

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 28 февраля 2013 г. с $M_{w_{\text{ГСМТ}}}=6.8$, **$I_0=5-6$ (Юго-восточное побережье Камчатки)****А.Ю. Чеброва, И.Р. Абубакиров, А.А. Гусев, Е.А. Матвеев, С.В. Митюшкина,****В.М. Павлов, В.А. Салтыков, Д.В. Чебров***Камчатский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский, Россия, ayuch@emsd.ru*

Аннотация. В статье обсуждается землетрясение 28 февраля 2013 г. с $M_{w_{\text{ГСМТ}}}=6.8$, которое произошло у юго-восточного побережья Камчатки. В КФ ФИЦ ЕГС РАН инструментальный гипоцентр землетрясения локализован в точке с координатами $\varphi=50.67^\circ\text{N}$, $\lambda=157.77^\circ\text{E}$ и глубиной $h=61$ км по 65 фазам P -волн и 13 фазам S -волн. Получены разные оценки величины землетрясения: региональная моментная магнитуда $M_{w_{\text{рег}}}=6.7$, магнитуда по кода-волнам $M_c=6.6$, энергетический класс $K_S=15.2$ и расчетная из него локальная магнитуда $ML(K_S)=6.9$. Механизмы очага землетрясения 28 февраля 2013 г. и его афтершоков с $ML \geq 6$ соответствуют тектоническим условиям субгоризонтального сжатия в направлении северо-запад–юго-восток. Для большинства механизмов более пологая плоскость падает под Камчатку, что соответствует геометрии зоны субдукции. Облако мелкофокусных афтершоков землетрясения 28 февраля 2013 г. имеет размеры 58×28 км и вытянуто в север–северо-восточном направлении. Афтершоковый процесс носит трехфазовый характер и может рассматриваться как убывающий во времени поток сейсмических событий с тремя последовательными стадиями, имеющими разный характер затухания. Смена режимов затухания связывается с сильными афтершоками. Длительность затухающего афтершокового процесса ~ 100 сут. Землетрясение 28 февраля 2013 г. ощущалось с интенсивностью от 2 до 5–6 баллов по шкале MSK-64 в 33 населенных пунктах ($\Delta=81-493$ км). Площадь макросейсмического воздействия составила около 56 тыс. км². Основной толчок и четыре его сильных афтершока имеют похожую картину макросейсмических проявлений: макросейсмический эффект более выражен на восточном побережье Камчатки; самые сильные сотрясения зафиксированы в Северо-Курильске на о. Парамушир. Наблюдается вытянутость изосейс вдоль восточного побережья Камчатки, что характерно для камчатских землетрясений. По записям Камчатской сети цифровых акселерографов от землетрясения 28 февраля 2008 г. зафиксированы сильные движения грунта. Уровень пиковых амплитуд для данного землетрясения согласуется со средними тенденциями в Камчатском регионе. Параметры затухания типичны для Камчатки. Поверхностный слой сейсмофокальной зоны Курил и Южной Камчатки, в котором зафиксировано землетрясение 28 февраля 2013 г., является одним из наиболее сейсмоактивных районов в северо-западной части Тихого океана. Здесь неоднократно отмечались землетрясения с $M > 8$, вызывавшие цунами и интенсивность сотрясений до 9 баллов по шкале MSK-64 на юге Камчатки.

Ключевые слова: Камчатка, землетрясение, афтершоки, механизм очага, макросейсмика, пиковые амплитуды.

DOI: 10.35540/1818-6254.2019.22.30

Для цитирования: 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. с $M_{w_{\text{ГСМТ}}}=6.8$, $I_0=5-6$ (Юго-восточное побережье Камчатки) // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 22 (2013 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – С. 329–342. doi: 10.35540/1818-6254.2019.22.30

28 февраля 2013 г. в 14^h05^m у юго-восточного побережья Камчатки произошло сильное землетрясение с магнитудой $M_{w_{\text{ГСМТ}}}=6.8$. Очаг землетрясения находился в Тихом океане, примерно в 120 км к востоку от г. Северо-Курильска и в 270 км к югу от г. Петропавловска-Камчатского, на широте мыса Лопатка (рис. 1). По данным Камчатского филиала ФИЦ ЕГС РАН (КФ ФИЦ ЕГС РАН) землетрясение ощущалось в населенных пунктах Камчатки с интенсивностью до $I=5-6$ баллов.

Инструментальные данные. Параметры гипоцентра землетрясения 28 февраля 2013 г. и его сильнейших афтершоков с $ML \geq 6$ приведены в табл. 1.

Положение гипоцентра по данным КФ ФИЦ ЕГС РАН имеет смещение относительно данных мировых сейсмологических агентств (NEIC(USGS), ФИЦ ЕГС РАН (г. Обнинск), ISC) на юго-восток (на 20–50 км), что является характерным и связано с односторонним расположением региональных сейсмических станций относительно землетрясения. Относительно эпицентра сейсмостанции занимают азимутальный сектор между направлениями на запад и северо-

восток. В каталоге [1] инструментальный гипоцентр землетрясения определен по 65 фазам P -волн и 13 фазам S -волн, зарегистрированных региональной сетью сейсмических станций КФ ФИЦ ЕГС РАН.

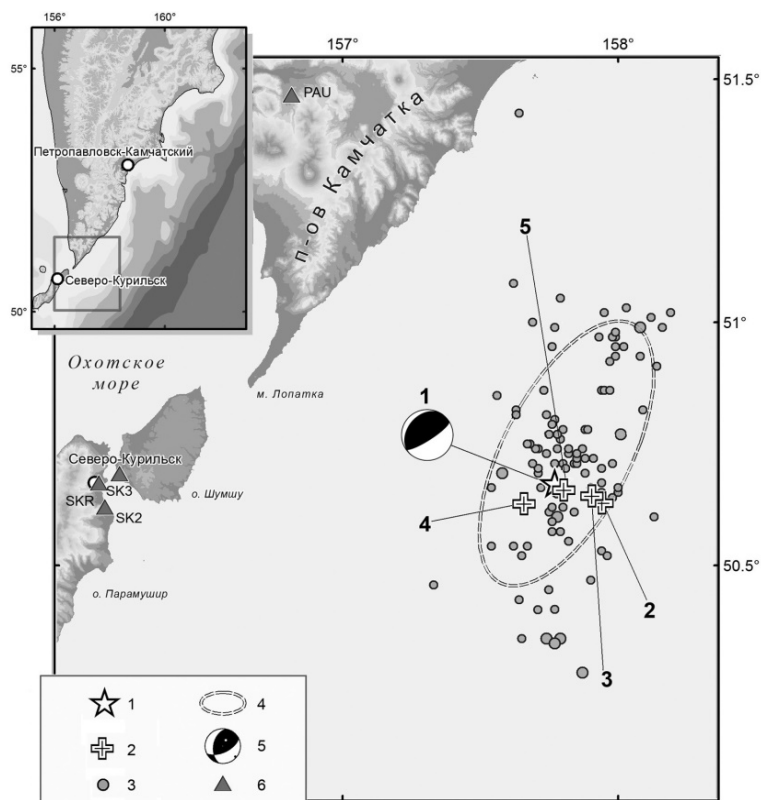


Рис. 1. Местоположение эпицентра землетрясения 28 февраля 2013 г. и его афтершоков с $ML \geq 3.5^1$ по данным каталога землетрясений Камчатки и Командорских островов [1]

1 – эпицентр землетрясения 28 февраля 2013 г.; 2 – эпицентры сильных афтершоков (номера землетрясений соответствуют табл. 1.); 3 – эпицентры афтершоков с $3.5 \leq ML < 6$; 4 – 2σ -эллипс аппроксимации зоны афтершоков; 5 – стереограмма механизма очага землетрясения 28 февраля 2013 г. по [2]; 6 – сейсмическая станция.

Таблица 1. Основные параметры землетрясения 28 февраля 2013 г. с $K_p=15.2$, $M_{w_{per}}=6.7$, $M_{w_{GCMT}}=6.8$ и его сильнейших (с $ML \geq 6$) афтершоков по данным разных агентств

Дата д м	t_0 , ч мин с	δt_0 , с	Гипоцентр					Магнитуды			Агент- ство	Ис- точ- ник	
			φ° N	$\delta\varphi$, км	λ° E	$\delta\lambda$, км	h , км	δh , км					
Землетрясение 28 февраля 2013 г. по данным различных сейсмологических агентств													
28.03	14 05 48.3	1.85	50.672	28	157.77	28	61	20	$K_p=15.2/7$, $ML=6.9/7$, $M_c=6.6/6$, $M_{w_{per}}=6.7/9$			KRSC	[1]
	14 05 50.9	0.28	50.787	3.9	157.49	3.3	52	2	$M_s=6.7/271$, $m_b=6.3/359$			ISC	[3]
	14 05 50.2	0.09	50.95	3.6	157.28	1.9	41		$M_s=6.7/114$, $m_b=6.4/29$, $M_w=6.8$			NEIC	[4]
	14 05 51.0	1.04	50.818	3.8	157.411	3.8	68		$M_s=6.8/67$, $MPSP=6.3/78$, $M_{w_{MOS}}=7.0/1$			MOS	[5]
	14 05 59		50.83		157.93		45		$M_{w_{GCMT}}=6.8/145$			GCMT	[6]
Сильнейшие афтершоки													
01.03	12 53 49	1.98	50.63	31	157.94	31	52	22	$K_p=14.2$, $ML=6.4$, $M_c=5.9$, $M_{w_{per}}=6.3$			KRSC	[1, 2]
									$M_s=6.4$, $MPSP=5.8$, $M_{w_{MOS}}=6.5$			MOS	[5]
									$M_s=5.8$, $m_b=5.7$, $M_{w_{NEIC}}=6.4$			NEIC	[4]
									$M_{w_{GCMT}}=6.4$			GCMT	[6]

¹ Здесь и далее локальная магнитуда землетрясений ML получена путем пересчета из энергетического класса K_S по формуле $ML=(K_S-1.5)/2$ [7].

Дата д м	t_0 , ч мин с	δt_0 , с	Гипоцентр						Магнитуды	Агент- ство	Ис- точ- ник
			φ° N	$\delta\varphi$, км	λ° E	$\delta\lambda$, км	h , км	δh , км			
01.03	13 20 48	2.04	50.64	29	157.90	29	62	23	$K_p=15.1, ML=6.8, M_c=6.5, M_{w_{per}}=6.5$	KRSC	[1, 2]
									$MS=6.6, MPSP=6.2, M_{w_{MOS}}=6.7$	MOS	[5]
									$M_s=6.3, m_b=6.3, M_{w_{NEIC}}=6.5$	NEIC	[4]
									$M_{w_{GCMT}}=6.5$	GCMT	[6]
04.03	20 56 33	1.46	50.63	24	157.66	24	51	10	$K_p=13.6, ML=6.1, M_c=5.1$	KRSC	[1, 2]
									$MS=4.7, MPSP=5.4$	MOS	[5]
									$M_s=4.8, m_b=5.3$	NEIC	[4]
									$M_{w_{GCMT}}=5.3$	GCMT	[6]
09.03	14 56 27	2.04	50.66	33	157.80	33	49	23	$K_p=13.7, ML=6.1, M_c=5.6, M_w=5.8;$	KRSC	[1, 2]
									$MS=5.4, MPSP=5.7$	MOS	[5]
									$M_s=4.8, m_b=5.3;$	NEIC	[4]
									$M_{w_{GCMT}}=5.8$	GCMT	[6]

Для описываемого землетрясения в КФ ФИЦ ЕГС РАН были получены три энергетические оценки: 1) $ML=6.9$ – локальная магнитуда получена путем пересчета из энергетического класса по S -волне, определяемого по номограмме С.А. Федотова [8]; 2) $M_c=6.6$ – магнитуда по кода-волнам определена по шести станциям согласно методике, изложенной в работе [9]; 3) $M_{w_{per}}=6.7$ – моментная магнитуда получена в результате расчета тензора сейсмического момента по методике [10]. Значения M_c и $M_{w_{per}}$ оказались близки между собой и с $M_{w_{GCMT}}=6.8$ по данным каталога Global CMT [6], которому традиционно отдается предпочтение при оценках магнитуд сильных землетрясений.

Механизмы очага землетрясения 28 февраля 2013 г., а также его сильнейших афтершоков из табл. 1 по данным каталогов КФ ФИЦ ЕГС РАН [2, 11] в сравнении с Global CMT [6] представлены в табл. 2. В КФ ФИЦ ЕГС РАН механизмы были получены двумя способами: по волновым формам широкополосных сейсмограмм [2] и по первым вступлениям P -волн [11]. В первом случае был применен метод инверсии волновых форм, алгоритм которого изложен в статье [10]. Во втором случае в качестве исходных данных использовались знаки на региональных станциях и на станциях мировых сетей, расчет производился по программе FA [12, 13]. Механизмы, полученные методом инверсии волновых форм, считаются более точными.

Все механизмы соответствуют тектоническим условиям субгоризонтального сжатия в направлении северо-запад–юго-восток. Для большинства механизмов более пологая плоскость падает под Камчатку, что соответствует геометрии зоны субдукции.

Таблица 2. Параметры механизмов очагов землетрясения 28 февраля 2013 г. и его афтершоков с $ML \geq 6$ из табл. 1 по данным Global CMT [6] и КФ ФИЦ ЕГС РАН [2, 11]

№ в [1]	Дата д м	t_0 , ч мин с	h , км	ML	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости						Ис- точ- ник	Диа- грам- ма
					T		N		P		$NP1$			$NP2$				
					PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	$SLIP$	STK	DP	$SLIP$		
3	28.02.	14 05 48	61	6.9	72	196	16	45	9	313	237	56	110	24	39	64	[11]	
					63	336	6	235	27	142	218	19	72	57	72	96	[2]	
					77	313	2	215	13	124	36	58	92	212	32	86	[6]	
4	01.03.	12 53 49	52	6.4	72	196	16	45	9	313	237	56	110	24	39	64	[11]	
					67	312	5	209	23	117	196	23	76	32	68	96	[2]	
					78	300	0	30	12	120	30	57	90	210	33	90	[6]	
5	01.03.	13 20 48	62	6.8	61	0	23	220	17	123	51	65	115	182	35	47	[11]	
					67	309	1	216	23	125	212	22	86	36	68	92	[2]	
					77	313	2	216	13	126	214	32	87	37	58	92	[6]	

№ в [1]	Дата д м	t_0 , ч мин с	h , км	ML	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости						Ис-точ-ник	Диа-грам-ма
					T		N		P		$NP1$			$NP2$				
					PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	$SLIP$	STK	DP	$SLIP$		
6	03.04	20 56 33	51	6.1	79	267	6	32	9	123	27	54	82	221	37	101	[11]	
		20 56 36	44		78	297	1	33	12	124	32	57	88	216	33	93	[6]	
8	03.09	14 56 27	49	6.1	70	164	9	49	18	317	234	63	100	33	28	72	[11]	
					71	335	7	224	18	132	211	28	75	48	63	98	[2]	
		14 56 32	46	79	330	3	323	11	132	45	56	94	218	34	84	[6]		

Развитие очагового процесса. Афтершоковая последовательность выделена из каталога оконным методом. Все они отмечены в каталоге [1]. Пространственная область определена по 60 афтершокам первого месяца, имеющим координаты в диапазоне $50.1^\circ-51.3^\circ N$ и $157.33^\circ-158.9^\circ E$ и магнитуду $ML > 3.5$. Анализ афтершоков проведен с использованием пересчитанной из класса локальной магнитуды $ML = (K_S - 1.5) / 2$ [7], где $K_S = \lg(E, Дж)$ – энергетический класс по [8], E – выделившаяся сейсмическая энергия.

На рис. 1 облако эпицентров околонуено эллипсом рассеяния, содержащим 90 % событий, что позволяет формально оценить размер очага землетрясения 28 февраля 2013 года. $M_w = 6.8$ по афтершокам: длина $L_1 \sim 58$ км, ширина $L_2 \sim 28$ км. Азимут большей оси эллипса $A_z \sim 23^\circ$.

Для анализа временных особенностей афтершокового процесса рассмотрена эллиптическая область большего размера: длина $L_1 \sim 100$ км, ширина $L_2 \sim 50$ км. Азимут большей оси эллипса $A_z \sim 23^\circ$. Центр эллипса: $\varphi = 50.74^\circ N$, $\lambda = 157.85^\circ E$. Соответствующая выборка землетрясений за два года включила ~ 300 землетрясений представительной магнитуды $ML_{min} = 3.15$. Все дальнейшие оценки получены для этой выборки. Представительность $ML_{min} = 3.15$ соответствует выборке в целом (рис. 2). Вариации представительности были рассчитаны с использованием подходов, изложенных в [14, 15]. На рис. 3 представлен временной ход ML_{min} . Характерное ухудшение представительности каталога непосредственно после основного события наблюдалось в течение ~ 50 мин (0.036 сут.).

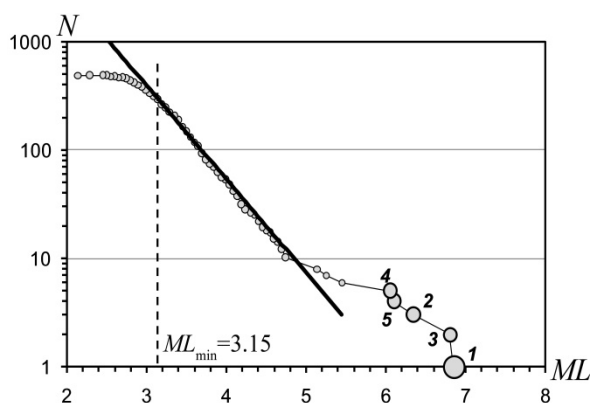


Рис. 2. Кумулятивный график Гутенберга-Рихтера для афтершоковой последовательности землетрясения 28 февраля 2013 г. $M_w_{GCMT} = 6.8$

Аппроксимация линейной части графика представлена сплошной прямой. Пунктирная линия отмечает оценку представительности каталога $ML_{min} = 3.15$ с уровнем статистической значимости $\alpha = 0.3$. Нумерация наиболее сильных землетрясений соответствует табл. 1.

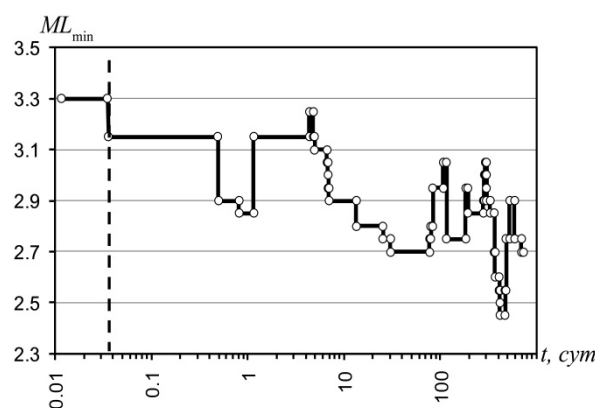


Рис. 3. Временной ход представительности каталога афтершоков ML_{min} . За начало отсчета взято время землетрясения 28 февраля 2013 г. с $M_w = 6.8$

Значения получены в скользящем окне, содержащем 25 событий представительной магнитуды. Статистическая значимость оценки составляет $\alpha = 0.3$. Пунктиром отмечено время, начиная с которого представительность каталога не хуже $ML_{min} = 3.15$.

Рис. 4 дает представление о развитии сейсмического процесса в течение первых четырех месяцев после главного толчка.

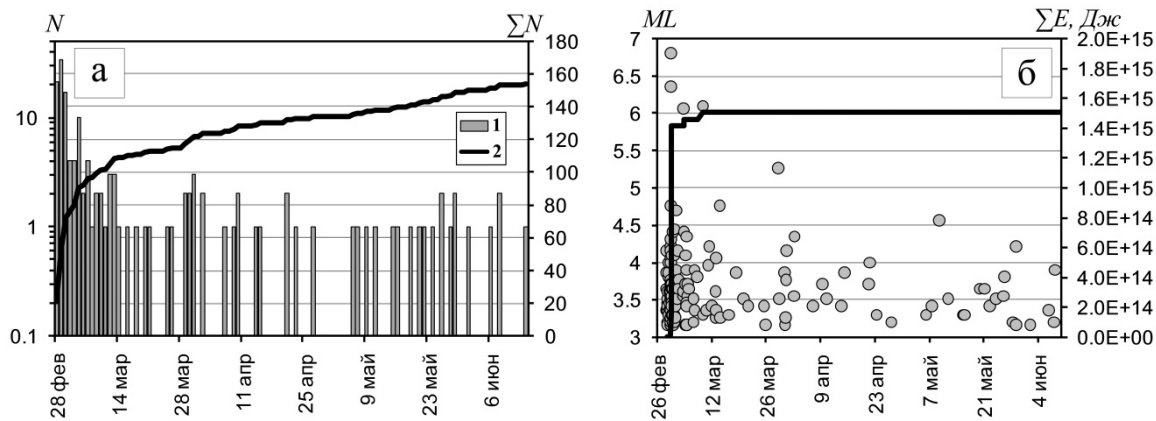


Рис. 4. Временной ход афтершоков с $ML_{min} \geq 3.15$ в течение четырех месяцев

а – число афтершоков в сутки N и кумулятивный график числа афтершоков ΣN ; б – кумулятивный график сейсмической энергии (сплошная линия), выделившейся при афтершоках с показанной магнитудой (кружки). 1 – ежесуточное число землетрясений; 2 – кумулятивное число землетрясений.

Невязки определения координат афтершоков составляют для эпицентров $\sim 22 \pm 8$ км, для глубины $\sim 19 \pm 5$ км (погрешность соответствует среднеквадратичному отклонению), что делает анализ пространственного распределения афтершоков неперспективным.

В отличие от типичного случая, когда между главным событием и остальными наблюдается разрыв по магнитуде $\Delta M \sim 1$ (в соответствии с законом Бота), здесь наблюдается разрыв $\Delta M \sim 0.6$ между группой из пяти сильнейших событий (табл. 1) и остальными афтершоками. Таким образом, наблюдаемая последовательность землетрясений имеет черты как роя, так и афтершоковой последовательности. При таком распределении землетрясений по классам большая часть сейсмической энергии афтершоков ($\sim 90\%$ от $E = 1.51 \cdot 10^{15}$ Дж) связывается с упомянутыми четырьмя сильнейшими афтершоками, что сопоставимо с энергией главного толчка $E = 1.58 \cdot 10^{15}$ Дж.

На рис. 5 слева временной ход афтершокового процесса представлен в виде кумулятивного графика числа землетрясений в билогарифмическом масштабе. В течение первых суток после основного землетрясения график не противоречит обычно наблюдаемой картине: наклон кривой соответствует афтершоковой последовательности с убывающей во времени интенсивностью. Однако после двух землетрясений 1 марта 2013 г. $M_{wGCMT}=6.4$ и $M_{wGCMT}=6.5$, характер графика резко меняется, что дает основания считать, что в дальнейшем мы наблюдаем уже другую афтершоковую последовательность, инициированную именно этими землетрясениями.

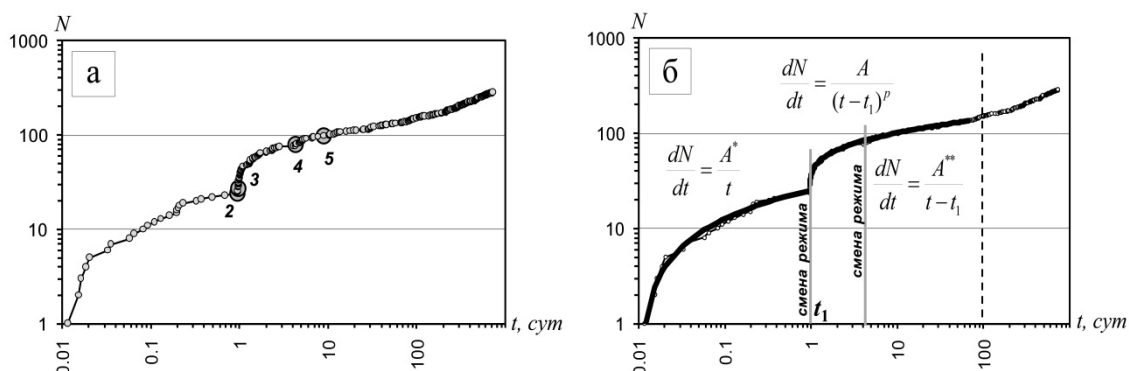


Рис. 5. Развитие афтершокового процесса землетрясения 28 февраля 2013 г. $M_w=6.8$ во времени: а – реальный процесс, б – его интерпретация тремя последовательностями (за начало отсчета взято время в очаге основного события – 28.02.2013 г. $14^h05^m48^s$; приведены кумулятивные кривые числа афтершоков)

На рис. 5 а отмечены наиболее сильные землетрясения (нумерация согласно табл. 1). На рис. 5 б показаны характерные фазы развития афтершокового процесса. Отмечены временные границы фаз. Вертикальный пунктир обозначает оценку окончания афтершоковой последовательности.

Более детальное рассмотрение временного хода афтершоков позволило выделить в нем несколько характерных фаз (рис. 5, справа). Характер спада интенсивности афтершоков определяется качеством аппроксимации временного хода кривыми соответствующего типа.

Первая фаза. Затухающий афтершоковый процесс по гиперболическому закону убывания афтершоков $dN/dt = A/t$, прекращенный сильнейшими афтершоками 1 марта 2013 года. К первой фазе относится 25 землетрясений. $A=5.5$. Длительность фазы – ~23 ч.

В целях сопоставления характеристик афтершоковых последовательностей различных сильных землетрясений необходимо привести значение интенсивности A к некому уровню магнитуд, не связанному с представительностью конкретной последовательности, но единому для всего каталога. Для определенности предлагается использовать $A_{M3.5}$, соответствующую магнитуде $M=3.5$. Пересчет значения A делается на основе закона Гутенберга-Рихтера с учетом величины наклона графика повторяемости b : $A_{M3.5} = A \cdot 10^{-b(3.5-M)}$, что дает $A_{M3.5}=2.7$ при $b=0.86$.

Вторая фаза имеет длительность ~75 ч и включает 52 землетрясения. Сильнейшие афтершоки 1 марта 2013 г. $M_{\text{GCMT}}=6.4$ и $M_{\text{GCMT}}=6.5$ сопровождалась затухающим афтершоковым процессом по закону Омори $dN/dt = A/t^p$ с показателем $p=0.7$. Для этого участка $A=14.2$, что соответствует приведенному значению $A_{M3.5}=7.1$.

Третья, самая продолжительная фаза, соответствует гиперболическому закону убывания афтершоков $dN/dt = A/t$, где $A=17.1$, $A_{M3.5}=8.5$. Ее начало близко по времени одному из сильнейших афтершоков – 4 марта 2013 г. в $20^{\text{h}}56^{\text{m}}$, $ML=6.05$, а формальное завершение определено как начало мая 2013 года. За это время произошло ~60 землетрясений. Вероятно, что фаза продолжалась и далее, но в связи с уменьшением интенсивности потока афтершоков возрастает роль фоновой сейсмичности и аппроксимация, как показано ниже, нарушается.

Продолжительность афтершоковой последовательности оценена по времени $\Delta T_{\text{афт}}=100$ сут (рис. 6), когда интенсивность афтершоков снизилась до уровня фоновой сейсмичности. Поток афтершоков за пределами определенной выше третьей (гиперболической) фазы оценивался как ее экстраполяция $N_{\text{гип}}$. Такой подход оправдан линейным характером рассогласования ΔN реального потока землетрясений N и $N_{\text{гип}}$, которое рассматривается как эффект фоновой сейсмичности с интенсивностью 0.17 землетрясений в сутки. Эта величина соответствует определенной для 1999–2012 гг. фоновой интенсивности 0.09–0.22 сут⁻¹.

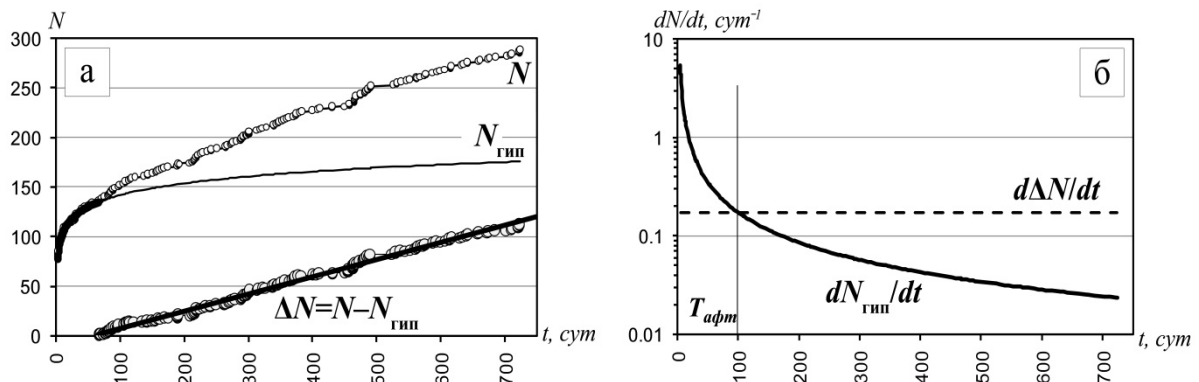


Рис. 6. Оценка продолжительности афтершоковой последовательности $\Delta T_{\text{афт}}$

а – временной ход числа афтершоков N , оценки афтершоков, соответствующих гиперболическому убыванию $N_{\text{гип}}$, и их рассогласование ΔN ; б – временной ход скорости сейсмического потока, определяемого экстраполируемой гиперболической зависимостью (сплошная линия), и оценка постоянного фонового уровня (пунктирная линия). Вертикальная линия отмечает длительность афтершоковой последовательности.

Обобщим основные характеристики афтершоков землетрясения 28 февраля 2013 г. $M_{\text{GCMT}}=6.8$.

Облако мелкофокусных афтершоков имеет размеры 58×28 км и вытянуто в север–северо-восточном направлении. Афтершоковый процесс носит трехфазовый характер и может рассматриваться как убывающий во времени поток сейсмических событий с тремя последовательными стадиями, имеющими разный характер затухания. Смена режимов затухания связывается с сильными афтершоками. Длительность затухающего афтершокового процесса ~100 сут.

Определены численные значения параметров, характеризующих афтершоковый процесс, они обобщены в табл. 3. Для сопоставления с афтершоковыми процессами других сильных землетрясений введен параметр $A_{M3.5}$ – интенсивность потока афтершоков, приведенная к единому магнитудному порогу $ML=3.5$.

Таблица 3. Параметры афтершоковой последовательности землетрясения 28 февраля 2013 г.

Главное событие	Эллипс рассеяния афтершоков	Стадии афтершокового процесса и их параметры	Длительность $\Delta T_{\text{афт}}$, сут	Комментарии, особенности
$\varphi=50.67^\circ\text{N}$; $\lambda=157.77^\circ\text{E}$; $h=61$ км; $K_S=15.2$, $M_1(K)=6.9$, $M_{w_{\text{pet}}}=6.8$	$\varphi=50.74^\circ\text{N}$; $\lambda=157.85^\circ\text{E}$, $L_1=58$ км; $L_2=28$ км; $A_z=23^\circ$	Неустановившийся режим $\Delta t_0 \sim 50$ мин (0.036 сут), $N_0=6$	$\Delta T_{\text{афт}}=100$ (время выхода интенсивности афтершоков на уровень фоновой сейсмичности)	Представитель- ность каталога афтершоков $ML_{\text{min}}=3.15$ Смены фаз связываются с сильнейшими афтершоками
		Гипербола: $A=5.5$, $A_{M3.5}=2.7$, $\Delta t_1 \sim 23$ ч ≈ 0.95 сут (включая Δt_0), $N_1=25$ (включая N_0)		
		Закон Омори, $p=0.7$, $A=14.2$, $A_{M3.5}=7.1$, $\Delta t_2 \sim 75$ ч ≈ 3.1 сут, $N_2=52$		
		Гипербола: $A=17.1$, $A_{M3.5}=8.5$, $\Delta t_3 \sim 65$ сут, $N_3=60$		

Примечание. N_i – количество событий на i стадии афтершокового процесса продолжительностью Δt_i .

Макросейсмические данные по землетрясению 28 февраля 2013 г. собраны для 45 населенных пунктов Камчатского края и Северных Курил. Из различных источников обработано 109 сообщений. Впервые жителями полуострова активно использовался интернет-опросник [16], размещенный на официальном сайте (<http://www.emsd.ru/lsopool/poll.php>) КФ ФИЦ ЕГС РАН. О своих ощущениях сообщили 60 респондентов из десяти пунктов. Землетрясение произошло глубокой ночью 1 марта 2013 г. в 02^h05^m местного времени. Через интернет-опросник сразу стали поступать сообщения от респондентов, и к началу рабочего дня в КФ ФИЦ ЕГС РАН уже была предварительная информация об интенсивности сотрясений в четырех населенных пунктах: в г. Петропавловске-Камчатском, г. Вилючинске, г. Елизово и пос. Паратунка.

Землетрясение ощущалось с интенсивностью от 2 до 5–6 баллов по шкале MSK-64 в 33 населенных пунктах, расположенных на расстоянии от 81 до 493 км от эпицентра. Площадь макросейсмического воздействия составила около 56 тыс. км². Перечень населенных пунктов с указанием расстояния от гипоцентра и макросейсмической интенсивности в них приведены в табл. 4. Описание проявлений землетрясения в пунктах дано в приложении [17].

Таблица 4. Макросейсмические сведения о землетрясении 28 февраля 2013 г. с $M_{WGCMT}=6.8$

№	Название пункта	Координаты		r , км	№	Название пункта	Координаты		r , км
		φ° , N	λ° , E				φ° , N	λ° , E	
<u>5–6 баллов</u>					<u>4 балла</u>				
1	Мыс Лопатка	50.87	156.65	101	14	МГеоЭС-1	52.54	158.20	219
2	Маяк Курбатова	50.87	156.48	111	15	р. Карымшина (стационар КФ ГС)	52.83	158.13	249
3	Северо-Курильск	50.67	156.12	132	16	Термальный	52.94	158.23	261
4	Маяк Круглый	52.07	158.32	171	17	маяк Петропавловский	52.89	158.71	262
<u>4–5 баллов</u>					18	Паратунка	52.96	158.25	264
5	Паужетка	51.47	156.81	127	19	Сосновка	53.08	158.30	277
6	Маяк Чибуйный	50.77	156.20	127	20	Вулканный	53.09	158.35	279
7	Запорожье	51.50	156.52	141	21	Начики	53.12	157.75	279
8	ГМС Водопадная	51.81	158.08	142	22	Пионерский	53.09	158.55	281
9	Озерновский	51.50	156.50	142	23	Новый	53.10	158.54	282
10	Вилючинск	52.93	158.40	262	24	Елизово	53.18	158.38	289
11	Рыбачий	52.92	158.52	262	25	Лесной	53.26	158.03	294
12	Николаевка	53.05	158.34	274	26	Зеленый	53.28	158.18	297
13	Петропавловск	53.02	158.65	275	27	Раздольный	53.27	158.29	297
					28	Коряки	53.28	158.21	298

№	Название пункта	Координаты		r, км	№	Название пункта	Координаты		r, км
		φ°, N	λ°, E				φ°, N	λ°, E	
29	ГМС Семячик	54.08	159.99	413	35	Усть-Большерецк	52.83	156.28	268
30	ГМС Кроноки	54.58	161.20	497	36	Кавалерское	52.93	156.57	271
	3 балла				37	Сокоч	53.15	157.69	283
31	Апача	52.92	157.05	262	38	Малка	53.33	157.47	303
	2–3 балла				39	мыс Шипунский	53.11	160.01	318
32	Пушино	54.18	158.01	395	40	Соболево	54.30	155.94	426
	2 балла				41	Мильково	54.70	158.63	456
33	мыс Васильева	50.00	155.39	195	42	Ключи	56.32	160.84	662
	Не ощущалось				43	Усть-Камчатск	56.24	162.54	697
34	Октябрьский	52.66	156.24	252	44	Крутоберегово	56.26	162.71	704
					45	Никольское	55.20	166.00	748

На рис. 7 представлена карта «пункты-баллы» землетрясения. Из-за малого объема данных по причине отсутствия населенных пунктов в исследуемой зоне изосейсты проведены схематично. Наблюдается вытянутость изосейст вдоль восточного побережья Камчатки, что характерно для камчатских землетрясений.

На рис. 8 изображен график зависимости интенсивности землетрясения в пунктах от их гипоцентрального расстояния $I(r)$, на котором нанесены теоретические кривые спада балльности, построенные по формуле из [18]:

$$I = 1.5 \cdot M - 2.63 \cdot \lg(r) - 0.0087 \cdot r + 2.5, \quad (1)$$

где I – интенсивность в баллах; r – гипоцентрального расстояние; M – магнитуда.

Приняв макросейсмический гипоцентр землетрясения совпадающим с его инструментальным определением, была подобрана макросейсмическая магнитуда $M_m = 6.6$, для которой кривая спада балльности с расстоянием наилучшим образом описывает исходные данные. Из графика видно, что на одинаковых расстояниях от гипоцентра значения балльности в населенных пунктах восточного побережья выше значений в пунктах западного побережья и центральной Камчатки, где на расстоянии более 260 км землетрясение совсем не ощущалось. Стоит отметить отсутствие ощущений на м. Шипунский (рис. 7), расположенном на восточном побережье. Сильные ветры и шторма нередко «прячут» события в этом пункте. Балльность на ГМС Водопадная и маяках Чибуйный, м. Васильева значительно ниже ожидаемой, что может быть связано с локальными особенностями грунтов или, возможно, с ошибками в использовании методики определения интенсивности, так как сотрудники маяков определяют ее самостоятельно.

После землетрясения 28 февраля 2013 г. в течение первых девяти дней было зафиксировано четыре ощутимых афтершока с $ML > 6.0$ (табл. 1). Все события, включая главное, имеют похожую картину макросейсмических проявлений: макросейсмический эффект более выражен на восточном побережье Камчатки; самые сильные сотрясения зафиксированы в Северо-Курильске на о. Парамушир [19].

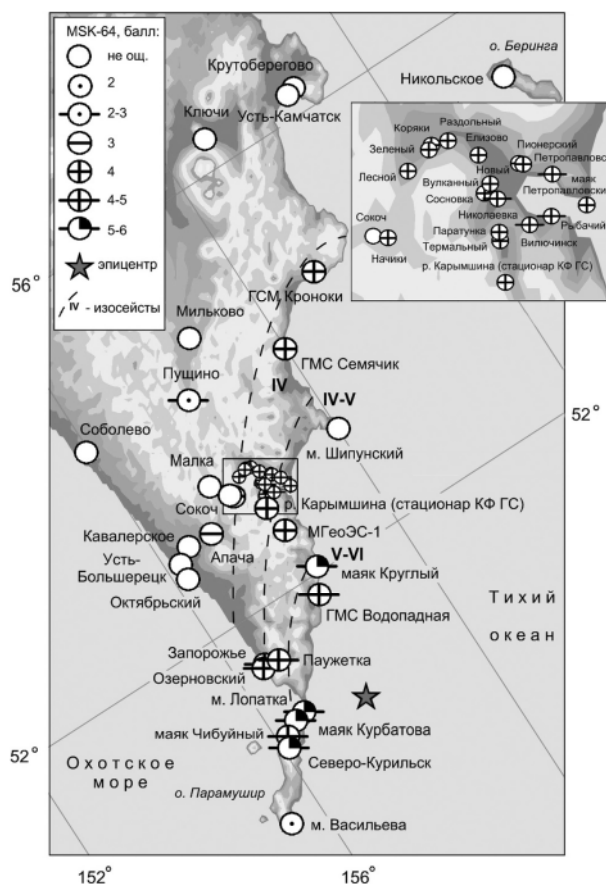


Рис. 7. Карта пунктов-баллов землетрясения 28 февраля 2013 г. $M_w = 6.8$

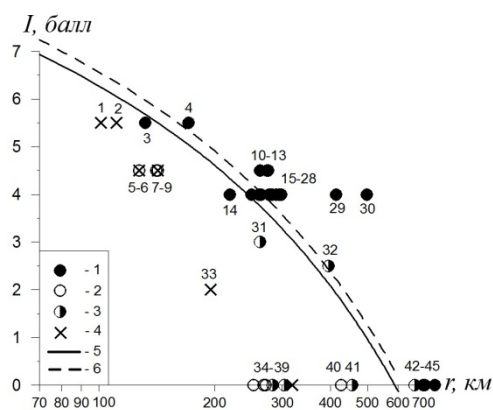


Рис. 8. График спадающей интенсивности (I) с гипоцентральной дистанцией (r)

1 – пункты наблюдения, расположенные на восточном побережье п-ва Камчатки и о. Парамушира; 2 – пункты западного побережья; 3 – пункты центральной Камчатки; 4 – пункты с оценочной балльности, переданной радиограммой без описания ощущений; 5 – кривая спадающей балльности для значения магнитуды $M=6.6$; 6 – кривая спадающей балльности для значения магнитуды $M_{wGCMT}=6.8$.

Сильные движения грунта от землетрясения 28 февраля 2008 г. представлены по записям сети цифровых акселерографов. Подробная информация о конфигурации и комплектации сети станций в 2013 г. представлена в статье по сейсмичности Камчатки и Командорских островов данного сборника [20]. В табл. 5 приведены пиковые ускорения и скорости грунтов землетрясения 28 февраля 2008 г. для тех станций, амплитуды записи ускорения на которых превысили значение 0.5 см/с^2 .

Таблица 5. Пиковые значения ускорения и скорости грунта для станций, записавших землетрясение 28 февраля 2013 г. в $14^{\text{h}}05^{\text{m}}$ с $M_w=6.8$ с амплитудой по ускорению $\geq 0.5 \text{ см/с}^2$

Сейсмическая станция		Δ , км	r , км	Амплитуда $a_{\text{пик}}, \text{ см/с}^2$			Скорость $v_{\text{пик}}, \text{ см/с}$		
Название	Код*			Компонента			Компонента		
		Е	N	Z	Е	N	Z		
Администрация-УК	UK1	697	700	3.97	-3.25	-1.55	0.669	-0.598	-0.339
Вилючинск	VIL	254	262	30.1	30.3	18.1	-2.36	2.73	1.62
Дальний	DAL	270	277	-7.51	8.45	-4.94	-1.13	0.808	0.685
Дачная	DCH	271	278	-7.41	-8.67	3.71	-1.11	1.26	-0.637
Жупаново	GPN	407	412	12.2	-17.5	5.26	1.76	-2.26	0.777
Звездный	SPZ	271	278	7.69	-7.95	3.38	0.746	-0.645	-0.532
ИВИС	IVS	272	279	-12.5	-12.2	6.21	-1.74	1.37	-0.796
Карымшина	KRM	241	248	9.84	-11.2	5.17	1.301	1.16	-0.389
Ключи	KLY	658	661	0.947	0.681	-0.574	-0.269	0.198	0.161
Крутоберегово	KBG	700	703	4.16	3.31	-2.29	-0.832	-0.689	-0.461
Маяк	MPPA	254	261	67.2	64.6	-19.02	-2.89	-2.61	0.637
Мишенная	MSN	270	276	-53.05	-42.2	22.8	7.28	-4.7	2.33
Морской порт	UK3	691	694	-3.27	3.56	-1.06	0.785	0.707	-0.243
Налычево	NLC	297	304	-5.39	10.22	2.12	-0.438	0.52	-0.221
НИИГТЦ	НИ	274	281	-13.8	14.2	-7.46	-1.802	2.04	-0.84
Николаевка	NIC	266	273	17.5	15.1	-5.31	-2.21	1.68	-0.634
Паужетка	PAU	111	126	-30.1	-26.9	14.4	-1.44	1.11	-0.699
Петропавловск	PET	268	275	5.85	-5.34	3.19	-0.656	-0.642	-0.383
Русская	RUS	202	211	-13.1	-14.5	-10.1	0.916	-0.781	-0.832
Рыбачий	RIB	255	262	19.09	29.9	8.93	2.053	2.68	-0.733
Северо-Курильск	SKR	116	131	-39.9	-39.03	-16.4	1.31	-1.806	0.657
Тумрок-источники	TUMD	533	536	-4.75	-4.01	-2.03	0.666	-0.565	-0.312
Ходутка	KDT	128	141	73.6	41.6	37.8	-3.67	2.67	1.28
Шипунский	SPN	311	316	-7.97	9.92	-4.77	0.976	-0.888	0.533

Примечание. Δ – эпицентральное расстояние, r – гипоцентральное расстояние; $a_{\text{пик}}$ – максимальная амплитуда пикового ускорения; $v_{\text{пик}}$ – максимальная амплитуда пиковой скорости. * – региональный код станции.

Акселерограмма землетрясения 28 февраля 2013 г., а также соответствующие сглаженные спектры Фурье и спектры реакции по ускорению для станции «Ходутка» (KDT), записавшей это событие с наибольшей амплитудой по ускорению, показаны на рис. 9. Наибольшее значение ускорения грунта было зафиксировано на горизонтальной Е-компоненте $a_{\text{пик}}=73.6 \text{ см/с}^2$.

В работе [19] представлен анализ пиковых амплитуд ускорения и скорости грунтов землетрясения 28 февраля 2013 года. Анализ распределения пиковых амплитуд показал, что их

уровень для данного землетрясения согласуется со средними тенденциями в Камчатском регионе. То же самое можно сказать и про параметры затухания, которые оказались типичными для Камчатки, а кроме того хорошо согласуются с калибровочной кривой Федотова [8] для энергетического класса.

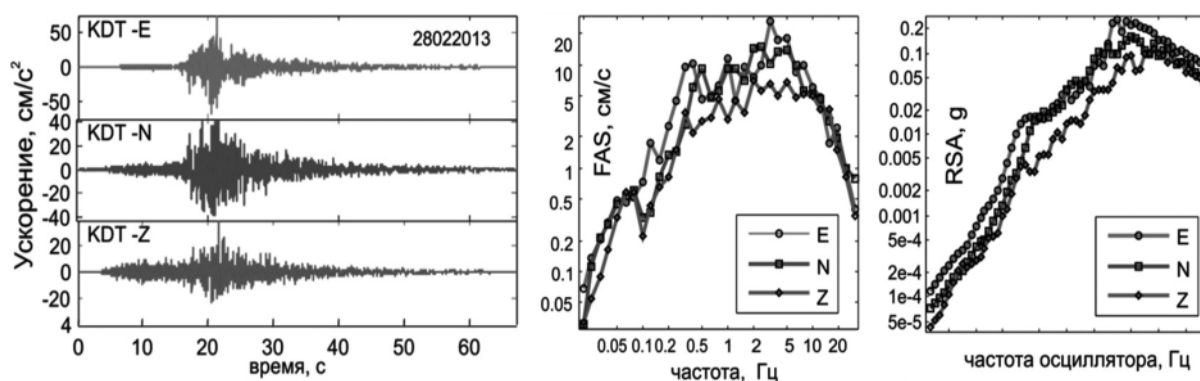


Рис. 9. Три компоненты записи ускорения грунта от землетрясения 28 февраля 2013 г. в 14^h05^m, сглаженные амплитудные спектры Фурье (FAS) и спектры реакции по ускорению (RSA) для этих записей (записи получены каналами HNE/ HNN/ HNZ сейсмической станции «Ходутка» (KDT))

Сейсмическая история. Согласно делению сейсмичности Камчатки на зоны [21], землетрясение 28 февраля 2013 г. произошло в поверхностном слое сейсмофокальной зоны Курил и Южной Камчатки. Этот сегмент Курило-Камчатской дуги является одним из наиболее сейсмоактивных районов в Северо-западной части Тихого океана. Здесь неоднократно отмечались землетрясения с $M > 8$, вызывавшие цунами и интенсивность сотрясений до 9 баллов по шкале MSK-64 на юге Камчатки [22, 23].

Район очага землетрясения 28 февраля 2013 г. входит в обширную очаговую область сильнейшего катастрофического Камчатского землетрясения 04 ноября 1952 г. $M_w = 9.0$ [24] и, вероятно, в очаговую область первого исторического землетрясения Камчатки 17 октября 1737 г. $M_w = 9.2$ [24], описанного С.П. Крашенинниковым [22, 25].

За период детальных сейсмологических наблюдений с 1962 г. по 28 февраля 2013 г. вблизи очаговой области землетрясения отмечено 10 сильных землетрясений с $ML \geq 6$. Параметры этих событий приведены в табл. 6.

Таблица 6. Параметры сильных землетрясений с $ML \geq 6$ района очага землетрясения 28 февраля 2013 г. за период детальных сейсмологических наблюдений (01.01.1962–28.02.2013)

№	Дата, д м г	t_0 , ч мин с	Гипоцентр			I_{\max} , балл	ML [26]	M_w [6]	M_{\max} [3]
			φ° N	λ° E	h , км				
1	10 04 1962	10 31 59	50.67	158.03	19	3	6.2	–	4.9
2	08 04 1966	01 46 43	50.91	158.21	18	5	6.2	–	6.0
3	21 06 1966	23 06 29	50.12	157.97	25	4–5	6.0	–	5.5
4	12 03 1973	19 39 19	50.44	157.72	39	5–6	6.4	–	6.5
5	12 04 1973	13 49 14	50.67	157.78	20	5–6	6.4	–	6.4
6	13 07 1992	15 34 03	50.76	158.05	39	5–6	6.1	6.1	5.9
7	08 06 1993	13 03 37	51.20	157.80	40	5	6.8	7.5	7.4
8	18 09 1999	21 28 34	50.99	157.84	40	6	6.2	6.0	6.2
9	24 08 2006	21 50 34	50.75	157.97	38	6–7	6.4	6.5	6.8
10	24 07 2008	01 43 15	50.61	158.04	40	5	6.2	6.2	6.2

Примечание. M_{\max} – максимальное значение из магнитуд, полученных мировыми сейсмологическими центрами NEIC(USGS), MOS, ISC, IDC.

Землетрясение 28 февраля 2013 г. $M_{wGCMT} = 6.8$ – закономерное событие в ходе сейсмического процесса в Курило-Камчатской зоне субдукции. Следует отметить, что это первое земле-

трясение такой магнитуды в районе Камчатки, которое зарегистрировано системой сейсмологических наблюдений нового поколения, созданной КФ ФИЦ ЕГС РАН в XXI в. [27]. Землетрясение 28 февраля 2013 г. проверило готовность системы сейсмологических наблюдений Камчатки к сильным сейсмическим событиям. Интересной особенностью события стала наблюдавшаяся последовательность землетрясений, объединяющая черты, присущих как роевой, так и афтершоковой активности.

Л и т е р а т у р а

1. **Сеников 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 2013 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 22 (2013 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – Приложение на CD_ROM.
2. **Абубакиров И.Р., Павлов В.М. (сост.).** 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.
3. **International Seismological Centre**, Thatcham, Berkshire, United Kingdom, 2015 [Сайт]. – URL: <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/>
4. **National Earthquake Information Centre**. – URL: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/>
5. **Сейсмологический бюллетень (сеть телесеизмических станций), 2013** // ФИЦ ЕГС РАН [Сайт]. – URL: ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_bulletin/2013
6. **Global CMT Catalog (GCMT)** [Сайт]. – URL: <http://www.globalcmt.org/>
7. **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.
8. **Федотов С.А.** Энергетическая классификация Курило-Камчатских землетрясений и проблема магнитуд. – М.: Наука, 1972. – 117 с.
9. **Гордеев Е.И., Левина В.И., Чебров В.Н., Иванова Е.И., Шевченко Ю.В., Степанов В.В.** Землетрясения Камчатки и Командорских островов // Землетрясения Северной Евразии в 1993 году. – М.: ГС РАН, 1999. – С. 102–114.
10. **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.
11. **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.
12. **Комплексные сейсмологические и геофизические исследования Камчатки и Командорских островов** (отчет за 01.01.2003–31.12.2003). – Петропавловск-Камчатский: Фонды КФ ГС РАН, 2004. – 350 с.
13. **Комплексные сейсмологические и геофизические исследования Камчатки и Командорских островов** (отчет за 01.01.2005–31.12.2005). – Петропавловск-Камчатский: Фонды КФ ГС РАН, 2006. – 478 с.
14. **Писаренко В.Ф.** О законе повторяемости землетрясений // Дискретные свойства геофизической среды. – М.: Наука. 1989. – С. 47–60.
15. **Салтыков В.А.** О проблеме оценки пространственно-временных особенностей представительности каталога землетрясений // Материалы XIII Международной сейсмологической школы «Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных». – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – С. 237–242.
16. **Митюшкина С.В., Токарев А.В., Раевская А.А., Чеброва А.Ю.** Автоматическая обработка макросейсмической информации по камчатским землетрясениям на базе Интернет-опросника // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Третьей научно-технической конференции. Петропавловск-Камчатский. 9–15 октября 2011 г. / Отв. ред. В.Н. Чебров. – Обнинск: ГС РАН, 2011. – С. 376–380.
17. **Митюшкина С.В., Раевская А.А.** Макросейсмические проявления землетрясения 28 февраля 2013 г. ($M_w=6.8$) на территории Камчатского края и северных Курильских островов Шумшу и Парамушир // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 22 (2013 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – Приложение на CD_ROM.
18. **Федотов С.А., Шумилина Л.С.** Сейсмическая сотрясаемость Камчатки // Физика Земли. – 1971. – № 9. – С. 3–15.
19. **Сильные камчатские землетрясения 2013 года** / под ред. В. Н. Чеброва. – Петропавловск-Камчатский: Холд. комп. «Новая книга», 2014. – 252 с., 4 с. ил. ISBN 978-5-87750-298-7.

20. Чебров Д.В., Чеброва А.Ю., Матвеев Е.А., Дрознина С.Я., Митюшкина С.В., Гусев А.А., Салтыков В.А., Воропаев П.В. Камчатка и Командорские острова // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 22 (2013 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – С. 198–213. doi: 10.35540/1818-6254.2019.22.17
21. Левина В.И., Ландер А.В., Митюшкина С.В., Чеброва А.Ю. Сейсмичность Камчатского региона // Вулканология и сейсмология. – 2013. – № 1. – С. 195–213.
22. Годзиковская А.А. Сводка макросейсмических сведений по землетрясениям Камчатки (доинструментальный и ранний инструментальный периоды наблюдений) // Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2010. – 134 с.
23. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. М.: Наука, 1977. – 536 с.
24. Гусев А.А., Шумилина Л.С. Повторяемость сильных землетрясений Камчатки в шкале моментных магнитуд // Физика Земли. – 2004. – № 3. – С. 34–42.
25. Крашенинников С.П. Описание земли Камчатки. М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1949. – 840 с.
26. Каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов КФ ФИЦ ЕГС РАН. – URL: <http://sdis.emsd.ru/info/earthquakes/catalogue.php>
27. Чебров В.Н., Дрознин Д.В., Кугаенко Ю.А., Левина В.И., Сеников 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.

METADATA IN ENGLISH

EARTHQUAKE 28.02.2013 with $M_{wGCMT}=6.8$, $I_0=5-6$ (Southeastern coast of Kamchatka)

***A.Yu. Chebrova, I.R. Abubakirov, A.A. Gusev, E.A. Matveenko, S.V. Mityushkina,
V.M. Pavlov, V.A. Saltikov, D.V. Chebrov***

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

Abstract. The February 28, 2013 earthquake ($M_{wGCMT}=6.8$), which occurred on the southeast coast of Kamchatka, is discussed. The instrumental hypocenter location reported by the KB GS RAS is $\varphi=50.67^\circ\text{N}$, $\lambda=157.77^\circ\text{E}$, $h=61\text{ km}$. Three magnitudes were obtained: local magnitude $ML=6.9$, code-wave magnitude $Mc=6.6$, moment magnitude $Mw=6.7$. The focal mechanisms of the February 28, 2013 earthquake and its aftershocks with $ML\geq 6$ correspond to the tectonic conditions of subhorizontal compression in the NW–SE direction. For most of these mechanisms, the shallow plane falls under Kamchatka, which corresponds to the geometry of the subduction zone. The small-focus aftershocks cloud of the February 28, 2013 earthquake has the $58\times 28\text{ km}$ size and is extended in the north-east – south-west direction. The aftershock process has the three-phase character and can be considered as a stream of seismic events decreasing in time with three successive stages with different attenuation modes. The change in attenuation modes is associated with strong aftershocks. The duration of the decaying aftershock process is ~ 100 days. The February 28, 2013 earthquake was felt with intensity ranged from 2 to 5–6 on the MSK–64 scale in 33 localities ($\Delta=81-493\text{ km}$). The macroseismic impact area was about $56\cdot 10^3\text{ km}^2$. The mainshock and its four strong aftershocks have a similar picture of macroseismic manifestations: the macroseismic effect is larger on the east coast of Kamchatka; the strongest shakes has been observed in Severo-Kurilsk (Paramushir Island). The elongation of the isoseist along the Kamchatka eastern coast has been observed, which is typical for Kamchatka earthquakes. The strong ground motions from the February 28, 2008 earthquake has been recorded using the Kamchatka network of digital accelerographs. The level of peak amplitudes for this earthquake is consistent with average trends in the Kamchatka region. Attenuation parameters are typical for Kamchatka. The shallow layer of the seismic focal zone of the Kuriles and South Kamchatka, in which the February 28, 2013 earthquake was recorded, is one of the most active seismic areas in the North-West Pacific. Earthquakes with $M>8$ were repeatedly occurred here, causing a tsunami and intensity of shakes up to 9 on the MSK-64 scale in the south of Kamchatka.

Keywords: Kamchatka, earthquake, aftershocks, focal mechanism, macroseismic, peak amplitudes.

DOI: 10.35540/1818-6254.2019.22.30

For citation: Chebrova, A.Yu., Abubakirov, I.R., Gusev, A.A., Matveenko, E.A., Mityushkina, S.V., Pavlov, V.M., Saltikov, V.A., & Chebrov, D.V. (2019). Earthquake 28.02.2013 with $M_{wGCMT}=6.8$, $I_0=5-6$ (Southeastern coast of Kamchatka). *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 22 (2013), 329–342. (In Russ.). doi: 10.35540/1818-6254.2019.22.30

References

1. 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. (2019). *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 22(2013), Appendix on CD. (In Russ.).
2. Abubakirov, I.R., & Pavlov, V.M. (2019). Catalogue of Earthquake Focal Mechanisms for Kamchatka and the Commander Islands in 2013 (defined by earthquake waveforms). *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 22(2013), Appendix on CD. (In Russ.).
3. International Seismological Centre. (2019). On-line Bulletin, Internatl. Seis. Cent., Thatcham, United Kingdom. Retrieved from <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/>
4. USGS National Earthquake Information Centre. (2019). Retrieved from <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>
5. GS RAS, Bulletin of Teleseismic Stations. (2019). Retrieved from ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_bulletin/2013/
6. Ekström, G., Nettles, M., & Dziewoński, A.M. (2012). The global CMT project 2004–2010: Centroid-moment tensors for 13,017 earthquakes. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 200, 1–9.
7. Chubarova, O.S., Gusev, A.A., & Chebrov, V.N. (2010). 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*, 4 (2), 126–138. doi: 10.1134/S0742046310020065.
8. Fedotov, S.A. (1972). *Energeticheskaya klassifikatsiya Kurilo-Kamchatskih zemletryaseniy i problema magnitud* [Energy classification of Kuril-Kamchatka earthquakes and the magnitude problem]. Moscow, Russia: Nauka Publ., 117 p. (In Russ.).
9. Gordeev, E.I., Levina, V.I., Chebrov, V.N., Ivanova, E.I., Shevchenko, Yu.V., & Stepanov, V.V. (1999). [Earthquakes of Kamchatka and Komandor Islands] In *Zemletryaseniya Severnoi Evrazii v 1993 godu* [Earthquakes in Northern Eurasia in 1993] (pp. 102–114). Moscow, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
10. Pavlov, V.M., & Abubakirov, I.R. (2012). [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], 20 (2), 149–158 (in Russ.).
11. Chebrova, A.Yu., Ivanova, E.I., & Mityushkina, S.V. (2019). Catalogue of Earthquake Focal Mechanisms for Kamchatka and the Commander Islands in 2013. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 22 (2013), Appendix on CD. (In Russ.).
12. *Complex seismological and geophysical investigations of Kamchatka and Commander Islands (report 01.01.2003–31.12.2003)*. (2004). Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia: Funds of KB GS RAS, 350 p. (In Russ.).
13. *Complex seismological and geophysical investigations of Kamchatka and Commander Islands (report 01.01.2005–31.12.2005)*. (2006). Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia: Funds of KB GS RAS, 478 p. (In Russ.).
14. Pisarenko, V.F. (1989). [About the earthquake recurrence law]. In *Diskretniye svoystva geofizicheskoy sredi* [Discrete properties of the geophysical environment] (pp. 47–60). Moscow, Russia: Nauka Publ. (In Russ.).
15. Saltykov, V.A. (2018). [On the problem of estimating the spatial-temporal features of the Kamchatka catalog representativeness]. In *Materiali XIII Mejdunarodnoy seismologicheskoy shkoli "Sovremennye metody obrabotki i interpretatsii seismologicheskikh dannih"* [Proceedings of the XIII International Seismological Workshop "Modern methods of processing and interpretation of seismological data"] (pp. 237–242). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
16. Mityushkina, S.V., Tokarev, A.B., Raevskaya, A.A., & Chebrova, A.Yu. (2011). [Automatic processing of macroseismic information from Kamchatka earthquakes based on the Internet-questionnaire]. *Problemi kompleksnogo geofizicheskogo monitoringa Dal'nego Vostoka Rossii. Trudi Tret'ey nauchno-tehnicheskoy konferentsii*. [Problems of complex geophysical monitoring of Far East of Russia. Proceedings of III science conference. Petropavlovsk-Kamchatsky] (pp. 376–380). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
17. Mityushkina, S.V., & Raevskaya, A.A. (2019). Macroscopic effects of the February 28, 2013 earthquake ($M_w=6.8$) in the Kamchatka Territory and the northern Kuril Islands Shumshu and Paramushir. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 22 (2013), Appendix on CD. (In Russ.).
18. Fedotov, S.A., & Shumilina, L.S. (1971). [The seismicity of Kamchatka]. *Fizika Zemli* [Physics of the Solid Earth], 9, 3–15 (In Russ.).
19. *Sil'niye kamchatskiye zemletryaseniya 2013 goda* [Kamchatka Strong Earthquakes in 2013] (2014). Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia: Hold. Comp. «Novaya Kniga» – Media Publ., 252 p. (In Russ.).

20. Chebrov, D.V., Chebrov, A.Yu., Matveenko, E.A., Droznina, S.Ya., Mityushkina, S.V., Gusev, A.A., Saltikov, V.A., & Voropaev, P.V. (2019). Kamchatka and Commander Islands. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 22 (2013), 198–213. (In Russ.). doi: 10.35540/1818-6254.2019.22.17
21. Levina, V.I., Lander, A.V., Mityushkina, S.V., & Chebrova, A.Yu. (2013). The seismicity of the Kamchatka region: 1962–2011. *Journal of Volcanology and Seismology*, 7 (2), 37–57. doi: 10.1134/S0742046313010053.
22. Godzikovskaya, A.A. (2010). *Svodka makroseismicheskikh svedeniy po zemletryaseniyam Kamchatki (doinstrumental'niy i ranniy instrumental'niy periodi nabludeniy)* [Macroseismic bulletin of Kamchatka earthquakes (pre-instrumental and early instrumental observation periods)]. Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia: GS RAS Publ. 134 p. (In Russ.).
23. *Noviy catalog sil'nih zemletryaseniye na territorii SSSR s drevneyshih vremen do 1975 goda* [New catalog of strong earthquakes on the territory of the USSR from ancient times to 1975]. (1977). Moscow, Russia: Nauka Publ. 536 p. (In Russ.).
24. Gusev, A.A., & Shumilina, L.S. (2004). Recurrence of Kamchatka strong earthquakes on a scale of moment magnitudes. *Izvestiya Physics of the Solid Earth*, 40 (3), 206–215.
25. Krasheninnikov, S.P. (1949). *Opisanie zemli Kamchatki* [Description of the Kamchatka land]. Moscow-Leningrad: AS USSR Publ., 90 p. (In Russ.).
26. Earthquakes Catalogue for Kamchatka and the Commander Islands of KB GS RAS. (2019). Retrieved from <http://sdis.emsd.ru/info/earthquakes/catalogue.php>
27. Chebrov, V.N., Droznin, D.V., Kugaenko, Yu.A., Levina, V.I., Senyukov, S.L., Sergeev, V.A., Shevchenko, Yu.V., & Yaschuk, V.V. (2013). The system of detailed seismological observations in Kamchatka in 2011. *Volcanology and Seismology*, 7 (1), 16–36. doi: 10.1134/S0742046313010028.