

## СИЛЬНЫЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ НА КАМЧАТКЕ В 2013 ГОДУ

Чебров В.Н., Викулина С.А., Дрознина С.Я., Иванова Е.И., Кравченко Н.М.,  
Кугаенко Ю.А., Матвеев Е.А., Митюшкина С.В., Раевская А.А.,  
Салтыков В.А., Сениуков С.Л., Чебров Д.В.

Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский, [salt@emsd.ru](mailto:salt@emsd.ru)

Сейсмическая активность на Камчатке в 2013 г. заметно повысилась. С января по сентябрь 2013 г. камчатской региональной сетью в ее зоне ответственности зафиксировано около 5 тыс. землетрясений, в том числе 13 с магнитудой  $M_C \geq 6.0$ . В статье рассматриваются наиболее интересные и значимые сейсмические события первой половины 2013 г. (таблица 1): землетрясение 28.02.2013 г. с магнитудой  $M_W = 6.8$ , которое произошло у южной оконечности п-ва Камчатка (рис.1), глубокое Охотоморское землетрясение 24.05.2013 г. с магнитудой  $M_W = 8.3$  (рис.2) и рой 18–22.05.2013 г. (рис.3), самый сильный из зарегистрированных камчатской региональной сетью за период детальных сейсмологических наблюдений с 1962 г. Приводятся результаты работы системы сейсмического мониторинга КФ ГС РАН в оперативном режиме, а также по регламентам службы предупреждения о цунами (СПЦ) и службы срочных донесений (ССД).

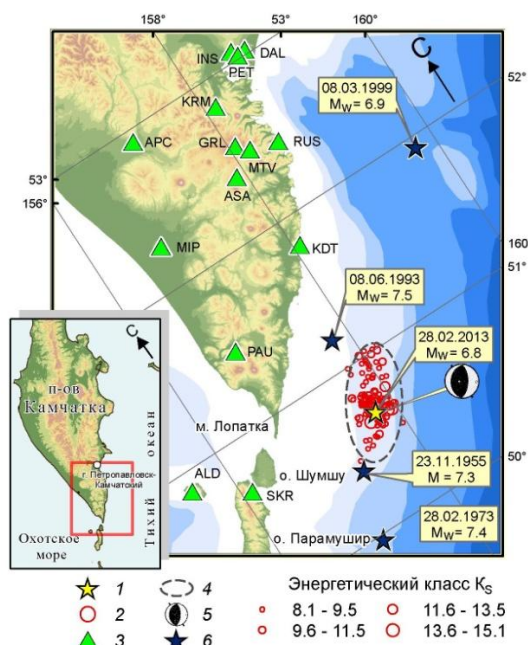


Рис. 1.

Схема расположения эпицентра землетрясения 28.02.2013 г. и его афтершоков с энергетическими классами  $K_S \geq 8.1$ .

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.

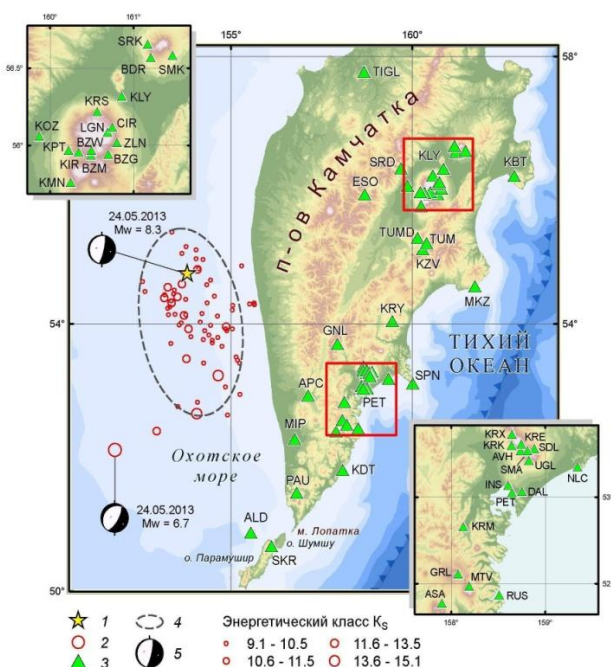


Рис. 2.

Схема расположения эпицентра землетрясения 24.05.2013 г. и его афтершоков с энергетическими классами  $K_S \geq 9.5$ .

1 – эпицентр землетрясения 24.05.2013 г.;  
2 – эпицентры афтершоков; 3 – сейсмические станции; 4 –  $2\sigma$ -эллипс аппроксимации зоны афтершоков; 5 – стереограммы механизмов очагов землетрясений по Global CMT.

*Сильное землетрясение 28.02.2013 г. 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  $M_W = 6.8$  [10]. 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.

Этот сегмент Курило-Камчатской дуги является одним из наиболее сейсмоактивных районов в Северо-западной части Тихого океана. Здесь неоднократно отмечались землетрясения с  $M \geq 8$ , вызывавшие цунами и интенсивность сотрясений до 9 баллов по шкале MSK-64 на юге Камчатки [1, 7]. Последние землетрясения с магнитудой  $M \geq 7.0$  были зарегистрированы в районе Северных Курил в 1955 г. (23.11.1955 г.  $M = 7.3$  [7]) и в 1973 г. (28.02.1973  $M_w = 7.4$  [3]), а у побережья Южной Камчатки – в 1993 г. (08.06.1993 г.  $M_w = 7.5$  [3]) и в 1999 г. (08.03.1999 г.  $M_w = 6.9$ ). Этот район входит в обширную очаговую область сильнейшего катастрофического Камчатского землетрясения 04.11.1952 г.  $M_w = 9.0$  [3] и, вероятно, в очаговую область первого исторического землетрясения Камчатки 17.10.1737 г.  $M_w = 9.2$  [2], описанного С.П. Крашенинниковым [1, 3].

Дежурная смена Регионального информационно-обрабатывающего центра ГС РАН «Петропавловск» (РИОЦ) приступила к обработке землетрясения 28.02.2013 г. 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 и осуществлена рассылка срочных донесений по установленному списку адресов (ГУ МЧС России по Камчатскому краю; ССД ГС РАН 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.

За три месяца, прошедшие после землетрясения 28.02.2013 г., в его очаговой области зарегистрированы около 200 землетрясений с энергетическим классом в диапазоне  $K_s = 5.8 - 15.1$ , 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 не более 1 суток. По конфигурации облака афтершоков проведена оценка размеров очага землетрясения 28.02.2013 г.: длина 90 км, ширина 40 км. Интересной особенностью наблюдавшейся афтершоковой последовательности является соединение черт, присущих как роевой, так и афтершоковой активности [10]. Афтершоки выделялись программно по методике [6].

В оперативном режиме собрана макросейсмическая информация о проявлениях землетрясения на территории Камчатского края и Северных Курил. 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 (<http://www.emsd.ru/lisopool/poll.php>). Землетрясение ощущалось в 34 населенных пунктах, расположенных на полуострове 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 [5]. Площадь макросейсмического воздействия составила  $\sim 56\,000\text{ км}^2$ .

Землетрясение 28.02.2013 г. и его афтершоки внесли заметное возмущение в уровень сейсмичности Камчатки: в течение 3 месяцев, начиная с 28.02.2013 г., на юге Камчатки выделилось  $3.1 \times 10^{15}$  Дж сейсмической энергии. Отметим, что за все время детальных сейсмологических наблюдений (с 1961 г.) в течение года во всей сейсмофокальной зоне Камчатки бо́льшая сейсмическая энергия выделялась только дважды: в 1971 г. и 1997 г.

*Глубокое Охотоморское землетрясение 24.05.2013 г. с магнитудой  $M_w = 8.3$  – сильнейшее сейсмическое событие у берегов Камчатки за период детальных сейсмологических наблюдений*

24 мая 2013 года в 05 час 44 мин по Гринвичу (в 17 час 44 мин по местному времени) в Охотском море, к западу от п-ва Камчатка, произошло сильное землетрясение с магнитудой  $M_w = 8.3$  [9]. Это сильнейшее землетрясение, зарегистрированное в районе Камчатки за годы детальных сейсмологических наблюдений (с 1961 г. по настоящее время) и самое сильное в мире землетрясение среди событий сопоставимой глубины. Эпицентр землетрясения 24.05.2013 г. находился примерно в 360 км к северо-западу от г. Петропавловска-Камчатского. Землетрясение произошло на глубине 630 км, что соответствует предельному диапазону глубин для сейсмических событий.

Оно ощущалось в Камчатском крае с интенсивностью до 5–6 баллов, в Южно-Сахалинске, Охе, Магадане, Хабаровске, Благовещенске, Красноярске, Новосибирске, Томске, Кемерово, Казани – до 2–3 баллов, в Москве, Санкт-Петербурге, Нижнем Новгороде, Самаре, Калуге – до 2 баллов, а также в ряде стран Азии и Северной Америки.

Последние сильные глубокие землетрясения в этом районе Охотского моря произошли 05.07.2008 г. на глубине 665 км с  $M_w = 7.7$  и 24.11.2008 г. на глубине 564 км с  $M_w = 7.3$ .

РИОЦ «Петропавловск» приступил к обработке землетрясения при срабатывании сигнала тревоги на станции «Карымшина» (KRM). Обработка проводилась в сложных условиях, так как сила сотрясений в рабочем помещении достигала 4-5 баллов. Ниже приведена повременная раскладка действий дежурной смены РИОЦ по выполнению функций ССД и СПЦ (здесь и далее время приводится по Гринвичу).

*05 час 46 мин 10.7 сек. Сигнал тревоги - срабатывание сигнализации на регистрацию сильного землетрясения на станции «Карымшина» (вступление P-волны).*

*05 час 46 мин 11.6 сек. Вступление волны P на станции «Петропавловск».*

*05 час 47 мин 23.5 сек. Вступление волны S на станции «Петропавловск».*

*05 час 47 мин 12 сек, через 1 мин после сигнала тревоги. Передача сообщения «РЕГИСТРИРУЕТСЯ СИЛЬНОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ!» в Центр цунами ФБГУ «Камчатское УГМС» (Росгидромет).*

*05 час 50 мин, через 4 мин после сигнала тревоги. Предварительная оценка района очага землетрясения ( $\Delta = 3.2^\circ$ , Охотское море), оценка координат землетрясения по сети станций и первая энергетическая оценка.*

*05 час 54 мин, через 8 мин после сигнала тревоги. Уточненная оценка района очага и параметров землетрясения ( $\Delta = 360$  км,  $M_S = 6.7$ ,  $M_{SPS} = 8.0$ ,  $M_L = 7.5$ ,  $M_{S20} = 7.2$ , координаты:  $54.5083$  град. с.ш.,  $153.8046$  град. в.д., глубина  $H = 694$  км) и рассылка информации по установленному списку адресов (ГУ МЧС России по Камчатскому краю; ССД ГС РАН, ССД КФ ГС РАН, ССД Сахалинского филиала ГС РАН и др.).*

Тревога цунами не объявлялась по решению оператора, т.к. гипоцентр землетрясения имел глубину свыше 600 км.

Необходимо отметить заметное различие в оценках магнитуд землетрясения, полученных в рамках ССД и СПЦ и при последующей камеральной обработке. Такая ситуация вызвана сложным характером сейсмической записи, что связано с большой глубиной сейсмического события. На относительно близких к очагу сейсмических станциях Камчатки поверхностные волны, по которым оценивается магнитуда  $M_s$ , принятая в СПЦ на Дальнем Востоке России для оценки цунамигенного потенциала землетрясения, практически еще не сформировались (глубина землетрясения превышает эпицентральное расстояние до сейсмических станций Камчатки). На более удаленных пунктах наблюдения получены классические записи землетрясения: на них отчетливо выделяются поверхностные волны. Однако в целях ССД и СПЦ для сокращения времени принятия решения при обработке в первую очередь используются ближайшие к эпицентру станции, что в случае глубокого близкого землетрясения может привести к ошибкам.

Таким образом, обработка землетрясения по регламентам ССД и СПЦ заняла около 8 мин, что соответствует утвержденным временным рамкам. РИОЦ «Петропавловск» в сложной ситуации показал удовлетворительную точность оценок параметров землетрясения в целях СПЦ в оперативном режиме.

Землетрясение сопровождалось последовательностью афтершоков, что нетипично для столь глубоких землетрясений. Произошло около 50 афтершоков, превышающих по энергии порог представительности каталога, который составил для афтершоковой зоны по энергетическому классу  $K = 9.5$  (по магнитуде  $M_l = 4.0$ ). Особенностью афтершоковой последовательности является стадийность с различным характером протекания афтершокового процесса. Последовательность афтершоков глубокого землетрясения 24.05.2013 г. разбивалась на несколько фаз, две первых из которых характеризуются постоянной, но различной скоростью сейсмического потока, а третья соответствует быстро затухающему афтершоковому режиму [9]. По облаку афтершоков сделана оценка размеров очага землетрясения 24.05.2013 г.: длина 300 км, ширина 170 км, диапазон глубин от 425 до 720 км.

По данным Global CMT событие 24.05.2013 г.  $M_w = 8.3$  имеет сбросовую дислокацию в очаге. Одна из возможных плоскостей разрыва имеет крутое падение ( $\text{dip} = 79^\circ$ ) и северо-северо-восточное простирание ( $\text{strike} = 13^\circ$ ). По ней произошел сброс ( $\text{slip} = -90^\circ$ ). По альтернативной

пологозалегающей ( $\text{dip} = 11^\circ$ ) нодальной плоскости, простирающейся в юго-юго-западном направлении ( $\text{strike} = 191^\circ$ ) также наблюдается сброс ( $\text{slip} = -92^\circ$ ).

Основные уникальные особенности глубокого землетрясения 24.05.2013 г.:

- тектоническая позиция: северо-восточный торцевой край Курило-Южно-Камчатского сегмента погружающейся Тихоокеанской плиты [4];
- наличие афтершоков, глубина которых достигает максимально возможной для известных на Земле землетрясений;
- аномальная дальность макросейсмических проявлений.

Таблица 1. Параметры землетрясений по результатам оперативной обработки и данным ведущих мировых сейсмологических центров.

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>	
					$M_C$	$M_I$	$M_W$	$M_S$	$M_W$	$m_b$	$M_S$	$m_b$
<i>Землетрясение 28.02.2013 г. и его сильнейшие афтершоки</i>												
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>
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>
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>
04.03.2013	20:56:33.7	50.63 157.66	50	13.6	5.7	6.1				5.3		5.4
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
<i>Глубокое Охотоморское землетрясение 24.05.2013 г. и его сильнейший афтершок</i>												
24.05.2013	05:44:47.04	54.75 153.78	630	17.0	7.4	7.8	8.3	8.3	8.3		7.7	7.4
24.05.2013	14:56:29.76	52.11 151.80	642	15.0	5.8	6.8	6.7	6.8	6.8 <sup>4</sup>	6.7	7.0	5.8
<i>Наиболее сильные землетрясения роя 18 – 22 мая 2013 г. (<math>M_I \geq 6.0</math>)</i>												
19.05.2013	18:44	52.01 160.69	50	13.7	6.4	6.1	5.9	6.1	5.9		6.3	6.2
19.05.2013	22:38	52.08 160.65	42	13.4	5.8	6.0						5.6
19.05.2013	22:40	52.18 160.67	39	13.5		6.0				5.0		5.5
21.05.2013	1:55	52.22 160.89	58	13.6	6.3	6.1	6.0	6.0	6.0			6.1
21.05.2013	3:08	52.18 160.63	43	13.9	6.0	6.2	5.8	5.8	5.7			6.2
21.05.2013	5:43	52.05 160.49	48	14.4	6.3	6.5	6.1	6.1	6.1			6.2

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>).  $M_I$  - локальная магнитуда;  $M_C$  - магнитуда по коде;  $M_W$  - моментная магнитуда;  $M_S$  - магнитуда по поверхностной волне Релея;  $m_b$  - магнитуда по объемным волнам.

#### *Сильнейший камчатский рой землетрясений*

18 – 22 мая 2013 г. к юго-востоку от г. Петропавловска-Камчатского на расстоянии 150 – 190 км произошел рой землетрясений в диапазоне магнитуд 2.1 – 6.4. За это время в районе роя зарегистрировано около 350 событий с  $K_S \geq 8.5$  (570 с  $K_S \geq 7.5$ ). 40 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. 19 – 21 мая в рое произошли 6 землетрясений с магнитудой 6.0 и более. По этому параметру рой стал наиболее сильным на Камчатке за время детальных сейсмологических наблюдений с 1962 г.

При оперативной обработке происходящих землетрясений возникла необходимость ввода приоритета по энергетическому порогу в связи с большой интенсивностью сейсмического потока. Поэтому в оперативном режиме были обработаны землетрясения с классом  $K \geq 9.5$  за 21.05 и 24.05 и с классом  $K \geq 8.5$  за 22.05, 23.05, 25 – 27.05. При снижении потока землетрясений были обработаны все пропущенные события. Для каталога землетрясений роя уровень представительности составил  $K = 6.9$ , что соответствует расчетным значениям.

В течение 19 – 21.05 поток землетрясений в рое шел приблизительно с постоянной скоростью, а 22.05 произошел переход в режим снижающейся во времени скорости потока землетрясений, что обычно соответствует афтершоковому характеру сейсмического процесса.

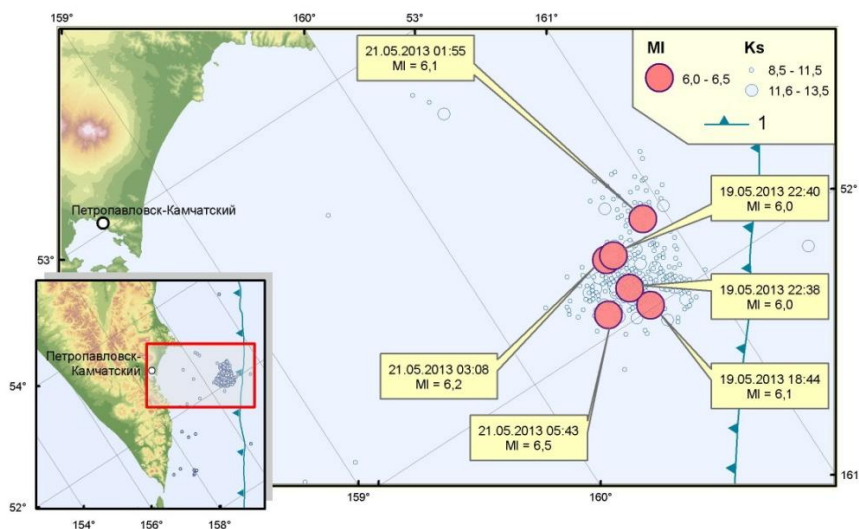


Рис.3. Схема расположения эпицентров землетрясений роя 18 – 22 мая 2013 г. Выделены эпицентры сейсмических событий, для которых локальная магнитуда  $M_l \geq 6.0$ .

Сильные землетрясения 2013 г. – первые сейсмические события такой магнитуды в районе Камчатки, которые были зарегистрированы системой сейсмологических наблюдений нового поколения, созданной КФ ГС РАН в 21 веке [8]. Система обеспечила оценку параметров землетрясений Службами срочных донесений и предупреждения о цунами в рамках утвержденных регламентов и оперативную обработку афтершоковых последовательностей и многочисленных землетрясений роя. Описанные землетрясения подтвердили готовность системы сейсмологических наблюдений Камчатки к сильным сейсмическим событиям.

### Список литературы

1. Годзиковская А.А. Сводка макросейсмических сведений по землетрясениям Камчатки (доинструментальный и ранний инструментальный периоды наблюдений) // Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2010. 134 с.
2. Гусев А.А., Шумилина Л.С. Повторяемость сильных землетрясений Камчатки в шкале моментных магнитуд // Физика Земли. 2004. № 3. С. 34-42.
3. Крашенинников С.П. Описание земли Камчатки. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1949. 840 с.
4. 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.
5. Медведев С.В., Шпонхойер В., Карник В. Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. М.: МГК АН СССР, 1965. 11 с.
6. Молчан Г.Н., Дмитриева О.Е. Идентификация афтершоков: обзор и новые подходы // Вычислительная сейсмология. 1991. Вып. 24. С. 19-50.
7. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. М.: Наука, 1977. 536 с.
8. Чебров В.Н., Дрозин Д.В., Кугаенко Ю.А. и др. Система детальных сейсмологических наблюдений на Камчатке в 2011 г. // Вулканология и сейсмология. 2013. № 1. С. 18-40.
9. Чебров В.Н., Кугаенко Ю.А., Викулина С.А. и др. 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. 2013. № 1. Вып. 21. С.17-24.
10. Чебров В.Н., Кугаенко Ю.А., Викулина С.А. и др. Землетрясение 28.02.2013 г.  $M_w=6.8$  по данным оперативной обработки // Вестник КРАУНЦ. 2013. № 1. Вып. 21. С.9-16.