

**СПЕКТРАЛЬНЫЕ и ОЧАГОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ
СЕВЕРНОГО КАВКАЗА**

Л.С. Малянова, И.П. Габсатарова

ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск, *lmal@gstras.ru, ira@gstras.ru*

Для восемнадцати землетрясений Северного Кавказа (табл. 1) построены спектры по записям одной станции «Кисловодск» «КIV» с использованием методики [1], примененной ранее [2–6] в этом же регионе. Для исследования были выбраны наиболее сильные землетрясения, эпицентры которых удалены не более чем на 300 км от станции «Кисловодск». Положение эпицентров землетрясений приводится на рис. 1. Часть из них произошла в Грузии: сильное землетрясение 18 августа 2011 г. в 11^h57^m и его афтершоки (№ 2, № 10–12 и № 18 в табл. 1 и рис. 1) в долине р. Риони, в ее среднем течении. Для основного толчка 18 августа 2011 г. в 11^h57^m определен сейсмический момент и рассчитана магнитуда Канамори M_w по данным других сейсмологических центров: CSEM, NEIC, GCMТ (из ISC [8]), они также приводятся в табл. 3. Скалярный сейсмический момент и магнитуда Канамори M_w для другого довольно сильного землетрясения 29 сентября 2011 г. в 08^h58^m (№ 16 в табл. 1 и на рис. 1) определены в CSEM и NEIC и также приводятся в табл. 3.

Десять землетрясений произошли на востоке Северного Кавказа – на территории Чечни, Ингушетии и Дагестана (№ 1, №№ 3–8, №№ 13–15 в табл. 1 и на рис. 1).

Таблица 1. Список землетрясений Северного Кавказа из [9], для которых рассчитаны спектры в 2011 г.

№	Дата, д м	t_0 , ч мин с	Эпицентр		h , км	K_p	$MPVA$	M^P	Район
			φ° , N	λ° , E					
1	13.01	02 50 12.1	43.22	46.22	8	11.2	4.9	4.0	Чечня
2	15.02	12 57 15.7	42.25	42.71	7	10.2	4.3	3.4	Грузия
3	02.03	22 13 54.7	42.58	45.50	10	10.2	4.6	3.4	Чечня
4	14.03	06 26 47.1	42.87	46.38	10	10.1	4.4	3.4	Дагестан
5	05.05	10 11 42.1	43.01	47.25	3	10.1	4.5	3.4	Дагестан
6	17.06	04 40 37.5	42.13	46.00	18	10.1	4.5	3.4	Дагестан
7	08.07	17 23 38.6	43.52	45.51	151	10.9	5.0	3.8	Чечня
8	21.07	22 34 24.8	42.88	45.06	12	10.2	4.6	3.4	Ингушетия
9	02.08	08 12 26.1	41.68	44.36	12	10.1	4.5	3.4	Грузия
10	18.08	11 57 42.7	42.58	42.97	6	12.4	5.2	4.7	Грузия
11	18.08	13 55 11.4	42.66	43.03	1	10.3	4.5	3.5	Грузия
12	21.08	06 47 49.4	42.52	43.16	4	10.5	4.7	3.6	Грузия
13	07.09	13 49 21.9	42.83	46.29	12	10.7	4.7	3.7	Дагестан
14	11.09	03 00 19.0	42.81	45.83	13	10.4	4.7	3.6	Чечня
15	24.09	14 06 29.4	42.97	45.80	14	10.7	4.8	3.7	Чечня
16	27.09	08 58 52.1	41.36	43.97	6	12.1	5.1	4.5	Грузия
17	18.10	23 26 29.1	42.54	44.07	9	10.7	4.8	3.7	Грузия
18	17.12	11 03 36.0	42.50	43.13	4	10.5	4.7	3.6	Грузия

Примечание. $MPVA$ – магнитуда по продольной волне P с использованием калибровочной функции Кавказа [10], M^P – расчетная магнитуда по формуле Т.Г. Раутиан $K=4 + 1.8 K_p$ [11].

Так как спектр записи реального землетрясения в точке наблюдения является суперпозицией эффектов самого источника, амплитудно-частотной характеристики регистрирующего прибора, среды на пути очаг–станция и направленности излучения, то была применена методика учета всех этих факторов при переходе от станционного спектра к спектру источника, кото-

рая подробно изложена в работах [12–14]. Значение сейсмического момента в очаге землетрясения M_0 получено по формуле из [13]:

$$M_0 = \Omega_0(4\pi\rho v^3) / R_{0\phi} \cdot G(\Delta, h) \cdot C(\omega), \quad (1)$$

где Ω_0 – максимальное значение спектральной плотности при $\omega \rightarrow 0$; v и ρ – скорость распространения волны и плотность пород в окрестности очага; $R_{0\phi}$ – функция, характеризующая направленность излучения из очага на станцию; $G(\Delta, h)$ – поправка за геометрическое расхождение; $C(\omega)$ – частотная характеристика земной коры под станцией.

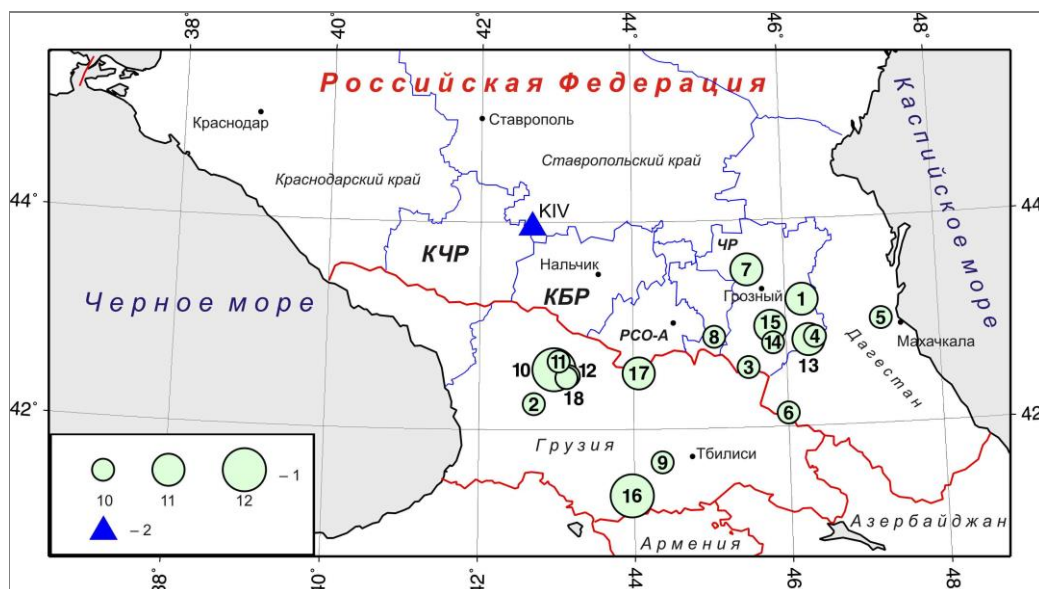


Рис. 1. Карта эпицентров землетрясений 2011 г., для которых проведен спектральный анализ

1 – энергетический класс K_p ; 2 – сейсмическая станция опорной сети «Кисловодск» с широкополосным сейсмографом STS-1

Для относительно слабых по магнитуде землетрясений при неизвестном механизме очага обычно принимается среднее значение $R_{0\phi}=0.6$ [15], что было сделано и в наст. ст., т.к. механизмы исследуемых очагов не удалось построить из-за недостаточного числа знаков первого движения в P -волне.

Функция геометрического расхождения $G(\Delta, h)$ для близких землетрясений на расстояниях от станции регистрации $r < 1000$ км может быть оценена как $1/r$ [16], где r – гипоцентральное расстояние. Частотная характеристика земной коры под станцией принимается в среднем равной $C(\omega)=2$ в случае отсутствия данных конкретных исследований.

В станционные спектры были введены поправки $S(f)$ за неупругое затухание волны в мантии, которая рассчитывается по формуле (2) из [14]:

$$S_m(f) = e^{-t_s^* \pi f}, \quad (2)$$

где t_s^* – отношение времени t_s пробега S -волны до станции регистрации к средней добротности среды Q_{cp} вдоль луча по [14] равно

$$t_s^* = t_s / Q_{cp}. \quad (3)$$

Значение Q_{cp} для S -волн по записям станции «Кисловодск» определено в [17] и находится для полосы частот $\Delta f=1-8$ Гц из зависимости $Q(f) \sim 85 f^{0.9}$ – для «Кисловодска».

Для построения спектров выбирался фрагмент записи S -волны от начала вступления до момента, когда амплитуда этой группы волн достигла примерно $1/3 A_{S \max}$ [16] (примеры для записи корового землетрясения и для землетрясения с промежуточной глубиной показаны на рис. 2). В зависимости от удаленности станции от очага землетрясения длительность τ записи выбранных фрагментов варьировала от 60 до 90 с от вступления S -волны.

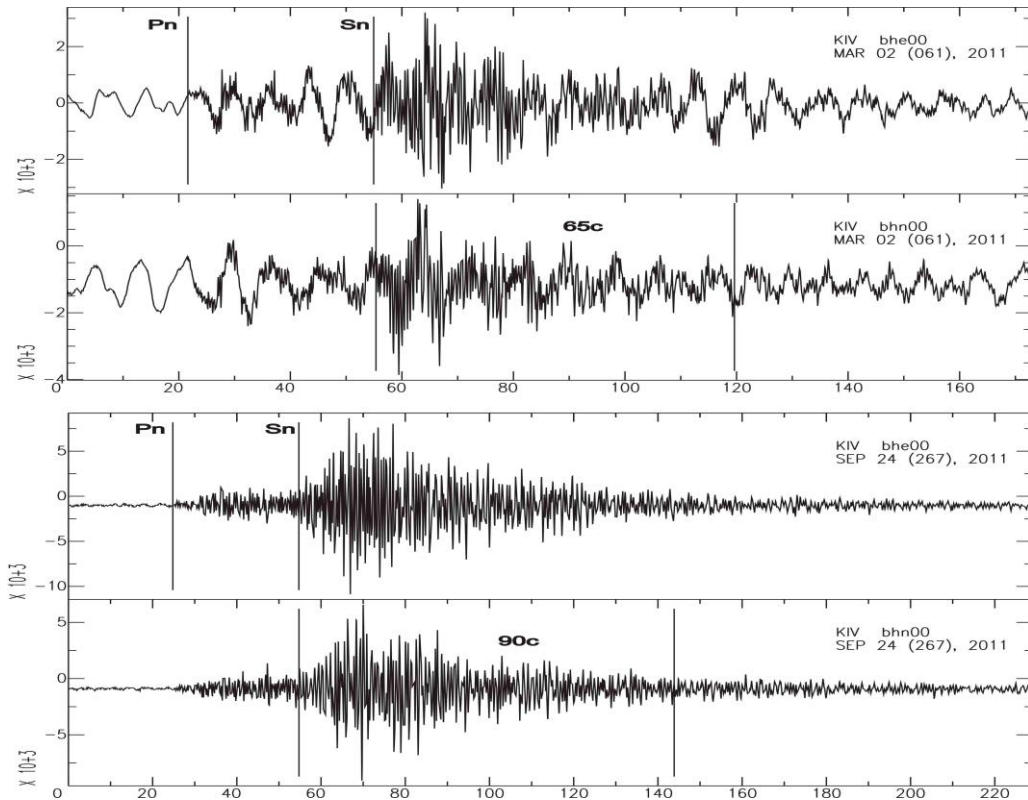


Рис. 2. Записи землетрясений 2 марта в 22^h13^m с $K_p=10.2$ ($\Delta=2.47^\circ$) и 24 сентября в 14^h06^m с $K_p=10.7$ ($\Delta=2.47^\circ$) на горизонтальных компонентах широкополосного сейсмометра STS-1 станции «Кисловодск»

Сглаженные стационарные (станция «KIV») спектры S -волн двух землетрясений для горизонтальных компонент приводятся на рис. 3. Для исследуемых землетрясений корректно проведены две асимптоты в соответствии с моделью Брюна [18].

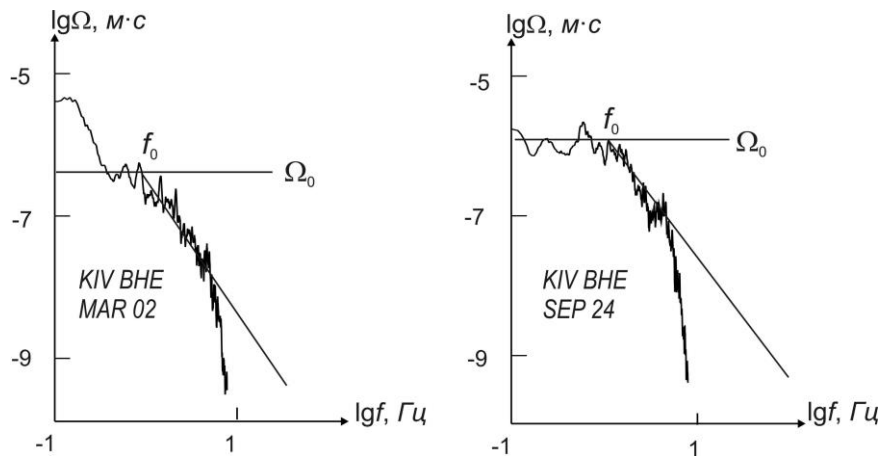


Рис. 3. Примеры стационарных спектров на горизонтальных составляющих восток-запад (ВНЕ) станции «Кисловодск» для двух землетрясений из табл. 2: 2 марта в 22^h13^m и 24 сентября в 14^h06^m с асимптотами в соответствии с моделью Брюна

Замеры спектральной амплитуды Ω_0 осуществлялись также для обеих горизонтальных компонент и приведены в табл. 2 вместе с вычисленными по ним сейсмическими моментами M_0 и моментными магнитудами M_w по формулам (4) Канамори из [19]:

$$M_w = 2/3 (\lg M_0 + 7) - 10.7. \quad (4)$$

В качестве окончательного значения M_w выбрано максимальное из них.

Таблица 2. Значения спектральной амплитуды Ω_0 , скалярного сейсмического момента M_0 и моментной магнитуды для 18 землетрясений в 2011 г. по данным станции «Кисловодск» (KIV)

№	Дата,		t_0 , ч мин с	Δ°	Компо- нента	Ω_0 , м·с	M_0 Н·м	M_w	№	Дата,		t_0 , ч мин с	Δ°	Компо- нента	Ω_0 , м·с	M_0 Н·м	M_w
	д	м								д	м						
1	13.01	02 50 12.1	2.67	ВНЕ	0.0000738	$1.7 \cdot 10^{16}$	4.8	10	18.08	11 57 42.7	1.39	ВНЕ	0.000470	$5.5 \cdot 10^{16}$	5.1		
					BHN	0.0000713	$1.6 \cdot 10^{16}$	4.8						BHN	0.000389	$4.5 \cdot 10^{16}$	5.1
2	15.02	12 57 15.7	1.70	ВНЕ	0.00000269	$3.9 \cdot 10^{14}$	3.7	11	18.08	13 55 11.4	1.32	ВНЕ	0.0000145	$1.6 \cdot 10^{15}$	4.1		
					BHN	0.00000209	$3.0 \cdot 10^{14}$	3.6						BHN	0.0000121	$1.3 \cdot 10^{15}$	4.0
3	02.03	22 13 54.7	2.47	ВНЕ	0.00000574	$1.2 \cdot 10^{15}$	4.0	12	21.08	06 47 49.4	1.48	ВНЕ	0.0000152	$1.9 \cdot 10^{15}$	4.2		
					BHN	0.00000306	$6.4 \cdot 10^{14}$	3.8						BHN	0.0000121	$1.5 \cdot 10^{15}$	4.1
4	14.03	06 26 47.1	2.90	ВНЕ	0.0000108	$2.6 \cdot 10^{15}$	4.2	13	07.09	13 49 21.9	2.86	ВНЕ	0.0000321	$7.8 \cdot 10^{15}$	4.6		
					BHN	0.00000882	$2.2 \cdot 10^{15}$	4.2						BHN	0.0000289	$7.0 \cdot 10^{15}$	4.5
5	05.05	10 11 42.1	3.45	ВНЕ	0.0000142	$4.1 \cdot 10^{15}$	4.4	14	11.09	03 00 19.0	2.56	ВНЕ	0.0000142	$3.1 \cdot 10^{15}$	4.3		
					BHN	0.0000134	$3.9 \cdot 10^{15}$	4.4						BHN	0.0000113	$2.4 \cdot 10^{15}$	4.2
6	17.06	04 40 37.5	3.04	ВНЕ	0.0000109	$4.9 \cdot 10^{15}$	4.4	15	24.09	14 06 29.4	2.47	ВНЕ	0.0000188	$3.9 \cdot 10^{15}$	4.4		
					BHN	0.00000713	$3.2 \cdot 10^{15}$	4.3						BHN	0.0000162	$3.4 \cdot 10^{15}$	4.3
7	08.07	17 23 38.6	2.09	ВНЕ	0.00000690	$5.1 \cdot 10^{15}$	4.4	16	27.09	08 58 52.1	2.76	ВНЕ	0.0000474	$1.1 \cdot 10^{16}$	4.7		
					BHN	0.00000608	$4.5 \cdot 10^{15}$	4.4						BHN	0.0000413	$9.6 \cdot 10^{15}$	4.6
8	21.07	22 34 24.8	2.04	ВНЕ	0.0000167	$2.9 \cdot 10^{15}$	4.3	17	18.10	23 26 29.1	1.74	ВНЕ	0.0000312	$4.6 \cdot 10^{15}$	4.4		
					BHN	0.0000130	$2.2 \cdot 10^{15}$	4.2						BHN	0.0000220	$3.2 \cdot 10^{15}$	4.3
9	02.08	08 12 26.1	2.58	ВНЕ	0.00000775	$1.7 \cdot 10^{15}$	4.1	18	17.12	11 03 36.0	1.49	ВНЕ	0.0000110	$1.4 \cdot 10^{15}$	4.1		
					BHN	0.00000447	$9.8 \cdot 10^{14}$	4.0						BHN	0.0000116	$1.5 \cdot 10^{15}$	4.1

Примечание. В графе 8 жирным шрифтом выделены максимальные значения M_w .

Для всех 18 землетрясений (табл. 2) определены характеристики f_0 и Ω_0 амплитудных спектров в соответствии с моделью Брюна [18], которые использованы для расчета динамических параметров их очагов и M_w (табл. 3). Представлены следующие параметры очагов землетрясений: Δ – эпицентральное расстояние, Ω_0 – спектральная плотность, f_n – частота перегиба спектра; f_0 – угловая частота, M_0 – сейсмический момент, M_w – моментная магнитуда, L – длина разрыва, $\Delta\sigma$ – сброшенное напряжение, $\eta\sigma$ – кажущееся напряжение, \bar{u} – средняя подвижка по разрыву.

Таблица 3. Спектральные и динамические параметры очагов землетрясений в 2011 г. (S-волны)

№	Дата, д м	t_0 , ч мин с	Агент- ство	Компо- нента	Δ°	$\Omega_0 \cdot 10^{-6}$ м·с	f_n , Гц	f_0 , Гц	M_0 , Н·м	M_w	L , 10^3 м	$\Delta\sigma \cdot 10^5$ Н/м ²	$\eta\sigma \cdot 10^5$ Н/м ²	\bar{u} , м
1	13.01	02 50 12.1	KIV	ВНЕ	2.67	7.38	1.3	1.3	$1.7 \cdot 10^{16}$	4.8	1.8	102.0	2.8	0.22
2	15.02	12 57 15.7	KIV	ВНЕ	1.70	0.27	1.0	1.0	$3.9 \cdot 10^{14}$	3.7	2.2	1.3	1.2	0.003
3	02.03	22 13 54.7	KIV	ВНЕ	2.47	0.57	1.0	1.0	$1.2 \cdot 10^{15}$	4.0	2.2	3.9	4.0	0.01
4	14.03	06 26 47.1	KIV	ВНЕ	2.90	1.08	1.5	1.5	$2.6 \cdot 10^{15}$	4.2	1.4	33.1	1.4	0.06
5	05.05	10 11 42.1	KIV	ВНЕ	3.45	1.42	1.8	1.8	$4.1 \cdot 10^{15}$	4.4	1.2	83.0	9.2	0.12
6	17.06	04 40 37.5	KIV	ВНЕ	3.04	1.09	0.9	0.9	$4.9 \cdot 10^{15}$	4.4	2.8	7.8	0.9	0.02
7	08.07	17 23 38.6	KIV	ВНЕ	2.09	0.69	1.9	1.9	$5.1 \cdot 10^{15}$	4.4	0.9	30.6	12.4	0.02
8	21.07	22 34 24.8	KIV	ВНЕ	2.04	1.67	1.2	1.2	$2.9 \cdot 10^{15}$	4.3	1.8	17.4	1.6	0.04
9	02.08	08 12 26.1	KIV	ВНЕ	2.58	0.78	0.7	1.0	$1.7 \cdot 10^{15}$	4.1	2.2	5.6	2.2	0.01
10	18.08	11 57 42.7	KIV	ВНЕ	1.39	47.0	0.65	0.65	$5.5 \cdot 10^{16}$	5.1	3.4	49.0	13.7	0.20
	18.08	11 57 42.3	CSEM*							4.8				
	18.08	11 57 43.1	NEIC*						$2.0 \cdot 10^{16}$	4.8				
	18.08	11 57 43.1	GCMT*						$4.1 \cdot 10^{16}$	5.0				
11	18.08	13 55 11.4	KIV	ВНЕ	1.32	1.45	0.7	0.8	$1.6 \cdot 10^{15}$	4.1	2.8	2.6	3.8	0.01
12	21.08	06 47 49.4	KIV	ВНЕ	1.48	1.52	0.6	0.8	$1.9 \cdot 10^{15}$	4.2	2.8	3.0	5.0	0.01
13	07.09	13 49 21.9	KIV	ВНЕ	2.86	3.21	0.7	1.5	$7.8 \cdot 10^{15}$	4.6	1.4	99.4	1.9	0.17
14	11.09	03 00 19.0	KIV	ВНЕ	2.56	1.42	1.5	1.5	$3.1 \cdot 10^{15}$	4.3	1.4	39.5	2.4	0.07
15	24.09	14 06 29.4	KIV	ВНЕ	2.47	1.88	1.3	1.3	$3.9 \cdot 10^{15}$	4.4	1.8	23.4	3.9	0.05

№	Дата, д м	t_0 , ч мин с	Агентство	Компонента	Δ°	$\Omega_0, 10^{-6}$ м·с	f_p , Гц	f_0 , Гц	M_0 , Н·м	M_w	L , 10^3 м	$\Delta\sigma, 10^5$ Н/м ²	$\bar{\eta}\sigma, 10^5$ Н/м ²	\bar{u} , м
16	27.09	08 58 52.1	KIV	BHE	2.76	4.74	0.7	1.0	$1.1 \cdot 10^{16}$	4.7	2.2	362.0	34.4	0.10
	27.09	08 58 52.1	CSEM*							4.2				
	27.09	08 58 54.2	NEIC*						$2.9 \cdot 10^{15}$	4.2				
17	18.10	23 26 29.1	KIV	BHE	1.74	3.12	0.9	1.2	$4.6 \cdot 10^{15}$	4.4	1.8	24.8	3.3	0.06
18	17.12	11 03 36.0	KIV	BHN	1.49	1.16	1.0	1.2	$1.5 \cdot 10^{15}$	4.1	1.8	81.0	6.3	0.02

Примечание. Знаком * отмечены агентства в ISC [8].

Полученные значения скалярного сейсмического момента и их связь с энергетическим классом для землетрясений Грузии неплохо коррелируют с данными, полученными в 2010 г. [7]. На рис. 4 они показаны черными кольцами совместно с данными за 2010 г. (серые круги).

Следует отметить, что значение скалярного сейсмического момента и M_w для землетрясения 18 августа 2011 г. в 11^h57^m в табл. 3 находятся в хорошем согласии с данными GCMT, а вот для землетрясения 27 сентября в 08^h58^m по спектру станции «Кисловодск» получено несколько завышенное значение (примерно на 0.5 M_w) относительно данных NEIC.

Впервые получены значения скалярного сейсмического момента и динамические параметры очагов восточной части Северного Кавказа – территории Чечни, Ингушетии и Дагестана. Пока этих данных недостаточно для построения устойчивых графиков зависимостей (рис. 5), так как большая часть этих землетрясений имела близкие энергетические классы. В дальнейшем такая информация будет накапливаться и для этого подрегиона и будут построены зависимости. Сейчас уже понятно, что для землетрясения 8 июля 2011 г. в 17^h23^m с $K_p=10.9$ с глубиной $h=151$ км, вероятно, должно быть применено другое затухание в верхней мантии, нежели полученное в [17] по данным, в основном, коровых землетрясений (рис. 5).

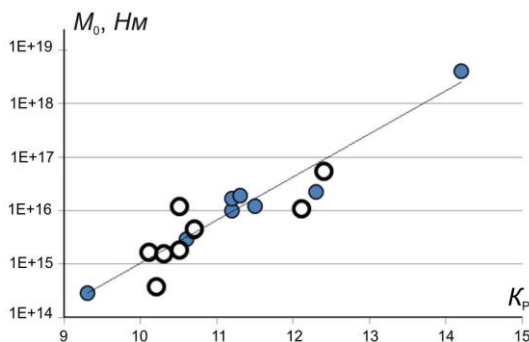


Рис. 4. Корреляция скалярного сейсмического момента M_0 с энергетическим классом K_p за период 2010–2011 г. для землетрясений на территории Грузии

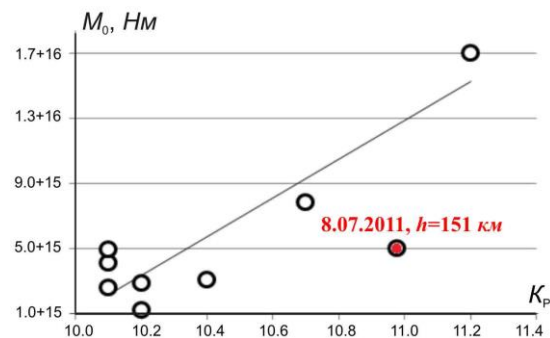


Рис. 5. Корреляция скалярного сейсмического момента M_0 с энергетическим классом K_p для землетрясений 2011 г. на территории восточного сектора Северного Кавказа

Для более уверенного определения спектральных и динамических параметров следует провести исследование параметров затухания энергии объемных волн в мантии (построение частотно зависимой добротности) для других станций восточной зоны Северного Кавказа.

Л и т е р а т у р а

1. **Малянова Л.С., Габсатарова И.П.** Спектральные и очаговые параметры Пшехского землетрясения в Краснодарском крае // Землетрясения Северной Евразии, 2004 год. – Обнинск: ГС РАН, 2010. – С. 268–271.
2. **Габсатарова И.П.** Пшехское землетрясение 15 ноября 2004 года с $M_w=4.6$, $MS=4.6$, $I_0^p=5-6$ (Краснодарский край) // Землетрясения Северной Евразии, 2004 год. – Обнинск: ГС РАН, 2010. – С. 386–394.
3. **Малянова Л.С., Габсатарова И.П.** Спектральные и очаговые параметры землетрясений Северного Кавказа // Землетрясения Северной Евразии, 2005 год. – Обнинск: ГС РАН, 2011. – С. 331–335.

4. **Габсатарова И.П., Малянова Л.С.** Спектральные и очаговые параметры землетрясений Северного Кавказа // Землетрясения Северной Евразии, 2006 год. – Обнинск: ГС РАН, 2012. – С. 286–291.
5. **Габсатарова И.П., Малянова Л.С.** Спектральные и очаговые параметры землетрясений Северного Кавказа // Землетрясения Северной Евразии, 2008 год. – Обнинск: ГС РАН, 2014. – С. 297–303.
6. **Малянова Л.С., Габсатарова И.П.** Спектральные и очаговые параметры землетрясений Северного Кавказа // Землетрясения Северной Евразии, 2009 год. – Обнинск: ГС РАН, 2015. – С. 271–276.
7. **Малянова Л.С., Габсатарова И.П.** Спектральные и очаговые параметры землетрясений Северного Кавказа // Землетрясения Северной Евразии, 2010 год. – Обнинск: ГС РАН, 2016. – С. 505–311.
8. **International Seismological Centre**, On-line Bulletin. Internatl. Seis. Cent., Thatcham, United Kingdom, 2014. – URL: <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/>.
9. **Габсатарова И.П., Головкина Л.В., Асманов О.А., Девяткина Л.В., Цирихова Г.В. (отв. сост.), Абдуллаева А.Р., Александрова Л.И., Амиров С.Р., Артёмова Е.В., Гамидова А.М., Иванова Л.Е., Калоева И.Ю., Киселева О.А., Лещук Н.М., Малянова Л.С., Морозова Я.Н., Мусалаева З.А., Петросян Э.Н., Сагателова Е.Ю., Селиванова Е.А. (сост.).** Каталог землетрясений и взрывов Северного Кавказа за 2011 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD-ROM.
10. **Соловьёва О.Н., Агаларова Э.Б., Алимamedова В.П., Гасанов А.Г., Геодакян Э.Г., Гюль Э.К., Дарахвелидзе Л.К., Петросян М.Д., Фабрициус З.Э., Хромецкая Е.А.** Калибровочные функции для определения магнитуды Кавказских землетрясений по короткопериодной волне P на малых эпицентральных расстояниях // Интерпретация сейсмических наблюдений. – М.: МГК при Президиуме АН СССР, 1983. – С. 65–72.
11. **Раутиан Т.Г.** Энергия землетрясений // Методы детального изучения сейсмичности. Труды ИФЗ АН СССР; № 9(176). – М.: ИФЗ АН СССР, 1960. – С. 75–114.
12. **Аптекман Ж.Я., Дараган С.К., Долгополов В.В., Захарова А.И., Зобин В.М., Коган С.Я., Корчагина О.А., Москвина А.Г., Поликарпова Л.А., Чепкунас Л.С.** Спектры P -волн в задаче определения динамических параметров очагов землетрясений. Унификация исходных данных и процедуры расчета амплитудных спектров // Вулканология и сейсмология. – 1985. – № 2. – С. 60–70.
13. **Аптекман Ж.Я., Белавина Ю.Ф., Захарова А.И. и др.** Спектры P -волн в задаче определения динамических параметров очагов землетрясений. Переход от стационарного спектра к очаговому и расчет динамических параметров очага // Вулканология и сейсмология. – 1989. – № 2. – С. 66–79.
14. **Anderson D.L., Hart R.S.** Q of the Earth // J. Geophys. Res. – 1978. – **83**. – N B12. – P. 5869–5882.
15. **Ризниченко Ю.В., Джибладзе Э.А., Болквандзе И.Н.** Спектры колебаний и параметры очагов Кавказа // Исследования по физике землетрясений. – М.: Наука, 1976. – С. 74–86.
16. **Пустовитенко Б.Г.** Сейсмические процессы в Черноморском регионе и сейсмическая опасность Крыма // Диссертация на соискание ученой степени доктора физ.-мат. наук. – Киев: ИГ НАНУ, 2003. – С. 58–71.
17. **Павленко В.А., Павленко О.В.** Поглощение сейсмических волн в коре и верхней мантии в окрестностях сейсмостанции «Кисловодск» // Физика Земли. – 2016. – № 4 – С. 24–34.
18. **Brune I.V.** Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes // J. Geophys. Res. – 1970. – **75**. – N 26. – P. 4997–5009.
19. **Hanks T.S., Kanamori H.** A moment magnitude scale // J. Geophys. Res. – 1979. – **84**. – N 135. – P. 2348–2350.
20. **Петрова Н.В., Михайлова Р.С.** Соотношения энергетического класса K_r с магнитудами по поверхностным волнам MS , Ms , MLH землетрясений в регионах Северной Евразии // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Девятой Международной сейсмологической школы. Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ГС РАН, 2014. – С. 365–369.