

## СИЛЬНОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 28.02.2013 г. У ЮГО-ВОСТОЧНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КАМЧАТКИ С МАГНИТУДОЙ $M_w = 6.8$ ПО ДАННЫМ ОПЕРАТИВНОЙ ОБРАБОТКИ

28 февраля 2013 года в 14 час. 05 мин. по Гринвичу (01 марта 2013 г. 02 час. 05 мин. по местному времени) у юго-восточного побережья Камчатки произошло сильное землетрясение с магнитудой  $M_w = 6.8$  (рис. 1).

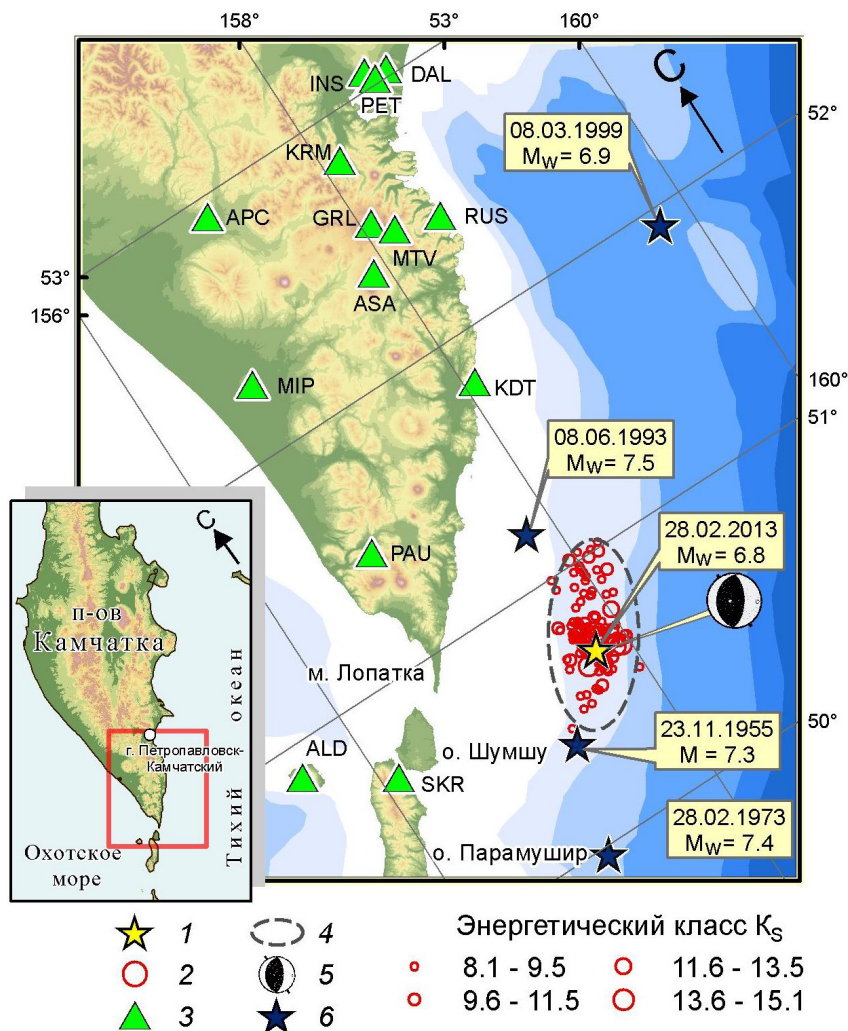
Очаг землетрясения находился в Тихом океане, примерно в 90 км к востоку от г. Северо-Курильска и в 260 км к югу от г. Петропавловска-Камчатского.

Параметры землетрясения и его сильнейших афтершоков – координаты и энергетиче-

ские характеристики по данным различных обрабатывающих центров России и мира – приведены в табл. 1.

По данным Камчатского филиала Геофизической службы РАН (КФ ГС РАН) землетрясение ощущалось в населенных пунктах Камчатки с интенсивностью до 5-6 баллов.

Примеры записи землетрясения широкополосными сейсмическими станциями представлены на рис. 2.

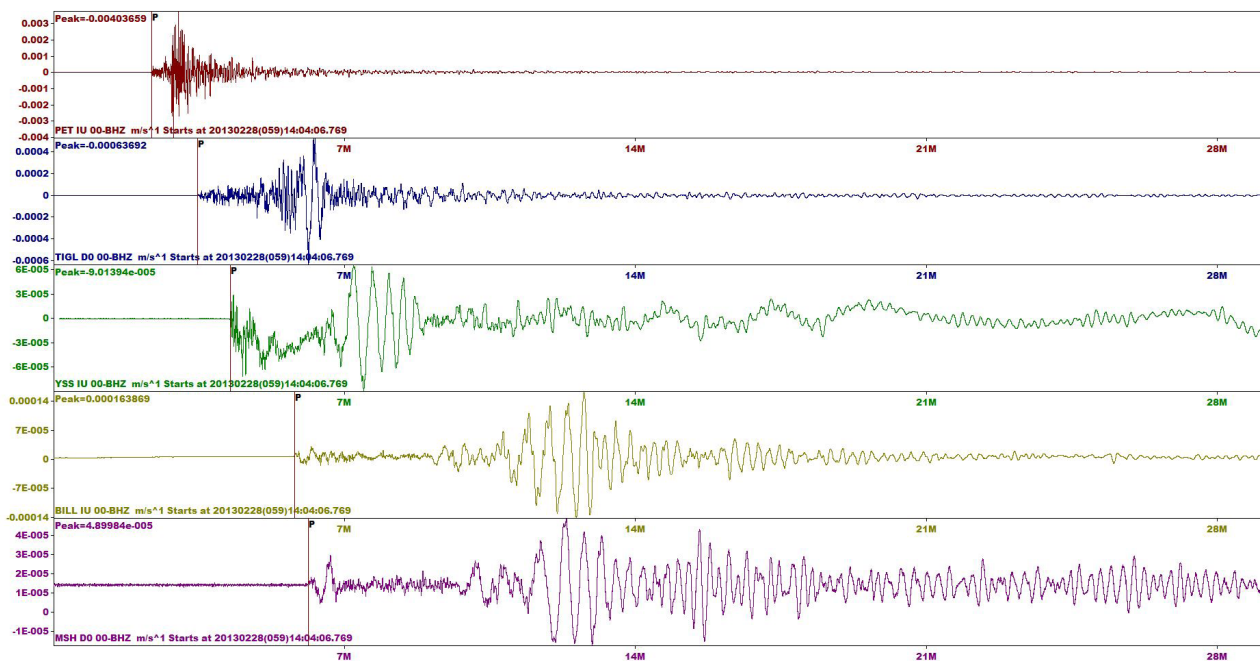


**Рис.1.** Схема расположения эпицентра землетрясения 28.02.2013 г. и его афтершоков с энергетическими классами  $K_s \geq 8.1$ , что соответствует уровню надежной регистрации камчатской региональной сети для района Южной Камчатки: 1 – эпицентр землетрясения 28.02.2013 г.; 2 – эпицентры афтершоков; 3 – сейсмические станции; 4 – 2 $\sigma$ -эллипс аппроксимации зоны афтершоков; 5 – стереограмма механизма очага землетрясения 28.02.2013 г. по Global CMT; 6 – эпицентры последних сильнейших землетрясений рассматриваемого района.

**Таблица 1.** Параметры землетрясения 28.02.2013 г. и его сильнейших афтершоков с  $K_s \geq 13$ .

№	Дата д. м. г.	Время ч : м : с	$\varphi^\circ$ , с.ш. $\lambda^\circ$ , в.д.	h, км	$K_s$	М А Г Н И Т У Д А							
						КФ ГС РАН		Global CMT <sup>1</sup>		NEIC (USGS) <sup>2</sup>		Обнинск <sup>3</sup>	
						$M_C$	$M_L$	$M_W$	$M_S$	$M_W$	$m_b$	$M_S$	$m_b$
1	28.02.2013	14:05:48.3	50.67 157.77	61	15.2	6.6	6.9	6.8	6.9	6.9	6.4 <sup>4</sup>	7	7.6 <sup>4</sup>
2	01.03.2013	12:53:49.0	50.63 157.94	52	14.2	5.9	6.4	6.4	6.5	6.4		6.4	6.4 <sup>4</sup>
3	01.03.2013	13:20:48.8	50.64 157.90	62	15.1	6.5	6.8	6.5	6.5	6.5		6.7	6.7 <sup>4</sup>
4	04.03.2013	20:56:33.7	50.63 157.66	50	13.6	5.7	6.1				5.3		5.4
5	09.03.2013	14:56:27.5	50.65 157.80	48	13.7	5.6	6.1	5.8	5.8	5.8	5.7 <sup>4</sup>		5.8

Примечание: 1 – The Global CMT Project (<http://www.globalcmt.org>); 2 – National Earthquake Information Center, U.S. Geological Survey (<http://neic.usgs.gov>); 3 – Геофизическая служба РАН, Обнинск (<http://www.gsras.ru>); 4 – International Seismological Centre (<http://www.isc.ac.uk>).  $M_L$  – локальная магнитуда;  $M_C$  – магнитуда по коде;  $M_W$  – моментная магнитуда;  $M_S$  – магнитуда по поверхностной волне Релея;  $m_b$  – магнитуда по объемным волнам.



**Рис. 2.** Примеры записей землетрясения 28.02.2013 г. широкополосными сейсмическими станциями, расположенными на Дальнем Востоке России (вертикальные каналы): PET – «Петропавловск»; TIGL – «Тигиль»; YSS – «Южно-Сахалинск»; BILL – «Билибино»; MSH – «Мыс Шульца».

### ОБРАБОТКА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ В РЕЖИМЕ СЛУЖБЫ СРОЧНЫХ ДОНЕСЕНИЙ И СЛУЖБЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ О ЦУНАМИ

Региональный информационно-обрабатывающий центр (РИОЦ) «Петропавловск» КФ ГС РАН по всем сильным землетрясениям Дальнего Востока России работает в непрерывном круглосуточном режиме по регламентам Службы предупреждения о цунами (СПЦ) с  $M \geq 6.0$  и Службы срочных донесений (ССД) с  $M \geq 5.0$ . По действующему регламенту СПЦ

обработка землетрясения, зарегистрированного на расстоянии до 1000 км от РИОЦ «Петропавловск», должна занять не более 10 минут.

Дежурная смена РИОЦ приступила к обработке землетрясения сразу после срабатывания сигнализации при превышении регистрируемым сейсмическим сигналом заданного уровня на станции «Северо-Курильск» (SKR), ближайшей к эпицентру.

Через одну минуту с начала регистрации землетрясения на станции SKR сигнал «Регистрируется сильное землетрясение!» был

передан в Центр цунами ФБГУ «Камчатское УГМС» (Росгидромет).

Через 4 минуты с начала регистрации землетрясения на станции SKR были получены предварительные оценки координат эпицентра и магнитуды землетрясения.

Через 6 минут с начала регистрации землетрясения на станции SKR была уточнена оценка параметров землетрясения ( $50.89^\circ$  с. ш.,  $157.55^\circ$  в. д., глубина  $H = 61$  км,  $M_S = 6.4$ ,  $M_{S20} = 6.6$ ,  $M_L = 6.9$ ) и осуществлена рассылка срочных донесений по установленному списку адресов (ГУ МЧС России по Камчатскому краю; ССД ГС РАН, Росгидромет и др.).

Тревога цунами не объявлялась по решению дежурной смены.

Таким образом, РИОЦ «Петропавловск» полностью уложился в сроки, установленные регламентами СПЦ и ССД, продемонстрировав при этом хорошую точность оценок параметров землетрясения.

### МЕХАНИЗМ ОЧАГА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

В Global CMT для землетрясения 28.02.2013 г. и трех его сильнейших афтершоков  $K_S \geq 13$  ( $K_S$  – энергетический класс по (Федотов, 1972)) определен тип подвижки в очаге. Карта эпицентров

этих землетрясений, а также стереограммы механизмов их очагов в проекции нижней полушеры с указанием типа подвижки показаны на рис. 3.

По данным Global CMT обе возможные плоскости разрыва главного толчка простираются в северо-восточном направлении, по обоим произошел взброс. Ось напряжения сжатия близгоризонтальна, ориентирована на юго-восток. Аналогичный тип подвижки имеют и сильнейшие афтершоки, зарегистрированные 1 марта в 12 час. 53 мин. (здесь и далее время сейсмических событий указано по Гринвичу) с  $M_W = 6.4$  и в 13 час. 20 мин. с  $M_W = 6.5$ , а также 9 марта в 14 час. 56 мин. с  $M_W = 5.8$  (табл. 1). Простирание плоскостей разрыва рассматриваемых землетрясений по данным Global CMT совпадает с направлением тектонических структур Курило-Камчатской сейсмофокальной зоны. Оси сжатия близгоризонтальны и направлены вкост фокальной зоны.

В КФ ГС РАН для главного толчка и четырех сильнейших афтершоков (табл. 1) определен тип подвижки в очаге по программе FA2011 (автор А.В. Ландер). Следует отметить хорошее совпадение решений КФ ГС РАН с решениями, полученными в Global CMT (табл. 2).

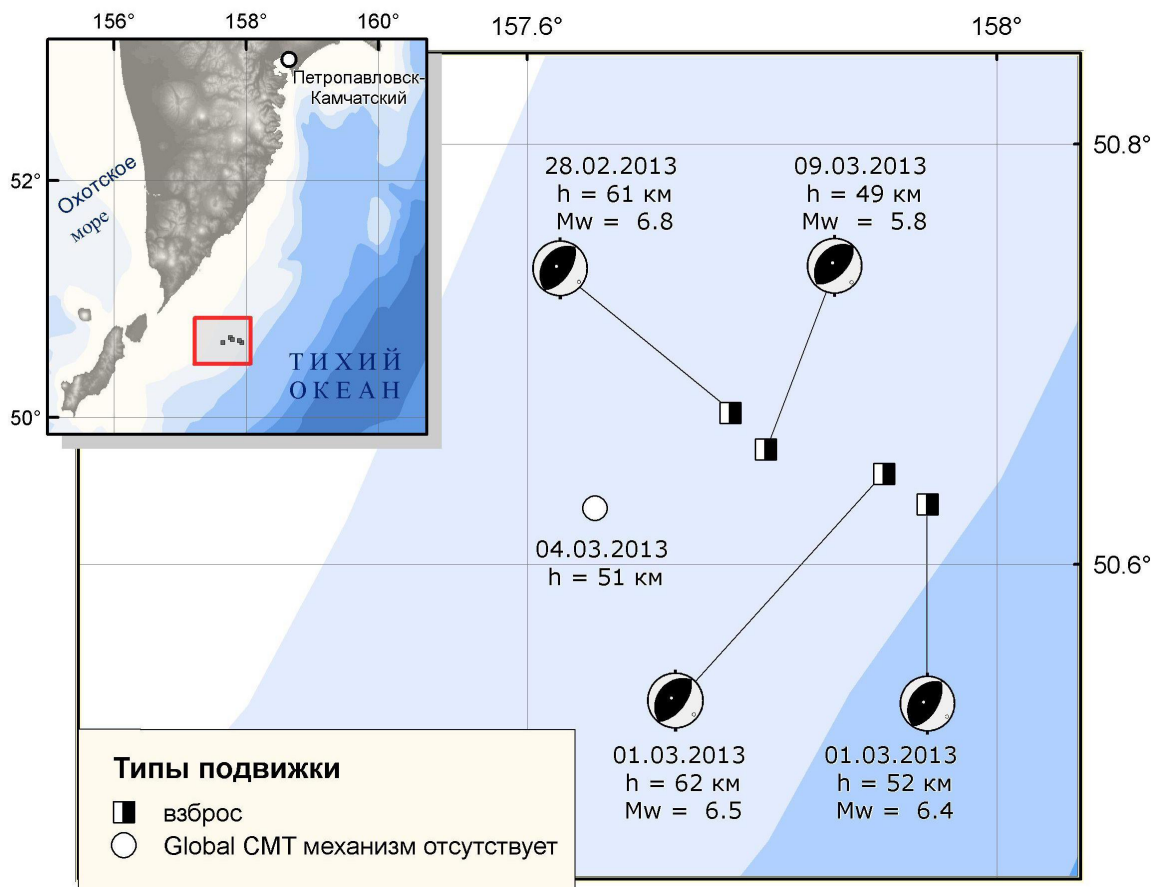


Рис. 3. Механизмы землетрясения 28.02.2013 г. и его афтершоков с  $K_S \geq 13$  по Global CMT.

**Таблица 2.** Стереогаммы механизмов землетрясения 28.02.2013 г. и его афтершоков с  $K_s \geq 13$  (табл. 1).

№	КФ ГС РАН	Global CMT <sup>1</sup>
1		
2		
3		
4		-
5		

Примечание: <sup>1</sup>Global Centroid-Moment-Tensor (CMT) Project (<http://www.globalcmt.org>).

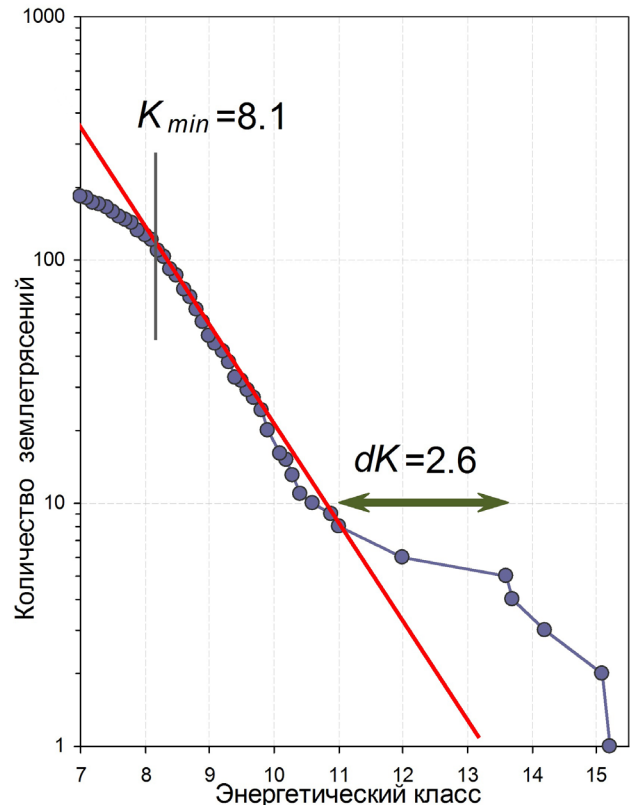
### ОСОБЕННОСТИ АФТЕРШОКОВОГО ПРОЦЕССА

В течение первых 10 дней в радиусе 50 км от эпицентра землетрясения 28.02.2013 г. было зарегистрировано 102 афтершока с энергетическим классом в диапазоне  $K_s = 6.7-15.1$ , из них 71 – в первые три дня после основного события. Преобладающее число гипоцентров находилось в интервале глубин 30 до 60 км. Параметры наиболее сильных землетрясений (65 штук) были определены в оперативном режиме с задержкой не более суток. Обработка потока событий первых 10 суток была закончена к 10 марта. В дальнейшем обработка афтершокового процесса велась в повседневном оперативном режиме с задержкой  $\leq 1$  суток.

За три месяца, прошедшие после землетрясения 28.02.2013 г., в его очаговой области зарегистрированы около 200 землетрясений с энергетическим классом в диапазоне  $K_s = 5.8-15.1$ . Афтершоки выделялись программно по методике (Молчан, Дмитриева, 1991).

С учетом уровня надежной регистрации камчатской региональной сети сейсмических станций  $K_{мин} = 8.1$  (рис. 4) при последующем анализе были использованы 118 сейсмических событий из очаговой области (рис. 1). На рис. 1 облако эпицентров афтершоков околонуно  $2\sigma$ -ым эллипсом рассеяния, что позволяет формально оценить размер очага землетрясения 28.02.2013 г.: длина 90 км, ширина 40 км.

На графике повторяемости наблюдается разрыв шириной 2.6 класса в распределении землетрясений по энергии (рис. 4). В отличие от типичного случая, когда подобный разрыв наблюдается между главным событием и остальными, здесь разрыв наблюдается между группой из пяти сильнейших событий (землетрясениями класса  $K_s \geq 13.6$ ,  $M \geq 5.8$ , включая главное событие и 4 наиболее сильных афтершока) и остальными афтершоками класса  $K_s \leq 11.0$ . Единственное землетрясение в диапазоне  $K_s = 11.1-13.5$  произошло через месяц после главного события, когда сейсмический про-



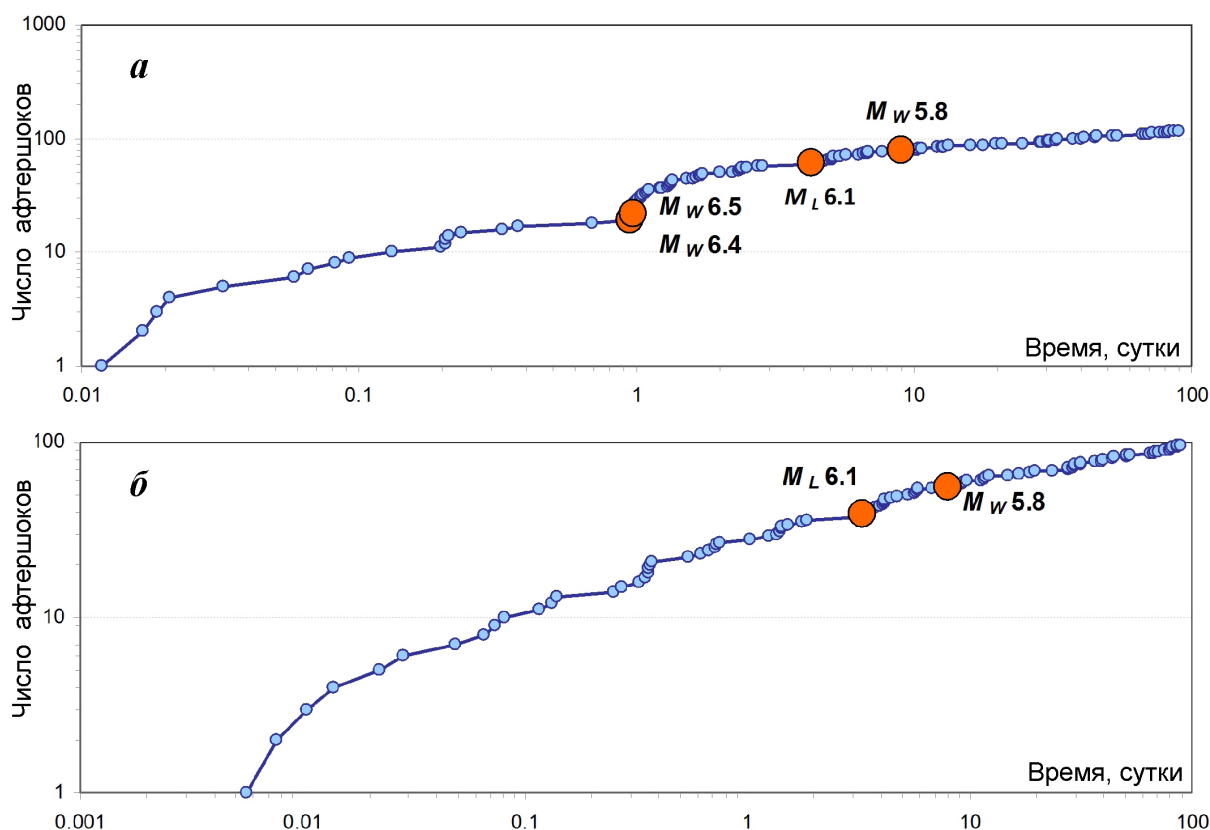
**Рис. 4.** График повторяемости для афтершоковой последовательности землетрясения 28.02.2013 г.

цесс фактически вышел из активной фазы. Таким образом, наблюдающая последовательность землетрясений имеет черты как роя, так и афтершоковой последовательности с  $K_s \leq 11.0$ .

Представление кумулятивного графика числа землетрясений в билогарифмическом масштабе позволяет проверить афтершоковый характер наблюдаемой последовательности (рис. 5). В течение первых суток после землетрясения 28.02.2013 г. график не противоречит обычно наблюдаемой картине: наклон кривой соответствует афтершоковой последовательности с убывающей во времени интенсивностью. Однако, после двух землетрясений 1.03.2013 г.  $M_w = 6.4$  и  $M_w = 6.5$  близкий к линейному характеру графика резко меняется, что дало основания предположить, что в дальнейшем мы наблюдаем уже другую афтершоковую последовательность, инициированную именно этими землетрясениями. Это предположение подтверждается построением графика, аналогичного предыдущему, но с началом отсчета времени и числа афтершоков от землетрясения 01.03.2013 г.  $M_w = 6.5$ : в таком представлении график имеет достаточно гладкий вид с наклоном, соответствующим первым суткам после основного землетрясения 28.02.2013 г.

Землетрясение 28.02.2013 г. и его афтершоки внесли заметное возмущение в уровень сейсмичности Камчатки: в течение трех месяцев, начиная

## СИЛЬНОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ



**Рис. 5.** Развитие афтершокового процесса землетрясения 28.02.2013 г. во времени в билогарифмическом масштабе: *а* – за начало отсчета взято время основного события – землетрясения 28.02.2013 г.; *б* – за начало отсчета взято время наиболее сильного афтершока – землетрясения 01.03.2013 г.  $M_w = 6.5$ . Приведены кумулятивные кривые числа афтершоков. Отмечены наиболее сильные землетрясения.

с 28.02.2013 г., на юге Камчатки выделилось  $3.1 \cdot 10^{15}$  Дж сейсмической энергии. Отметим, что за все время детальных сейсмологических наблюдений (с 1961 г.) в течение года во всей сейсмофокальной зоне Камчатки большая сейсмическая энергия выделялась только дважды: в 1971 г. и 1997 г.

### МАКРОСЕЙСМИЧЕСКИЕ ПРОЯВЛЕНИЯ

КФ ГС РАН собрана информация о макросейсмических проявлениях землетрясения – 109 сообщений из 46 населенных пунктов Камчатского края и Северных Курил. Данные поступили из различных источников, в том числе – через интернет-опросник (<http://www.emsd.ru/lsopool/poll.php>).

Через интернет-опросник о своих ощущениях сообщили 59 респондентов из 9 населенных пунктов. Отметим, что 8 сообщений из г. Петропавловска-Камчатского, г. Вилючинска, г. Елизова и п. Паратунка поступили уже в течение первого часа после землетрясения. По каждому полученному через интернет-опросник сообщению определялась автоматическая оценка интенсивности сотрясений, что позволило оперативно оценить обстановку. Макросейсмические дан-

ные обрабатывались с использованием шкал сейсмической интенсивности MSK-64 и проекта MMSK-92 (Медведев и др., 1965; Шебалин, Аптикаев, 2003).

Землетрясение ощущалось в 34 населенных пунктах, расположенных на п-ове Камчатка и островах Шумшу и Парамушир на расстоянии от 80 до 490 км от эпицентра, с интенсивностью сотрясений от 2 до 5-6 баллов по шкале MSK-64. Площадь макросейсмического воздействия составила  $\sim 56\,000$  км<sup>2</sup>. Перечень пунктов, из которых была получена макросейсмическая информация, с указанием расстояния от гипоцентра ( $r$ ) и оценок макросейсмической интенсивности представлен в табл. 3.

На рис. 6 приведены оценки интенсивности сотрясений в представлении «пункт–балл» и изосейсты землетрясения 28.02.2013 г. Наблюдается вытянутость изосейст вдоль восточного побережья Камчатки, что характерно для камчатских землетрясений.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Землетрясение 28.02.2013 г.  $M_w = 6.8$  – закономерное событие в ходе сейсмического процесса в Курило-Камчатской зоне субдукции.

Таблица 3. Макросейсмическая оценка землетрясения 28.02. 2013 г.

№	Название пункта	Координаты		г, км	№	Название пункта	Координаты		г, км
		φ°, с.ш.	λ°, в.д.				φ°, с.ш.	λ°, в.д.	
	<b>5-6 баллов</b>				25	Елизово	53.19	158.38	290
1	Мыс Лопатка	50.87	156.65	102	26	Лесной	53.26	158.02	295
2	Маяк Курбатова	50.87	156.48	112	27	Зеленый	53.28	158.18	298
3	Северо-Курильск	50.67	156.10	133	28	Коряки	53.28	158.22	298
4	Маяк Круглый	52.07	158.30	171	29	Раздольный	53.27	158.32	298
	<b>4-5 баллов</b>				30	ГМС Семячки	54.12	159.98	416
5	Паужетка	51.47	156.81	127	31	ГМС Кроноки	54.60	161.13	496
6	Маяк Чибуйный	50.77	156.20	127		<b>3 балла</b>			
7	Запорожье	51.51	156.55	141	32	Апача	52.93	157.13	262
8	Озерновский	51.49	156.50	141		<b>2-3 балла</b>			
9	ГМС Водопадная	51.81	158.08	142	33	Пушино	54.16	158.01	393
10	Вилючинск	52.92	158.43	261		<b>2 балла</b>			
11	Рыбачий	52.93	158.52	264	34	мыс Васильева	50.00	155.40	194
12	Николаевка	53.05	158.35	274					
13	Петропавловск	53.02	158.65	275		<b>Не ощущалось</b>			
14	Институт	53.07	158.61	280	35	Октябрьский	52.67	156.22	254
	<b>4 балла</b>				36	Усть-Большерецк	52.82	156.25	268
15	МGeoЭС-1	52.55	158.02	218	37	Кавалерское	52.92	156.57	270
16	р. Карымшина (стационар КФ ГС)	52.83	158.13	249	38	Сокоч	53.16	157.65	284
17	Термальный	52.95	158.20	262	39	Малка	53.35	157.46	305
18	Паратунка	52.97	158.25	265	40	мыс Шипунский	53.10	160.01	318
19	маяк Петропавловский	52.94	158.71	268	41	Соболево	54.27	155.92	424
20	Сосновка	53.08	158.30	277	42	Мильково	54.70	158.63	456
21	Вулканный	53.09	158.34	279	43	Ключи	56.31	160.85	662
22	Начики	53.12	157.74	279	44	Усть-Камчатск	56.22	162.47	694
23	Пионерский	53.09	158.55	281	45	Крутоберегово	56.26	162.71	705
24	Новый	53.11	158.55	283	46	Никольское	55.20	165.98	749

Примечание: г – гипоцентральное расстояние.

Землетрясение произошло на широте мыса Лопатка. Этот сегмент Курило-Камчатской дуги является одним из наиболее сейсмо-активных 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 (Годзиковская, 2010; Новый..., 1977).

Последние землетрясения с магнитудой  $M \geq 7.0$  были зарегистрированы в районе Северных Курил в 1955 г. ( 23.11.1955 г.  $M = 7.3$  (Новый..., 1977 ) и в 1973 г. (28.02.1973  $M_w = 7.4$  (Гусев, Шумилина, 2004)), а у побережья Южной Камчатки – в 1993 г. (08.06.1993 г.  $M_w = 7.5$  (Гусев, Шумилина, 2004)) и в 1999 г. (08.03.1999 г.  $M_w = 6.9$ ). Этот район входит в обширную очаговую область сильнейшего катастрофического

СИЛЬНОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ

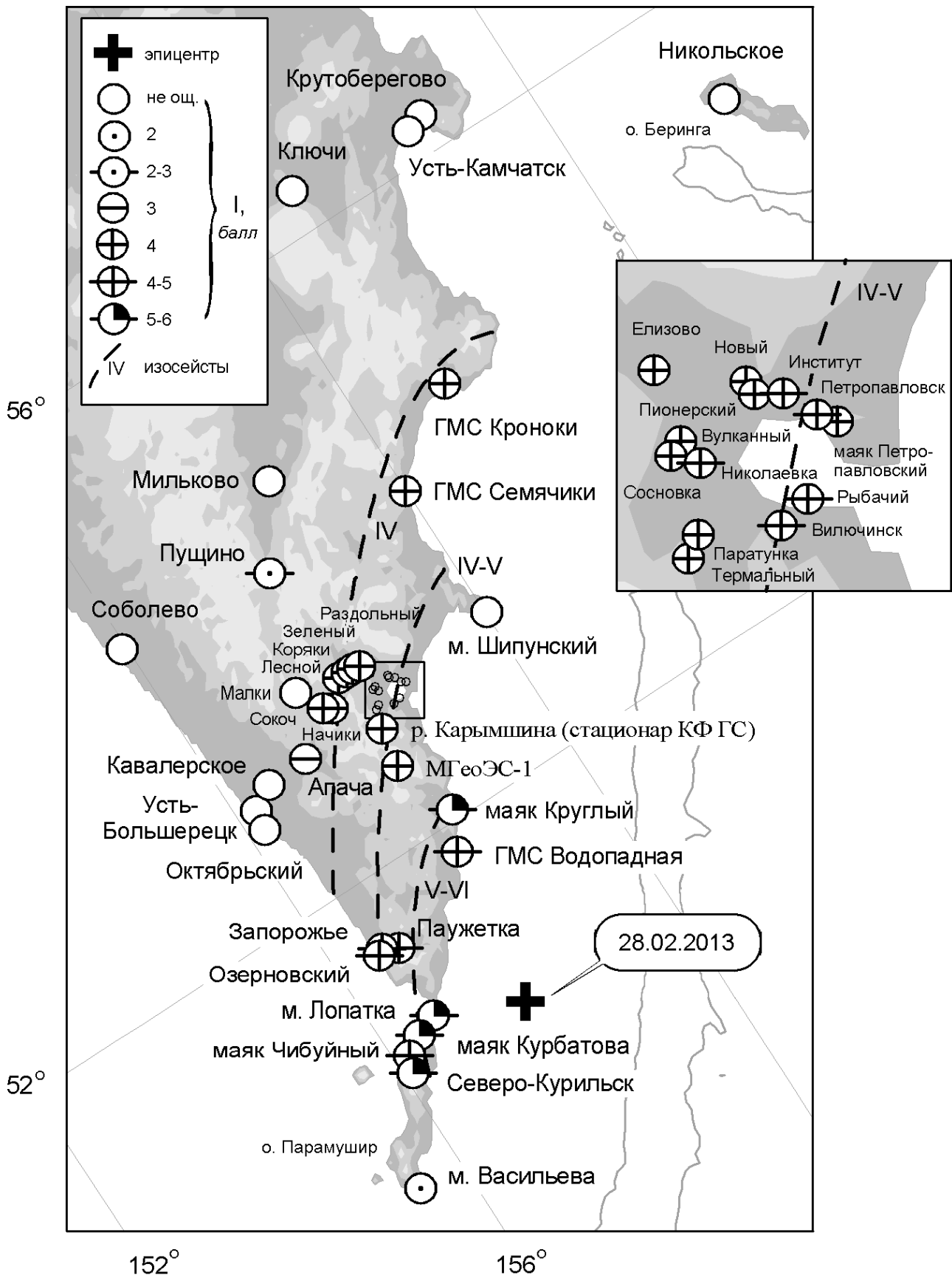


Рис. 6. Карта макросейсмических проявлений землетрясения 28.02.2013 г. в различных пунктах сбора макросейсмической информации на территории Камчатского края и Северных Курил. На врезке – район г. Петропавловска-Камчатского. Римскими цифрами обозначены оценки интенсивности сотрясений в отмеченной области.

Камчатского землетрясения 04.11.1952 г.  $M_w = 9.0$  (Гусев, Шумилина, 2004) и, вероятно, в очаговую область первого исторического землетрясения Камчатки 17.10.1737 г.  $M_w = 9.2$  (Гусев, Шумилина, 2004), описанного С.П. Крашенинниковым (Годзиковская, 2010; Крашенинников, 1949).

Параметры землетрясения 28.02.2013 г. были оценены в режиме ССД и СПЦ в течение 6 минут согласно утвержденных регламентов этих служб. В оперативном режиме проведена обработка афтершоков и собрана макросейсмическая информация о проявлениях землетрясения на территории Камчатского края и Северных Курил. Интересной особенностью наблюдавшейся последовательности землетрясений является соединение черт, присущих как роевой, так и афтершоковой активности. По конфигурации облака афтершоков проведена оценка размеров очага землетрясения 28.02.2013 г.: длина 90 км, ширина 40 км.

Отметим, что впервые в качестве системы сбора макросейсмической информации о подобном сильном событии активно использовался новый on-line инструмент – интернет-опросник, размещенный на сайте КФ ГС РАН. Для расширения этой полезной практики планируется провести мероприятия по ознакомлению населения с возможностью оперативно сообщать о своих ощущениях при землетрясениях через имеющийся удобный веб-интерфейс (<http://www.emsd.ru/lsopool/poll.php>).

Землетрясение 28.02.2013 г.  $M_w = 6.8$  – первое землетрясение такой магнитуды в районе Камчатки, которое зарегистрировано системой сейсмологических наблюдений нового поколения, созданной КФ ГС РАН в XXI веке (Чебров и др., 2013). Землетрясение 28.02.2013 г. проверило готовность системы сейсмологических наблюдений Камчатки к сильным сейсмическим событиям.

Работа выполнена в рамках научного проекта РФФИ 13-05-41258.

*Годзиковская А.А.* Сводка макросейсмических сведений по землетрясениям Камчатки (доинструментальный и ранний инструментальный периоды наблюдений) // Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2010. 134 с.

*Гусев А.А., Шумилина Л.С.* Повторяемость сильных землетрясений Камчатки в шкале моментных магнитуд // Физика Земли. 2004. № 3. С. 34-42.

*Крашенинников С.П.* Описание земли Камчатки. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1949. 840 с.

*Медведев С.В., Шпонхойер В., Карник В.* Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. М.: МГК АН СССР, 1965. 11 с.

*Молчан Г.Н., Дмитриева О.Е.* Идентификация афтершоков: обзор и новые подходы // Вычислительная сейсмология. 1991. Вып. 24. С.19-50.

Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. М.: Наука, 1977. 536 с.

*Федотов С.А.* Энергетическая классификация Курило-Камчатских землетрясений и проблема магнитуд. М.: Наука, 1972. 117 с.

*Чебров В.Н., Дроздин Д.В., Кугаенко Ю.А. и др.* Система детальных сейсмологических наблюдений на Камчатке в 2011 г. // Вулканология и сейсмология. 2013. № 1. С. 18-40.

*Шебалин Н.В., Антикаев Ф.Ф.* Развитие шкалы MSK // Проблемы макросеймики. Вычислительная сейсмология. Вып. 34. М.: ГЕОС, 2003. С. 210-253.

*В.Н. Чебров, Ю.А. Кугаенко, С.А. Викулина, С.Я. Дроздина, Е.И. Иванова, Н.М. Кравченко, Е.А. Матвеевко, С.В. Митюшкина, А.А. Раевская, В.А. Салтыков, Д.В. Чебров,*  
Камчатский филиал  
Геофизической службы РАН