегистрировано 20 мая. Максимальный скачок на графике выделившейся сейсмической энергии (рис. 5 б) проявился благодаря сильнейшему ( $K_S=17.0$ ,  $M_w=8.3^2$ ) землетрясению (72)<sup>3</sup> в регионе за 2013 г., зарегистрированному 24 мая 05<sup>h</sup>44<sup>m</sup> в сейсмофокальной зоне Курил и Южной Камчатки на глубине  $h=630 \pm 30$  км [8].

На территории Камчатского края, Северных Курил и Командорских островов в 2013 г. ощущалось 148 землетрясений с  $K_S=8.1\text{--}17.0$  [13] и интенсивностью  $I$  от 2 до 7 баллов по шкале MSK-64 [14], из них 146 событий с  $K_S=8.6\text{--}17.0$  включены в каталог [8], публикуемый в настоящем сборнике. Всего было собрано 1673 сообщения о землетрясениях из 266 пунктов. Ощущались землетрясения в 243 пунктах [15].

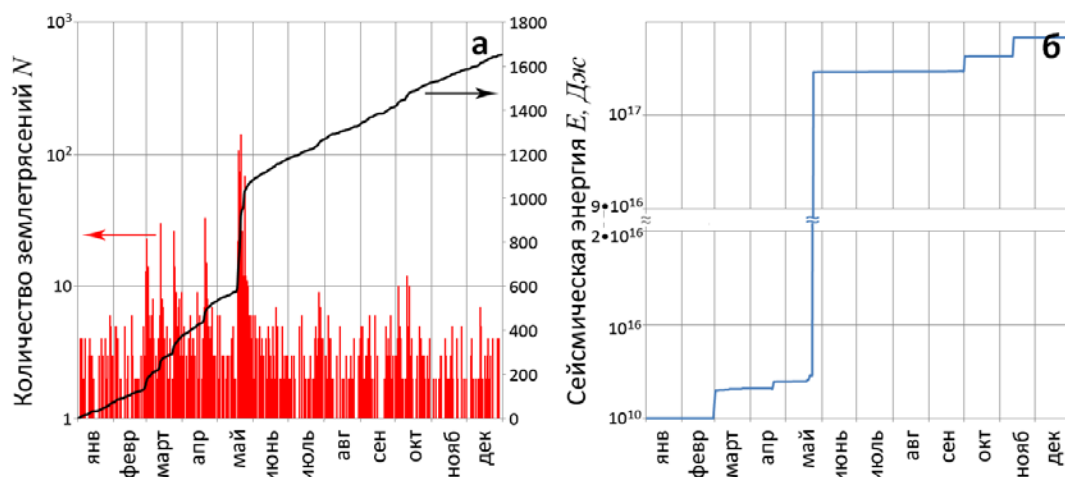
В г. Петропавловске-Камчатском сотрясения с интенсивностью  $I$  от 2 до 5 баллов ощущались в совокупности 65 раз от землетрясений разных классов в диапазоне  $K_S=10.4\text{--}17.0$  [13].

Механизмы очагов были определены двумя способами: 1) по знакам первых вступлений объемных волн с использованием программы FA2011 (усовершенствованная программа FA2002 [16, 17]) было получено 107 механизмов очагов из 119 зарегистрированных в 2013 г. землетрясений с  $K_S \geq 11.6$  [18]; 2) по волновым формам получено 25 механизмов очагов с  $K_S=11.7\text{--}17$  [19].

<sup>2</sup> Здесь и далее  $M_w=M_{w\text{ГСМТ}}$  из [12].

<sup>3</sup> Номера событий здесь и далее соответствуют таковым в каталоге [8].





**Рис. 5.** Гистограмма распределения и кумулятивный график суточного числа землетрясений с  $K_S \geq 8.6$  (а); кумулятивный график выделившейся сейсмической энергии  $\Sigma E$  (б) в 2013 г. для зоны ответственности сети КФ ФИЦ ЕГС РАН

В первом случае использовались данные региональных станций и знаки вступлений Р-волн из бюллетеней ГС РАН [20] и ISC [12]. Для наиболее значимых землетрясений, если по знакам из бюллетеней получались механизмы, противоречащие механизму по данным GCMТ, знаки телесеизмических станций не брались в расчет (6, 31) или брались самостоятельно по волновым формам сети GSN (105). В табл. 5 приведено полученное распределение землетрясений по типам подвижек.

**Таблица 5.** Распределение сильных землетрясений Камчатки и Командорских островов 2013 г. по типам подвижек в их очагах

Тип подвижки	Номера землетрясений по [8]	$N_i$	$N_i/N_{\Sigma}$ , %
Сбросо-сдвиг	2, 12, 13, 16, 19, 22, 25, 28, 32, 33, 39, 42, 45, 46, 48, 49, 50, 51, 52, 58, 61, 65, 66, 67, 68, 71, 82, 84, 85, 87, 90, 92, 93, 95, 104, 105, 112, 115, 117	39	31.1
Взбросо-сдвиг	1, 3, 4, 5, 7, 9, 14, 17, 21, 26, 27, 29, 30, 31, 34, 35, 37, 38, 40, 41, 44, 53, 54, 56, 59, 60, 69, 70, 81, 86, 88, 91, 96, 97, 98, 99, 101, 106, 108, 111, 113, 114, 116, 118, 119	45	38.7
Сдвиг	23, 24, 36, 43, 64	5	4.2
Взброс	6, 8, 62, 63, 83, 102, 103, 107	8	7.5
Сброс	10, 18, 20, 55, 72, 79, 80, 89, 109, 110	10	8.4
Не определен	11, 15, 47, 57, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 94, 100	12	10.1
Сумма		119	100

Во втором случае проводилась инверсия полных региональных широкополосных сейсмограмм в тензор сейсмического момента (ТСМ) для модели точечного источника типа двойной диполь без момента. Другими словами, непосредственно по волновым формам рассчитывались механизм очага и скалярный сейсмический момент. Для этого использовался нелинейный метод наименьших квадратов, позволяющий одновременно с ТСМ оценивать глубину эквивалентного точечного источника и его длительность [21, 22].

Рассмотрим особенности сейсмического процесса региона по 10 зонам и их слоям, перечисленным в табл. 6. Подробное описание зон дано в работах [1, 11]. 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 по 2012 год.

**Таблица 6.** Распределение числа землетрясений с  $K_S \geq 8.6$  и  $K_S \geq 11.6$ , и выделенной энергии по зонам за 2013 г. в сопоставлении с их средними оценками за период 1962–2012 гг. внутри границ региона Камчатки и Командорских островов

№	Зона	Слой	Средние значения за 1962–2012 гг.				Значения за 2013 г.			
			$N$ ( $K_S \geq 8.6$ )	$N/N_{\Sigma}$ , %	$N$ ( $K_S \geq 11.6$ )	$\Sigma E$ , $10^{14}$ Дж	$N$ ( $K_S \geq 8.6$ )	$N/N_{\Sigma}$ , %	$N$ ( $K_S \geq 11.6$ )	$\Sigma E$ , $10^{14}$ Дж
1	Сейсмофокальная зона Курил и Южной Камчатки	I	182	19.8	9	1.26	395	23.9	26	38.53
		II	49	5.4	2	0.69	97	5.9	5	0.34
		III	7	0.8	<1	0.40	98	5.9	10	1015.93
2	Северная часть Камчатской сейсмофокальной зоны	I	364	39.4	14	1.56	655	39.7	61	26.71
		IIa	85	9.2	2	2.46	79	4.8	3	0.04
		IIIa	<1	<0.1	<1	0.02				
3	Командорский сегмент Алеутской дуги	I	115	12.5	5	1.06	106	6.4	6	0.34
		II	1	0.1	<1	<0.01				
4	Тихий океан	I	52	5.7	1	0.10	115	7.0	2	0.64
		II	<1	<0.1	<1	<0.01	3	0.2		<0.01
5	Северные Курилы	I	2	0.2		<0.01				
6	Континентальные области Камчатки	I	41	4.4	<1	0.11	4	0.2		<0.01
7	Корякский сейсмический пояс	I	20	2.2	<1	1.65	93	5.6	4	0.90
8	Берингово море	I	<1	<0.1		<0.01				
9	Залив Шелихова	I	1	0.1	<1	<0.01	5	0.3		<0.01
10	Охотия	I	<1	<0.1	<1	<0.01				
	Всего		922	100	35	9.3	1650	100	117	1083.43

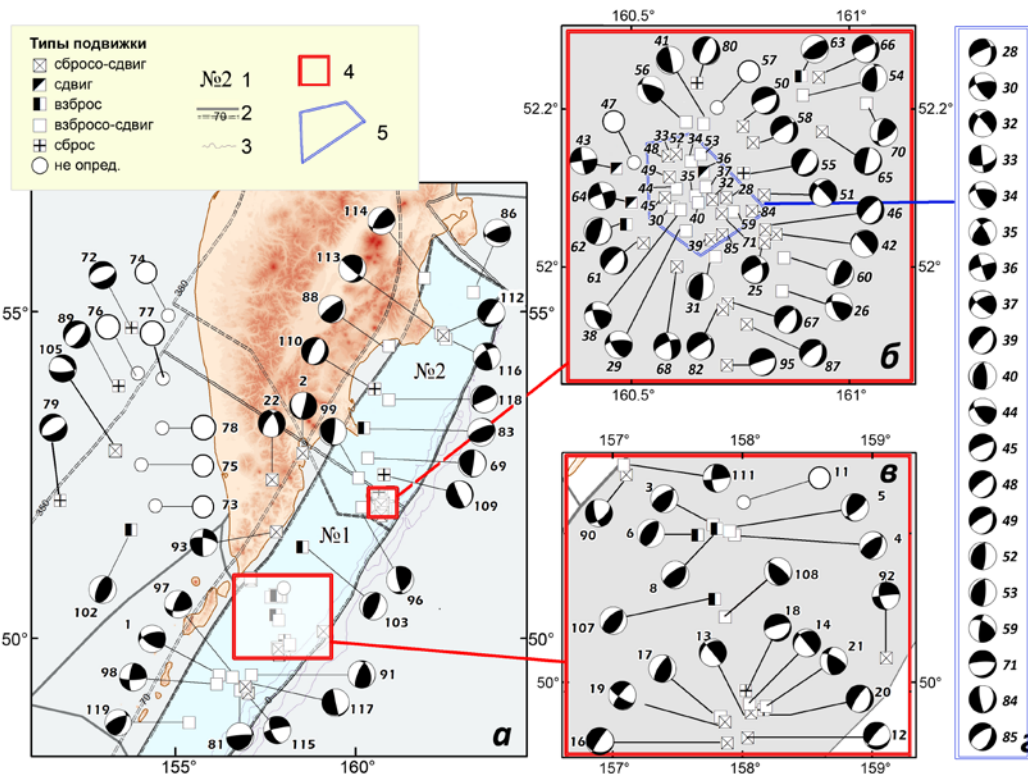
Примечание. Цифрами I, II и III обозначены поверхностный ( $0 \leq h \leq 70$  км), промежуточный ( $70 < h \leq 350$  км) и глубокий ( $h > 350$  км) слои соответственно; зона № 2 имеет границы зон промежуточного ( $70 < h \leq 380$  км) и глубокого ( $h > 380$  км) слоев, отличные от других; они обозначаются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

В сейсмофокальной зоне Курил и Южной Камчатки № 1 в 2013 г. по шкале «СОУС'09» отмечается экстремально высокий уровень сейсмичности (табл. 4). Согласно табл. 6, в зоне № 1 во всех глубинных сейсмических слоях, а в наибольшей степени – в глубоком с  $h > 380$  км значительно превышен среднегодовой фон сейсмичности как по числу землетрясений, так и по уровню выделившейся энергии. По трем глубинным сейсмическим слоям события распределились следующим образом: поверхностные –  $N=395$  (24 % всех событий), промежуточные –  $N=97$  (6 %) и глубокие –  $N=98$  (6 %). Зафиксировано 41 сильное землетрясение с  $K_S \geq 11.6$  (рис. 6).

Самыми сильными по энергетическому классу землетрясениями (с  $K_S \geq 15$ ) в 2013 г. в сейсмофокальной зоне № 1 стали пять событий: главный толчок (3) 28 февраля в  $14^{\text{h}}05^{\text{m}}$  с  $h=61$  км,  $K_S=15.2$ ,  $M_w=6.8$  и его афтершок (5) 1 марта в  $13^{\text{h}}20^{\text{m}}$  с  $h=62$  км,  $K_S=15.1$ ,  $M_w=6.5$ ; а также глубокое Охотоморское землетрясение (72) 24 мая в  $05^{\text{h}}44^{\text{m}}$  с  $h=630$  км,  $K_S=17$ ,  $M_w=8.3$  и его афтершоки (79, 105) 24 мая в  $14^{\text{h}}56^{\text{m}}$  с  $h=642$  км,  $K_S=15$ ,  $M_w=6.7$  и 1 октября в  $03^{\text{h}}38^{\text{m}}$  с  $h=608$  км,  $K_S=15.2$ ,  $M_w=6.7$ , соответственно [8].

Землетрясение (3) 28 февраля в  $14^{\text{h}}05^{\text{m}}$  с  $h=61$  км,  $K_S=15.2$ ,  $M_w=6.8$  произошло у юго-восточного побережья Камчатки (рис. 6в) в Тихом океане, примерно в 120 км к востоку от г. Северо-Курильска и в 270 км к югу от г. Петропавловска-Камчатского. Землетрясение ощущалось в 34 населенных пунктах Камчатки ( $\Delta=81\text{--}493$  км) с интенсивностью до 5–6 баллов. Событие сопровождалось серией афтершоков, четыре из которых ощущались жителями полуострова.





**Рис. 6.** Карта эпицентров и стереограммы механизмов очагов сильных землетрясений ( $M_s \geq 11.6$ ) Курило-Камчатской зоны субдукции (зоны № 1 и 2) за 2013 г. (а) и расширенная карта сейсмичности в районе Тихого океана напротив Авачинского залива (б) и вблизи Северных Курил (в).

На врезку (в) вынесены стереограммы механизмов выделенного участка расширенной карты (б). 1 – номер зоны из табл. 6; 2 – граница зоны (обозначениями  $=0=$ ,  $=70=$ ,  $=350$  ( $380=$ ) показаны границы слоев с  $h=0, 70, 350$  или  $380$  км соответственно, в зонах № 1 и 2); 3 – изобаты 6000 и 7000 м; 4 – граница районов, представленных в виде расширенной карты; 5 – граница района, для которого стереограммы механизмов вынесены на «врезку»; число возле стереограммы соответствует номеру землетрясения в каталоге [8]

Механизм очага землетрясения (3) и его сильных афтершоков (4–6, 8) соответствует типичному для камчатской зоны субдукции взбросу с субгоризонтальной осью сжатия в направлении СЗ–ЮВ (рис. 6 в). Подробное описание землетрясения 28 февраля и сейсмичности его очаговой зоны представлено в отдельной статье [23] настоящего сборника, а также в работах [24, 25].

Землетрясение (72) 24 мая в  $05^{\text{h}}44^{\text{m}}$  с  $h=630$  км,  $M_s=17$ ,  $M_w=8.3$  – сильнейшее землетрясение, зарегистрированное в районе Камчатки за годы детальных сейсмологических наблюдений (с 1962 г. по настоящее время) и самое сильное в мире землетрясение среди событий сопоставимой глубины [26]. Событие зафиксировано в акватории Охотского моря, к западу от полуострова Камчатка и получило название «Охотоморское». Охотоморское землетрясение 24 мая имело огромную площадь макросейсмического воздействия, при этом оно нигде не имело катастрофических проявлений. Это событие ощущалось с интенсивностью от 2 до 6 баллов по шкале MSK-64 в населенных пунктах, расположенных от эпицентра на расстоянии от 119 до 9466 км. В северном полушарии Земли на значительной части Евразии и Северной Америки его проявление зафиксировано в России, Казахстане, Японии, Китае, Индии, Объединенных Арабских Эмиратах, Польше, Канаде, США, Мексике, Италии, Эстонии и Киргизии; в южном полушарии – в Индонезии на о-ве Ява. Подробная информация о воздействии Охотоморского землетрясения на территорию Камчатки и Мира, а также о сейсмичности

и характеристиках его очаговой зоны собрана в отдельной статье [27] настоящего сборника, а также в работах [25, 28, 29].

Всего в сейсмофокальной зоне Курил и Южной Камчатки №1 произошло 43 ощутимых землетрясения (1 событие вне зоны ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН) с  $K_S=8.7-17$  и интенсивностью сотрясений  $I$  от 2 до 6 баллов, из них 28 с  $K_S \geq 11.6$ . Максимальные сотрясения  $I_{\max}=6$  баллов ощущались жителями г. Северо-Курильска ( $\Delta=126$  км) во время землетрясения (5), ГМС Семячик ( $\Delta=408$  км) и кордона Долина Гейзеров ( $\Delta=411$  км) во время Охотоморского землетрясения (72), а также жителями маяка Круглый ( $\Delta=76$  км) во время землетрясения (103).

В северной части Камчатской сейсмофокальной зоны №2 произошло 734 землетрясения с  $K_S \geq 8.6$  (44.5% всех событий), из них 39.7% поверхностных ( $N=655$ ), 4.8% промежуточных ( $N=79$ ). В поверхностном слое зоны количество зарегистрированных событий почти в два раза превысило среднегодовое значение, в промежуточном их оказалось меньше среднегодового значения, в глубоком слое землетрясений не было. Зарегистрировано 11 сильных событий с  $K_S \geq 11.6$  (рис. 6). В целом в зоне отмечается фоновый повышенный уровень сейсмичности (табл. 4).

Всего в зоне зафиксировано 72 ощутимых землетрясения с энергетическими классами  $K_S=9.7-15.3$  и интенсивностью сотрясений  $I=2-6$  баллов, из них 48 с  $K_S \geq 11.6$  [13]. Максимальные сотрясения  $I_{\max}=6$  баллов были зарегистрированы на ГМС Кроноки ( $\Delta=80$  км) во время самого сильного землетрясения (112) зоны №2 12 ноября в 07<sup>h</sup>03<sup>m</sup>,  $h=67$  км с  $K_S=15.3$ ,  $M_w=6.5$ . Механизм землетрясения – сброс с незначительной компонентой сдвига (рис. 6). Событие сопровождалось серией афтершоков [8]. Дополнительную информацию о землетрясении (112) можно найти в монографии о сильных землетрясениях 2013 г. [25].

Наиболее интересным событием зоны №2 в 2013 г. стал майский рой землетрясений в Тихом океане напротив Авачинского залива (рис. 6 б), приблизительно в 150–190 км к юго-востоку от г. Петропавловска-Камчатского. За период с 16 мая до конца 2013 г. в районе роя зарегистрировано более 400 землетрясений с  $K_S \geq 8.6$ . 45 из них ( $10.7 \leq K_S \leq 14.4$ ) были ощутимыми и вызвали в 23 населенных пунктах Камчатки сотрясения интенсивностью от 2 до 5 баллов. Наибольшее число событий в сутки ( $N > 50$ ) и четыре самых сильных события роя с  $K_S \geq 13.6$  зарегистрированы в период 19–21 мая. Параметры гипоцентров сильнейших землетрясений роя с магнитудой  $K_S \geq 13.6$ , а также энергетические характеристики и механизмы очагов землетрясений по данным различных сейсмологических центров России и мира приведены в табл. 7.

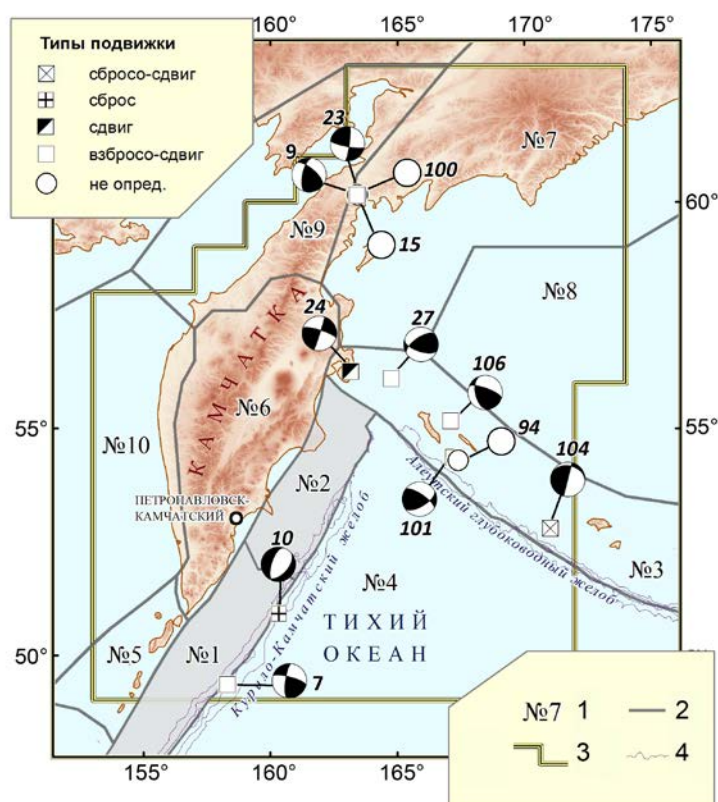
**Таблица 7.** Параметры сильнейших землетрясений майского роя 2013 г. с  $K_S \geq 13.6$  по данным КФ ФИЦ ЕГС РАН, а также Global CMT, NEIC(USGS) и ФИЦ ЕГС РАН

№	Гипоцентр [8]					Энергетический класс/Магнитуда/Стереодиаграмма механизма											
	дата, гггг.мм.дд	время, чч.мм.сс	$\varphi$ , °N	$\lambda$ , °E	$h$ , км	КФ ФИЦ ЕГС РАН [18]			GCMТ [12]		NEIC(USGS) [30]				MOS [12]		
						$K_S$	$M_s$		$M_w$		$m_b$	$M_s$	$Mwb$	*	$m_b$	$M_s$	
31	2013.05.19	18:44:07	52.01	160.69	50	13.7	6.4		5.9		5.9	5.8	6.1		6.1	6.2	
54	2013.05.21	01:55:03	52.22	160.89	59	13.6	6.3		6.0		5.6	5.7	6.0		5.9	5.7	—
56	2013.05.21	03:08:16	52.18	160.63	43	13.9	6.0		5.8		5.6	5.8	5.7		6.1	5.7	—
62	2013.05.21	05:43:16	52.05	160.49	48	14.4	6.3		6.2		5.8	6.1	6.1		6.1	6.1	—

Примечание.  $M_s$  – магнитуда по кода-волнам [8];  $Mwb$  – моментная магнитуда по объемным волнам; \* – стереодиаграмма механизма, полученного по объемным волнам [30]; коды агентств см. в разделе «Обозначения» наст. ежегодника.

Максимальное событие роя (62) 21 мая в  $5^{\text{h}}43^{\text{m}}$  с  $h=48$  км,  $K_S=14.4$ ,  $M_w=6.1$  вызвало колебания интенсивностью от 2 до 5 баллов в 18 населенных пунктах Камчатки и Северных Курил, расположенных от эпицентра на расстоянии от 148 до 340 км, самые сильные сотрясения  $I=5$  баллов ощущались в пункте маяк Круглый ( $\Delta=148$  км). Майский рой стал наиболее сильным на Камчатке за время детальных сейсмологических наблюдений с 1962 г. Процессы, происходившие в области роя 19–21 мая 2013 г. более полно описаны в монографии [25].

В **Командорском сегменте Алеутской дуги (зона № 3)** произошло 106 землетрясений с  $K_S \geq 8.6$  (рис. 7), шесть событий (24, 27, 94, 101, 104, 106) имеют  $K_S=11.6-13.2$ , все они реализовались в поверхностном слое. Уровень сейсмичности в зоне № 3 в 2013 г. был оценен как фоновый средний. Максимальное в зоне событие произошло 25 сентября в  $13^{\text{h}}58^{\text{m}}$  (104) на глубине  $h=43$  км с  $K_S=13.2$ ,  $M_w=5.5$ , оно не ощущалось на территории Камчатки. Механизм землетрясения – взброс с незначительной компонентой сдвига.



**Рис. 7.** Карта эпицентров и стереограммы механизмов очагов сильных землетрясений ( $K_S \geq 11.6$ ) зон № 3–10 за 2013 г.

1 – номер зоны из табл. 6; 2 – границы зон из табл. 6, 3 – граница камчатского региона; 4 – изобаты 6000 и 7000 м; число возле стереограммы соответствует номеру землетрясения в каталоге [8]

В зоне № 3 зафиксировано 8 ощутимых землетрясений с  $K_S=8.6-12.9$  и интенсивностью сотрясений  $I$  от 2 до 5 баллов [13]. Максимальные сотрясения  $I_{\text{max}}=5$  баллов отмечены в пос. Погодном ( $\Delta=36$  км) и Усть-Камчатске ( $\Delta=39$  км) от близкого поверхностного землетрясения (24) 14 мая в  $10^{\text{h}}19^{\text{m}}$ ,  $h=19.9$  км с  $K_S=12.8$ ,  $M_w=5.1$ . В целом ярких сейсмических событий в зоне № 3 не наблюдалось.

В **Тихом океане (зона № 4)** в 2013 г., согласно табл. 7, наблюдается небольшая активизация. По шкале «СОУС’09» (табл. 4) также отмечается высокий уровень сейсмичности. Всего произошло 136 землетрясений с  $K_S \geq 8.6$ , 118 из которых располагались

в пределах зоны ответственности [8]. Было зарегистрировано два сильных землетрясения (7, 10) с  $K_S \geq 11.6$ . Наиболее сильное событие (10) зоны № 4 произошло 24 марта в 04<sup>h</sup>18<sup>m</sup> на глубине  $h=34$  км с  $K_S=13.8$ ,  $M_w=6$  и ощущалось на территории Камчатки с интенсивностью  $I$  до 4 баллов. Механизм, полученный для события (10), типичен для зоны № 4 – сброс с субгоризонтальной осью растяжения.

В континентальных областях Камчатки (зона № 6) отмечается необычно низкая сейсмическая активность – зафиксировано четыре землетрясения с  $K_S=8.7-9.2$  [8].

В Корьякском сейсмическом поясе (зона № 7) по шкале «СОУС'09» (табл. 4) отмечается фоновый повышенный уровень сейсмичности. Всего произошло 93 мелкофокусных землетрясения с  $K_S \geq 8.6$ , из них четыре сильных события с  $K_S \geq 11.6$ , что в четыре раза превышает среднегодовой фон в зоне по числу землетрясений, но выделенная энергия при этом в два раза меньше среднегодового значения (табл. 6). Среднее значение выделившейся энергии за период 1962–2012 гг. значительно увеличилось благодаря сильнейшему Олюторскому землетрясению 20 апреля 2006 г. и его афтершокам [31].

13 марта в 03<sup>h</sup>12<sup>m</sup> произошло редкое для Северной Камчатки сильное ( $K_S=13.9$  и  $M_w=5.8$ ) землетрясение (9) в районе Камчатского перешейка. Гипоцентр определен на глубине  $h=24$  км в северной оконечности Срединного хребта недалеко от побережья Карагинского залива в 42 км к западу от с. Ильпырского, поэтому землетрясению (9) было дано название «Ильпырское». Событие сопровождалось серией афтершоков [8]. Механизм очага Ильпырского землетрясения определен как взбросо-сдвиг с преобладанием взбросовой компоненты и субгоризонтальной осью сжатия в направлении СВ–ЮЗ (рис. 7). Подробное описание Ильпырского землетрясения и сейсмичности его очаговой зоны представлено в отдельной статье [32] настоящего ежегодника, а также в монографии [25] и статье [33].

Ильпырское землетрясение (9) стало землетрясением с самым сильным макросейсмическим эффектом в 2013 г. Оно ощущалось в 16 населенных пунктах ( $\Delta=30-285$  км), расположенных на территории Карагинского, Олюторского, Пенжинского и Тигильского районов Камчатского края. Максимальная интенсивность сотрясений составила  $I_{\max}=6-7$  баллов и зафиксирована на р. Анапка ( $\Delta=30$  км). Сотрясения с интенсивностью  $I=5-6$  баллов наблюдались в пос. Оссора ( $\Delta=96$  км),  $I=5$  баллов в ближайшем к эпицентру с. Ильпырское ( $\Delta=42$  км) и в селах Карага и Кострома ( $\Delta=110$  км и 117 км, соответственно). Землетрясение (9) имело 17 ощутимых афтершоков с  $K_S=9.2-12.9$  и интенсивностью сотрясений  $I$  от 2 до 4 баллов.

Эпицентры большинства землетрясений зоны в 2013 г. локализованы в очаговых областях сильных землетрясений: Ильпырского [25, 32] и Олюторского [31] (рис. 3). Всего в Корьякском сейсмическом поясе зафиксировано 22 ощутимых землетрясения с  $K_S=9.2-13.9$  и интенсивностью сотрясений  $I$  от 2 до 6–7 баллов, из них четыре события с  $K_S \geq 11.6$  [13].

В зоне № 9, залив Шелихова, зафиксировано пять землетрясений с  $K_S=8.7-9.9$  [8]. Сильных и ощутимых землетрясений в 2013 г. не было.

В зонах Северные Курилы (№ 5), Берингово море (№ 8) и Охотия (№ 10) ежегодно наблюдается низкая сейсмическая активность. Так, камчатской региональной сетью станций в 2013 г. в этих зонах не зарегистрировано землетрясений с  $K_S \geq 8.6$ .

**Сильные движения.** В 2013 г. сетью цифровых акселерографов [25] получено более 500 записей сильных движений грунта с пиковым ускорением, превышающим  $5$  см/с<sup>2</sup>. В табл. 8 приведен список из 14 землетрясений с пиковым ускорением, превышающим  $14$  см/с<sup>2</sup>. В табл. 9 приведены пиковые значения ускорений и скоростей для каждого землетрясения из табл. 8 для той станции, которая записала это землетрясение с наибольшей амплитудой. Значения пиковых скоростей получены путем интегрирования записей ускорений.

**Таблица 8.** Параметры землетрясений 2013 г., записанные цифровыми акселерографами, для которых зарегистрированы пиковые ускорения  $a_{\text{пик}} \geq 14 \text{ см/с}^2$

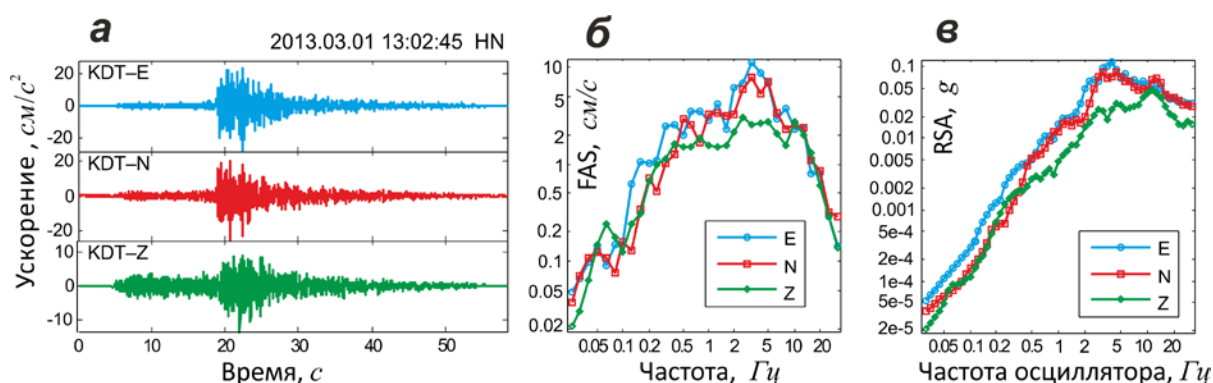
№	Дата, мм.дд	$t_0$ , чч:мм:сс	Эпицентр		$h$ , км	$K_S$	$M_w$	№	Дата, мм.дд	$t_0$ , чч:мм:сс	Эпицентр		$h$ , км	$K_S$	$M_w$
			$\varphi$ , °N	$\lambda$ , °E							$\varphi$ , °N	$\lambda$ , °E			
1	02.28	14:05:48	50.67	157.77	61	15.2	6.8	8	05.19	22:38:45	52.08	160.65	42	13.4	5.5
2	03.01	13:20:48	50.64	157.90	62	15.1	6.5	9	05.21	03:08:16	52.18	160.63	43	13.9	5.8
3	03.04	20:56:33	50.63	157.66	51	13.6	5.3	10	05.21	05:43:16	52.05	160.49	48	14.4	6.2
4	03.09	14:56:27	50.65	157.80	49	13.7	5.8	11	05.24	05:44:47	54.75	153.78	630	17	8.3
5	03.13	03:12:52	60.08	163.47	24	13.9	5.8	12	05.28	16:25:31	53.22	160.24	68	12.7	5.0
6	04.20	13:12:46	49.74	157.88	39	14.8	6.1	13	11.12	07:03:48	54.64	162.44	67	15.3	6.5
7	05.14	10:19:05	56.20	163.17	20	12.8	5.1	14	12.15	03:07:06	53.65	160.93	53	12.6	5.0

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

№	Дата, мм.дд	$t_0$ , чч:мм:сс	Код станции	$\Delta$ , 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	02.28	14:05:48	KDT	128	142	15.2	41.6	73.6	37.8	2.67	3.67	1.28
2	03.01	13:20:48	KDT	130	144	15.1	26.0	28.5	13.5	1.71	1.82	0.759
3	03.04	20:56:33	SKR	109	120	13.6	45.0	31.4	9.66	1.64	1.04	0.281
4	03.09	14:56:27	SKR	119	129	13.7	31.4	41.2	10.8	1.62	1.36	0.324
5	03.13	03:12:52	TL1	153	155	13.9	15.7	16.7	7.19	2.00	2.90	0.961
6	04.20	13:12:46	SKR	163	167	14.8	39.2	29.3	8.94	1.54	1.72	0.531
7	05.14	10:19:05	KBG	29	35	12.8	27.0	31.2	14.8	2.48	2.20	1.09
8	05.19	22:38:45	VIL	179	184	13.4	7.33	19.9	4.33	0.841	1.66	0.429
9	05.21	03:08:16	VIL	172	177	13.9	8.29	14.9	5.27	0.988	1.22	0.497
10	05.21	05:43:16	NLC	146	154	14.4	16.8	15.8	5.66	1.11	0.889	0.492
11	05.24	05:44:47	SPN	447	772	17	62.3	40.7	31.1	4.81	2.75	2.11
12	05.28	16:25:31	SPN	20	71	12.7	16.7	20.5	11.7	0.929	0.72	0.419
13	11.12	07:03:48	GPN	171	183	15.3	45.2	33.0	16.6	2.71	3.17	1.15
14	12.15	03:07:06	SPN	86	101	12.6	9.04	25.5	5.70	0.426	1.66	0.401

В качестве иллюстрации на рис. 8 для землетрясения 1 марта ( $13^{\text{h}} 20^{\text{m}}$ ) показаны три компоненты акселерограммы станции KDT («Ходутка»), а также соответствующие сглаженные спектры Фурье и спектры реакции по ускорению. Спектр Фурье имеет высокочастотный характер, необычный для камчатских землетрясений [34]. Вероятная причина аномалии – в специфике грунтовых условий ряда станции юга Камчатки, включая KDT [35].

В 2013 г. в пределах Камчатской зоны ответственности наблюдалась типичная картина расположения эпицентров землетрясений, при этом наблюдалась значительная сейсмическая активизация в Тихоокеанской зоне субдукции, в особенности в ее глубоком слое ( $h > 380 \text{ км}$ ). Уровень сейсмичности в четырех зонах превысил средние значения по шкале «СОУС'09»: в Сейсмофокальной зоне Курил и Южной Камчатки № 1 он оценен как экстремально высокий; в Тихом океане № 4 – высокий; в Северной части Камчатской сейсмофокальной зоны № 2 и Корякском сейсмическом поясе № 7 – фоновый повышенный. Количество зафиксированных событий с  $K_S \geq 8.6$  превысило среднегодовое значение почти в два раза, а сильных с  $K_S \geq 11.6$  более чем в три раза.



**Рис. 8.** Три компоненты записи ускорения грунта от землетрясения 1 марта в 13<sup>h</sup>20<sup>m</sup> (а), сглаженные амплитудные спектры Фурье (FAS) (б) и спектры реакции по ускорению (RSA) (в) для этих записей.

Записи получены каналами HNE/ HNN/ HNZ сейсмической станции KDT («Ходутка»)

2013 г. оказался богатым на редкие и уникальные события.

13 марта 2013 г. в районе Камчатского перешейка произошло редкое для Северной Камчатки сильное осязаемое землетрясение с магнитудой  $M_w=5.8$  (Ильпирское землетрясение) (подробнее см. в [25, 32, 33]).

24 мая 2013 г. под Охотским морем на глубине 630 км произошло глубокое землетрясение (Охотоморское землетрясение) – сильнейшее в мире землетрясение среди событий сопоставимой глубины, вызвавшее аномальный по дальности проявления макросейсмический эффект (подробнее см. в [25–29]).

В мае 2013 г. в Авачинском заливе наблюдался самый сильный рой землетрясений ( $M_{w\max}=6.1$ ) из зарегистрированных камчатской региональной сетью за период детальных сейсмологических наблюдений с 1962 г. [25].

## Л и т е р а т у р а

1. **Чебров В.Н., Дрознина С.Я., Сениуков С.Л., Ландер А.В.** Камчатка и Командорские острова // Землетрясения России в 2013 году. – Обнинск: ГС РАН, 2015. – С. 58–65.
2. **Чебров Д.В., Матвеев Е.А., Шевченко Ю.В., Ящук В.В., Музуров Е.Л.** Сейсмические станции сети Камчатки в 2013 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 22 (2013 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – Приложение на CD-ROM.
3. **Чебров В.Н., Левина В.И., Ландер А.В., Чеброва А.Ю., Сениуков 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., Волович О.Г.** О проблеме оценки пространственно-временных особенностей представительности каталога землетрясений Камчатки // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Шестой научно-технической конференции / Отв. ред. Д.В. Чебров. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – URL: <http://emsd.ru/conf2017lib/pdf/seism/saltikov.pdf>.
6. **Чубарова О.С., Гусев А.А., Чебров В.Н.** Свойства колебаний грунта при Олюторском землетрясении 20.04.2006 г. и его афтершоках по данным цифровой регистрации // Вулканология и сейсмология. – 2010. – № 2. – С. 57–70.
7. **Салтыков В.А., Кравченко Н.М.** Количественный анализ сейсмичности Камчатки // Землетрясения России в 2013 году. – Обнинск: ГС РАН, 2015. – С. 73–79.
8. **Сениуков 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



- землетрясений Камчатки и Командорских островов за 2013 г. ( $N=1750$ ) // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 22 (2013 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – Приложение на CD-ROM.
9. **Салтыков В.А.** Статистическая оценка уровня сейсмичности: методика и результаты применения на примере Камчатки // Вулканология и сейсмология. – 2011. – № 2. – С. 53–59.
10. **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.
11. **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.
12. **On-line Bulletin. International Seismological Centre** // ISC [Site]. – Internatl. Seis. Cent., Thatcham, United Kingdom, 2013. – URL: <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/>.
13. **Митюшкина С.В. (отв. сост.), Раевская А.А.** Макросейсмический эффект ощутимых землетрясений в населенных пунктах Камчатки в 2013 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 22 (2013 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – Приложение на CD-ROM.
14. **Медведев С.В. (Москва), Шпонхойер В. (Иена), Карник В. (Прага).** Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.
15. **Митюшкина С.В. (отв. сост.), Раевская А.А., Пойгина С.Г. (сост.).** Сведения о пунктах, для которых имеется информация о макросейсмических проявлениях ощутимых землетрясений Камчатки за 2013 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 22 (2013 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – 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. **Чеброва А.Ю. (отв. сост.), Иванова Е.И., Митюшкина С.В. (сост.).** Каталог механизмов очагов землетрясений Камчатки и Командорских островов за 2013 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 22 (2013 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – Приложение на CD-ROM.
19. **Абубакиров И.Р., Павлов В.М.** Каталог механизмов очагов землетрясений Камчатки и Командорских островов за 2013 г., определенных по волновым формам // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 22 (2013 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – Приложение на CD-ROM.
20. **Сейсмологический бюллетень (ежедекадный) за 2013 год** / Отв. ред. О.Е. Старовойт. – Обнинск: ГС РАН, 2017. – URL: [ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic\\_bulletin/2013/](ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_bulletin/2013/).
21. **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.
22. **Павлов В.М., Абубакиров И.Р.** Расчет тензора сейсмического момента слабых камчатских землетрясений: Первые результаты // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Материалы Шестой научно-технической конференции. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – С. 138–142.
23. **Чеброва А.Ю., Абубакиров И.Р., Гусев А.А., Матвеев Е.А., Митюшкина С.В., Павлов В.М., Салтыков В.А., Чебров Д.В.** Землетрясение 28 февраля 2013 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 22 (2013 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – С. xxx–xxx.
24. **Чебров В.Н., Кугаенко Ю.А., Викулина С.А., Дрознина С.Я., Иванова Е.И., Кравченко Н.М., Матвеев Е.А., Митюшкина С.В., Раевская А.А., Салтыков В.А., Чебров Д.В.** Сильное землетрясение 28.02.2013 г. у юго-восточного побережья Камчатки с магнитудой  $M_w=6.8$  по данным оперативной обработки // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. – 2013. – № 1, вып. 21. – С. 9–16.
25. **Сильные камчатские землетрясения 2013 г.** / Под ред. В.Н. Чеброва. – Петропавловск-Камчатский: Новая книга, 2014. – 252 с.
26. **Ye L., Lay T., Kanamory H., Koper K.D.** Energy release of the 2013  $M_w$  8.3 Sea of Okhotsk earthquake and deep slab stress heterogeneity // Science. – 2013. – V. 341, Is. 6152. – P. 1380–1384.
27. **Чеброва А.Ю., Абубакиров И.Р., Гусев А.А., Дрознина С.Я., Ландер А.В., Митюшкина С.В., Павлов В.М., Салтыков В.А., Титков Н.Н., Чебров Д.В.** Охотоморское землетря-

сение 24 мая 2013 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 22 (2013 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – С. xxx–xxx.

28. **Чебров В.Н., Кугаенко Ю.А., Викулина С.А., Кравченко Н.М., Матвеев Е.А., Митюшкина С.В., Раевская А.А., Салтыков В.А., Чебров Д.В., Ландер А.В.** Глубокое Охотоморское землетрясение 24.05.2013 г. с магнитудой  $M_w=8.3$  – сильнейшее сейсмическое событие у берегов Камчатки за период детальных сейсмологических наблюдений // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. – 2013. – № 1, вып. 21. – С. 17–24.

29. **Чеброва А.Ю., Чебров В.Н., Гусев А.А., Ландер А.В., Гусева Е.М., Митюшкина С.В., Раевская А.А.** Воздействие Охотоморского землетрясения 24 мая 2013 г. ( $M_w=8.3$ ) на территории Камчатки и Мира // Вулканология и сейсмология. – 2015. – № 4. – С. 3–22.

30. **USGS National Earthquake Information Centre.** – URL: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>.

31. **Левина В.И., Ландер А.В., Иванова Е.И., Митюшкина С.В., Титков Н.Н.** Олюторское землетрясение 20 апреля 2006 г. с  $M_w=7.6$   $I_0=9-10$  (Корякское нагорье) // Землетрясения Северной Евразии, 2006 год. – Обнинск: ГС РАН, 2012. – С. 314–329.

32. **Иванов И.И.** Ильпирское землетрясение 13 марта 2013 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 22 (2013 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – С. 2–12.

33. **Салтыков В.А., Дрознина С.Я.** Ильпирское землетрясение 13 марта 2013 г.  $M_w=5.8$  (Северная Камчатка): аномальная протяженность очаговой зоны как артефакт // Вестник КРАУНЦ. – 2014. – № 2, вып. 24. – С. 130–136.

34. **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.

35. **Гусев А.А., Скоркина А.А.** Эмпирические спектральные характеристики сейсмических станций сильных движений Камчатки // Геология и геофизика. – 2018. – 46. – № 4. – С. 22–34.

## METADATA IN ENGLISH

### KAMCHATKA AND KOMANDOR ISLANDS

D.V. Chebrov, A.Yu. Chebrova, E.A. Matveenko, S.Ya. Droznina,  
S.V. Mityushkina, A.A. Gusev, V.A. Saltykov, P.V. Voropaev

Kamchatka branch of Geophysical survey of Russian Academy of Sciences,  
Petropavlovsk-Kamchatsky, ayuch@emsd.ru

**Abstract.** The seismicity review of Kamchatka and surrounding territories for 2013 year is adduced. Minimum local magnitude of completeness is  $ML_{\min}=3.25$  in Kamchatka earthquake catalogue totally, and for earthquakes under the Okhotsk sea (with  $h \geq 350$  km) –  $ML_{\min}=4$ . The Kamchatka earthquake catalogue of 2013 with  $ML \geq 3.6$ , published in this collection, includes 1750 events. 146 earthquakes of published catalog with  $ML=3.6-7.8$  were felt with seismic intensity  $I$  ranged from 2 to 7 on the MSK-64 scale in Kamchatka and surrounding areas. Focal mechanisms were determined in two ways: 1) 107 focal mechanisms from first motion P-wave arrivals; 2) 25 focal mechanisms using waveforms were obtained. In 2013 the seismicity level (SESL'09) within Kamchatka responsibility zone was the extremely high background. It was the maximum value during the period of seismicity monitoring. There were 6672 earthquakes, including 129 events with  $K_s \geq 11.5$  ( $ML \geq 5$ ) in the region within the year. The mechanisms of 107 earthquakes were defined. 148 earthquakes were felt with intensity from 2 up to 7 on the territory of Kamchatskii Krai, North Kuril Islands and Komandor Islands. There were several unique events in 2013: the strong earthquake with magnitude  $M_w=5.8$  on March 13 in the area of the Kamchatka Isthmus (Il'pyr earthquake). It is the rare phenomenon for the Northern Kamchatka. There was the strongest deep earthquake in the world ( $M_w=8.3$ ) on May 24 under the Sea of Okhotsk (Okhotsk earthquake) at a depth of 630 km. The event caused an abnormal macro-seismic effect. The strong earthquake swarm was observed in the Avacha Bay ( $M_{w_{\max}}=6.1$ ) in May 2013. It is the strongest earthquake swarm registered by the Kamchatka network during the period of detailed seismological observations since 1962.

**Keywords:** Kamchatka, seismicity, catalogue, earthquake, focal mechanism, macroseismic, seismicity level.

### References

1. Chebrov V.N., Droznina S.Ya., Senyukov S.L., Lander A.V. [Kamchatka and Komandor Islands]. *Zemletryaseniya Rossii v 2013 godu* [The earthquakes of Russia in 2013]. Obninsk, GS RAS, 2015, pp. 58-65. (In Russ.).
2. Chebrov D.V., Matveenko E.A., Shevchenko Yu.V., Yaschuk V.V., Muzurov E.L. [Seismic stations of Kamchatka network in 2013]. *Zemletryaseniya Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia]. Obninsk, GS RAS, 2019, vol. 22 (2013), Appendix on CD. (In Russ.).
3. Chebrov V.N., Levina V.I., Lander A.V., Chebrova A.Yu., Senyukov S.L., Droznin D.V., Droznina S.Ya. [Regional earthquakes catalogue of Kamchatka and Komandor Islands in 1962-2010: technology and method of formation]. *Zemletryaseniya Severnoi Evrazii, 2010 god* [Earthquakes of the Northern Eurasia, 2010]. Obninsk, GS RAS, 2016, pp. 396-406. (In Russ.).
4. Droznin D.V., Droznina S.Ya. Interactive DIMAS software for seismic signal processing, *Seismic Instruments*, 2011, vol. 47, no. 3, pp. 215-224. doi: 10.3103/S0747923911030054.
5. Saltykov V.A., Volovich O.G. [On the problem of estimating the space-time features of the representativeness of the Kamchatka earthquake catalog]. *Problemi kompleksnogo geofizicheskogo monitoringa Dalnego Vostoka Rossii. Trudy Shestoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii (Otv. red. D.V. Chebrov)* [Problems of complex geophysical monitoring of Far East of Russia. Proceedings of VI science conference (Ed. D.V. Chebrov)]. Obninsk, GS RAS, 2017, Available at: <http://emsd.ru/conf2017lib/pdf/seism/saltikov.pdf>. (In Russ.).
6. Chubarova O.S., Gusev A.A., Chebrov V.N. The ground motion excited by the Olyutorskii earthquake of April 20, 2006 and by its aftershocks based on digital recordings, *Journal of Volcanology and Seismology*, 2010, vol. 4, no. 2, pp. 126-138. doi: 10.1134/S0742046310020065.
7. Saltykov V.A., Kravchenko N.M. [Quantitative analysis of Kamchatka seismicity]. *Zemletryaseniya Rossii v 2013 godu* [The earthquakes of Russia in 2013]. Obninsk, GS RAS, 2015, pp. 73-79. (In Russ.).

8. Senyukov S.L., Droznina S.Ya., Karpenko E.A., Ledneva N.A., Nazarova Z.A., Kojevnikova T.Yu., Mityushkina S.V., Napilova N.A., Raevskaya A.A., Romasheva E.I. [Earthquake catalogue of Kamchatka and Komandor Islands in 2013]. *Zemletryaseniya Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia]. Obninsk, GS RAS, 2019, vol. 22 (2013), Appendix on CD. (In Russ.).
9. Saltykov V.A. A statistical estimate of seismicity level: the method and results of application to Kamchatka, *Journal of Volcanology and Seismology*, 2011, vol. 5, no. 2, pp. 123-128. doi: 10.1134/S0742046311020060.
10. Chebrov D.V., Chebrova A.Yu., Matveenkov E.A., Lander A.V., Mityushkina S.V., Ivanova E.I., Guseva E.M., Saltykov V.A., Kugaenko Yu.A., Voropaev P.V. [Kamchatka and Komandor Islands]. *Zemletryaseniya Severnoi Evrazii, 2009 god* [Earthquakes of the Northern Eurasia, 2010]. Obninsk, GS RAS, 2015, pp. 180-195. (In Russ.).
11. Levina V.I., Lander A.V., Mityushkina S.V., Chebrova A.Yu. The seismicity of the Kamchatka region: 1962-2011, *Journal of Volcanology and Seismology*, 2013, vol. 7, no. 2, pp. 37-57. doi: 10.1134/S0742046313010053.
12. International Seismological Centre, On-line Bulletin, Internatl. Seis. Cent., Thatcham, United Kingdom, 2013. Available at: <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/>.
13. Mityushkina S.V., Raevskaya A.A. [Macroseismic effects of felt earthquakes in Kamchatka settlements in 2013]. *Zemletryaseniya Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia]. Obninsk, GS RAS, 2019, vol. 22 (2013), Appendix on CD. (In Russ.).
14. Medvedev S.V., Sponheuer W., Kárník V. [Seismic Intensity Scale MSK-64]. Interdepartmental Geophysical Commission of the USSR Acad. Sci., Moscow, 1965, 11 p. (In Russ.).
15. Mityushkina S.V., Raevskaya A.A., Poygina S.G. [Information about the points for which there is information about the macroseismic manifestations of felt Kamchatka earthquakes in 2013]. *Zemletryaseniya Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia]. Obninsk, GS RAS, 2019, vol. 22 (2013), Appendix on CD. (In Russ.).
16. Complex seismological and geophysical investigations of Kamchatka and Komandor Islands (report 01.01.2003-31.12.2003). Petropavlovsk-Kamchatsky, Funds of KB GS RAS, 2004, 350 p. (In Russ.).
17. Complex seismological and geophysical investigations of Kamchatka and Komandor Islands (report 01.01.2005-31.12.2005). Petropavlovsk-Kamchatsky, Funds of KB GS RAS, 2006, 478 p. (In Russ.).
18. Chebrova A.Yu., Ivanova E.I., Mityushkina S.V. [Catalogue of earthquake focal mechanisms for Kamchatka and Komandor Islands in 2013]. *Zemletryaseniya Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia]. Obninsk, GS RAS, 2019, vol. 22 (2013), Appendix on CD. (In Russ.).
19. Abubakirov I.R., Pavlov V.M. [Catalogue of earthquake focal mechanisms for Kamchatka and Komandor Islands in 2013 (defined by earthquake waveforms)]. *Zemletryaseniya Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia]. Obninsk, GS RAS, 2019, vol. 22 (2013), Appendix on CD. (In Russ.).
20. [Seismological bulletin of GS RAS in 2013]. Available at: [ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic\\_bulletin/2013/](ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_bulletin/2013/).
21. Pavlov V.M., Abubakirov I.R. [Algorithm for calculation of seismic moment tensor of strong earthquakes using regional broadband seismograms of body waves]. *Vestnik KRAUNTS. Nauki o Zemle* [Bulletin of KRAESC. Earth sciences]. 2012, vol. 20, no. 2, pp. 149-158. (In Russ.).
22. Pavlov V.M., Abubakirov I.R. [Calculation of seismic moment tensor for weak Kamchatka earthquakes: first results]. *Problemi kompleksnogo geofizicheskogo monitoringa Dalnego Vostoka Rossii. VI nauchno-tehnicheskaya konferenciya. Petropavlovsk-Kamchatsky*. [Problems of complex geophysical monitoring of Far East of Russia. Proceedings of VI science conference. Petropavlovsk-Kamchatsky]. Obninsk, GS RAS, 2017, pp. 138-142. (In Russ.).
23. Chebrova A.Yu., Abubakirov I.R., Gusev A.A., Matveenkov E.A., Mityushkina S.V., Pavlov V.M., Saltykov V.A., Chebrov D.V. [Earthquake 28.02.2013 with  $M_{WGCMT}=6.8$ ,  $I_0=5-6$ ]. *Zemletryaseniya Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia]. Obninsk, GS RAS, 2019, vol. 22 (2013), pp. xxx-xxx. (In Russ.).
24. Chebrov V.N., Kugaenko Yu.A., Vikulina S.A., Droznina S.Ya., Ivanova E.I., Kravchenko N.M., Matveenkov E.A., Mityushkina S.V., Raevskaya A.A., Saltykov V.A., Chebrov D.V. [Large  $M_w=6.8$  earthquake on February 28, 2013 near southeast coast of Kamchatka: Data from on-line processing]. *Vestnik KRAUNTS. Nauki o Zemle* [Bulletin of KRAESC. Earth sciences]. 2013, vol. 21, no. 1, pp. 9-16. (In Russ.).

25. *Sil'niye kamchatskiye zemletryaseniya 2013 goda* [Kamchatka Strong Earthquakes in 2013]. Petropavlovsk-Kamchatsky, Hold. Comp. "Novaya Kniga" - Media Publ., 2014, 252 p. (In Russ.).
26. Ye L., Lay T., Kanamory H., Koper K.D. Energy release of the 2013  $M_w$  8.3 Sea of Okhotsk earthquake and deep slab stress heterogeneity. *Science*, 2013, vol. 341, no. 6152, pp. 1380-1384. doi: 10.1126/science.1242032.
27. Chebrova A.Yu., Abubakirov I.R., Gusev A.A., Droznina S.Ya., Lander A.V., Mityushkina S.V., Pavlov V.M., Saltykov V.A., Titkov N.N., Chebrov D.V. [Okhotsk earthquake 24.05.2013 with  $M_{w,reg}=8.3$ ]. *Zemletryaseniya Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia]. Obninsk, GS RAS, 2019, vol. 22 (2013), pp. xxx-xxx. (In Russ.).
28. Chebrov V.N., Kugaenko Yu.A., Vikulina S.A., Kravchenko N.M., Matveenko E.A., Mityushkina S.V., Raevskaya A.A., Saltykov V.A., Chebrov D.V., Lander A.V. [Deep  $M_w = 8.3$  Sea of Okhotsk earthquake on May 24, 2013 - the largest event ever recorded near Kamchatka Peninsula for the whole period of regional seismic network operation]. *Vestnik KRAUNTS. Nauki o Zemle* [Bulletin of KRAESC. Earth sciences]. 2013, vol. 21, no. 1, pp. 17-24. (In Russ.).
29. Chebrova A.Yu., Chebrov V.N., Gusev A.A., Lander A.V., Guseva E.M., Mityushkina S.V., Raevskaya A.A. The impacts of the  $M_w$  8.3 Sea of Okhotsk earthquake on May 24, 2013 in Kamchatka and worldwide, *Journal of Volcanology and Seismology*, 2015, vol. 9, no. 4, pp. 223-241. doi: 10.1134/S074204631504003X.
30. USGS National Earthquake Information Centre. Available at: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>.
31. Levina V.I., Lander A.V., Ivanova E.I., Mityushkina S.V., Titkov N.N. [Olyutorskoe earthquake 20.04.2006 with  $M_w=7.6$ ,  $I_0=9-10$  (Koryak Mountains)]. *Zemletryaseniya Severnoi Evrazii, 2006 god* [Earthquakes of the North Eurasia, 2006]. Obninsk, GS RAS, 2012, pp. 314-329 (In Russ.).
32. Ivanov I.I. [Ilpyrskoye Earthquake 13.03.2013]. *Zemletryaseniya Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia]. Obninsk, GS RAS, 2019, vol. 22 (2013), pp. 2-12. (In Russ.).
33. Saltykov V.A., Droznina S.Ya. [The March 13, 2013 Ilpyrskoye earthquake  $M_w=5.8$  (The Northern Kamchatka): Abnormal length of focal zone as an artifact]. *Vestnik KRAUNTS. Nauki o Zemle* [Bulletin of KRAESC. Earth sciences]. 2014, vol. 24, no. 2, pp. 130-136. (In Russ.).
34. Gusev A.A., Petukhin A.G., Guseva E.M., Gordeev E.I., Chebrov V.N. [Average fourier spectra of strong ground motion due Kamchatka earthquakes]. *Vulkanologiya i Seismologiya* [Journal of Volcanology and Seismology]. 2006, no. 5, pp. 60-70. (In Russ.).
35. Gusev A.A., Skorkina A.A. [Empirical spectral characteristics of strong-motion seismic stations of Kamchatka], *Russian geology and geophysics*, 2018, vol. 46, no. 4, pp. 22-34.