

**ХАТАЛДОНСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 11 мая 2008 г.**

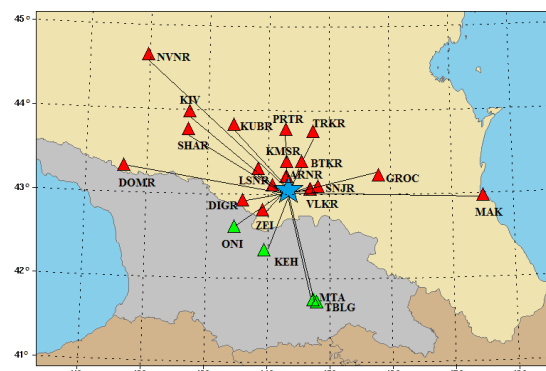
**с  $K_p=10.2$ ,  $I_0=4$  (Северная Осетия–Алания)**

**И.П. Габсатарова<sup>1</sup>, Э.В. Погода<sup>2</sup>, Л.В. Головкова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Центральное отделение ГС РАН, ira@gstras.ru;

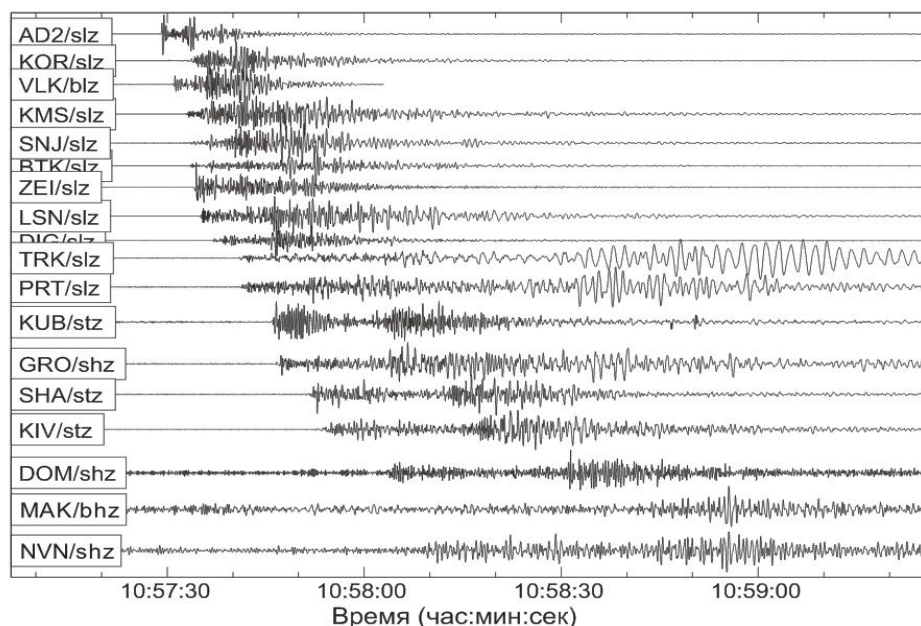
<sup>2</sup>Северо-Осетинский филиал ГС РАН, pogoda@globalalania.ru, ccd.osetia@gmail.com

Хаталдонское землетрясение с  $K_p=10.2$  произошло 11 мая 2008 г. в 10<sup>h</sup>57<sup>m</sup> в центральной части территории Республики Северная Осетия–Алания. Землетрясение интересно тем, что это первое ощутимое землетрясение, проявления которого были обследованы в населенных пунктах после создания на этой территории сети сейсмических станций и организации информационно-обрабатывающего центра. На региональных расстояниях оно было зарегистрировано сетью сейсмических станций Северо-Осетинского филиала и лаборатории сейсмичности Кавказских Минеральных Вод ГС РАН, а также отдельными станциями сети Грузии (рис. 1 а). Станции, участвующие в определении параметров гипоцентра, хорошо окружали эпицентр (азимутальная брешь не превышала  $\Delta\varphi=74^\circ$ ).



**Рис. 1 а.** Сеть сейсмических станций, зарегистрировавших землетрясение 11 мая 2008 г., удаленных не далее 300 км от эпицентра

Ближайшие станции – «Ардон» и «Кора» – были удалены на 16 и 21 км соответственно. Наиболее удаленная станция «Невинномысск» (рис. 1 б), участвующая при локации, имела  $\Delta=272$  км. Общее число станций равно  $n=22$ .



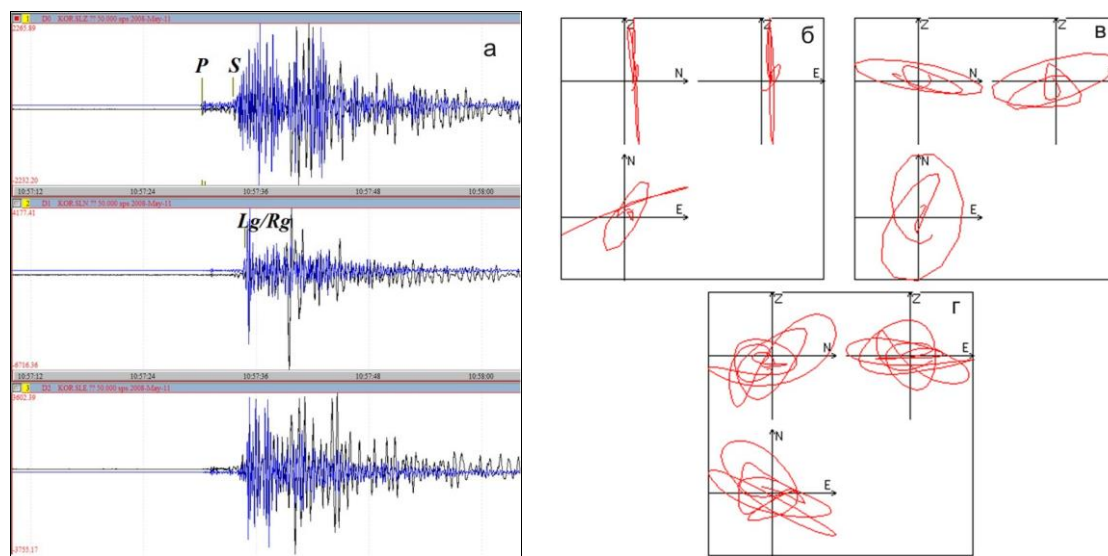
**Рис. 1 б.** Фрагменты записей на вертикальной компоненте станциями сети ГС РАН, отфильтрованные в полосе 1–5 Гц (коды станций – региональные)

Решения параметров землетрясения в различных сейсмологических центрах (табл. 1) показывают незначительный разброс в результатах локации (рис. 2). В решениях центров CSEM и ISC, а также по региональным данным получена небольшая глубина гипоцентра, не превышающая 9 км. Такое положение очага согласуется с границей кристаллического фундамента в этом районе [1].

**Таблица 1.** Основные параметры Хаталдонского землетрясения 11 мая 2008 г. с  $K_p=10.2$  по данным различных 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		
OBN	105724.7	0.74	43.04	0.05	44.32	0.05	9		$K_p=10.2/15$ , $MPVA_{reg}=4.5/15$	[2]
MOS	105725.6	1.3	43.069	0.09	44.343	0.07	17		$MPSP=4.6/1$ , Владикавказ 3–4 балла	[3]
ISC	105727.0	0.3	43.06	0.02	44.33	0.03	7	3		[4]
CSEM	105726.5	0.2	43.0506	0.03	44.3265	0.04	2		$MPSP=4.6$ (из MOS)	[4]

**Особенности волновой картины.** Обращает на себя внимание чрезвычайно разнородная волновая картина на разных станциях, незначительно удаленных друг от друга и эпицентра (рис. 1 б). Часть станций, такие как «Ардон» (AD2), «Владикавказ» (VLK), «Цей» (ZEI), «Куба-Таба» (KUB), «Грозный» (GRO), «Шиджатмаз» (SHA) имеют четкие первые вступления в  $P$ -волне и максимум в группе в пределах первого импульса, остальные – нечеткие вступления и затянутую картину всей группы  $P$ -волн, с максимумом через несколько секунд. Особенности отличия имеет запись станции «Кора», расположенной в области Владикавказского разлома (рис. 2 а).



**Рис. 2.** Трехкомпонентные записи станции «Кора» землетрясения 11 мая 2008 г. (а), графики движения частиц в группе  $P$ -волн (б),  $S$ -волн (в),  $Lg/Rg$ -волн (г)

Первый импульс  $P$ -волны имеет групповую скорость  $v=4.0$  км/с и четкую поляризацию в виде плоского эллипса, вытянутого в направлении на эпицентр в горизонтальной плоскости (рис. 2 б), а также минимальные амплитуды, по сравнению со всеми другими волнами, выделяемыми на записях, а именно: условно принятыми за  $S$ -волну, с групповой скоростью  $v=2.3$  км/с и  $Lg$ - и  $Rg$ -волнами, с групповыми скоростями  $v=2.0$  км/с и  $v=1.45$  км/с соответственно. По виду графика движения частиц все последующие волны после  $P$  имеют эллиптическую поляризацию и, следовательно, могут иметь природу поверхностных (каналовых) волн (рис. 2 в, г).

Иную волновую картину имеют записи на станциях «Притеречная» (PRT) и «Терская» (TRK), расположенных вблизи зоны глубинных разломов Терского или Срединного. Их волновая картина также осложнена интенсивными и длительными цугами поверхностных (каналовых) волн (рис. 1 б).

На разнородность картины могут влиять как положение станций относительно действу-

ющей плоскости разрыва в очаге землетрясения 11 мая, так и неоднородность строения верхней части коры. Последнее хорошо иллюстрирует карта-схема аномалий продольных волн земной коры на уровне поверхности фундамента, построенная по данным  $P$ -вступлений на станциях Северного Кавказа [5]. Установлено, что отклонения в скоростях хорошо коррелируют с границами структурных элементов. На карте (рис. 3) цветом показаны отклонения от скоростной модели Терско-Каспийского прогиба по данным ГСЗ [1]. В тектоническом плане часть станций «Дигорское ущелье» (DIG), «Цей» (ZEI), «Лац» (LAC) – расположены на северных склонах Большого Кавказа; станции «Кора» (KOR), «Лескен» (LSN) и «Владикавказ» (VLK) находятся в переходной зоне; станции «Ардон» (ARN), «Комсомольская» (KMS), «Ботакоюрт» (BTK), «Притеречная» (PRT), «Терская» (TRK) – в пределах Осетинской впадины; станция «Грозный» (GRO) – в Чеченской впадине Терско-Каспийского прогиба.

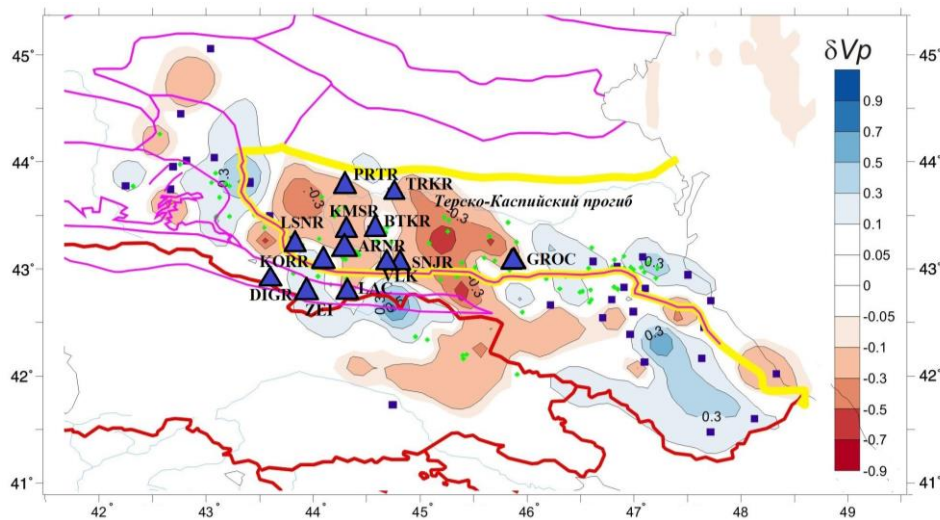


Рис. 3. Карта-схема аномалий скоростей продольных волн относительно модели земной коры на глубине 10.5 км из [5]

**Форшоки и афтершоки.** До землетрясения в его очаговой зоне записаны три землетрясения (табл. 2), которые по времени довольно далеки от главного толчка. Поэтому их не следует, по-видимому, считать «явными» форшоками. Скорее, это фоновые события. Афтершоки, напротив, «явные», т.к. почти половина из них реализовалась в первый месяц после основного толчка, в мае – июне 2008 г. (табл. 2). Всего в эпицентральной области за период с 11 мая по 31 декабря 2008 г. зарегистрировано  $N_{\text{aft}}=35$  афтершоков с  $K_p=5.3-7.9$  [6]. Согласно [6], энергетические ступени между главным толчком и максимальными форшоком/афтершоком равны:

$$\Delta K_{\text{ф}} = 10.2 - 6.0 = 4.2,$$

$$\Delta K_{\text{а}} = 10.2 - 7.9 = 2.3.$$

Развертка во времени энергетических классов афтершоков Хаталдонского землетрясения дана на рис. 4, из которого виден спад во времени как числа афтершоков, так и их энергетического диапазона от  $K_p=7.9-5.4$  в первый месяц до  $K_p=6.1-5.4$  – в последний. В целом наблюдался нормальный характер релаксационного процесса.

Облако афтершоков имеет форму эллипса, вытянутого вдоль Владикавказского разлома (рис. 5). Большая ось эллипса имеет длину  $\ell_{\parallel}=17$  км, малая –  $\ell_{\perp}=10$  км.

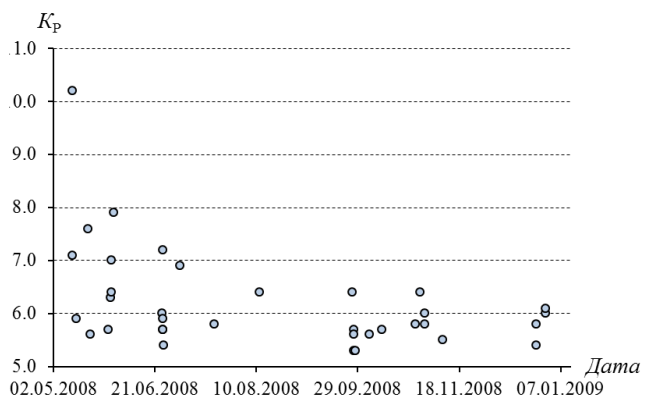


Рис. 4. Энергетические классы  $K_p$  последовательных во времени афтершоков Хаталдонского землетрясения

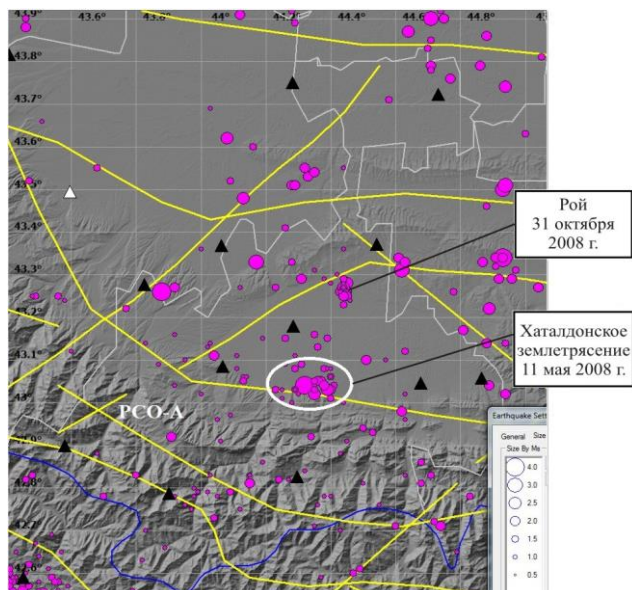


Рис. 5. Положение эпицентров афтершоков Хаталдонского землетрясения на фоне глубинных разломов по [7] (построено с помощью программы GIS-EEDB [8])

**Механизм очага** этого землетрясения (табл. 2, рис. 6) построен по программе [9] по знакам первого движения в  $P$ -волне на 17 станциях [10], удаленных на расстояния от 16 до 272 км и расположенных в трех квадрантах относительно эпицентра. Максимальный азимутальный угол без станций составил  $125^\circ$ , и поэтому решению может быть присвоено лишь качество не лучше, чем  $D$ , т.е. отклонения в положении нодальных плоскостей могут превышать  $45^\circ$ . Тем не менее это решение можно рассматривать как наиболее вероятное.

Как следует из табл. 2, движение в очаге произошло под действием преобладающих сил сжатия, направленных с юго-востока. Подвижка по крутой ( $DP_2=71^\circ$ ) плоскости  $NP2$  типа взброс с элементами правостороннего сдвига, по пологой ( $DP_1=24^\circ$ ) плоскости  $NP1$  – надвиг с левосторонним сдвигом.

Таблица 2. Параметры механизма очага Хаталдонского землетрясения 11.05.2008 г. в  $10^h57^m$  с  $K_p=10.2$

Агентство	Дата, д м	$t_0$ , ч мин с	$h$ , км	$MPVA$	$K_p$	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости						Источник
						$T$		$N$		$P$		$NP1$			$NP2$			
						$PL$	$AZM$	$PL$	$AZM$	$PL$	$AZM$	$STK$	$DP$	$SLIP$	$STK$	$DP$	$SLIP$	
OBV	11.05	10 57 24.7	9	4.5	10.2	61	253	14	9	25	106	224	24	127	5	71	75	[10]

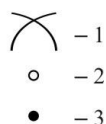
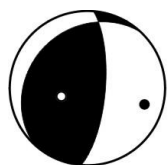


Рис. 6. Стереграмма механизма очага землетрясения 11 мая 2008 г.  
1 – нодальные линии; 2, 3 – оси главных напряжений растяжения и сжатия соответственно; зачернена область волн сжатия.

**Макросейсмические сведения** собраны сотрудниками Северо-Осетинского филиала ГС РАН. Землетрясение 11 мая в  $10^h57^m$  явилось самым значительным из ощутимых землетрясений на территории Северной Осетии–Алании в двухтысячных годах. Результаты обследования интенсивности его проявления в ближайших населенных пунктах приведены в (табл. 3).

Таблица 3. Макросейсмические данные о землетрясении 11.05.2008 г. в  $10^h57^m$  с  $K_p=10.2$

№	Пункт	$\Delta$ , км	Координаты		№	Пункт	$\Delta$ , км	Координаты	
			$\varphi^\circ$ , N	$\lambda^\circ$ , E				$\varphi^\circ$ , N	$\lambda^\circ$ , E
	<u>4 балла</u>								
1	Хаталдон	3	43.04	44.36	6	Верхний Бирагзанг	8	43.01	44.23
2	Суадаг	3	43.04	44.28	7	Кадрагон	10	43.13	44.33
	<u>3–4 балла</u>								
3	Дзуарикау	7	43.01	44.39	8	Кодахджин	11	43.01	44.45
	<u>3 балла</u>								
4	Нижний Бирагзанг	6	43.04	44.24	9	Мичурино	13	43.14	44.40
5	Алагир	8	43.03	44.22	10	Ардон	15	43.17	44.28
					11	Кирово	16	43.17	44.41
						<u>2 балла</u>			
					12	Карджин	25	43.27	44.29
					13	Владикавказ	30	43.03	44.68

Максимальная интенсивность сотрясений составила 4 балла на очень близком расстоянии –  $\Delta=3$  км (табл. 3), поэтому будем считать, что и в эпицентре интенсивность равна  $I_0=4$  балла.

Карта приближенных изосейст этого землетрясения дана на рис. 7.



Рис. 7. Карта пунктов-баллов и фрагменты предполагаемых изосейст землетрясения 11 мая 2008 г. с  $K_p=10.2$

1 – интенсивность сотрясений в баллах по шкале MSK-64 [11]; 2 – инструментальный эпицентр.

С интенсивностью  $I=4$  балла землетрясение проявилось в селениях *Суадаге*, *Хаталдоне* и с  $I=3-4$  балла – в *Дзуарикау*. Люди, находящиеся в состоянии покоя, ощутили колебания почвы, услышали грохотообразный гул, в домах колебались свободно подвешенные предметы, выплескивалась жидкость из сосудов.

Интенсивность колебаний с  $I=3$  балла зафиксирована в *Алагире*, *Верхнем Бирагзанге*, *Нижнем Бирагзанге*, *Кодахджине*, *Кадгароне*, *Ардоне*, *Мичурино*, *Кирово*. Здесь землетрясение ощутили также многие люди, были заметны колебания свободно подвешенных предметов и вибрация как от движения легкого грузовика, дребезжание посуды, дребезжание стекол в окнах.

Интенсивность сотрясений в 2 балла зафиксирована в *Карджине* и *Владикавказе* по вибрации легких предметов.

Все три изосейсты из-за малого числа населенных пунктов приближенные, что связано с небольшой энергией главного толчка, всего  $K_p=10.2$ . Но тем не менее вытянутость изосейст разная: близширотная для  $I=4$  балла и близмеридиональная – для  $I=3$  и 2 балла. При этом изосейста высшего балла согласуется с близширотным Владикавказским разломом, тогда как система из двух оставшихся изосейст с  $I=3$  и 2 балла вытянута в близмеридиональном направлении и явного разлома в этом направлении нет.

**Тектоническая позиция.** Очаг Хаталдонского землетрясения близок к области сочленения сооружений Большого Кавказа и Терско-Каспийского прогиба. Граница между ними проходит по глубинному широтному Владикавказскому разлому (рис. 8), для которого установлена тектоническая активность в плейстоцен-голоценовое время [7, 12]. Владикавказский разлом характеризуется как крутопадающий в южном направлении, формирующий узкое и глубокое южное крыло Терско-Каспийского прогиба. Южная зона Терского прогиба разделена диагональной Даттых-Назрановской перемычкой на две замкнутые впадины – Осетинскую, в пределах которой находится исследуемый очаг, и Чеченскую. Кристаллический фундамент здесь опущен до глубины 8–10 км, и впадины заполнены мезокайнозойскими терригенно-карбонатными породами [7, 12].

Однако простирание нодальных плоскостей механизма очага (рис. 6) и вытянутость изосейст с  $I=3$  и 2 балла (рис. 7) не согласуются с простиранием Владикавказского разлома, что говорит о вероятной связи очага с движениями вдоль какого-то не столь выраженного регионального разлома, простирающегося почти перпендикулярно глубинному Владикавказскому разлому. Такой разлом выделяется по неотектоническим данным на «Карте глубинной тектоники юга европейской части СССР и сопредельных стран» [14] и протягивается с территории Южной Осетии на север почти до пос. Ардон в Северной Осетии. С Владикавказским разломом согласуется изосейста с  $I=4$  балла, правда, ее положение зафиксировано только по двум пунктам.

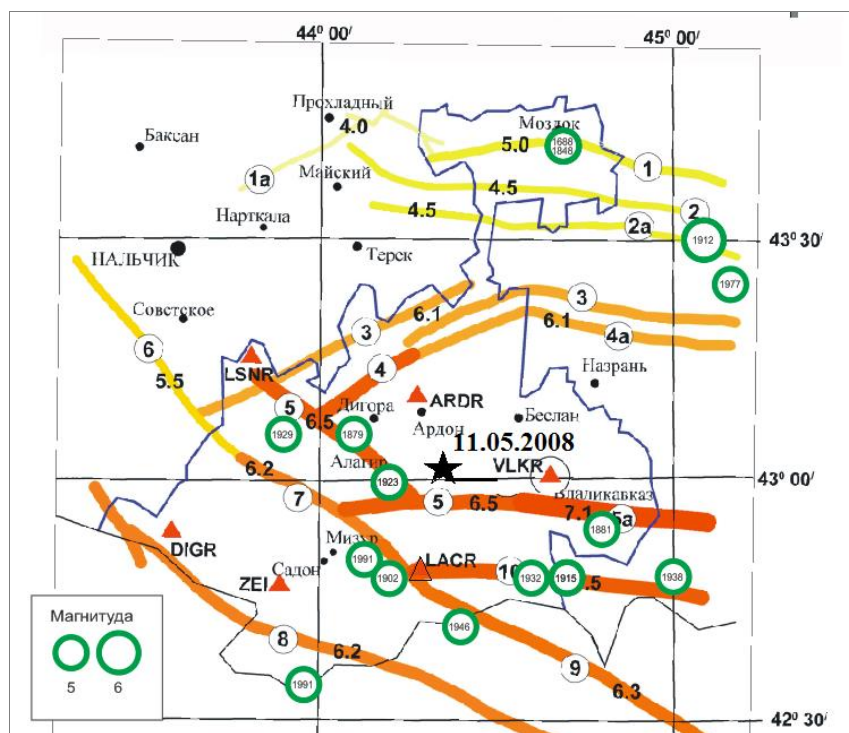


Рис. 8. Наложение эпицентров сильнейших исторических землетрясений Северной Осетии на схему ВОЗ по [13]

Зоны ВОЗ: 1 – Моздокская; 2, 2а – Терская северная и южная соответственно; 3 – Сунженская северная; 4 – Сунженская; 4а – Сунженская южная; 5, 5а – Владикавказская западная и восточная соответственно; 6 – Нальчикская; 7 – Мизурская; 8 – зона Главного хребта; 9 – зона Бокового хребта; 10 – Кармадонская.  
Коды и названия станций: «Лескен»–LSNR, «Ардон»–ARDR, «Владикавказ»–VLKR, «Дигорское ущелье»–DIGR, «Цей»–ZEI, «Лац»–LACR.

**История сейсмичности** очаговой зоны исследуемого землетрясения рассмотрена за последние 150 лет по данным «Нового Каталога...» [15]. Землетрясение 11 мая в  $10^h57^m$  произошло вблизи Владикавказской зоны ВОЗ, для которой, согласно [13], теоретически максимально возможная магнитуда равна  $M_{\max}=6.5-7.1$ , хотя в действительности такие магнитуды вблизи очаговой зоны описываемого землетрясения 11 мая пока не зафиксированы. Согласно Новому Каталогу [15], ближайшими по расстоянию к нему являются землетрясения Северо-Осетинское 23.04.1923 г. с  $M=4.8$  и  $I_0=8$  баллов, 07.01.1879 г. с  $M=4.6$  и  $I_0=6$  баллов, Садонское 10.02.1929 г. с  $M=5.3$  и  $I_0=(7)$  баллов вдоль северо-западной ветви Владикавказской зоны ВОЗ и землетрясение 08.11.1881 г. с  $M=4.0$  и  $I_0=5$  баллов вдоль его широтной ветви (табл. 4, рис. 8).

Таблица 4. Основные параметры сильнейших ( $M \geq 4.0$ ) и ощутимых ( $I_0 \geq 5$ ) землетрясений в районе Хаталдонского землетрясения за 1879–2007 гг.

№	Дата	$t_0$ , ч мин с	Эпицентр		$h$ , км	$M$	$I_0$ , баллы	Источ- ник	Примечания
			$\varphi^\circ$ , N	$\lambda^\circ$ , E					
1	07.01.1879	23 00 ___ $\pm 10$ мин	43.1 $\pm 0.2$	44.1 $\pm 0.2$	(15) 5–50	4.6 $\pm 0.7$	5 $\pm 1$	[15]	
2	08.11.1881	21 00 ___ $\pm 1$ час	42.9 $\pm 0.5$	44.8 $\pm 0.5$	(15) 5–50	4.0 $\pm 0.7$	5 $\pm 1$	[15]	
3	23.04.1923	06 51 09 $\pm 20$ с	43.0 $\pm 0.2$	44.2 $\pm 0.2$	5 2–10	4.8 $\pm 0.5$	8 $\pm 1$	[15]	Северо-Осетинское (основной толчок)
4	23.04.1923	14 46 43 $\pm 20$ с	(43.0 $\pm 0.5$ )	(44.2 $\pm 0.5$ )	(5) 1–15	4.8 $\pm 0.7$		[15]	Афтершок
5	04.07.1923	— — —	(43.0 $\pm 0.5$ )	(44.2 $\pm 0.5$ )	(5) 1–15	$\sim 3.5$ $\pm 0.5$	6 $\pm 1$	[15]	Афтершок
6	10.02.1929	17 20 07 $\pm 5$ с	43.1 $\pm 0.5$		17 11–25	5.3 $\pm 0.3$	(7) $\pm 1$	[15]	Садонское

Эпицентр землетрясения 11 мая в  $10^{\text{h}}57^{\text{m}}$  находится в 10 км к востоку от эпицентра 8-алльного Северо-Осетинского землетрясения 23.04.1923 г. с  $M=4.8$ . Учитывая невысокую точность ( $\delta=\pm 20$  км) определения параметров его эпицентра, можно утверждать, что современное землетрясение 11 мая 2008 г. произошло в эпицентральной области сильнейшего в этом районе землетрясения.

### Л и т е р а т у р а

1. Краснопевцева Г.В. Глубинное строение Кавказского сейсмоактивного региона. – М.: Наука, 1984. – 109 с.
2. Габсатарова И.П., Селиванова Е.А., Головкова Л.В., Асманов О.А., Девяткина Л.В. (отв. сост.); Александрова Л.И., Иванова Л.Е., Малянова Л.С., Амиров С.Р., Мусалаева З.А., Сагателова Е.Ю., Гамидова А.М., Абдуллаева А.Р., Калоева И.Ю., Киселёва О.А., Перевозников К.А., Цирихова Г.В. Каталог землетрясений ( $N=1937$ ) и взрывов ( $N=31$ ) Северного Кавказа за 2008 г. в государственных границах +30 км (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.gsr.ru/pub/Teleseismic\\_bulletin/2008/](http://ftp.gsr.ru/pub/Teleseismic_bulletin/2008/).
4. Bulletin of the International Seismological Centre for 2008. – Thatcham, United Kingdom: ISC, 2010. – URL: <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/>.
5. Санина И.А., Шаумян А.В., Габсатарова И.П., Лукашова Р.Н. Первые результаты построения трехмерной скоростной модели Северного Кавказа по данным региональных наблюдений // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Четвертой Международной сейсмологической школы. Листвянка, 10–14 августа 2009 г. – Обнинск: ГС РАН, 2009. – С. 183–190.
6. Габсатарова И.П., Селиванова Е.А., Головкова Л.В. (отв. исп.), Калоева И.Ю., Киселёва О.А., Перевозников К.А., Цирихова Г.В. Форшоки ( $N=3$ ) и афтершоки ( $N=35$ ) Хаталдонского землетрясения 11.05.2008 г. с  $K_p=10.2$ ,  $I_0=4$ . (См. Приложение к наст. сб. на CD).
7. Рогожин Е.А. Очерки региональной сеймотектоники / Отв. ред. А.О. Глико. – М.: ИФЗ РАН, 2012. – 340 с.
8. Михеева А.В., Дядько П.Г., Марчук А.Г. Геоинформационная система GIS-EEDB и методы пространственно-временного анализа сейсмологических данных // Геоинформатика. – 2013. – № 2 – С. 58–65.
9. Ландер А.В. Описание и инструкция для пользователя комплекса программ FA (расчет и графическое представление механизмов очагов землетрясений по знакам первых вступлений  $P$ -волн). – М.: Фонды автора, 2006. – 27 с.
10. Габсатарова И.П. (отв. сост.), Малянова Л.С. Каталог механизмов очагов землетрясений Северного Кавказа за 2008 г. ( $N=23$ ). (См. Приложение к наст. сб. на CD).
11. Медведев С.В. (Москва), Шпонхойер В. (Иена), Карник В. (Прага). Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.
12. Милановский Е.Е. Новейшая тектоника Кавказа. – М.: Недра, 1968. – 483 с.
13. Рогожин Е.А., Габсатарова И.П., Погода Э.В. Зоны ВОЗ и сейсмичность территории Республики Северная Осетия–Алания // Сейсмичность Северной Евразии. Материалы Международной конференции, посвященной 10-летию выпуска сборника научных трудов «Землетрясения Северной Евразии», Обнинск, 28–31 июля 2008 г. – Обнинск: ГС РАН, 2008. – С. 243–249.
14. Мельников В.А., Мельников Ю.В., Москалёв Е.Л., Скарятин В.Д. / Под ред. С.С. Зембатова, Э.Л. Кобленца и В.Б. Цогоева. Карта глубинной тектоники юга европейской части СССР и сопредельных стран. М 1: 1 000 000. – Л.: ВСЕГЕИ, 1975.
15. Бабаян Т.О., Кулиев Ф.Т., Папалашвили В.Г., Шебалин Н.В., Вандышева Н.В. (отв. сост.). П б. Кавказ [50–1974 гг.,  $M\geq 4.0$ ,  $I_0\geq 5$ ] // Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. – М.: Наука, 1977. – С. 69–170.