

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 $M_w = 8.3$. (рис. 1). Это сильнейшее землетрясение, зарегистрированное в районе Камчатки за годы детальных сейсмологических наблюдений, начиная с 1961 г.

Эпицентр землетрясения 24.05.2013 г. находился ~ 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 сопровождалось последовательностью афтершоков, что нетипично для столь глубоких землетрясений.

Параметры землетрясения и его сильнейшего афтершока – координаты и энергетические характеристики по данным различных обрабатывающих центров России и мира – приведены в табл. 1.

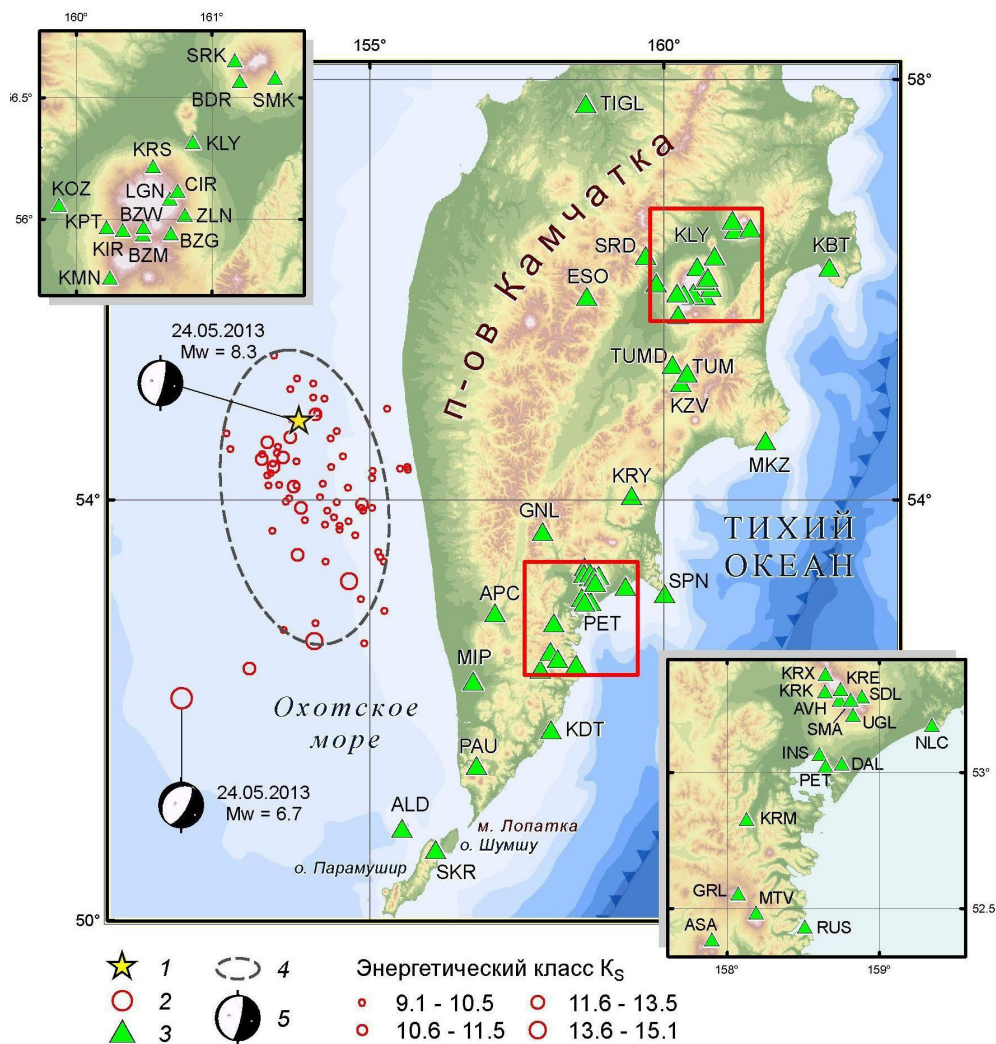


Рис. 1. Схема расположения эпицентра землетрясения 24.05.2013 г. и его афтершоков с энергетическими классами $K_s \geq 9.5$, что соответствует уровню надежной регистрации камчатской региональной сети для этого района Охотского моря: 1 – эпицентр землетрясения 24.05.2013 г.; 2 – эпицентры афтершоков; 3 – сейсмические станции; 4 – 2σ -эллипс аппроксимации зоны афтершоков; 5 – стереограммы механизмов очагов землетрясений по Global CMT.

Таблица 1. Параметры глубокого Охотоморского землетрясения 24.05.2013 г. $M_w = 8.3$ и его сильнейшего афтершока $M_w = 6.7$.

Дата д. м. г.	Время ч : м : с	φ° , с.ш. λ° , в.д.	h, км	K_s	М А Г Н И Т У Д А							
					КФ ГС РАН		Global CMT ¹		NEIC (USGS) ²		Обнинск ³	
					M_c	M_L	M_w	M_s	M_w	m_b	M_s	m_b
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 ⁴	6.7	7.0	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.

По данным Геофизической службы РАН (ГС РАН) землетрясение 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. Предварительную информацию о макросейсмических проявлениях этого землетрясения в ряде стран Азии можно найти на сайте Геологической службы США <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/usb000h4jh#dyfi>.

Примеры записи землетрясения 24.05.2013 г. широкополосными сейсмическими станциями представлены на рис. 2.

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 $M_w = 7.3$. (Землетрясения..., 2010)

О ТЕКТОНИЧЕСКОЙ ПОЗИЦИИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

В соответствии с тектоно-географическими критериями (Левина и др., 2013) Курило-Камчатская зона субдукции разделяется по простиранию на два сегмента: Курило-Южно-Камчатский и Северо-Камчатский. Граница между ними проходит в районе Авачинского залива и далее по падению погружающейся Тихоокеанской плиты. Многочисленные геологические и сейсмологические данные подтверждают различие в возрасте возникновение субдукции на этих двух (современных) сегментах. Наблюдаемые сейсмофокальные зоны достигают в южном и северном сегментах принципиально разных глубин, соответственно 650–700 км на юге и только 350–400 км на севере. Глубокое землетрясение 24.05.2013 г. произошло практически на указанной поперечной

границе, точнее на северо-восточном торцевом краю Курило-Южно-Камчатского сегмента погружающейся Тихоокеанской плиты. Севернее гипоцентра на соответствующих землетрясению глубинах современная погружающаяся плита, по-видимому, отсутствует, поскольку проявления сейсмичности здесь заканчиваются значительно ближе к земной поверхности.

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

Региональный информационно-обрабатывающий центр (РИОЦ) «Петропавловск» Камчатского филиала ГС РАН (КФ ГС РАН) приступил к обработке землетрясения при срабатывании сигнала тревоги (при превышении регистрируемым сейсмическим сигналом заданного уровня) на станции «Карымшина» (KRM). Обработка проводилась в сложных условиях, так как сила сотрясений в рабочем помещении достигала 4–5 баллов. Повременная раскладка действий дежурной смены РИОЦ по выполнению функций Службы срочных донесений (ССД) и Службы предупреждения о цунами (СПЦ) (здесь и далее время приводится по Гринвичу) выглядит следующим образом:

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

– 05 час 46 мин 11.6 сек. Вступление волны Р 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

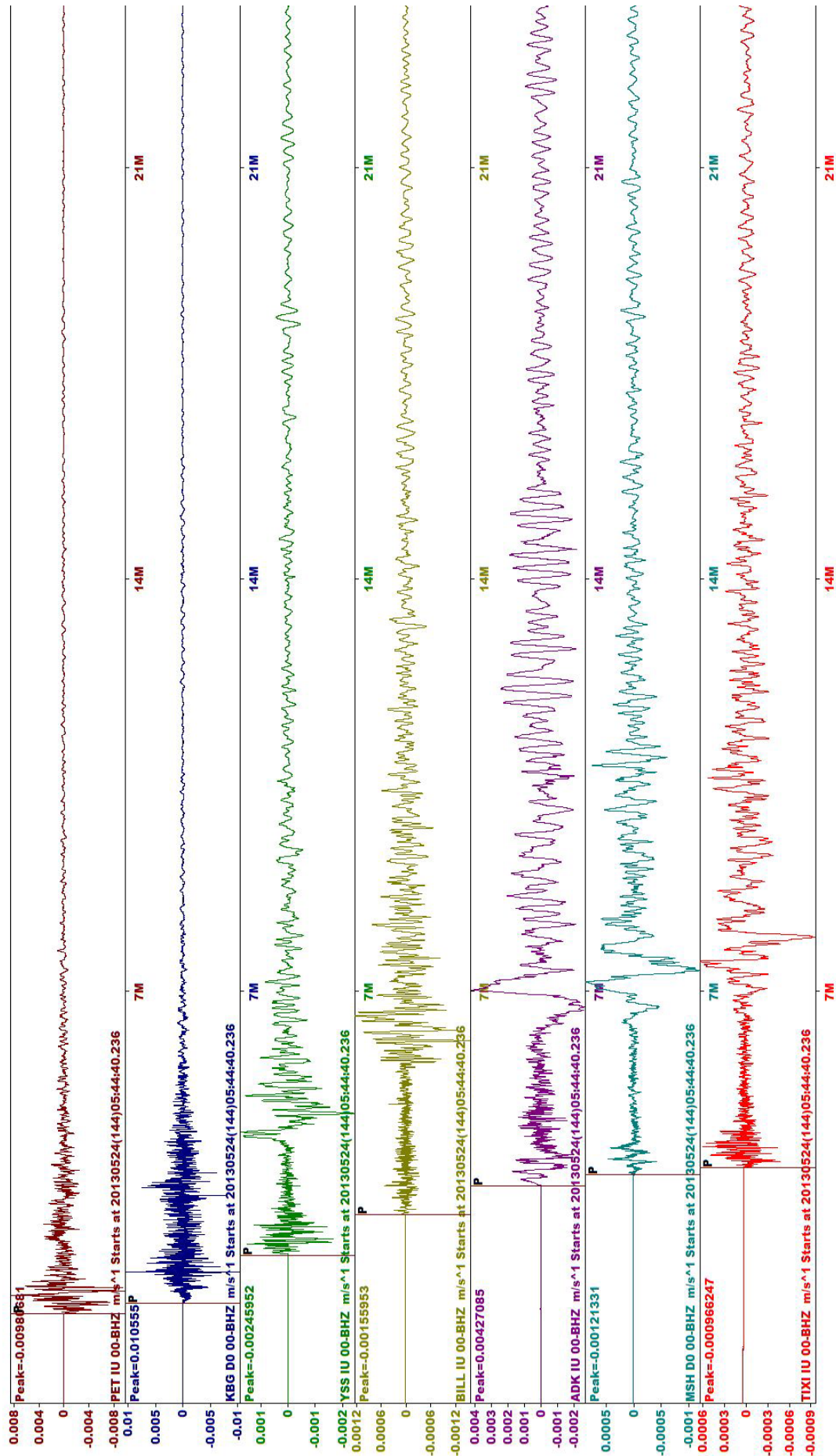


Рис.2. Примеры записей землетрясения 24.05.2013 г. широкополосными сейсмическими станциями (вертикальные каналы): PET – «Петропавловск»; KBG – «Крутоберегов»; YSS – «Южно-Сахалинск»; BILL – «Билибино»; ADK – «Адьяк»; MSH – «Мыс Шульца»; TIXI – «Тикси».

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 минут 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: 54.51° с. ш., 153.80° в. д., глубина $H=694$ км) и рассылка информации по установленному списку адресов (ГУМЧС России по Камчатскому краю; Росгидромет, ССД ГС РАН, ССД КФ ГС РАН, ССД Сахалинского филиала ГС РАН и др.).

Тревога цунами не объявлялась по решению дежурной смены, так как 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 (рис. 2), что связано с большой глубиной сейсмического события. На относительно близких к очагу сейсмических станциях Камчатки (например, РЕТ и КВГ на рис. 2) 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 эпицентрально-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 ~ 8 минут, что соответствует утвержденным временным рамкам (по действующему регламенту СПЦ – не более 10 минут при эпицентрально-расстоянии до 1000 км). РИОЦ «Петропавловск» в сложной ситуации показал удовлетворительную точность оценок параметров землетрясения в целях СПЦ в оперативном режиме.

ОСОБЕННОСТИ АФТЕРШОКОВОГО ПРОЦЕССА

Одной из особенностей глубокого землетрясения 24.05.2013 г. является появление афтершоков.

За 10 дней, прошедших после землетрясения 24.05.2013 г., в его очаговой области зарегистрированы ~ 70 сейсмических событий с энергетиче-

ским классом $K_s = 9.0-11.8$ (K_s – энергетический класс по (Федотов, 1972)) в диапазоне глубин 425-720 км, которые выделялись программно по методике (Молчан, Дмитриева, 1991). Уровень надежной регистрации камчатской региональной сети для района землетрясения составляет $K_{мин} = 9.5$ (рис. 3). При последующем анализе были использованы 58 землетрясений с учетом уровня надежной регистрации.

На рис. 1 облако эпицентров афтершоков с $K_s \geq 9.5$ оконтурено 2 σ -ым эллипсом рассеяния, что позволяет формально оценить размер очага землетрясения 24.05.2013 г.: длина 300 км, ширина 170 км.

Афтершоковый процесс землетрясения 24.05.2013 г. имеет сложный характер. На графике повторяемости наблюдается разрыв шириной 5 классов в распределении землетрясений по энергии между основным событием и его афтершоками (рис. 3). Наличие подобного разрыва является типичным для афтершоковых последовательностей сильных поверхностных землетрясений и землетрясений промежуточной глубины. Но в данном случае, когда нам неизвестны другие примеры возникновения афтершоков у таких глубоких землетрясений, говорить о «типичном» не приходится.

Кумулятивный график числа афтершоков (рис. 4) имеет излом и показывает наличие двух временных интервалов, которые связаны с изменением характера сейсмической активизации в рассматриваемом районе.

Примерно через 9 час после основного события с $M_w = 8.3$ в 14 час 56 мин в Охотском море было зарегистрировано сильное землетрясение с $M_w = 6.7$. (далее – EQ2). Оно произошло за пределами очаговой области, оконтуренной облаком афтершоков (рис. 1), однако оказало

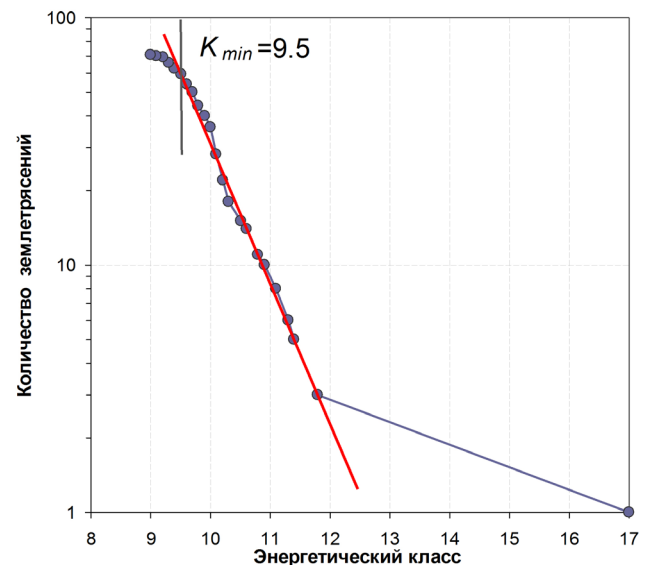


Рис. 3. График повторяемости для афтершоковой последовательности землетрясения 24.05.2013 г.

существенное влияние на афтершоковый процесс. Можно предположить его генетическую связь с процессами в очаге основного события с $M_w = 8.3$: именно после EQ2 наклон кумулятивного графика (рис. 4) резко уменьшился, причем до такой величины, что стало возможным говорить о тенденции к завершению афтершоковой последовательности в течение нескольких суток. Действительно, в течение первых трех суток после основного события произошло около 93% зарегистрированных к середине июня афтершоков, и ожидать существенного изменения этой величины при столь малом наклоне графика не приходится.

На временном интервале между основным событием и EQ2 наклон графика близок к первой степени (рис. 4а), что говорит о постоянной скорости сейсмического потока и, следовательно, сейсмический процесс соответствует роевой активизации. Кроме того, временной интервал между основным событием и EQ2 тоже делится на два участка, которые характеризуются постоянной скоростью сейсмического потока в пределах каждого из двух интервалов и резким изменением скорости сейсмического потока в три раза (рис. 4б).

Таким образом, последовательность афтершоков глубокого землетрясения 24.05.2013 г. разбивается на несколько фаз, две первых из которых характеризуются постоянной, но различной скоростью сейсмического потока, а третья соответствует быстро затухающему афтершоковому режиму.

МЕХАНИЗМ ОЧАГА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

По данным Global CMT землетрясения, произошедшие в мае 2013 г в Охотском море, возникли в условиях преобладания напряжений сжатия. Событие 24.05.2013 г. $M_w = 8.3$ имеет сбросовую дислокацию в очаге (рис.1). Одна из возможных плоскостей разрыва имеет крутое падение ($dip=79^\circ$) и северо-северо-восточное простирание ($strike=13^\circ$). По ней произошел сброс ($slip=-90^\circ$). По альтернативной пологозалегающей ($dip=11^\circ$) нодальной плоскости, простирющейся в юго-юго-западном направлении ($strike=191^\circ$) также наблюдается сброс ($slip=-92^\circ$).

В очаге EQ2 также произошла сбросо-сдвиговая подвижка. Более пологая ($dip=23^\circ$) нодальная плоскость простирается в юго-западном направлении ($strike=228^\circ$), по ней произошел левосторонний сдвиг ($slip=-73^\circ$). Альтернативная нодальная плоскость круто падает ($dip=68^\circ$) в северо-восточном направлении ($strike=29^\circ$). По ней произошел сброс с правосторонней сдвиговой компонентой ($slip=-97^\circ$).

МАКРОСЕЙСМИЧЕСКИЕ ПРОЯВЛЕНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ КАМЧАТСКОГО КРАЯ

Землетрясение имело макросейсмический эффект практически на всей территории п-ва Камчатка. КФ ГС РАН с помощью интернет-опросника, анкетирования и теле-

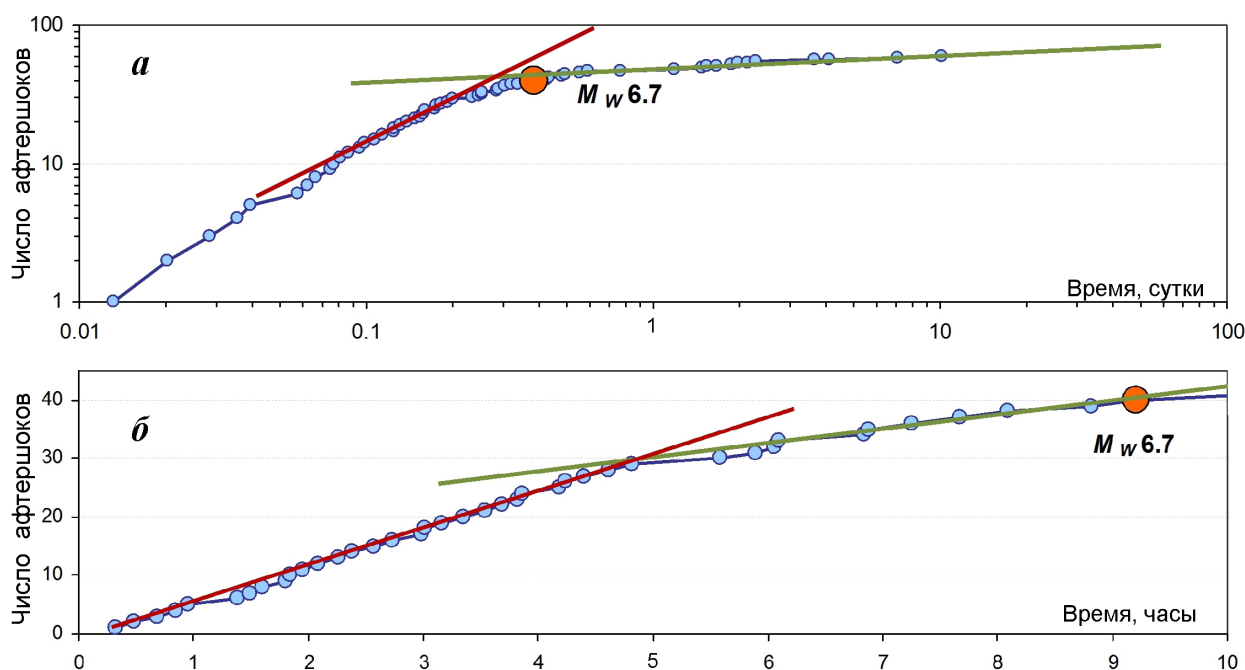


Рис. 4. Развитие афтершокового процесса землетрясения 24.05.2013 г. во времени в билогарифмическом (а) и линейном (б) масштабе. Приведены кумулятивные кривые числа афтершоков. Отмечено землетрясение с $M_w = 6.7$. Начало отсчета – время землетрясения 24.05.2013 г. с $M_w = 8.3$.

фонного опроса получены 128 сообщений из 57 населенных пунктов Камчатского края и Северных Курил. Оперативность получения информации была обеспечена предоставлением населению возможности сообщать о своих ощущениях on-line на сайте КФ ГС РАН <http://www.emsd.ru/Isopool/poll.php>: уже в течение первого часа после землетрясения через интернет-опросник поступило 20 сообщений из 10 населенных пунктов Камчатского края. Всего

же после землетрясения 24.05.2013 г. интернет-опросником воспользовались 75 респондентов из 15 населенных пунктов.

Макросейсмические проявления с интенсивностью сотрясений от 2 до 5-6 баллов по шкале MSK-64 (Медведев и др., 1965) зафиксированы в 47 пунктах, расположенных на расстоянии от 140 до 780 км от эпицентра (рис. 5, табл. 2).

Характерной особенностью землетрясения явилось его сильное физиологическое воздей-

Таблица 2. Макросейсмическая оценка землетрясения 24.05.2013 г. $M_w=8.3$.

№	Название пункта	Координаты		г, км	№	Название пункта	Координаты		г, км
		φ°, с.ш.	λ°, в.д.				φ°, с.ш.	λ°, в.д.	
	5-6 баллов				30	Никольское	55.20	165.98	1003
1	Маяк Круглый	52.07	158.30	759		3-4 балла			
	5 баллов				31	Усть-Большерецк	52.82	156.25	685
2	Октябрьский	52.67	156.22	690	32	Кавалерское	52.92	156.57	687
3	Петропавловск	53.02	158.65	732	33	Эссо	55.93	158.70	715
4	ГМС Кроноки	54.60	161.13	788	34	Долиновка (Мильково)	55.13	159.05	716
	4-5 баллов				35	Вулканный	53.09	158.34	721
5	Апача	52.93	157.13	697	36	Козыревск	56.06	159.87	752
6	Елизово	53.19	158.38	720	37	Седанка	57.73	158.27	764
7	Термальный	52.95	158.20	722	38	Ключи	56.31	160.85	791
8	Паратунка	52.97	158.25	723	39	Палана	59.10	159.95	878
9	Вилючинск	52.92	158.43	729		3 балла			
10	Рыбачий	52.93	158.52	731	40	Соболево	54.27	155.92	647
11	Атласово	55.64	159.53	735	41	ГМС Начики	53.12	157.73	705
12	Радыгина	53.11	158.85	735	42	Ковран	57.15	156.96	712
13	Погодный (Усть-Камчатск)	56.26	162.59	856	43	Лазо	55.54	159.75	741
14	Крутоберегово	56.26	162.71	861	44	ГМС Семячки	54.12	159.98	750
	4 балла				45	Ивашка	58.55	162.29	920
15	Крутогорово	55.03	155.90	645		2-3 балла			
16	Пушино	54.16	158.01	690	46	Карага	59.18	162.92	973
17	Шаромы	54.16	158.25	694		2 балла			
18	Ганалы	53.70	157.94	696	47	Оссора	59.25	163.06	981
19	Мильково	54.70	158.63	703		Не ощущалось			
20	Усть-Хайрюзоо	57.08	156.71	705	48	ГМС Ича	55.58	155.58	647
21	Раздольный	53.27	158.32	716	49	Хайрюзово	56.85	157.02	702
22	р. Карымшина (станция КФ ГС)	52.83	158.13	724	50	ГМС Водопадная	51.81	158.08	765
23	Новый	53.11	158.55	727	51	Мыс Шипунский	53.11	160.01	773
24	Институт	53.07	158.61	729	52	Мыс Лопатка	50.87	156.65	788
25	МГеоЭС-1	52.55	158.02	731	53	Воямполка	58.31	159.39	820
26	Запорожье	51.51	156.55	749	54	Лесная	59.48	160.57	917
27	Паужетка	51.47	156.81	756	55	ГМС мыс Озерной	57.65	163.23	918
28	Тигиль	57.77	158.66	775	56	Кострома	59.08	163.15	976
29	Северо-Курильск	50.67	156.10	792	57	Тымлат	59.48	163.17	997

Примечание: г – гипоцентральное расстояние.

ГЛУБОКОЕ ОХОТОМОРСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ

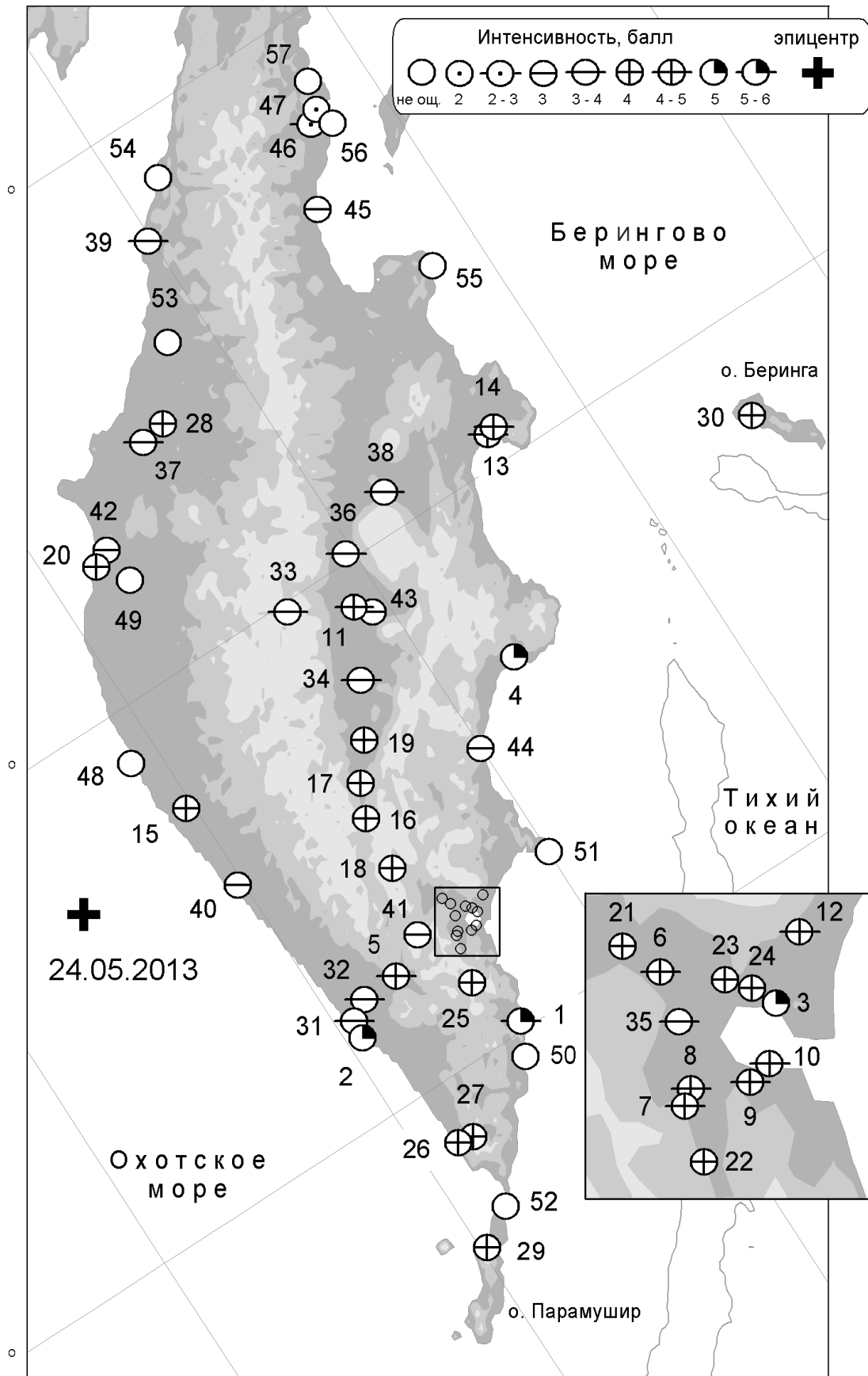


Рис. 5. Карта макросейсмического проявления землетрясения 24.05.2013 г. $M_w = 8.3$ в различных пунктах сбора макросейсмической информации на территории Камчатского края и Северных Курил. Номера пунктов на карте соответствуют табл. 2. На врезке – район г. Петропавловска-Камчатского.

ствие: многие жители Камчатки испытывали головокружение, сильно беспокоились домашние животные.

По данным ССД ГС РАН землетрясение ощущалось на расстояниях более 7000 км от эпицентра. Это одно из редких событий, имеющих макросейсмический эффект на телесейсмических расстояниях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

24.05.2013 г. под Охотским морем, в зоне ответственности камчатской региональной сейсмологической сети, на глубине 630 км зарегистрировано сильнейшее за годы детальных наблюдений (с 1961 г. по настоящее время) землетрясение с магнитудой $M_w = 8.3$.

Основные особенности глубокого землетрясения 24.05.2013 г.:

– тектоническая позиция: северо-восточный торцевой край Курило-Южно-Камчатского сегмента погружающейся Тихоокеанской плиты;

– наличие афтершоков, глубина которых достигает максимально возможной для известных на Земле землетрясений;

– аномальная дальность макросейсмических проявлений: землетрясение ощущалось на телесейсмических расстояниях во многих населенных пунктах России от Камчатки до территории Восточно-Европейской равнины, а также в странах Азии (Японии, Китае, Индии и др.).

В течение 8 минут с момента регистрации землетрясения в рамках ССД и СПЦ были оценены параметры землетрясения 24.05.2013 г., которые были разосланы в МЧС и соответствующие структуры.

В оперативном режиме собрана макросейсмическая информация о проявлениях землетрясения на территории Камчатского края и проведена обработка афтершоковой последовательности, особенностью которой является стадийность с различным характером протекания афтершокового процесса.

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.

В Камчатском крае землетрясение ощущалось с силой до 5-6 баллов и не вызвало разрушений.

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

Список литературы

- 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.
- 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.
- Землетрясения России в 2008 году. Обнинск: ГС РАН, 2010. 224 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.
- В.Н. Чебров, Ю.А. Кугаенко, С.А. Викулина, Н.М. Кравченко, Е.А. Матвеевко, С.В. Митюшкина, А.А. Раевская, В.А. Салтыков, Д.В. Чебров,*
Камчатский филиал
Геофизической службы РАН;
Ландер А.В.,
Международный Институт
теории прогноза землетрясений и
математической геофизики РАН