

**ОХОТОМОРСКОЕ-I ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 5 июля 2008 г. с  $M_w=7.7$ ,  $I_0=5$  и  
ОХОТОМОРСКОЕ-II ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 24 ноября 2008 г. с  $M_w=7.3$ ,  $I_0=5$  (Охотское море)**

**А.Ю. Чеброва, С.В. Митюшкина, Е.И. Иванова, Е.М. Гусева**

Камчатский филиал ГС РАН,  
Петропавловск-Камчатский, ayuch@emsd.ru

В 2008 г. в акватории Охотского моря в сейсмофокальной зоне Южной Камчатки произошло два сильных землетрясения с глубинами более 500 км. Эти события оказались первыми глубокими землетрясениями с  $M \geq 6$  у юго-западного побережья Камчатки с начала детальных сейсмологических наблюдений в 1962 г. Подобные сильные глубокие землетрясения проявляются на больших эпицентральных расстояниях. Так, например, событие с магнитудой  $M_w=7.3$ , произошедшее 28 июня 2002 г. на глубине  $h \approx 570$  км в провинции Цзилинь на северо-востоке Китая, ощущалось на расстояниях до 2000 км [1]. Для глубоких Охотоморских землетрясений 2008 г. впервые была получена показательная картина макросейсмического воздействия не только на Камчатке, но и на соседних территориях (Магадан, Япония и др.).

**Инструментальные данные.** Сводка определений параметров Охотоморских землетрясений, полученных из различных источников, приведена в табл. 1 и 2, а на рис. 1 показано их положение в плане.

**Таблица 1.** Основные параметры Охотоморских землетрясений 5 июля 2008 г. в 02<sup>h</sup>12<sup>m</sup> и 24 ноября 2008 г. в 09<sup>h</sup>03<sup>m</sup> по данным различных сейсмологических агентств

Агентство	$t_0$ , ч мин с	$\delta t_0$ , с	Гипоцентр						Магнитуда	Источник
			$\varphi^\circ$ , N	$\delta\varphi^\circ$	$\lambda^\circ$ , E	$\delta\lambda^\circ$	$h$ , км	$\delta h$ , км		
Охотоморское-I, 5 июля										
KRSC	02 12 06.4	1.1	53.82	0.09	153.53	0.20	610	14	$Kc=15.7/14$ , $Mc=6.9/1$	[2]
MOS	02 12 02.3	0.9	53.92	0.07	152.90	0.04	615		$MS=6.5/10$ , $MPSP=6.9/122$	[3]
ISC	02 12 06.1	0.1	53.95	0.02	152.86	0.01	646 646*	1.6*	$m_b=6.6/520$	[1]
IDC	02 12 04.0	0.8	53.91	0.07	153.03	0.05	627	9	$m_b=5.9/27$	[1]
NEIC	02 12 04.5	0.2	53.88	0.02	152.89	0.02	633	3	$m_b=6.8/263$ , $ME=7.5$ , $M_w=7.7$	[4]
GCMТ	02 12 14.2		54.12		153.37		611	1	$M_w=7.7$	[5]
Охотоморское-II, 24 ноября										
KRSC	09 02 52.5	1.1	53.77	0.06	154.69	0.11	564	7	$Kc=15.2/19$ ; $Mc=6.7/1$	[2]
MOS	09 02 58.2	1.0	54.11	0.07	154.53	0.05	508		$MS=6.2/12$ , $MPSP=6./120$	[3]
ISC	09 03 00.0	0.1	54.22	0.02	154.29	0.01	505 505*	1	$m_b=6.5/632$	[1]
IDC	09 02 56.0	0.4	54.21	0.05	154.38	0.04	456	4	$m_b=5.7/49$	[1]
NEIC	09 02 58.8	0.3	54.20	0.02	154.32	0.02	492	3	$m_b=6.5/267$ , $ME=7.0$ , $M_w=7.3$	[4]
GCMТ	09 03 09.5	0.1	54.27		154.71		502	1	$M_w=7.3$	[5]

Примечание. «\*» – значение  $h$  по глубинным фазам  $pP$ ;  $Kc$ ,  $Mc$  – класс и магнитуда по кода-волнам [6, 7]. Расшифровка кодов агентств дана в условных обозначениях к наст. сб.

Положения гипоцентров Охотоморских землетрясений, полученные Камчатским филиалом Геофизической службы РАН (КФ ГС РАН) [2] по данным региональной сети сейсмических станций, отличаются от определений мировых сейсмологических центров на 40–60 км. Действительно, локация событий, расположенных под Охотским морем, довольно неустойчива в связи с односторонним расположением сети станций, их значительным удалением от эпицентров, а также особенностями распространения сейсмических волн по волноводу сейсмофокаль-

ной зоны. Наблюдаемое смещение камчатских эпицентров относительно мировых типично, но находится в пределах допустимого [8].

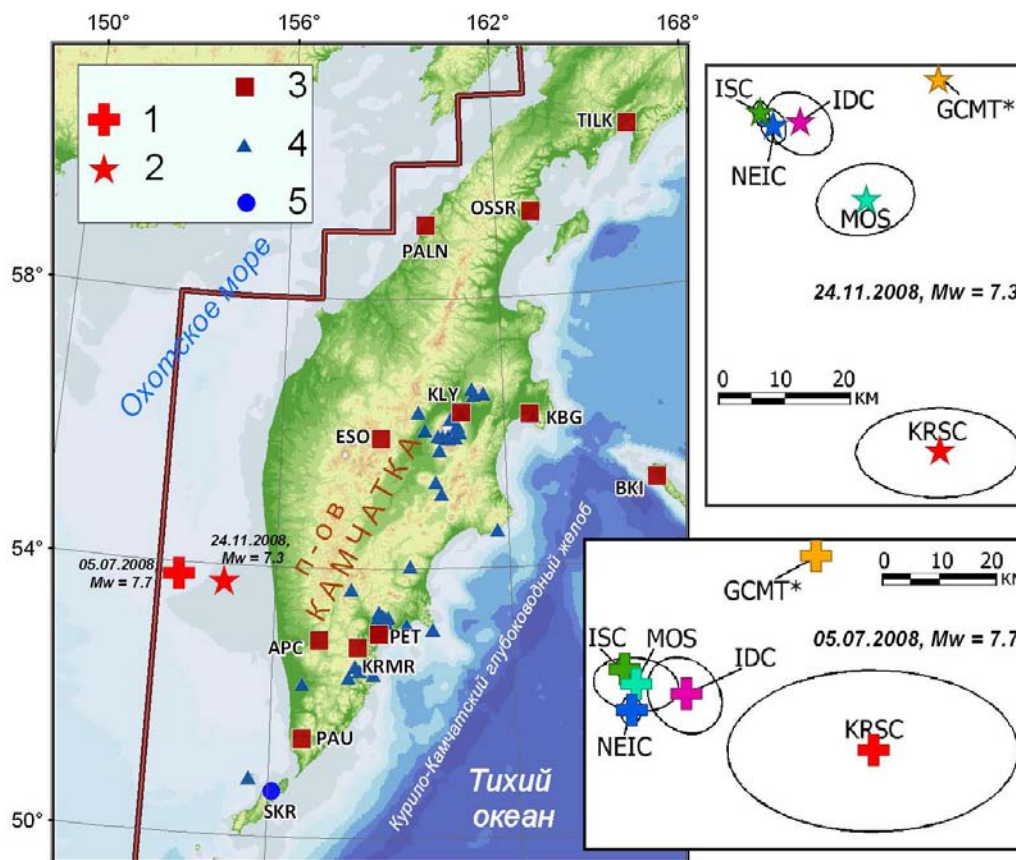


Рис. 1. Местоположение эпицентров землетрясений 5 июля и 24 ноября 2008 г. по данным различных сейсмологических агентств

1, 2 – инструментальный эпицентр Охотоморского-I и Охотоморского-II землетрясения соответственно; 3, 4 – сейсмические станции региональной Камчатской сети, стационарная цифровая и радиотелеметрическая соответственно; 5 – станция Сахалинского филиала ГС РАН; на врезках приведены решения эпицентров Охотоморских землетрясений и эллипсы ошибок по данным соответствующих агентств (табл. 1).

Согласно делению сейсмичности Камчатки на зоны [9], землетрясения 5 июля и 24 ноября 2008 г. произошли в северной части сейсмофокальной зоны Курил и Южной Камчатки, в ее глубоком слое ( $h \geq 350$  км). Первое землетрясение (15) зарегистрировано 5 июля в 02<sup>h</sup>12<sup>m</sup> в точке с координатами  $\varphi=53.819^\circ\text{N}$ ,  $\lambda=153.53^\circ\text{E}$  и глубиной  $h=610.4 \pm 14.3$  км. Второе событие (28) от 24 ноября в 09<sup>h</sup>03<sup>m</sup> располагалось восточнее ( $\varphi=53.765^\circ\text{N}$ ,  $\lambda=154.694^\circ\text{E}$ ) и на меньшей глубине  $h=564.1 \pm 6.7$  км (рис. 1). В результате выхода записи S-волны за пределы динамического диапазона аппаратуры на большинстве станций сети для обоих землетрясений в каталоге КФ ГС РАН [2] нет оценок  $K_S$ . В качестве оценок величины землетрясений были получены энергетический класс  $K_c$  [6] и магнитуда  $M_c$  [7] по кода-волнам, которые составили  $K_c=15.7$ ,  $M_c=6.9$  и  $K_c=15.2$ ,  $M_c=6.7$  соответственно. При оценке величины сильных землетрясений традиционно отдается предпочтение магнитуде  $M_w$ , которая по данным каталога тензоров центров сейсмического момента GCMT [5] для обоих землетрясений оказалась значительно больше  $M_c$  в [2]: для первого землетрясения –  $M_w=7.7$  и для второго –  $M_w=7.3$ .

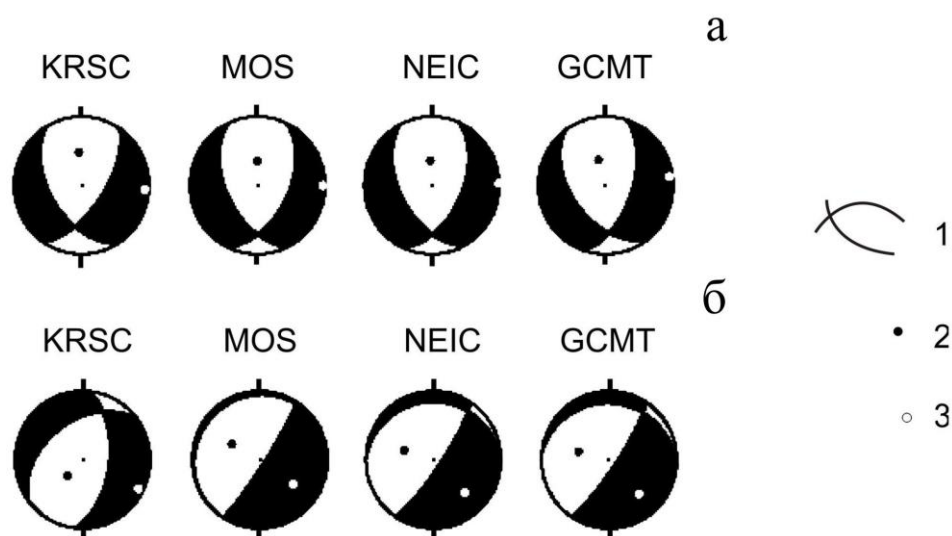
**Механизмы очагов** обоих землетрясений определены различными сейсмологическими агентствами (табл. 2). В КФ ГС РАН (KRSC) и Геофизической службе РАН (MOS) механизмы определены по данным первых вступлений. В качестве исходных данных в КФ ГС РАН используются знаки смещений первых вступлений P-волн на региональных станциях и на станциях мировых сетей [10]. В американских агентствах NEIC и GCMT определяется тензор сейсмического момента методом инверсии волновых форм, который считается более точным.

**Таблица 2.** Параметры механизмов очагов Охотоморских землетрясений 5 июля 2008 г. в 02<sup>h</sup>12<sup>m</sup> и 24 ноября 2008 г. в 09<sup>h</sup>03<sup>m</sup> по данным различных сейсмологических агентств

Агентство	Дата, д м	$t_0$ , ч мин с	$h$ , км	$Kc$	Магнитуды			Оси главных напряжений						Нодальные плоскости						Источник
					$M_w$ [5]	$M_c$ [2]	$M_S$ [3]	$T$		$N$		$P$		$NP1$			$NP2$			
								$PL$	$AZM$	$PL$	$AZM$	$PL$	$AZM$	$STK$	$DP$	$SLIP$	$STK$	$DP$	$SLIP$	
Охотоморское-I, 5 июля																				
KRSC	05.07	02 12 06.4	610	15.7		6.9		7	94	39	189	51	355	149	51	-144	34	63	-45	[10]
MOS	05.07	02 12 02.3	615				6.5 +0.8*	0	90	29	180	61	360	154	52	-128	26	52	-52	[3]
NEIC	05.07	02 12 04.5	633		7.7			0	88	29	178	60	356	152	51	-129	24	53	-52	[4]
GCMT	05.07	02 12 14.2	611		7.7			5	83	31	176	58	344	143	48	-134	18	58	-52	[5]
Охотоморское-II, 24 ноября																				
KRSC	24.11	09 02 52.5	564	15.2		6.7		8	117	25	23	64	224	233	43	-52	6	58	-120	[10]
MOS	24.11	09 02 58.2	508				6.2 +0.8*	38	126	4	34	51	299	242	7	-61	33	84	-94	[3]
NEIC	24.11	09 02 58.8	492		7.3			34	135	13	36	52	287	271	17	-34	34	81	-104	[4]
GCMT	24.11	09 03 09.5	502		7.3			34	138	16	36	51	285	276	19	-29	34	81	-106	[5]

Примечание. Знаком \* отмечена поправка +0.8 к значениям  $M_S$  глубоких землетрясений согласно [11].

Стереогаммы механизмов Охотоморского-I и Охотоморского-II землетрясений в проекции нижней полусферы показаны на рис. 2 и 3. Оба события возникли под действием напряжений растяжения субширотного (для I) и юго-восточного (для II) направлений. Картина дислокации в очагах, полученная разными сейсмологическими агентствами, соответствует типичной общей картине глубоких [12] субдукционных Камчатских землетрясений – сброс в результате опускания Тихоокеанской плиты в мантию.



**Рис. 2.** Стереогаммы механизмов очагов землетрясений 5 июля 2008 г. в 02<sup>h</sup>12<sup>m</sup> с  $M_w=7.7$  (а) и 24 ноября 2008 г. в 09<sup>h</sup>03<sup>m</sup> с  $M_w=7.3$  (б) по данным различных сейсмологических агентств

1 – нодальные плоскости; 2, 3 – оси напряжений сжатия и растяжения соответственно.

Для землетрясения 5 июля 2008 г. все представленные на рис. 2 а решения дают режим нормального сброса. Сходство стереогамм механизмов очага очевидно: оси напряжения сжатия близвертикальны ( $PL=51^\circ-61^\circ$ ) и направлены на север; обе нодальные плоскости простираются в субмеридиональном направлении. Сбросовая подвижка по обеим возможным плоскостям разрыва сопровождается незначительной сдвиговой компонентой. Стереогаммы землетрясения 24 ноября 2008 г. также похожи между собой (рис. 2 б). Нодальная плоскость  $NP1$  полого простирается в субширотном ( $STK_1=233^\circ-276^\circ$ ) направлении, по ней произошел

левосторонний сдвиг с элементами сброса. Плоскость разрыва  $NP2$  северо-восточного ( $STK_2=6^\circ-34^\circ$ ) простирается круто ( $DP_2=58^\circ-84^\circ$ ) падает на юго-восток, по ней наблюдается сбросовая подвижка с несущественной компонентой правостороннего сдвига. Оси напряжения растяжения направлены на юго-восток.

**Сильные движения** грунта от Охотоморских землетрясений 2008 г. получены по записям сети цифровых акселерографов. Подробная информация о конфигурации и комплектации этой сети станций представлена в статье по сейсмичности Камчатки и Командорских островов данного сборника [13]. В табл. 3 и 4 приведены пиковые ускорения и скорости грунтов Охотоморских землетрясений для тех станций, амплитуды записи ускорения на которых превысили значение  $0.5 \text{ см/с}^2$ . Также в табл. 3 и 4 представлены оценки инструментальной интенсивности, полученные с помощью соотношения (1), представленного в проекте российской сейсмической шкалы [14] в качестве дающего наилучший коэффициент корреляции между сейсмической интенсивностью и параметрами движения грунта:

$$I_{av} = 1.325 \cdot \lg(a_{\text{пик}} \cdot v_{\text{пик}}) + 2.83, \quad (1)$$

где  $I_{av}$  – инструментальная интенсивность сотрясений в баллах;  $a_{\text{пик}}$  – большее значение пикового ускорения на одной из горизонтальных компонент;  $v_{\text{пик}}$  – большее значение пиковой скорости на одной из горизонтальных компонент.

При Охотоморских землетрясениях 2008 г. наибольшие значения ускорения и скорости грунта были зафиксированы на станциях, расположенных на восточном побережье Камчатского полуострова, а не на ближайших от эпицентров землетрясений станциях. Особенности распределения интенсивности сотрясений, в том числе инструментальной, обсуждаются в следующем разделе о макросейсмических проявлениях исследуемых землетрясений. Акселерограммы землетрясений 5 июля и 24 ноября 2008 г. и их сглаженные спектры Фурье для станций, записавших эти события с наибольшей амплитудой по ускорению, показаны на рис. 3 и 4 соответственно. В первом случае наибольшее значение ускорения грунта на горизонтальной компоненте  $a_{\text{пик}}=30.2 \text{ см/с}^2$  было зафиксировано на N-компоненте акселерометра станции «Маяк Кроноцкий» (KRC). Во втором случае –  $a_{\text{пик}}=6.17 \text{ см/с}^2$  на N-компоненте акселерометра станции «Шипунский» (SPN).

**Таблица 3.** Пиковые значения ускорения и скорости грунта для станций, записавших землетрясение 5 июля 2008 г. в  $02^{\text{h}}12^{\text{m}}$  с  $M_w=7.7$  с амплитудой ускорения  $\geq 0.5 \text{ см/с}^2$

Название станции	Код с/ст	$\Delta$ , км	$R$ , км	Ком-по-нента	$a_{\text{пик}}$ , $\text{см/с}^2$	$v_{\text{пик}}$ , $\text{см/с}$	$I_{av}$ , балл	Название станции	Код с/ст	$\Delta$ , км	$R$ , км	Ком-по-нента	$a_{\text{пик}}$ , $\text{см/с}^2$	$v_{\text{пик}}$ , $\text{см/с}$	$I_{av}$ , балл	
Маяк Кроноцкий	KRC	565	831	E	25.8	1.71	5.1	Дачная	DCH	348	702	E	3.28	0.62	3.2	
				N	30.2	1.67						N	2.95	0.42		
				Z	16.06	0.93						Z	5.62	0.41		
Круто-берегово	KBG	643	886	E	17.8	1.86	5.1	Администрация	ADM	350	703	E	2.07	0.54	3.1	
				N	22.1	2.29						N	2.85	0.26		
				Z	10.4	1.31						Z	2.74	0.26		
Беринг	BKI	816	1019	E	7.14	1.20	4.8	Николаевка	NIC	330	693	E	2.51	0.63	3.1	
				N	16.4	1.91						N	2.61	0.35		
				Z	5.93	0.66						Z	2.36	0.24		
Рыбачий	RIB	346	702	E	2.63	0.36	3.7	Школа	SCH	354	705	E	2.16	0.43	3.0	
				N	5.05	0.917						N	2.96	0.48		
				Z	3.19	0.22						Z	5.19	0.404		
Институт	INS	346	701	E	4.27	0.66	3.4	Петропавловск	PET	350	704	E	2.05	0.51	2.9	
				N	3.81	0.52						N	1.67	0.34		
				Z	4.61	0.37						Z	2.36	0.27		
НИГТЦ	НИ	348	702	E	3.45	0.69	3.3									
				N	2.90	0.44										
				Z	3.28	0.34										

Примечание.  $\Delta$  – эпицентральное расстояние;  $R$  – гипоцентральное расстояние;  $a_{\text{пик}}$  – пиковое значение ускорения;  $v_{\text{пик}}$  – пиковое значение скорости,  $I_{av}$  – инструментальная интенсивность сотрясений.

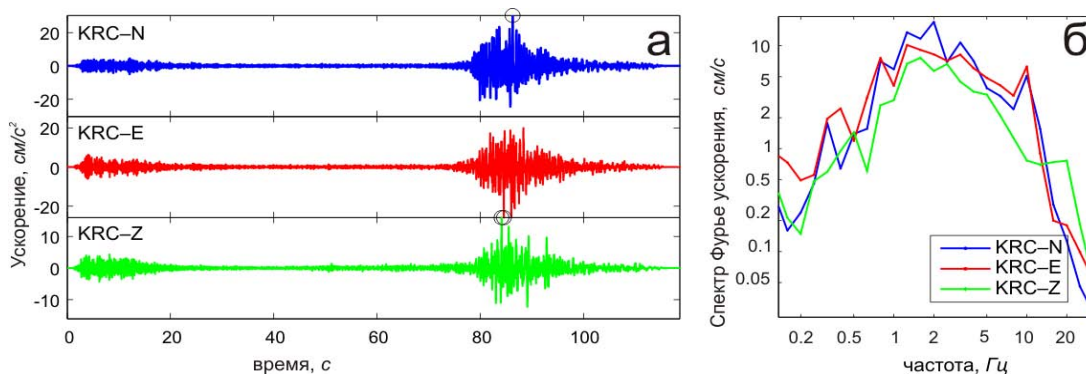
**Таблица 4.** Пиковые значения ускорения и скорости грунта для станций, записавших землетрясение 24 ноября 2008 г. в 09<sup>h</sup>03<sup>m</sup> с  $M_w=7.3$  с амплитудой ускорения  $\geq 0.5 \text{ см/с}^2$

Название станции	Код с/ст	$\Delta$ , км	$R$ , км	Ком-по-нента	$a_{\text{пик}}$ , $\text{см/с}^2$	$v_{\text{пик}}$ , $\text{см/с}$	$I_{\text{ав}}$ балл
Шипунский	SPN	360	669	E	5.70	0.204	3.0
				N	6.17	0.19	
				Z	11.14	0.33	
Рыбачий	RIB	239	615	E	2.06	0.25	2.9
				N	3.04	0.39	
				Z	2.12	0.27	
Институт	INS	271	626	E	2.27	0.50	2.9
				N	2.14	0.37	
				Z	2.14	0.37	
Дачная	DCH	273	627	E	2.23	0.44	2.8
				N	1.87	0.23	
				Z	2.02	0.24	
Беринг	BK1	745	935	E	1.74	0.23	2.8
				N	4.14	0.19	
				Z	1.80	0.13	
Николаевка	NIC	255	619	E	1.88	0.49	2.8
				N	1.51	0.33	
				Z	1.58	0.25	

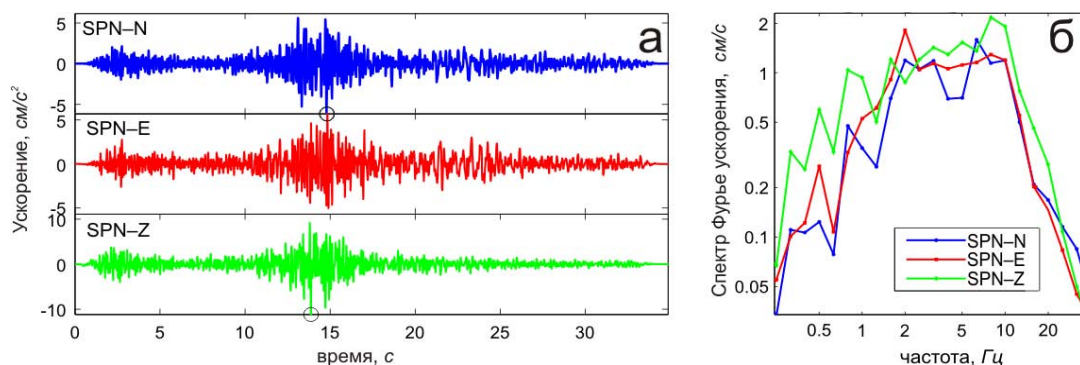
  

Название станции	Код с/ст	$\Delta$ , км	$R$ , км	Ком-по-нента	$a_{\text{пик}}$ , $\text{см/с}^2$	$v_{\text{пик}}$ , $\text{см/с}$	$I_{\text{ав}}$ балл
НИГТЦ	НИ	272	626	E	1.82	0.47	2.7
				N	1.72	0.34	
				Z	2.07	0.29	
Вилючинск	VIL	263	622	E	2.05	0.31	2.6
				N	1.66	0.31	
				Z	2.98	0.33	
Школа	SCH	279	629	E	1.65	0.28	2.4
				N	1.66	0.27	
				Z	2.74	0.22	
Администрация	ADM	275	627	E	1.33	0.22	2.2
				N	1.52	0.14	
				Z	1.77	0.28	
Петропавловск	PET	272	626	E	0.86	0.21	1.9
				N	0.95	0.14	
				Z	1.71	0.25	

Примечание. Обозначения см. в примечании к табл. 3



**Рис. 3.** Акселерограмма (а) землетрясения 5 июля 2008 г. в 02<sup>h</sup>12<sup>m</sup> с  $M_w=7.7$  и ее сглаженный спектр Фурье (б) по данным широкополосной сейсмической станции «Маяк Кроноцкий»



**Рис. 4.** Акселерограмма (а) землетрясения 24 ноября 2008 г. в 09<sup>h</sup>03<sup>m</sup> с  $M_w=7.3$  и ее сглаженный спектр Фурье (б) по данным широкополосной сейсмической станции «Шипунский»

**Макросейсмические данные** по Охотоморским событиям 5 июля и 24 ноября 2008 г. получены в основном из телефонного опроса жителей камчатских поселков и городов. Сведения с маяков и стационарных метеостанций собраны с помощью сотрудников гидрографии и Петропавловской гидрометеостанции. Информация по Магадану и Сахалинской области предоставлена геофизическими службами РАН Магаданского и Сахалинского филиалов. Также некоторые сведения об интенсивности сотрясений от этих землетрясений взяты из сейсмологических бюллетеней ГС РАН [3] и NEIC [4]. Поскольку землетрясения повреждений не вызвали, величина макросейсмической интенсивности  $I$  определялась по реакции людей и окружающих их предметов с использованием шкалы MSK-64 [15]. Перечень населенных пунктов с указанием их координат, интенсивности  $I$  и расстоянием до эпицентра  $\Delta$  приведены в табл. 5 и 6. Карты пунктов-баллов показаны на рис. 5 и 6.

**Таблица 5.** Пункты сбора макросейсмической информации об Охотоморских землетрясениях 5 июля и 24 ноября 2008 г. с  $M_w=7.7$  и  $M_w=7.3$

Название пункта	Координаты		№ пункта
	$\varphi^\circ$	$\lambda^\circ$	
Пункты в зоне ответственности КФ ГС РАН			
26 км Елизовского шоссе	53.14	158.48	1
Анавгай	56.06	158.96	2
Апача	52.93	157.13	3
Атласово	55.64	159.53	4
Вилючинск	52.92	158.43	5
Вулканный	53.09	158.34	6
Ганалы	53.70	157.94	7
ГМС Семячки	54.12	159.98	8
Елизово	53.19	158.38	9
Запорожье	51.51	156.55	10
Зеленый	53.28	158.18	11
Институт	53.07	158.61	12
Кавалерское	52.92	156.57	13
Карага	59.18	162.92	14
Ключи	56.31	160.85	15
Козыревск	56.06	159.87	16
Коряки	53.28	158.22	17
Кострома	59.08	163.15	18
Крутоберегово	56.26	162.71	19
Крутогорово	55.03	155.90	20
Лазо	55.54	159.75	21
Майское	56.24	160.05	22
Малка	53.35	157.46	23
Маяк Кроноцкий	54.75	162.10	24
Маяк Круглый	52.07	158.30	25
МГеоЭС-1	52.55	158.02	26
Мильково	54.70	158.63	27
Мыс Африка	56.17	163.22	28
Мыс Шипунский	53.11	160.01	29
Николаевка	53.05	158.35	30
Никольское	55.20	165.98	31
Озерновский	51.49	156.50	32
Октябрьский	52.67	156.22	33
Оссора	59.25	163.06	34
Паратунка	52.97	158.25	35
Паужетка	51.47	156.81	36
Петропавловск	53.02	158.65	37

Название пункта	Координаты		№ пункта
	$\varphi^\circ$	$\lambda^\circ$	
Пушино	54.16	158.01	38
Р. Карымшина (станционар КФ ГС)	52.83	158.13	39
Раздольный	53.27	158.32	40
РНС Подгорная	50.17	155.58	41
Рыбачий	52.93	158.52	42
Северо-Курильск	50.67	156.10	43
Сокоч	53.16	157.65	44
Таежный	55.27	159.37	45
Усть-Большерецк	52.82	156.25	46
Усть-Камчатск	56.22	162.47	47
Усть-Хайрюзово	57.08	156.71	48
Шаромы	54.42	158.25	49
Эссо	55.93	158.70	50
Другие пункты Российской Федерации			
Бошняково	49.67	142.17	51
Комсомольск-на-Амуре	50.55	137.00	52
Краснополье	48.94	142.21	53
Лесогорское	49.44	142.12	54
Магадан	59.57	150.80	55
Никольское (Сахалин)	48.99	142.13	56
Оха	53.60	142.95	57
Поречье	48.88	142.00	58
Углегорск	49.08	142.07	59
Хабаровск	48.48	135.07	60
Холмск	47.06	142.05	61
Шахтерск	49.15	142.10	62
Южно-Сахалинск	46.95	142.73	63
Япония			
Северный Хоккайдо			64
Восточный Хоккайдо			65
Юго-западный Хоккайдо			66
Акита, о. Хонсю	39.72	140.11	67
Аомори, о. Хонсю	40.82	140.75	68
Иватэ, о. Хонсю	39.97	141.21	69
Мияги, о. Хонсю	38.35	140.97	70
Токио, о. Хонсю	35.67	139.77	71
Ямагата, о. Хонсю	38.25	140.33	72

Таблица 6. Макросейсмические сведения об Охотоморских землетрясениях 5 июля и 24 ноября 2008 г. с  $M_w=7.7$  и  $M_w=7.3$

№	Название пункта	$\Delta$ , км	№ пункта	№	Название пункта	$\Delta$ , км	№ пункта
5 июля 2008 г. в 02 <sup>h</sup> 12 <sup>m</sup> , $M_w=7.7$							
<u>5 баллов</u>							
1	Маяк Круглый	375	25	41	Ямагата, о. Хонсю <sup>2</sup>	2002	72
2	Маяк Кроноцкий	567	24	42	Токио, о. Хонсю <sup>2</sup>	2283	71
<u>4–5 баллов</u>				<u>Не ощущали</u>			
3	Октябрьский	220	33	43	Малка	265	23
4	Паратунка	328	35	44	Ганалы	291	7
5	Институт	347	12	45	Пушино	296	38
6	Мыс Шипунский	437	29	46	Зеленый	314	11
<u>4 балла</u>				47	Шаромы	315	49
7	Озерновский	328	32	48	Мильково	346	27
8	Паужетка	343	36	49	Эссо	406	50
9	Ключи	543	15	50	Усть-Хайрюзово	415	48
10	Усть-Камчатск	630	47	51	Анавгай	428	2
<u>3–5 баллов</u>				52	Атласово	436	4
11	Петропавловск	351	37	53	Лазо	444	21
<u>3–4 балла</u>				54	Козыревск	476	16
12	Усть-Большерецк	212	46	55	Карага	829	14
13	Апача	259	3	56	Кострома	832	18
14	Р. Карымшина (стационар КФ ГС)	325	39	57	Оссора	841	34
15	Магадан <sup>1</sup>	662	55	58	Бошняково <sup>3</sup>	908	51
16	Северный Хоккайдо <sup>2</sup>	1600–1700	64	24 ноября 2008 г. в 09 <sup>h</sup> 03 <sup>m</sup> , $M_w=7.3$			
17	Восточный Хоккайдо <sup>2</sup>		65	<u>4 балла</u>			
18	Мияги, о. Хонсю <sup>2</sup>	1968	70	1	Кавалерское	156	13
<u>3 балла</u>				2	Апача	187	3
19	Елизово	329	9	3	Запорожье	281	10
20	МГеоЭС-1	331	26	4	ГМС Семячки	349	8
21	Вилючинск	341	5	5	Магадан	689	55
22	Рыбачий	346	42	<u>3–4 балла</u>			
23	РНС Подгорная	430	41	6	Крутогорово	161	20
24	Крутоберегово	646	19	7	Сокоч	207	44
25	Мыс Африка	672	28	8	Зеленый	237	11
26	Шахтерск <sup>3</sup>	946	62	9	Раздольный	247	40
27	Углегорск <sup>3</sup>	953	59	10	Николаевка	256	30
28	Краснополье <sup>3</sup>	955	53	11	26 км Елизовского шоссе	261	1
29	Никольское (Сахалин) <sup>3</sup>	956	56	12	Озерновский	281	32
30	Поречье <sup>3</sup>	971	58	13	Северо-Курильск	358	43
<u>2–3 балла</u>				14	Никольское	747	31
31	Северо-Курильск	392	43	<u>3 балла</u>			
32	Южно-Сахалинск <sup>4</sup>	1081	63	15	Пушино	222	38
33	Холмск <sup>4</sup>	1106	61	16	Коряки	240	17
34	Комсомольск-на-Амуре <sup>4</sup>	1183	52	17	Паратунка	252	35
35	Хабаровск <sup>4</sup>	1415	60	18	Елизово	253	9
<u>2 балла</u>				19	МГеоЭС-1	260	26
36	Оха <sup>4</sup>	698	57	20	Вилючинск	266	5
37	Лесогорское <sup>3</sup>	926	54	21	Институт	271	12
38	Аомори, о. Хонсю <sup>2</sup>	1732	68	22	Рыбачий	271	42
39	Иватэ, о. Хонсю <sup>2</sup>	1797	69	23	Петропавловск	276	37
40	Акита, о. Хонсю <sup>2</sup>	1865	67	24	Мильково	277	27
				25	Маяк Круглый	307	25
				26	Усть-Камчатск	567	47
				<u>2–3 балла</u>			
				27	Усть-Большерецк	148	46
				28	Октябрьский	159	33

№	Название пункта	$\Delta$ , км	№ пункта	№	Название пункта	$\Delta$ , км	№ пункта
<u>2 балла</u>							
29	Восточный Хоккайдо <sup>2</sup>		65	35	Вулканный	254	6
30	Юго-западный Хоккайдо <sup>2</sup>		66	36	Паужетка	293	36
31	Аомори, о. Хонсю <sup>2</sup>	1777	68	37	Таежный	346	45
32	Иватэ, о. Хонсю <sup>2</sup>	1839	69	38	Эссо	352	50
33	Мияги, о. Хонсю <sup>2</sup>	2007	70	39	Лазо	381	21
<u>Не ощущали</u>							
34	Шаромы	244	49	40	Козыревск	419	16
				41	Майское	439	22
				42	Ключи	484	15

Примечание: <sup>1</sup> – данные предоставлены Магаданским филиалом ГС РАН; <sup>2</sup> – данные бюллетеней Национального информационного центра США (NEIC) [4]; <sup>3</sup> – данные Сахалинского филиала ГС РАН; <sup>4</sup> – данные сейсмологических бюллетеней ГС РАН [3].



Рис. 5. Карта пунктов-баллов землетрясения 5 июля 2008 г. в 02<sup>h</sup>12<sup>m</sup> с  $M_w=7.7$

**Особенности распределения макросейсмике Охотоморских землетрясений.** Из-за большой глубины землетрясения 5 июля и 24 ноября по отношению к их магнитуде имели не столь значительный по силе макросейсмический эффект. Однако область ощутимости этих событий достаточно велика.



Землетрясение 5 июля 2008 г. вызвало наибольшие сотрясения – от 4 до 5 баллов – в населенных пунктах Камчатки, расположенных на восточном и юго-западном побережьях полуострова ( $\Delta=212\text{--}672$  км). Максимальная интенсивность сотрясений  $I=5$  баллов была отмечена на маяках Кроноцком и Круглом восточного побережья полуострова (п. 24 и 25 в табл. 5 и 6 и на рис. 6). В пунктах центральной Камчатки (п. 2, 4, 7, 16, 21, 23, 27, 38, 49, 50,  $\Delta=265\text{--}476$  км), в Усть-Хайрюзово на северо-западном побережье Камчатки (п. 48,  $\Delta=415$  км) и на Камчатском перешейке (п. 14, 18, 34,  $\Delta=829\text{--}841$  км) землетрясение не ощущалось. По данным, полученным из различных источников, упомянутых ранее, землетрясение 5 июля 2008 г. вызвало в Магадане ( $\Delta=662$  км) колебания с  $I=3\text{--}4$  балла, в населенных пунктах о. Сахалин ( $\Delta=698\text{--}1106$  км) – толчки с интенсивностью от 2 до 3 баллов, в Комсомольске-на-Амуре ( $\Delta=1183$  км) и в Хабаровске ( $\Delta=1415$  км) – сотрясения с  $I=2\text{--}3$  балла. Кроме того, землетрясение ощущалось в населенных пунктах японских островов Хонсю и Хоккайдо, расположенных на расстояниях 1600–2200 км от эпицентра с  $I=I\text{--}II$  по шкале [16] или  $I=2$  и 3–4 балла по шкале MSK-64 [15]. Соотношение между шкалами интенсивности MSK-64 и JMA дано в [17], интересующие нас интенсивности соответствуют следующим образом: I JMA → 2 балла MSK-64; II → 3–4 балла.

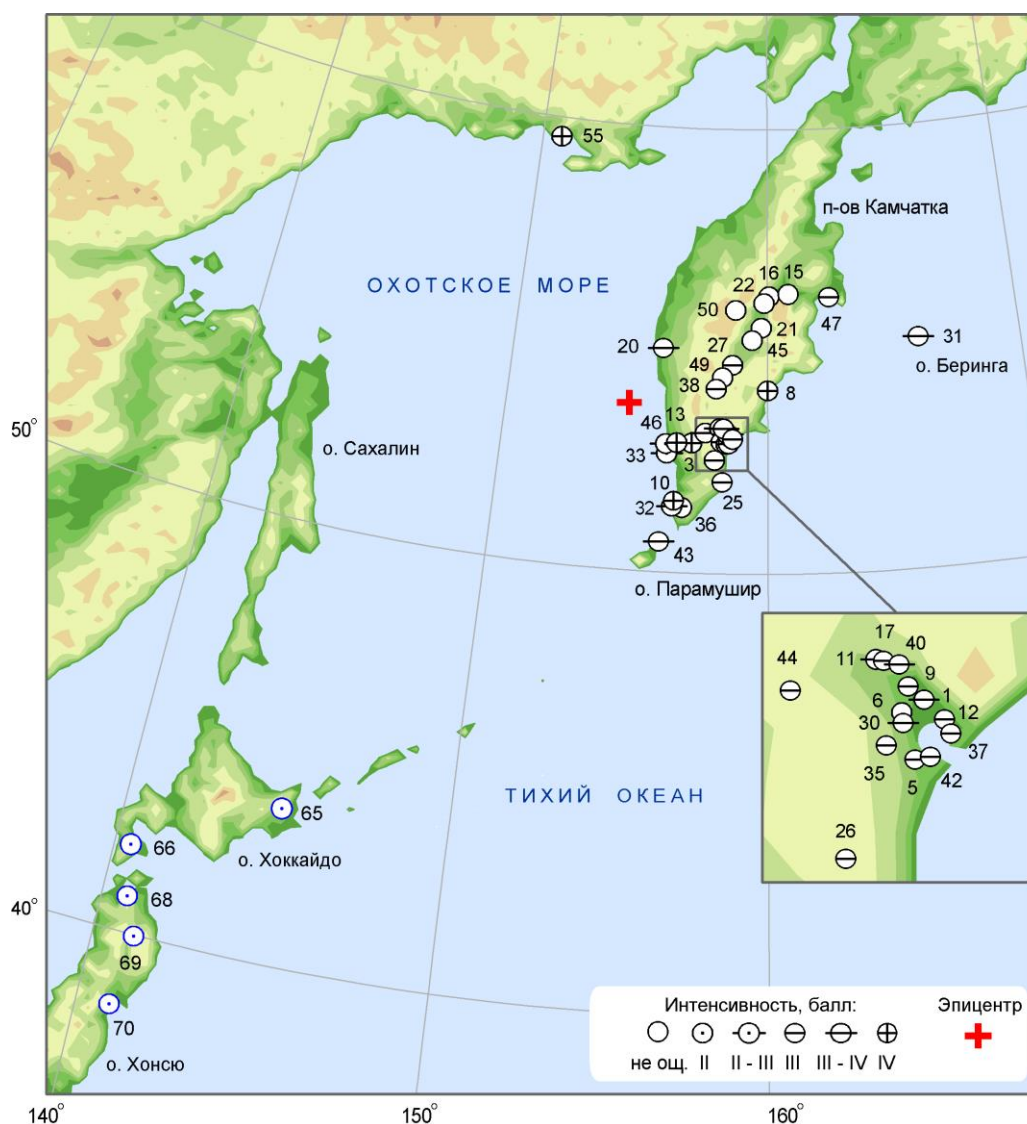


Рис. 6. Карта пунктов-баллов землетрясения 24 ноября 2008 г. в  $09^h03^m$  с  $M_w=7.3$

Землетрясение 24 ноября 2008 г. имело похожий, но более слабый макросейсмический эффект. На Камчатке самые сильные сотрясения с  $I=4$  балла зафиксированы в пос. Кавалерское и Запорожье на западном побережье, в пос. Апача и на восточном побережье на ГМС Семячки

(п. 13, 10, 3, 8 в табл. 5, 6 и на рис. 6). В большинстве пунктов центральной Камчатки ощущения, как и для предшествующего землетрясения, отсутствовали, кроме Пушино и Мильково (п. 38, 27), в которых отмечены колебания с  $I=3$  балла. Землетрясение 24 ноября, как и событие 5 июля, ощущалось в Магадане ( $\Delta=689$  км) с  $I=4$  балла, (описание приводится ниже). А также оно проявилось на территории Японии [4] на расстояниях до 2000 км от эпицентра с интенсивностью  $I=I$  JMA или  $I=2$  балла по шкале MSK-64.

Полученные картины макросейсмических проявлений Охотоморских землетрясений 2008 г. иллюстрируют сразу несколько аномалий наблюдаемого макросейсмического поля.

*Во-первых*, наблюдаются аномально высокие интенсивности в отдаленных от инструментального эпицентра пунктах. Согласно уравнению макросейсмического поля для поверхностных землетрясений Камчатки из [18]

$$I = 1.5 MLH - 2.63 \lg h - 0.0087 h + 2.5 \quad (2)$$

ни одно из событий с  $M=7.7$  не должно ощущаться на эпицентральных расстояниях  $\Delta > 600$  км. В случае Охотоморского-I землетрясения интенсивность сотрясений  $I=3-4$  балла зафиксирована на расстояниях  $\Delta > 2000$  км. Аномально высокие интенсивности, наблюдаемые на больших расстояниях при глубоких землетрясениях, по сравнению с мелкофокусными, по-видимому, объясняются присутствием для последних начального участка трассы с высоким поглощением.

*Во-вторых*, наблюдается аномальное распределение интенсивности сотрясений на территории Камчатки. Самые высокие баллы ( $I=5$ ), либо пиковые ускорения, были зафиксированы на станциях маяк Кроноцкий, Крутоберегово, Беринг (табл. 3) и в пунктах маяк Круглый и маяк Кроноцкий (п. 25, 24 табл. 6), наиболее близко расположенных к глубоководному Курило-Камчатскому желобу. Последние наблюдения наиболее ярко выражены для Охотоморского-I землетрясения. Подобная особенность глубоких землетрясений характерна для островных дуг и впервые была замечена еще в начале XX в. для событий сейсмофокальной зоны в Японии [19]. По мере накопления данных был сделан вывод, что это явление обеспечивается крупными неоднородностями среды в районах островных дуг. На Камчатке впервые эта особенность была четко продемонстрирована макросейсмическими данными, полученными для Тумрокских землетрясений 2003 и 2004 гг. [20], произошедших на глубине около 200 км.

*Третья* особенность проявления Охотоморских землетрясений 2008 г. – аномально низкие, по сравнению с общей макросейсмической картиной, интенсивности проявления в центральной Камчатке. Известно, что для заднего фронта вулканических цепей по всему миру, в том числе и на Камчатке [21], характерны низкие скорости распространения волн. Вероятно, в этой области присутствует заметное поглощение сейсмических волн, в результате чего Охотоморские землетрясения практически не ощущались.

Еще одной общей чертой Охотоморских землетрясений 2008 г. был характер ощущавшихся колебаний: плавные и долгие по времени, они сильно напугали многих жителей полуострова. Далее представлено подробное описание макросейсмических проявлений землетрясений в населенных пунктах Камчатского края, Северных Курил, Углегорского района Сахалинской области и в г. Магадан.

#### **Охотоморское-I землетрясение 5 июля 2008 г.**

**$I=5$  баллов.** *Маяк Круглый*,  $\Delta=375$  км. Смотритель маяка с семьей в испуге покинули одноэтажное мелкоблочное здание (постройка 1965 г., в удовлетворительном состоянии). Кошка выскочила из дома через форточку. Собаки выбежали из кунгов на улицу и завывали. В здании дребезжали посуда, стекла окон, скрипела мебель, колебались всяческие предметы, замечено повреждение штукатурки – образовались тонкие трещины. За 5–7 с до землетрясения был слышен рокочущий подземный гул. Землетрясение продолжалось по времени очень долго – 2 мин 20 с. По своему характеру дрожание неравномерное, с периодическим затуханием в течение первой минуты, затем прекратилось на 1–2 с и началось с новой силой.

*Маяк Кроноцкий*,  $\Delta=567$  км. Люди в испуге покинули здание (одноэтажное жилое шлакоблочное здание удовлетворительного состояния). В доме предметы сдвигались с места, падали предметы на столе.

**$I=4-5$  баллов.** *Октябрьский*,  $\Delta=220$  км. На четвертом этаже пятиэтажного панельного дома сильно колебались всяческие предметы. У женщины, сидевшей на диване, было ощущение,

что диван «поехал». На пятом этаже этого же дома плескалась вода в унитазе. Колебания ощущались около 2 мин.

*Паратунка,  $\Delta=328$  км.* Люди в испуге выходили на улицу. На втором этаже пятиэтажного панельного дома сильно раскачивались всякие предметы, тряслась мебель, открывались межкомнатные двери. В деревянных одноэтажных домах землетрясение ощущалось слабее: колебались всякие предметы, дрожала мебель. Колебания ощущались около 1.5 мин.

*Институт вулканологии (Петропавловск-Камчатский),  $\Delta=347$  км.* В пристройке к основному зданию, в кабинете на втором этаже, слышался скрип стекла и дерева со стороны перегородки, металлические стеллажи раскачивались и стукались друг о друга, столы качались, мониторы на столах колебались. Колонки от компьютера двигались по столу. Высокие цветы сильно раскачивались. В связи с большой продолжительностью землетрясения (2–3 мин) возник испуг. Колебания нарастали плавно, имели низкую частоту. В целях безопасности люди открыли двери и встали в дверной проем.

*Мыс Шипунский,  $\Delta=437$  км.* Землетрясение замечено в состоянии покоя в двухэтажном шлакоблочном здании (постройка 1963 г., в удовлетворительном состоянии). Дребезжала посуда, колебались всякие предметы. Колебания были такой интенсивности, что люди в испуге покинули помещение. Землетрясение продолжалось около 8 с, затем, через 2–3 мин, снова дрожание около 5 с.

***I=4 балла.*** *Озерновский,  $\Delta=328$  км.* Землетрясение замечено на первом этаже деревянного дома. Лежавший мужчина ощутил раскачивание дивана под ним. Было ощущение как от идущей рядом тяжелой техники. Верхушка высокого цветка раскачивалась с амплитудой до 10 см. Довольно сильно качалась люстра. Колебания продолжались в течение 5–10 с.

*Паужетка,  $\Delta=343$  км.* Отдельные люди в поселке землетрясения не заметили, в то же время некоторые ощутили его сильно. На втором этаже двухэтажного крупноблочного дома довольно сильно качалась люстра. Долгое плавное раскачивание продолжалось 2–4 мин.

*Ключи,  $\Delta=543$  км.* В деревянном одноэтажном доме тряслось белье, висевшее на веревках, дрожали жалюзи на окнах, чувствовалось общее сотрясение здания, как от движения тяжелой техники. Колебания продолжались около 1.5 мин.

*Усть-Камчатск,  $\Delta=630$  км.* На втором этаже четырехэтажного крупноблочного дома скрипела и тряслась мебель, сильно колебались всякие предметы. Метался и пытался выбежать на улицу кот. Жительница квартиры испугалась, включила радио, открыла входную дверь. Колебания продолжались около минуты.

***I=3–5 баллов.*** *Петропавловск-Камчатский,  $\Delta=351$  км.* В южной части города наблюдались только слабые колебания всяких предметов на верхних этажах пятиэтажных зданий. Некоторые жители в этом районе землетрясения не почувствовали. В центре города в кафе «Бистро», на втором этаже двухэтажного панельного здания, дрожали стулья и предметы, расположенные на них. Подвешенные к потолку тяжелые лампы раскачивались с амплитудой около 5 см. Колебания продолжались около 20 с. В северо-восточной части города на верхнем этаже пятиэтажного панельного дома качались неустойчивые полки и люстра, дребезжали оконные стекла, в емкостях на столе плескалась вода, слегка сдвигались легкие неустойчивые предметы. Кот в испуге бегал по квартире. Колебания были плавными и продолжались около 15 с.

***I=3–4 балла.*** *Усть-Большерецк,  $\Delta=212$  км.* На третьем этаже пятиэтажного дома слегка колебались всякие предметы, ощущалось общее легкое сотрясение здания. Колебания продолжались около 10 с.

*Апача,  $\Delta=259$  км.* На четвертом этаже панельного пятиэтажного дома слегка раскачивались всякие предметы, ощущалось общее легкое сотрясение здания. Колебания продолжались около 20 с. Водитель, ремонтировавший во дворе стоящую на домкрате машину, заметил, что ее слегка качнуло.

*Р. Карымшина (стационар КФ ГС),  $\Delta=325$  км.* На первом и втором этажах двухэтажного деревянного дома слегка дрожало белье на веревке, ощущалось общее легкое сотрясение здания. Колебания продолжались около 20 с.

*Магадан,  $\Delta=662$  км.* Землетрясение ощущалось на разных этажах панельных и кирпичных зданий. Ощущалось дрожание столов, диванов. Наблюдалось заметное колебание всяких

предметов, веточек комнатных растений, сильно раскачивался монитор на столе (3-й этаж). На пятом этаже в шкафу дребезжали стеклянные дверцы и посуда. На первом этаже зафиксировано колебание стола и цветов на подоконнике.

**I=3 балла.** *Елизово*,  $\Delta=329$  км. Землетрясение ощущалось не всеми жителями города. На верхнем этаже четырехэтажного крупноблочного здания ощущалось общее легкое сотрясение здания, слегка колебались всяческие предметы. Колебания продолжались 1.5–2 мин.

*Мутновская ГеоЭС-1*,  $\Delta=331$  км. На втором этаже бетонного двухэтажного здания, стоящего на сваях, дрожали листочки комнатных цветов. Всяческие лампы в здании отсутствуют. Колебания продолжались около 30 с.

*Вилючинск*,  $\Delta=341$  км. Землетрясение ощущалось отдельными людьми. На пятом этаже панельного пятиэтажного дома едва заметно раскачивались всяческие предметы, слегка дрожали листочки комнатных цветов. Колебания продолжались около 15 с.

*Рыбачий*,  $\Delta=346$  км. Землетрясение ощущалось отдельными людьми. На втором этаже четырехэтажного крупноблочного дома упала плохо прикрепленная к стене картинка (висела на веревочке на частично выпавшем гвозде). Слабо раскачивались всяческие предметы. Колебания продолжались менее 10 с.

*РНС Подгорная*,  $\Delta=430$  км. По радиосвязи от смотрителя маяка поступила информация в гидрографию, что землетрясение ощущали с интенсивностью 3 балла и продолжительностью 2 мин 20 с. На маяке одноэтажный деревянный жилой дом постройки 1943 г. в неудовлетворительном техническом состоянии.

*Крутоберегово*,  $\Delta=646$  км. Землетрясение ощущалось не всеми жителями поселка. В одноэтажном деревянном здании сейсмической станции «Крутоберегово» сидящим в кресле человеком ощущалось легкое раскачивание, которое продолжалось, затухая, около 20 с. Затем раскачивание возобновилось и продолжалось еще около 10 с; при этом начала слабо качаться люстра.

*Мыс Африка*,  $\Delta=672$  км. По радиосвязи от смотрителя маяка поступила информация в гидрографию, что землетрясение ощущали с интенсивностью 3 балла продолжительностью 2 мин 20 с. На маяке одноэтажный деревянный жилой дом 1932 г. постройки в неудовлетворительном техническом состоянии.

*Шахтерск*,  $\Delta=946$  км. В момент землетрясения большинство опрошенных жителей города находились в движении. Землетрясение ощущали в состоянии покоя отдельные люди. Семья, отдыхающая на лавочке на дачном участке в 5 км от города, ощущала подземный толчок и легкое непродолжительное раскачивание. В квартире на верхнем этаже четырехэтажного кирпичного дома стоявшая на стремянке женщина ощутила резкий толчок, равновесие удержала, но сильно испугалась.

*Углегорск*,  $\Delta=953$  км. Землетрясение заметили немногие жители города, находившиеся в зданиях в состоянии относительного покоя или неустойчивого равновесия (1–3 этажи блочного и кирпичных зданий). Ощущался резкий толчок и слабое раскачивание зданий в целом. Слегка качалась мебель (диван, тумбочка с телевизором) и всяческие предметы.

*Краснополье*,  $\Delta=955$  км. В момент землетрясения большинство опрошенных жителей села находились в движении. Легкое раскачивание от подземных толчков ощущали несколько человек, которые находились в состоянии покоя. Слегка качались люстры, шторы, подвесная посуда.

*Никольское* (о. Сахалин),  $\Delta=956$  км. В момент землетрясения большинство опрошенных жителей села находились в движении. Легкое раскачивание от подземных толчков ощущали несколько человек, которые находились в состоянии покоя. Слегка качались люстры, шторы, подвесная посуда.

*Поречье*,  $\Delta=971$  км. Землетрясение отчетливо ощущалось в одноэтажных деревянных домах. Скрипнули дверки шкафа, закачалась люстра.

**I=2–3 балла.** *Северо-Курильск*,  $\Delta=392$  км. Подробного описания проявления землетрясения нет. Используется оценка интенсивности из ежедекадного Северо-Курильского сейсмологического бюллетеня № 22 за 2008 г.

**I=2 балла.** *Лесогорское*,  $\Delta=926$  км. Из нескольких опрошенных семей только один человек, сидевший на стуле, ощутил неожиданный толчок.

### Охотоморское-II землетрясение 24 ноября 2008 г.

**I=4 балла.** Кавалерское,  $\Delta=156$  км. В состоянии покоя в одноэтажном засыпном здании на фундаменте колебания ощущали в течение минуты. Покачивалась люстра. Землетрясение ощущалось всеми жителями поселка.

*Апача*,  $\Delta=187$  км. В состоянии покоя на третьем этаже пятиэтажного крупноблочного дома ощущали толчок и раскачивание около 60 с, затем второй толчок и раскачивание около 30 с. Задрожали листочки комнатных растений, покачивалась люстра, ощущалось общее сотрясение здания. В поселке отдельные люди в испуге выходили из домов.

*Запорожье*,  $\Delta=281$  км. В одноэтажном бетонном монолитном здании ощущали резкий толчок и плавное покачивание в течение 60 с. Покачивались всяческие предметы, ощущалось общее сотрясение здания. Землетрясение замечено многими жителями поселка.

*ГМС Семячки*,  $\Delta=349$  км. По сообщению сотрудника станции в одноэтажном деревянном здании в состоянии покоя ощущался толчок и нарастающие в течение 30–40 с колебания интенсивностью 4–5 баллов, которые постепенно угасали в течение 20–30 с. Затем снова последовало усиление колебаний до 4 баллов и тихое угасание. В доме скрипели полы, потолки и мебель, дребезжала посуда, колебались всяческие предметы.

*Магадан*,  $\Delta=689$  км. Ощущалось плавное продолжительное колебание на разных этажах панельных и кирпичных зданий, сильнее – на верхних этажах. Заметно раскачивались всяческие предметы. Покачивались диваны, столы, мониторы. Скрипели и раскачивались двери (3, 7 этажи). Дребезжали стеклянные дверцы шкафа и посуда (5 этаж). Упали горшки с цветами (6, 7 этажи).

**I=3–4 балла.** Крутогорово,  $\Delta=161$  км. Землетрясение замечено в северной части поселка, в южной части никем не ощущалось. В состоянии покоя на втором этаже двухэтажного деревянного дома люди ощущали сотрясение здания (около 4 мин), как от проезжающей рядом тяжелой техники. Покачивался всячий абажур и верхушки высоких комнатных растений.

*Сокоч*,  $\Delta=207$  км. Землетрясение ощущали многие жители поселка, находившиеся в состоянии покоя в здании на 1–4 этажах. Многие наблюдали легкое раскачивание всяческих предметов.

*Зеленый*,  $\Delta=237$  км. Находившиеся в покое люди на четвертом этаже четырехэтажного крупноблочного дома ощущали плавные медленные покачивания. Колыхались цветы в напольной вазе. Стоящие на журнальном столике предметы вибрировали и постукивали о стеклянную столешницу. Замечено две волны: колебания, потом несколько секунд покоя и снова колебания.

*Раздольный*,  $\Delta=247$  км. Легкое плавное колебание в течение 10 с ощущали жители квартиры на 3 этаже четырехэтажного крупноблочного дома. При этом сильно раскачивалась люстра.

*Николаевка*,  $\Delta=256$  км. В состоянии покоя на третьем этаже здания ощущался резкий толчок, затем в течение 15–20 с колебания происходили рывками. От испуга замяукала кошка. Скрипела мебель, сильно раскачивалась люстра. Землетрясение заметили многие жители поселка.

*26 км Елизовского шоссе*,  $\Delta=261$  км. Землетрясение ощущали в доме «сталинской» постройки. Колебания продолжались долго. Было страшно. Качалась люстра, наблюдались горизонтальные волны по полу.

*Озерновский*,  $\Delta=281$  км. Землетрясение ощущали в состоянии покоя на втором этаже трехэтажного крупноблочного дома. Покачивалась люстра, дрожали веточки комнатных растений, ощущалось общее сотрясение здания. Колебания продолжались около минуты.

*Северо-Курильск*,  $\Delta=358$  км. Подробного описания проявления землетрясения нет. Используется оценка интенсивности из ежедекадного Северо-Курильского сейсмологического бюллетеня № 36 за 2008 г.

*Никольское*,  $\Delta=747$  км. Находясь в зданиях в состоянии покоя, многие жители поселка ощущали долгое раскачивание по нарастающей. Покачивались всяческие предметы, в некоторых помещениях дребезжали стекла окон, трясся холодильник, тяжелый сейф. Была объявлена опасность цунами.

**I=3 балла.** Пуцино,  $\Delta=222$  км. Землетрясение ощущали в состоянии покоя на втором этаже двухэтажного деревянного дома. Услышали звук как от стука в стену, закачалась люстра (3–4 с).

*Коряки*,  $\Delta=240$  км. На первом этаже трехэтажного крупноблочного дома заметили продолжительное колебание люстр во всех комнатах. Отчетливо ощущали землетрясение люди,

проживающие на верхних этажах. По колебанию люстр было две волны – был перерыв между их колебаниями.

*Паратунка*,  $\Delta=252$  км. Находясь на втором и четвертом этажах здания в состоянии покоя, люди ощущали долгое плавное покачивание. Заметно колебались люстры, дрожала дверь. Землетрясение заметили немногие жители поселка.

*Елизово*,  $\Delta=253$  км. Землетрясение замечено в состоянии покоя на четвертом этаже четырехэтажного панельного дома. В течение 20–30 с ощущалось покачивание стула, на котором сидели; качалась люстра.

*Мутновская ГеоЭС-1*,  $\Delta=260$  км. Землетрясение ощущали люди, находившиеся в состоянии покоя на третьем этаже четырехэтажного каркасно-панельного здания на металлических сваях. Слегка колебались висячие предметы. В течение 20 с ощущалось общее легкое сотрясение кровати и здания в целом.

*Вилючинск*,  $\Delta=266$  км. Находившимися в состоянии покоя людьми на пятом этаже панельного дома ощущалось долгое легкое плавное колебание. Слегка раскачивались висячие предметы.

*Институт вулканологии* (Петропавловск-Камчатский),  $\Delta=271$  км. Землетрясение замечено на 2–5 этажах панельных и блочных зданий на бульваре Пийпа. Ощущались длительные плавные колебания около 3 мин, в первый момент более высокочастотные. Раскачивались висячие предметы и веточки комнатных растений, сильнее и дольше на верхних этажах. Слабо покачивался жидкокристаллический монитор на столе (третий этаж здания ИВиС), дребезжали стекла в книжных полках (пятый этаж). На первом этаже в покое землетрясение не ощущалось.

*Рыбачий*,  $\Delta=271$  км. Землетрясение ощущали не все жители города, находившиеся в покое. Колебались и раскачивались висячие предметы. На пятом этаже панельного дома колебания были долгие и плавные. Очень сильно качалась люстра.

*Петропавловск-Камчатский*,  $\Delta=276$  км. Землетрясение замечено жителями города, находившимися в покое на 1–5 этажах панельных и блочных зданий. Ощущались два слабых толчка (второй – сильнее) и продолжительное несильное плавное покачивание с затуханием после каждого из них. Слегка раскачивались висячие предметы, сильнее – на верхних этажах. Дрожали веточки комнатных растений. Слабо покачивался жидкокристаллический монитор на столе (третий этаж). Слегка поскрипывала мебель (первый и второй этажи). Ощущались вибрация и дрожание предметов (второй этаж). Дребезжали стекла в книжных полках (пятый этаж). Беспокоилась домашняя собачка (четвертый этаж). Землетрясение ощущалось около 4 мин.

*Милюково*,  $\Delta=277$  км. Землетрясение ощущали около 10 с, находясь в состоянии покоя на втором этаже трехэтажного крупноблочного здания. Покачивались висячие предметы.

*Маяк Круглый*,  $\Delta=307$  км. По радиосвязи от смотрителя маяка поступила информация в гидрографию, что землетрясение ощущали с интенсивностью 3 балла. На маяке жилое одноэтажное шлакоблочное здание 1965 г. постройки в удовлетворительном состоянии.

*Усть-Камчатск*,  $\Delta=567$  км. Находясь в покое на 3 этаже пятиэтажного панельного здания, люди ощущали землетрясение в течение 10–20 с. Слегка колебались висячие предметы.

**I=2–3 балла.** *Усть-Большерецк*,  $\Delta=148$  км. Землетрясение замечено отдельными жителями поселка. В состоянии покоя на втором этаже двухэтажного крупноблочного дома в течение 2–3 с ощущалось общее легкое сотрясение здания.

*Октябрьский*,  $\Delta=159$  км. Землетрясение замечено отдельными жителями поселка. Сидевшие на первом этаже двухэтажного крупноблочного дома ощущали общее легкое сотрясение здания около 2–3 с.

**Очаговые области** Охотоморских-I и -II землетрясений 2008 г. располагались близко друг к другу, но точно определить их положение не представляется возможным. Это связано с тем, что глубокие события вблизи Камчатки не обеспечены достаточным уровнем наблюдений, сравнимым с поверхностными землетрясениями.

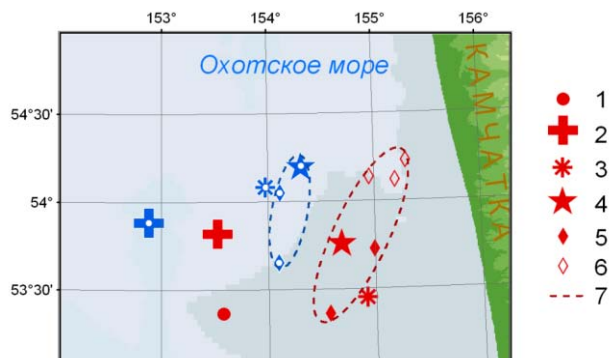
Не строя каких-либо гипотез о форме и положении очагов рассматриваемых событий, ограничимся описанием развития сейсмического процесса в северной части сейсмофокальной зоны Курил и Южной Камчатки в 2008 г. по данным каталога Камчатки и Командорских островов [2]. Всего в этой области – в акватории Охотского моря – в 2008 г. зарегистрировано 9 землетрясений (табл. 7). С начала года до июля месяца вблизи гипоцентров рассматриваемых событий не зафиксировано сильных землетрясений, лишь одно слабое – 31 мая с  $K_s=10.9$  (№ 1 в табл. 7) южнее очага Охотоморского-I землетрясения ( $\Delta=50$  км). 5 июля 2008 г. с разницей ме-

нее 20 мин произошло сразу два сильных землетрясения: первое – Охотоморское-I в 02<sup>h</sup>12<sup>m</sup> с  $K_S=15.7$ ,  $M_w=7.7$  и второе – в 02<sup>h</sup>31<sup>m</sup> с  $K_S=12.8$ ,  $m_b=5.0$ . Координаты гипоцентров по данным каталогов КФ ГС РАН [2] и NEIC [4] представлены в табл. 7 (№№ 2, 3). В обоих случаях более слабое второе событие локализовано восточнее на значительном ( $\Delta > 70$  км) расстоянии от первого.

В отличие от июльского события, по данным КФ ГС РАН [2], вслед за землетрясением 24 ноября в 09<sup>h</sup>03<sup>m</sup> последовала серия толчков: два в тот же день в 11<sup>h</sup>02<sup>m</sup> и 15<sup>h</sup>30<sup>m</sup> (№№ 5, 6) с  $K_S=10.2$ ,  $m_b=4.5$  и с  $K_S=9.9$ ,  $m_b=4.1$  в восточном и южном направлениях от главного события серии соответственно (табл. 7). Затем в течение месяца произошло еще три землетрясения (№№ 7–9) с  $K_S=9.1$ –9.8 – в северо-восточном направлении. В этом случае шесть событий объединены в серию, поскольку их гипоцентры располагаются на близких глубинах, а положение координат удовлетворяет возможному простираению очага вдоль сейсмофокальной зоны, характерному для глубоких субдукционных землетрясений (рис. 7). Параметры событий №№ 4–6 табл. 7 по данным NEIC также не противоречат предположению об их взаимосвязанности.

**Таблица 7.** Основные параметры землетрясений, зарегистрированных в северной части сейсмофокальной зоны Курил и Южной Камчатки в 2008 г. по данным каталогов КФ ГС РАН [2] и NEIC [4]

№	Дата, год мес д	КФ ГС РАН [2]					NEIC [4]					
		$t_0$ , ч мин с	Гипоцентр			$K_S$	$t_0$ , ч мин с	Гипоцентр			$M_w$	$m_b$
			$\varphi^\circ, N$	$\lambda^\circ, E$	$h$ , км			$\varphi^\circ, N$	$\lambda^\circ, E$	$h$ , км		
1	2008.05.31	00 01 17.2	53.36	153.58	502	10.9						
2	2008.07.05	02 12 06.4	53.82	153.53	610	15.7	02 12 04.5	53.88	152.89	633	7.7	6.8
3	2008.07.05	02 30 47.1	53.45	154.93	633	12.8	02 30 56.1	54.08	153.99	495		5.0
4	2008.11.24	09 02 52.5	53.77	154.69	564	15.2	09 02 58.8	54.20	154.32	492	7.3	6.5
5	2008.11.24	11 01 39.1	53.73	154.99	590	10.2	11 01 45.2	54.05	154.12	486		4.5
6	2008.11.24	15 30 31.2	53.36	154.57	546	9.9	15 30 37.7	53.65	154.10	457		4.1
7	2008.11.26	08 23 23.3	54.23	155.31	544	9.1						
8	2008.11.29	07 08 01.0	54.12	155.20	570	9.8						
9	2008.12.24	06 26 28.3	54.14	154.95	566	9.8						



**Рис. 7.** Карта эпицентров землетрясений, зарегистрированных в северной части сейсмофокальной зоны Курил и Южной Камчатки в 2008 г., по данным каталогов КФ ГС РАН и NEIC (решения NEIC помечены белой точкой в центре)

1 – событие 31 мая в 01<sup>h</sup>17<sup>m</sup>; 2 – Охотоморское-I событие 5 июля в 02<sup>h</sup>12<sup>m</sup>; 3 – событие 5 июля в 02<sup>h</sup>31<sup>m</sup>; 4 – Охотоморское-II событие 24 ноября в 09<sup>h</sup>03<sup>m</sup>; 5, 6 – эпицентры землетрясений, произошедших в течение дня после события 24 ноября в 09<sup>h</sup>03<sup>m</sup> и до конца года соответственно; 7 – граница области, в которой зафиксированы события, последовавшие за землетрясением 24 ноября в 09<sup>h</sup>03<sup>m</sup>.

**Сейсмическая история.** Согласно делению территории Камчатки на сейсмические зоны [9], Охотоморские землетрясения 2008 г. относятся к северной части глубокого слоя ( $h > 350$  км) сейсмофокальной зоны Курил и Южной Камчатки. Анализ истории сейсмичности проведен для землетрясений, расположенных в глубоком слое всей сейсмофокальной зоны Курил и Южной Камчатки по данным каталога Национального информационного центра США (NEIC) за 1964–2007 гг. [4]. На рис. 8 показана карта эпицентров землетрясений и вертикальный разрез поперек ее простираения, а в табл. 8 представлены основные параметры событий с  $M_{\max} \geq 6$  глубокого ( $h \geq 350$  км) слоя рассматриваемой зоны. Как видно на вертикальном разрезе рис. 8, землетрясения вырисовывают нижний край погружающейся в мантию Тихоокеанской плиты. По данным GСMT [5], в очагах землетрясений глубокого слоя сейсмофокальной зоны Курил и Южной Камчатки (рис. 8) в большинстве случаев реализуются сбросовые механизмы.

**Таблица 8.** Сводка основных параметров землетрясений глубокого слоя ( $h \geq 350$  км) сейсмофокальной зоны Курил и Южной Камчатки с  $M_{\max} \geq 6$  за 1964–2007 гг. по данным каталога NEIC [4] и макросейсмическим данным региональных каталогов Курило-Охотского региона и Камчатки [22–26]

№	Дата, д мес год	$t_0$ , ч мин с	Гипоцентр			$M_{\max}$	$N_{\text{афт}}$	$I$ , балл
			$\varphi^\circ, N$	$\lambda^\circ, E$	$h$ , км			
1	30.08.1970	17 46 09.0	52.38	151.60	645	7.2		3–4 балла – г. Северо-Курильск, м. Васильева [22]
2	05.09.1970	07 52 27.9	52.23	151.43	580	6.2		2–3 балла – Северо-Курильск [22]
3	29.01.1971	21 58 05.4	51.72	150.95	544	6.6	2	3–4 балла – мыс Шипунский, ощущалось в Японии <sup>1</sup>
4	21.12.1975	10 54 17.7	51.94	151.58	554	6.4		3 балла – Крутоберегово [23]
5	06.02.1981	16 47 07.4	48.30	146.35	479	6		нет сведений
6	27.11.1982	09 55 38.9	50.21	147.73	622	6.1		нет сведений
7	01.02.1984	07 28 28.7	49.06	146.59	573	6.1		3 балла – Углегорск, 2 балла – Шикотан, Южно-Курильск [24]
8	20.04.1984	06 31 10.6	50.12	148.75	582	6		нет сведений
9	23.04.1984	21 40 35.5	47.45	146.69	414	6		3 балла – Южно-Курильск, 2–3 балла – Шикотан, 2 балла – Рейдово [24]
10	18.05.1987	03 07 34.1	49.28	147.69	542	6.3		3–4 балла – Куширо, Урокава, Аомори; 3 балла – Рейдово, Северо-Курильск, мыс Васильева; 2 балла – Шикотан; 1–2 балла – Немуро, Хироо, Хатинохе, Мияко, Мориока, Саката, Токио [25]
11	14.07.1987	23 46 03.5	49.63	147.83	576	6		нет сведений
12	17.11.2002	04 53 53.5	47.82	146.21	459	7.3	1	5 баллов – Япония (III); 3 балла – Макаров, Восточный, Южно-Сахалинск, Новоалександровск, Луговое, Поронайск, Синегорск, Анива, Чехов, Краснополье, Холмск, Углегорск, Шахтерск, Лесогорск, Южно-Курильск; 2 балла – Долинск, Взморье, Бошняково, Тымовское, Северо-Курильск [26]

Примечание. <sup>1</sup> – на полях сейсмограммы с сейсмической станции «Шипунский» обнаружена запись: землетрясение ощущалось с интенсивностью 3.5–4 балла, ощущалось в Японии».

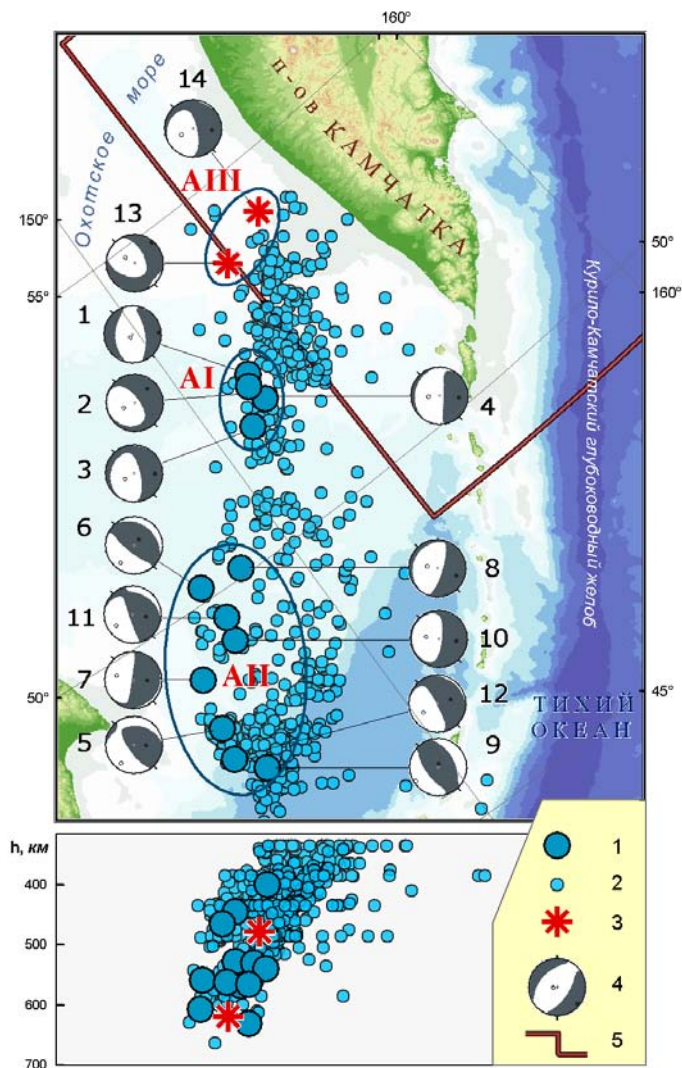
За указанный период можно выделить две области (АI и АII), в которых сосредоточены сильнейшие ( $M_{\max} \geq 6$ ) события зоны. Интересно то, что эти пространственные кластеры землетрясений образуют относительно близкие во времени последовательности. Согласно табл. 8, в 1970–1975 гг. произошло четыре сильных ( $M_{\max} \geq 6$ ) события в центральной части глубокого слоя сейсмофокальной зоны Курил и Южной Камчатки (наблюдалась активизация области АI), а в период 1981–1987 гг. – семь сильных землетрясений в ее южной части (активизация области АII). С произошедших в 2008 г. и рассмотренных в данной работе землетрясений началась активизация района АIII, расположенного, как уже отмечалось, в северной части глубокого слоя сейсмофокальной зоны Курил и Южной Камчатки. Причем, заглядывая на несколько лет вперед, следует отметить, что эта активизация, начавшаяся в 2008 г., в 2013 г. вызвала сильнейшее на тот момент в мире глубокое землетрясение – Охотоморское землетрясение 24 мая 2013 г. с  $M_w=8.3$  [27].

Глубокие землетрясения редко сопровождаются большими сериями афтершоков. Причины этого могут быть связаны как с особенностью природы этих событий, так и с ограничением возможности сети сейсмических станций регистрировать слабые афтершоки, расположенные на больших глубинах. В каталоге NEIC только два события, из указанных в табл. 10, имели афтершоки (№ 3 и № 12).

Макросейсмические сведения, представленные в табл. 8, в основном взяты из каталогов Курило-Охотского региона, в зоне ответственности которого они произошли. К сожалению, для событий (№ 1–№ 4) из области АI, представляющих для нас наибольший интерес вследствие



своей близости к Охотоморским землетрясениям 2008 г., макросейсмические сведения обрывочные. С одной стороны, это может быть связано с тем, что в 70-х годах макросейсмические данные целенаправленно собирали только для катастрофических землетрясений. С другой стороны, эти землетрясения происходили в зоне ответственности Курило-Охотского региона, а ощущаться в наибольшей степени должны были в зоне ответственности Камчатского региона. Вполне вероятно, что данные о проявлениях подобных землетрясений на Камчатке в свое время оказались не востребованы и впоследствии потерялись. Например, для события 29 января 1971 г. с  $M=6.6$  (№ 3 в табл. 8) несколько лет назад была обнаружена пометка на полях сейсмограммы с одной из сейсмических станций камчатской региональной сети о том, что событие ощущалось смотрителем станции.



**Рис. 8.** Карта эпицентров землетрясений глубокого слоя ( $h \geq 350$  км) сейсмофокальной зоны Курил и Южной Камчатки по данным каталога Национального информационного центра США (NEIC) [4] за 1964–2007 гг.

Числа 1–12 соответствуют номерам землетрясений в табл. 8; 1 – эпицентры землетрясений с  $M_{max} \geq 6$  за 1964–2007 гг.; 2 – эпицентры землетрясений с  $M_{max} < 6$  за 1964–2007 гг.; 3 – Охотоморское-I событие 5 июля в  $02^h 12^m$  и Охотоморское-II событие 24 ноября в  $09^h 03^m$ ; 4 – тензор момента центраида по данным GСMT [5]; 5 – граница зоны ответственности региональной сети КФ ГС РАН.

Для землетрясений из зоны АП имеющиеся макросейсмические данные (табл. 8) более информативны и иллюстрируют сложную структуру макросейсмического поля глубоких сейсмофокальных землетрясений. Таким образом, можно выделить общие особенности проявления глубоких субдукционных землетрясений: наблюдаются anomalously высокие интенсивности на больших расстояниях и максимальные проявления смещены в сторону выхода на поверхность погружающейся в мантию плиты.

Несмотря на то, что в зоне ответственности КФ ГС РАН постоянно происходят глубокие землетрясения ( $h \geq 350$  км), до 2008 г. в этой зоне не было зарегистрировано ни одного яркого события, которое бы положило начало изучению особенностей глубоких Охотоморских землетрясений. В сборниках «Землетрясения Северной Евразии» (1992–2007 гг.) и «Землетрясения в СССР» (1962–1991 гг.) нет ни одной статьи, посвященной сильным глубоким Курило-Охотским землетрясениям. Можно надеяться, что данная статья положит начало работе авторов по исследованию особенностей глубоких землетрясений сейсмофокальной зоны Курил и Камчатки.

Выражаем благодарность сотрудникам Магаданского и Сахалинского филиалов ГС РАН Евгении Ильиничне Алешиной и Татьяне Александровне Фокиной за предоставленные подробные макросейсмические данные по Магадану и Углегорскому району о. Сахалин. Искреннюю признательность выражаем Александру Викторовичу Ландеру за вдохновение, рекомендации и поддержку на протяжении всей работы над публикацией.

## Л и т е р а т у р а

1. **Bulletin of the International Seismological Centre for 2008.** – Thatcham, United Kingdom: ISC, 2010. – URL: <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/>.
2. **Чеброва А.Ю., Матвеев Е.А., Шевченко Н.А. (отв. сост.), Бахтиарова Г.М., Митюшкина С.В., Пархоменко С.А., Пилипенко Л.В., Раевская А.А.** Каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов за 2008 г. ( $N=572$ ). (См. Приложение к наст. сб. на CD).
3. **Сейсмологический бюллетень (ежедекадный) за 2008 год /** Отв. ред. О.Е. Старовойт. – Обнинск: ГС РАН, 2008–2009. – URL: [http://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic\\_bulletin/2008/](http://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_bulletin/2008/).
4. **USGS National Earthquake Information Centre.** – URL: <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/epic/>.
5. **Global CMT catalog.** – URL: <http://www.globalcmt.org/CMTsearch.html>.
6. **Лемзиков В.К., Гусев А.А.** Энергетическая классификация близких Камчатских землетрясений по уровню кода-волн // Вулканология и сейсмология. – 1989. – № 4. – С. 83–97.
7. **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.
8. **Ландер А.В., Левина В.И.** Систематические ошибки определения гипоцентров Камчатских землетрясений – результат преломления волн на границах погружающейся плиты // Изменение окружающей среды климата, природные и связанные с ними техногенные катастрофы. Т. 1. Сейсмические процессы и катастрофы. – М.: ИФЗ РАН, 2008. – С. 117–126.
9. **Левина В.И., Ландер А.В., Митюшкина С.В., Чеброва А.Ю.** Сейсмичность Камчатского региона // Вулканология и сейсмология. – 2013. – № 1. – С. 195–213.
10. **Иванова Е.И. (отв. сост.)**. Каталог механизмов очагов землетрясений Камчатки и Командорских островов за 2008 г. ( $N=33$ ). (См. Приложение к наст. сб. на CD).
11. **Кондорская Н.В.** Инструментальные данные // Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. – М.: Наука, 1977. – С. 13.
12. **Иванова Е. И., Ландер А. В., Токарев А. В., Чеброва А. Ю., Шевченко С. А.** Каталог механизмов очагов землетрясений Камчатки и Командорских островов за период 1980–2007 гг. // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды третьей научно-технической конференции. Петропавловск-Камчатский. 9–15 октября 2011 г. – Обнинск: ГС РАН, 2011. – С. 74–79.
13. **Чебров В.Н., Матвеев Е.А., Митюшкина С.В., Иванова Е.И., Гусева Е.М., Левина В.И., Ландер А.В.** Камчатка и Командорские острова. (См. раздел I (Обзор сейсмичности) в наст. сб.).
14. **Проект новой российской сейсмической шкалы //** Инженерные изыскания. – 2011. – № 10. – С. 62–71.
15. **Медведев С.В. (Москва), Шпонхойер В. (Иена), Карник В. (Прага).** Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.
16. **Hisada T., Nakagawa K.** Present Japanese Development in Engineering Seismology and their Application to Buildings. – Japan: 1958.
17. **Гусев А.А., Шумилина Л.С.** Моделирование связи балл–магнитуда–расстояние на основе представления о некогерентном протяженном очаге // Вулканология и сейсмология. – 1999. – № 4–5. – С. 29–40.
18. **Федотов С.А., Шумилина Л.С.** Сейсмическая сотрясаемость Камчатки // Физика Земли. – 1971. – № 9. – С. 3–15.
19. **Utsu T.** Regional differences in absorption of seismic waves in the upper mantle as inferred from abnormal distributions of seismic intensities // J. Fac. Sci. Hokkaido Univ. Jap. –1966. – Ser. 7. – 2. – N 4. – P. 359–374.
20. **Левина В.И., Митюшкина С.В., Чеброва А.Ю., Иванова Е.И.** Тумрокское-I землетрясение 16 июня 2003 г. с  $M_w=6.9$ ,  $I_0=6$  и Тумрокское-II землетрясение 10 июня 2004 г. с  $M_w=6.8$ ,  $I_0=5-6$  (Камчатка) // Землетрясения Северной Евразии в 2004 году. – Обнинск: ГС РАН, 2010. – С. 314–323.
21. **Koulakov I.Yu., Dobretsov N.L., Bushenkova N.A., Yakovlev A.V.** Slab shape in subduction zones beneath the Kurile–Kamchatka and Aleutian arcs based on regional tomography results // Russian Geology and Geophysics. – 2011. – N 52. – P. 650–667.

22. Поплавская Л.Н., Бойчук А.Н., Брагина Г.И., Вьюнова Н.В., Исибаси Т., Клещенко Н.А., Хантаева Т.Н. Землетрясения Курильских островов и Охотского моря // Землетрясения в СССР в 1970 году. – М.: Наука, 1973. – С. 168–192.
23. Федотов С.А., Симбирёва И.Г., Лепская Т.С., Богатова Л.И., Борисова З.А., Березовская И.И., Ерохина Ж.В., Миндлина Т.В., Пасечко Н.И., Попкова Е.В., Прибылова Л.И., Феофилактов В.Д. Региональный каталог землетрясений Камчатки // Землетрясения в СССР в 1975 году. – М.: Наука, 1978. – С. 111–114.
24. Бойчук А.Н., Миталева Н.А., Поплавская Л.Н., Брагина Г.И., Воробьева Е.А., Дьяченко В.Н., Коваленко Н.С., Коптелова С.И., Куманеева Г.Ф., Шолохова А.А. Региональный каталог землетрясений. Курило-Охотский регион // Землетрясения в СССР в 1984 году. – М.: Наука, 1987. – С. 259–274.
25. Миталёва Н.А., Бойчук А.Н., Брагина Г.И., Коптелова С.И., Куманеева Г.Ф., Полякова Т.А., Пономарева Л.В. Региональный каталог землетрясений. Курило-Охотский регион // Землетрясения в СССР в 1987 году. – М.: Наука, 1990. – С. 245–263.
26. Брагина Г.И., Пиневиц М.В., Дорошкевич Е.Н. Каталог землетрясений Курило-Охотского региона // Землетрясения Северной Евразии, 2002 г. – Обнинск: ГС РАН, 2008. (На CD).
27. Чебров В.Н., Кугаенко Ю.А., Викулина С.А., Кравченко Н.М., Матвеев Е.А., Митюшкина С.В., Раевская А.А., Салтыков В.А., Чебров Д.В., Ландер А.В. Глубокое охотоморское землетрясение 24.05.2013 г. с магнитудой  $M_w=8.3$  – сильнейшее сейсмическое событие у берегов Камчатки за период детальных сейсмологических наблюдений // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. – 2013. – Вып. 21. – № 1. – С. 17–24.