

ВЕРХНЕКУЛИНСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 2 августа 2010 г. **$K_p=13.6$, $M_w=5.3$, $I_0^P=7$ (Северо-Восток России)****Е.И. Алёшина, С.В. Курткин, Л.И. Карпенко**Магаданский филиал ГС РАН, г. Магадан, evgeniya@memsd.ru

В верховьях р. Кулу, на границе с Республикой Саха (Якутией), 2 августа 2010 г. в 14^h17^m произошло землетрясение с $K_p=13.6$, названное по своему местоположению Верхнекулинским. Данное событие было сильнейшим на Северо-Востоке в 2010 г. [1].

Инструментальные данные. Верхнекулинское землетрясение записано 1170 станциями, согласно бюллетеню ISC [2]. Основные параметры землетрясения по материалам различных сейсмологических служб представлены в табл. 1.

Таблица 1. Основные параметры Верхнекулинского землетрясения 2 августа с $K_p=13.6$ по региональным данным в сопоставлении с определениями других агентств

Агентство	t_0 , ч мин с	δt_0 , с	Гипоцентр						Магнитуда	Источ- ник
			φ° , N	$\Delta\varphi$, км	λ° , E	$\Delta\lambda$, км	h , км	δh , км		
МФ ГС РАН	14 17 15.1	0.7	61.93	2.3	145.67	3.6	17	4	$K_p=13.6$	[1]
MOS	14 17 12.00	0.93	61.982	9.8	145.643	4.0	11		$MS=5.0/65$, $MPSP=5.1/57$	[3]
ISC	14 17 15.66	0.23	62.022	3.4	145.710	2.3	19.1	0.84	$Ms=4.9/192$, $m_b=5.2/320$	[2]
NEIC	14 17 15.72	0.13	62.056	4.4	145.567	2.8	21.1		$Ms=4.9/122$, $m_b=5.3/187$	[2]
GCMT	14 17 15.70	0.10	62.08	1.1	145.45	1	27.5	0.8	$Mw=5.3/100$	[2]
IDC	14 17 12.49	0.38	62.038	11.8	145.640	8.1	0 f		$Ms=4.8/32$, $m_b=4.7/35$	[2]
ВЛ	14 17 11.80	1.42	61.89		145.92		10		$Ms=5.7/75$, $m_b=5.0/56$	[2]

Примечание. Расшифровка кодов агентств дана в обозначениях к наст. сб.

Все решения эпицентра Верхнекулинского землетрясения в плане изображены на рис. 1.

Положения эпицентров по определениям агентств IDC, ISC, MOS и МФ ГС РАН хорошо согласуются между собой и с положением афтершоков, в то время как эпицентр агентства NEIC удален на юг на расстояние около 20 км от остальных, решение ВЛ – на юго-восток примерно на 18 км, решение GCMT удалено на север–северо-запад на 15 км (рис. 1).

При сводной обработке Верхнекулинского землетрясения в Магаданском филиале использовались данные наблюдений девяти станций (рис. 2) [4].

Ближайшей ($\Delta=120$ км) к эпицентру была станция «Омчак» (OCHR) [4]. Станция «Аркагала» (SS60) удалена на расстояние 146 км, другие – на удалении 365–530 км от эпицентра. Почти все станции находились северо-восточнее, восточнее и юго-восточнее эпицентра, лишь одна станция «Усть-Нера» (UNR) – северо-западнее.

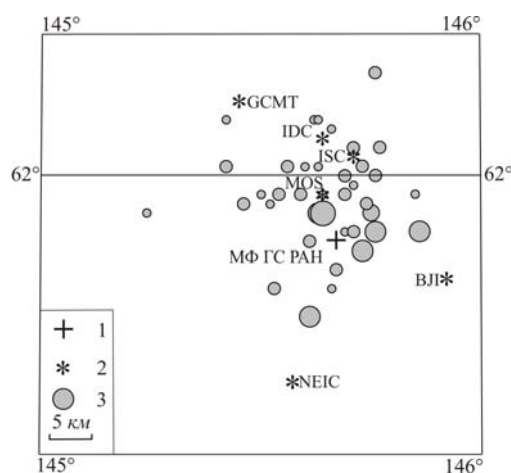


Рис. 1. Сопоставление решений эпицентра Верхнекулинского землетрясения 2 августа в 14^h17^m с $K_p=13.6$, $M_w=5.3$ (на фоне афтершоков) по данным станций сети МФ ГС РАН и других агентств

1 – инструментальный эпицентр по [1]; 2 – решения других сейсмологических служб по [2, 3]; 3 – афтершоки.

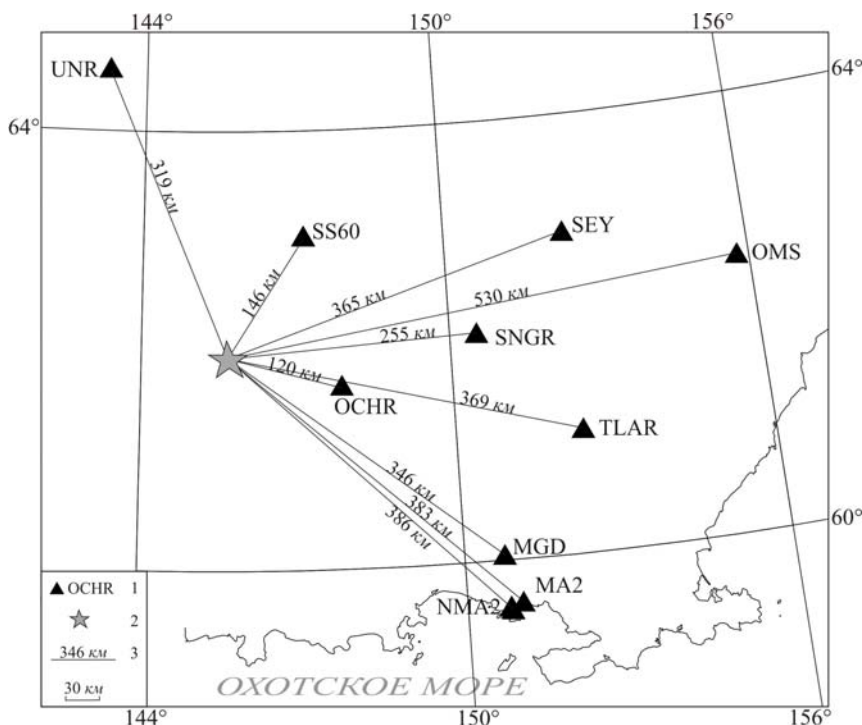


Рис. 2. Положение региональных станций относительно инструментального эпицентра Верхнекулинского землетрясения 2 августа в 14^h17^m с $K_p=13.6$, $M_w=5.3$

1 – сейсмическая станция; 2 – инструментальный эпицентр; 3 – эпицентральное расстояние.

Механизм очага Верхнекулинского землетрясения имеется в [5] по определениям GCMT (табл. 2).

Таблица 2. Параметры механизма очага Верхнекулинского землетрясения 2 августа в 14^h17^m с $K_p=13.6$, $M_w=5.3$

Агент-ство	Дата, д м	t_0 , ч мин с	h , км	Магнитуды			K_p [1]	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости						Источ-ник
				M_w	m_b	M_s		T		N		P		$NP1$			$NP2$			
								PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	SLIP	STK	DP	SLIP	
GCMT	02.08.	14 17 17.7	27.5	5.3	5.3	4.9	13.6	32	336	46	107	27	228	10	46	175	103	87	44	[2]

Его стереографическая проекция на нижней полусфере показана на рис. 3. Землетрясение возникло под действием близких по величине растягивающих напряжений, ориентированных на северо-запад ($AZM_T=336^\circ$), и сжимающих, ориентированных на юго-запад ($AZM_P=228^\circ$). Одна из нодальных плоскостей $NP2$ близвертикальна с $DP=87^\circ$, другая ($NP1$) на грани надвига или взброса при значении $DP=46^\circ$. Простираение плоскости $NP1$ – близмеридиональное ($STK_1=10^\circ$), $NP2$ – юго-восточное ($STK_2=103^\circ$). Преимущественный тип движения по плоскости $NP2$ – взброс с компонентами левостороннего сдвига, по плоскости $NP1$ – правосторонний сдвиг, осложненный компонентами взброса.

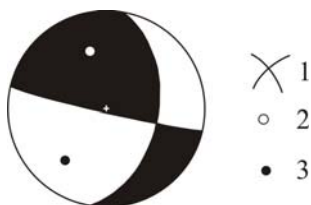


Рис. 3. Стереограмма механизма очага Верхнекулинского землетрясения с $K_p=13.6$, $M_w=5.3$ в проекции нижней полусферы

1 – нодальные линии; 2, 3 – оси главных напряжений: растяжения и сжатия, соответственно (зачернена область волн сжатия).

Афтершоки. Верхнекулинское землетрясение сопровождалось афтершоками, параметры которых приведены в табл. 3, а положение эпицентров – на рис. 4.

Таблица 3. Основные параметры форшоков, главного толчка и афтершоков Верхнекулинского землетрясения 2 августа в 14^h17^m с $K_p=13.6$

№	Дата,		t_0 ,			Гипоцентр			K_p
	д	м	ч	мин	с	φ°, N	λ°, E	$h, км$	
Основной толчок									
	02.08	14	17	15.1	61.93	145.67	17	13.6	
Афтершоки									
1	02.08	14	22	30.2	61.94	145.76	33	10.2	
2	—	14	26	39.2	61.85	145.61	0	10.0	
3	—	14	30	23.6	61.88	145.53	15	8.1	
4	—	14	31	38.3	61.90	145.67	33	8.5	
5	—	14	34	0.6	61.98	145.85	6	7.4	
6	—	14	38	4.0	62.01	145.60	0	7.2	
7	—	14	38	59.9	61.93	145.61	33	7.8	
8	—	14	40	55.2	61.92	145.73	13	9.8	
9	—	14	42	19.6	61.96	145.75	33	8.6	
10	—	14	47	20.2	61.96	145.24	0	7.0	
11	—	15	5	37.3	62.05	145.66	0	7.0	
12	—	15	11	39.6	61.88	145.66	14	7.0	
13	—	15	16	49.1	61.98	145.50	33	7.0	
14	—	15	26	18.2	61.97	145.52	21	7.0	
15	—	15	31	48.8	62.06	145.42	0	6.7	
16	—	15	33	53.6	62.06	145.62	0	7.0	
17	—	15	39	32.2	61.96	145.63	8	9.9	
18	—	15	57	16.6	62.03	145.71	33	7.7	
19	—	17	26	19.7	61.98	145.69	13	8.0	
20	—	17	33	30.6	62.01	145.63	0	7.2	
21	—	18	56	23.6	61.94	145.69	28	7.4	
22	—	20	22	13.1	62.01	145.42	0	7.6	
23	03.08	15	26	25.2	62.11	145.76	23	8.0	
24	04.08	1	45	48.3	61.98	145.59	0	7.7	
25	05.08	7	15	57.6	62.00	145.69	0	7.9	
26	06.08	10	32	36.4	61.96	145.64	9	11.1	
27	—	11	14	34.4	61.94	145.71	33	7.8	
28	—	17	31	10.0	61.98	145.64	21	7.4	
29	—	22	32	18.5	61.99	145.71	20	7.5	
30	07.08	5	29	33.9	61.98	145.54	22	7.8	
31	20.08	4	36	28.0	62.00	145.76	33	8.1	
32	25.08	22	26	59.0	62.03	145.77	0	7.7	
33	26.08	14	29	23.3	62.06	145.63	33	7.5	
34	30.08	4	24	22.5	62.01	145.56	20	7.7	
35	31.08	15	48	45.1	61.97	145.74	0	7.8	
36	7.09	14	9	3.6	61.94	145.86	5	9.6	
37	11.09	7	9	42.1	62.01	145.73	0	7.8	
38	15.11	14	10	39.3	61.75	146.06	0	7.8	
39	29.11	13	45	23.3	61.97	145.46	5	7.9	

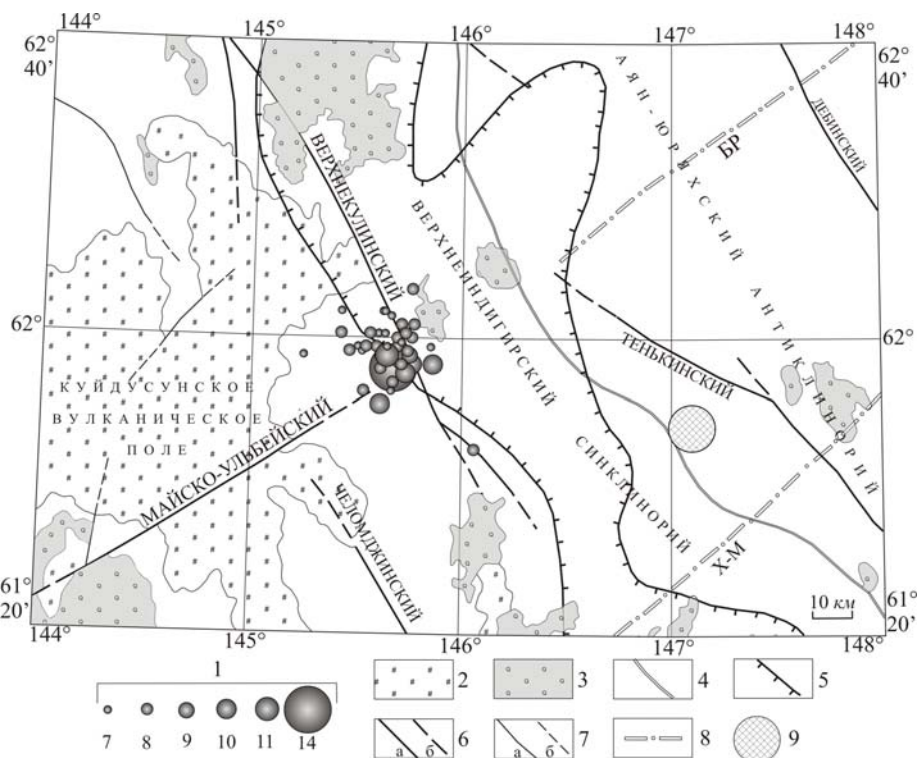


Рис. 4. Тектоническая схема [6] эпицентральной зоны Верхнекулинского землетрясения 2 августа в 14^h17^m с $K_p=13.6$, $M_w=5.3$

1 – энергетический класс K_p ; 2 – вулканы ОЧВП и наложенных впадин; 3 – гранитоидный массив; 4 – граница крупных структурных элементов; 5 – контур Тас-Кыстабытской зоны тектоно-магматической активизации; 6 – крупнейшие глубинные разломы: установленные (а), предполагаемые (б); 7 – прочие тектонические нарушения: установленные (а), предполагаемые (б); 8 – скрытые разломы фундамента: БР – Берелёхский, Х-М – Хейджано-Мылгинский; 9 – эпицентр Кулинского землетрясения 13.01.1972 г. с $K_p=14.0$ по [7].

Графики изменения во времени энергетических классов K_p и глубин гипоцентров представлены на рис. 5.

Больше половины афтершоков (56 %) произошли в первые сутки после основного события. Всего в эпицентральной области за период с 2 августа по 31 декабря 2010 г. зарегистрировано $N=39$ афтершоков с $K_p=6.7-11.1$. Энергетическая ступень между главным толчком и максимальным афтершоком равна

$$\Delta K_p = 13.6 - 11.1 = 2.5. \quad (1)$$

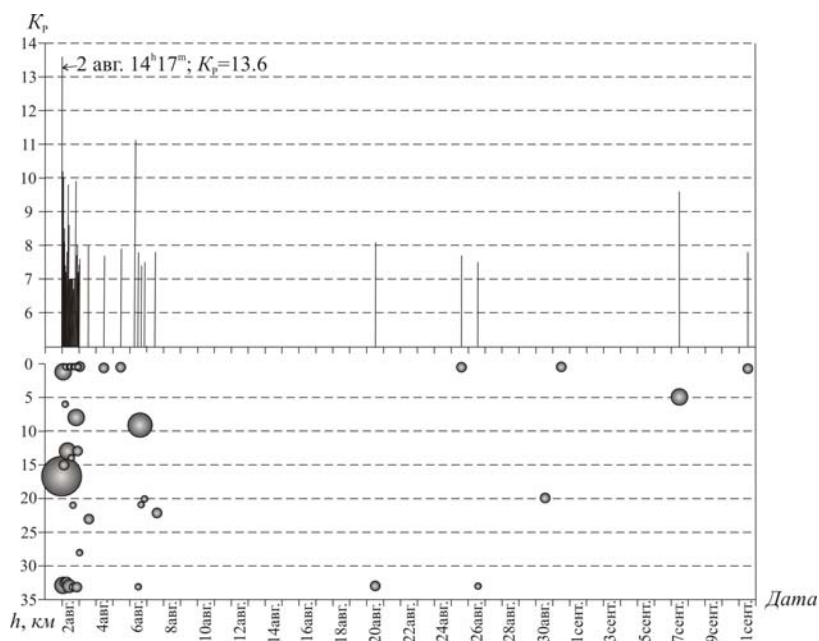


Рис. 5. Изменение во времени энергетического класса K_p (а) и глубины гипоцентров h (б) афтершоков Верхнекулинского землетрясения

В тектоническом отношении Верхнекулинское землетрясение и его афтершоки располагаются в пределах Верхнеиндигирского синклиория и приурочены к зоне приращения северо-восточно направленного Майско-Ульбейского глубинного разлома к Верхнекулинскому разлому северо-западного простирания (рис. 4). Здесь же проходит граница Тас-Кыстабытской зоны тектоно-магматической активизации.

Облако афтершоков имеет изометричную в плане форму. Его проекция на направление Верхнекулинского разлома вытянута на расстояние около 25 км, а вдоль Майско-Ульбейского на 20 км. Азимут простирания большей оси около 330° , меньшей – 230° . Главный толчок практически ограничивает облако афтершоков с юго-востока (рис. 4).

Гипоцентры всех афтершоков лежат в слое от 0 до 33 км (табл. 3, рис. 5, 6). Семнадцать афтершоков, или 44 %, расположены на глубинах 5–28 км, и в этом диапазоне глубин на вертикальном разрезе области афтершоков вдоль Верхнекулинского разлома можно усмотреть довольно крутой наклон – около 50° (рис. 6 а).

С главным событием связано выделение основной энергии. Так, если вместе со всеми афтершоками (главное событие и 39 афтершоков) суммарная сейсмическая энергия, выделившаяся в очаговой зоне Верхнекулинского землетрясения, составила $\Sigma E = 3.998 \cdot 10^{13}$ Дж, то в очаге основного толчка 2 августа в $14^h 17^m$ высвободилась энергия, равная $E = 3.981 \cdot 10^{13}$ Дж, или 99.6 % от суммарного ее значения, т.е. на все афтершоки приходится лишь 0.4 %.

Макросейсмические данные. Верхнекулинское землетрясение ощущалось на значительной территории. Сведения об его макросейсмических проявлениях собраны сотрудниками МФ ГС РАН в основном при помощи телефонного опроса жителей поселков Магаданской области, а также посредством распространения опросных листов. Было обработано более 80 сообщений. Землетрясение произошло в 2 часа ночи по местному времени, большинство респондентов спали. Макросейсмическая информация приведена ниже.

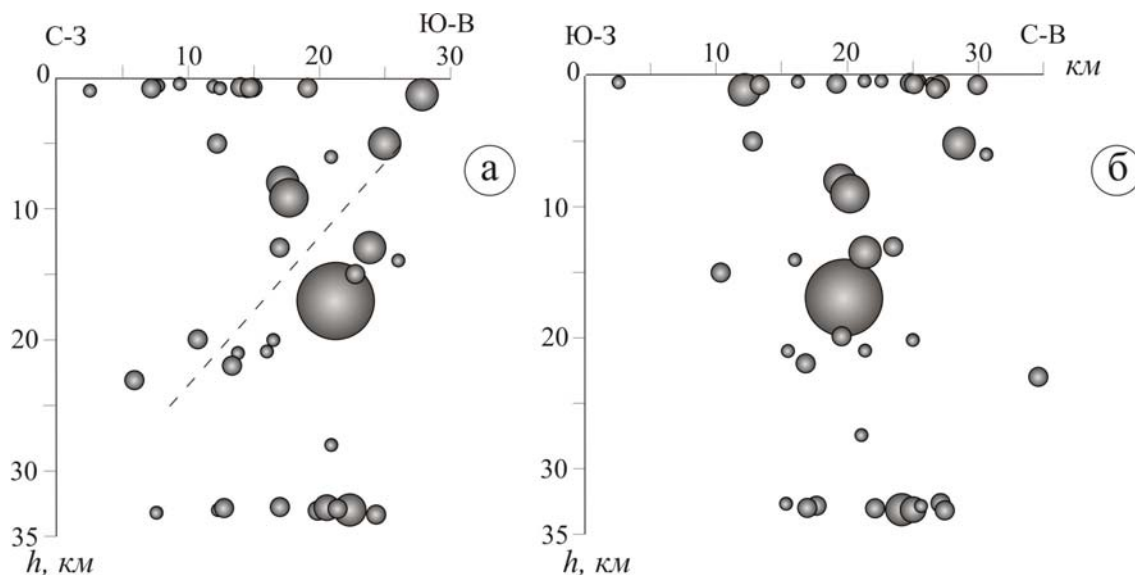


Рис. 6. Вертикальные разрезы очаговой области афтершоков Верхнекулинского землетрясения 2 августа в 14^h17^m с $K_p=13.6$ по линии Верхнекулинского разлома северо-западного простирания (а) и по линии Майско-Ульбейского разлома северо-восточного простирания (б)

I=5 баллов

Полигон месторождения Берелёх. Многие спавшие люди проснулись от сильного толчка, тряслась тяжелая мебель, оконные стекла вибрировали, звенела посуда, был слышен подземный гул. Многие люди испытали чувство тревоги.

Пос. Холодный. Бодрствующие жители на 1-х–2-х этажах шлакоблочных домов ощутили сильный толчок, потом сотрясение всего дома, спавшие проснулись, многие испугались.

Пос. Мьяунджа. Многие спавшие проснулись от толчка и вибрации. Жители на 1-х–5-х этажах панельных домов ощущали сотрясения всего здания в целом, трещали стены, полы; раскачивались и звенели люстры, посуда, выли собаки.

Г. Сусуман. Многие жители города проснулись от толчка, стучали дверцы шкафов, открылись форточки. На 3-х–5-х этажах панельных зданий слышали треск стен, полов, сильное раскачивание висящих предметов, чуть не упало зеркало со стены. Попугай упал с жердочки. Некоторые жители слышали гул или звук, похожий на шум ветра. Все, кто ощутил землетрясение, испугались, некоторые вышли на улицу. Беспечно вели себя кошки и собаки.

Пос. Мальдяк. На открытом воздухе, на полигоне люди ощутили горизонтальные колебания земли. Все спящие в одноэтажных деревянных домах проснулись, испытали сильный страх, многие покинули помещения.

I=4–5 баллов

Пос. Омчак, Усть-Омчуг. Жители поселков проснулись от звона, дребезжания стеклянных предметов, вибрировала мебель, предметы, стоящие на столе. Некоторых разбудили домашние животные. Большинство респондентов испытали чувство тревоги.

I=2–3 балла

Г. Магадан и пос. Талая. Землетрясение было замечено многими людьми, в основном на верхних (3-х–7-х) этажах зданий. Некоторые жители города и поселка проснулись от слабой вибрации, сходной с сотрясением, создаваемым легким грузовиком. Немногие наблюдали легкое раскачивание висящих предметов, дрожали листья комнатных растений. Попугай металась в клетке.

I=2 балла

Пос. Стекольный. Отдельными, не спавшими людьми, находящимися в покое, сидя или лёжа на 4-х–5-х этажах панельных зданий отмечались слабые колебания кроватей, стульев.

Из населенных пунктов Синегорье и Сеймчан макросейсмических сведений не поступало.

Оценки интенсивности сотрясений в каждом из населенных пунктов, выполненные по шкале MSK-64 [8], приведены в табл. 4. Карта макросейсмических проявлений Верхнекулинского землетрясения показана на рис. 7.

Таблица 4. Макросейсмические данные о Верхнекулинском землетрясении 2 августа с $K_p=13.6$ $M_w=5.3$

№	Пункт	Δ , км	№	Пункт	Δ , км	№	Пункт	Δ , км
	<u>5 баллов</u>			<u>4–5 баллов</u>			<u>2 балла</u>	
1	Берелёх	140	6	Омчак	120	10	Стекольный	345
2	Холодный	145	7	Усть-Омчуг	230		<u>1 балл</u>	
3	Мяунджа	146		<u>2–3 балла</u>		11	Синегорье	254
4	Сусуман	160	8	Талая	368	12	Сеймчан	363
5	Мальдяк	176	9	Магадан	386			

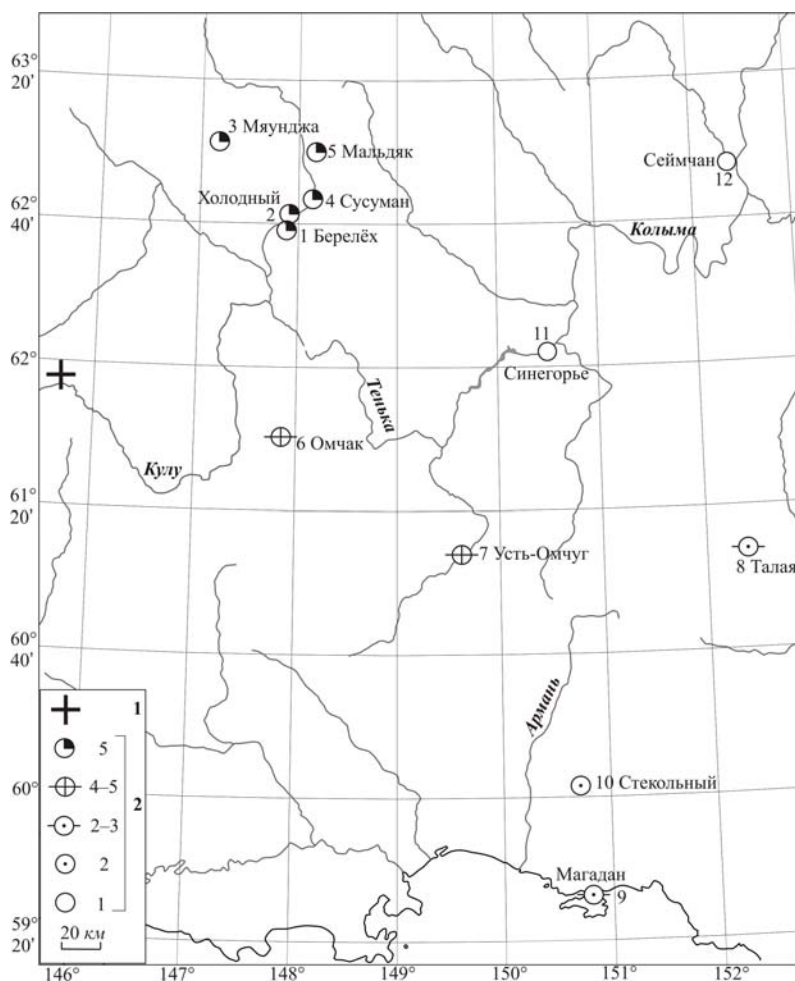


Рис. 7. Карта пунктов-баллов Верхнекулинского землетрясения 2 августа с $K_p=13.6$, $M_w=5.3$

1 – инструментальный эпицентр; 2 – интенсивность сотрясений в баллах по шкале MSK-64 [8]; номера пунктов соответствуют таковым в табл. 5.

Как видно из рис. 7, ощутимые сотрясения отмечены в населенных пунктах, находящихся восточнее от инструментального эпицентра. Низкая плотность населения, которое проживает в основном в Сусуманском районе и г. Магадан, не позволяет собрать более подробную информацию. С запада, проходит граница с Республикой Саха (Якутией). Макросейсмических сведений с этой территории не поступало, т.к. населенные пункты там практически отсутствуют.

Карта ОСР-97. По данным действующей карты общего сейсмического районирования территории РФ (ОСР-97) [9], очаговая область Верхнекулинского землетрясения располагается в 7-балльной зоне при периодах повторения одного семибалльного сотрясения один раз в 500 и в 1000 лет (рис. 8, фрагмент А, В), и восьмибалльного – один раз в 5000 лет (рис. 8, фрагмент С).

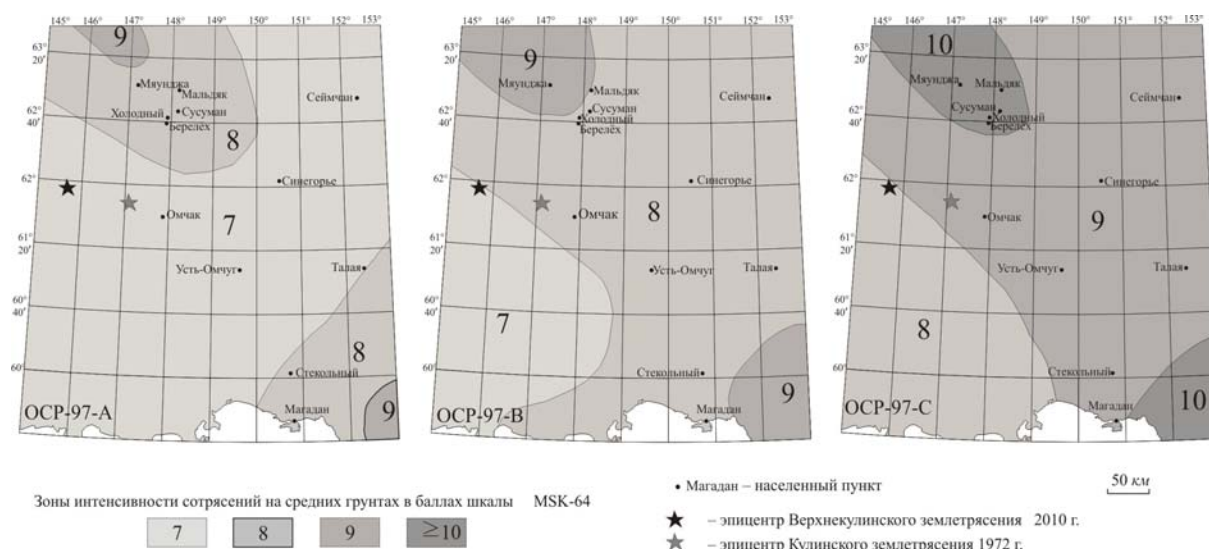


Рис. 8. Фрагмент карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации ОСР-97-А, ОСР-97-В и ОСР-97-С из [9]

Расчетное значение интенсивности сотрясений в эпицентре с применением среднего по Северо-Востоку и Якутии уравнения макросейсмического поля Н.В. Шебалина [10] при глубине очага $h=11$ км и $MS=5.0$ (табл. 1)

$$I_0 = 1.5 M - 3.5 \lg h + 3 \quad (2)$$

равно $I_0=6.86$.

Таким образом, расчетная интенсивность сотрясений в эпицентре $I_0=7$ баллов, что соответствует максимально возможному сотрясению по карте сейсмического районирования при периоде повторяемости один раз в 500 лет (рис. 8, фрагмент А).

История сейсмичности. В районе Верхнекулинской очаговой зоны и ранее регистрировались сильные землетрясения. Наиболее сильное из них – Кулинское с $K_p=14.0$, $MS=5.3$, 5.6 [7, 3] – произошло 13 января 1972 г. Его эпицентр находится в 76 км восточнее Верхнекулинского землетрясения, в зоне влияния Тенькинского разлома северо-западного простирания (рис. 4). Землетрясение сопровождалось афтершоками. Оно ощущалось на значительной территории Магаданской области. Максимальная интенсивность сотрясений $I=6$ баллов отмечалась в пос. Кулу, расположенном в 25 км к северо-западу от Кулинского землетрясения [7]. В настоящее время этот поселок закрыт, населения там нет. Расчетная интенсивность сотрясений в эпицентре I_0 для Кулинского землетрясения 1972 г. по формуле Н.В. Шебалина (2) при различных вариациях глубины также достигает $I_0=7$ баллов.

Произошедшие в разные периоды времени сильные землетрясения (Кулинское 13.01.1972 г. с $K_p=14.0$ и Верхнекулинское 02.08.2010 г. с $K_p=13.6$) свидетельствуют о том, что в исследуемом районе существует сейсмическая опасность. В будущем здесь также могут происходить подобные события. Эта сейсмическая опасность должна быть учтена в картах сейсмического районирования Магаданской области.

Л и т е р а т у р а

1. Алёшина Е.И. (сост.). Каталог механизмов очагов землетрясений Северо-Востока России за 2010 г. по данным ISC. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
2. International Seismological Centre, On-line Bulletin, Internatl. Seis. Cent., Thatcham, United Kingdom, 2013. – URL: <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/>.
3. Сейсмологический бюллетень (ежедекадный) за 2010 год / Отв. ред. О.Е. Старовойт. – Обнинск: ГС РАН, 2010–2011. – URL: ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_bulletin/2010.
4. Алёшина Е.И., Курткин С.В., Карпенко Л.И., Седов Б.М. (сост.). Сейсмические станции Северо-Востока России в 2010 г. (код сети NERS). (См. Приложение к наст. сб. на CD).

5. **Алёшина Е.И. (отв. сост.), Комарова Р.С., Чернецова А.Г. (сост.)**. Каталог землетрясений Северо-Востока России за 2010 г. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
6. **Кузнецов В.М.** Схема тектонического районирования Охотско-Колымского водораздела. Масштаб 1:1 000 000. – ФГУП «Магадангеология», 2001.
7. **Козьмин Б.М., Андреев Т.А., Дарешкина Н.М., Югова Р.С.** Землетрясения Якутии и Северо-Востока // Землетрясения в СССР в 1972 году. – М.: Наука, 1976. – С. 119–131.
8. **Медведев С.В. (Москва), Шпонхойер В. (Иена), Карник В. (Прага)**. Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.
9. **Уломов В.И., Шумилина Л.С.** Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации – ОСР-97. Масштаб 1:8 000 000. – М.: ИФЗ РАН, 1999. – 57 с.
10. **Шебалин Н.В.** Коэффициенты уравнения макросейсмического поля по регионам // Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. – М.: Наука, 1977. – С. 30.