

СПЕКТРАЛЬНЫЕ и ОЧАГОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА

Л.С. Малянова, И.П. Габсатарова

ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск, Россия, ira@gsras.ru

Аннотация. Приведены динамические параметры очагов 18 землетрясений Северного Кавказа за 2013 г. с $K_p=10.0-12.9$, определенные по 64 амплитудным спектрам S -волн. Используются записи трех региональных цифровых сейсмостанций – «Анапа», «Кисловодск» и «Сочи», удаленных от очагов не более, чем на 300 км. В экспериментальном режиме использовались записи станции «Махачкала». Для среды вблизи этих станций ранее были получены значения частотно-зависимой добротности $Q(f)$, необходимой для пересчета стационарных спектров в очаговые. В 2013 г. наибольший объем исследуемых землетрясений находился в Восточном Кавказе. По полученным результатам построена зависимость $\lg M_0=f(K_p)$ для этой зоны.

Ключевые слова: модель Бруна, сейсмический момент, сброшенное напряжение, длина разрыва, динамические параметры очага, Восточный Кавказ.

DOI: doi: 10.35540/1818-6254.2019.22.28

Для цитирования: Малянова Л.С., Габсатарова И.П. Спектральные и очаговые параметры землетрясений Северного Кавказа // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 22 (2013 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – С. 311–319. doi: 10.35540/1818-6254.2019.22.28

Введение. Изучение спектральных и динамических параметров по спектрам объемных волн проводится с целью предоставления исследователям дополнительной информации об очагах землетрясений для большего понимания процессов, происходящих в земных недрах. Эти сведения необходимы для решения многих задач фундаментальной и прикладной сейсмологии. Настоящее исследование производится в предположении модели очага сдвигового типа в виде круговой дислокации Бруна [1]. Ю.В. Ризниченко в [2] отмечал, что определения сейсмического момента M_0 , являющегося в современной сейсмологии одним из опорных понятий наравне с сейсмической энергией E_0 , и тесно связанные с ними основные геометрические размеры очага как дислокации с помощью известной модели Бруна хорошо согласуются с геологическими и геодезическими данными для сильных землетрясений. Возможность же исследовать с помощью спектров S -волн названные параметры землетрясений умеренной силы, не проявляющиеся на поверхности, существенно расширяет информацию о физике очага.

Исходные данные. Для исследования были выбраны наиболее сильные ($K_p=10.0-12.9$) землетрясения Северного Кавказа в 2013 г., эпицентры которых удалены не более чем на 300 км от станций «Кисловодск», «Анапа», «Сочи». Координаты гипоцентров и положение эпицентров землетрясений приводятся в табл. 1 и на рис. 1.

12 землетрясений произошли в восточной зоне – в Чечне, Дагестане и приграничной области Грузии (№ 1, № 3, №№ 6–7, № 9, №№ 11–15, в табл. 1 и на рис. 1), три землетрясения произошли в Карачаево-Черкесии (№№ 4–5 и № 10 в табл. 1 и рис. 1), два – в шельфовой зоне Абхазии, в очаговой зоне сильного землетрясения 23 декабря 2012 г. в 13^h31^m (№ 2 и № 16 в табл. 1 и рис. 1), одно – в Анапской зоне Черного моря.

Таблица 1. Список землетрясений Северного Кавказа, для которых рассчитаны спектры в 2013 г.

№	Дата, д м	t_0 , ч мин с	Эпицентр		h , км	K_p	$MPVA$	M	Район
			φ°, N	λ°, E					
1	24.01	11 00 34.3	42.78	46.08	30	10.1	4.5	3.4	Чеченская Республика
2	24.02	01 04 38.6	42.59	41.09	13	10.9	4.9	3.8	Юго-восток Чёрного моря
3	10.03	05 38 02.6	42.84	46.28	7	10.7	4.6	3.7	Республика Дагестан
4	26.03	23 35 23.2	43.28	41.71	4	11.9	5.5	4.4	Карачаево-Черкесская Республика

№	Дата, д м	t_0 , ч мин с	Эпицентр		h , км	K_p	MPVA	M	Район
			φ° , N	λ° , E					
5	11.04	22 31 31.2	43.55	41.00	6	11.0	4.9	3.9	Карачаево-Черкесская Республика
6	16.04	12 26 56.9	42.32	47.72	6	11.8	5.4	4.3	Республика Дагестан
7	29.04	14 26 52.2	42.47	46.29	38	10.4	4.7	3.6	Республика Дагестан
8	01.05	01 44 10.3	44.63	36.59	21	10.0	4.4	3.3	Чёрное море, Краснодарский край
9	18.05	19 12 49.3	42.86	46.24	45	10.0	4.3	3.3	Республика Дагестан
10	28.05	00 09 51.8	43.19	41.70	5	11.9	5.3	4.4	Карачаево-Черкесская Республика
11	04.06	23 59 25.2	42.58	45.46	11	10.2	4.7	3.4	Чеченская Республика
12	15.08	11 11 44.6	43.08	45.70	83	10.0	4.2	3.3	Чеченская Республика
13	24.08	23 33 05.3	43.30	45.67	16	10.2	4.5	3.4	Чеченская Республика
14	17.09	04 09 12.9	42.09	45.74	17	12.9	5.6	4.9	Республика Грузия
15	18.09	00 23 31.2	42.06	45.72	10	10.6	4.7	3.7	Республика Грузия
16	16.11	03 49 45.3	42.42	40.97	5	10.5	4.6	3.6	Юго-восток Чёрного моря
17	28.11	18 32 02.4	41.70	46.06	7	10.0	4.3	3.3	Республика Грузия
18	08.12	07 39 34.0	42.88	45.89	14	10.8	4.7	3.8	Чеченская Республика

Примечание. MPVA – магнитуда по продольной волне P с использованием калибровочной функции Кавказа [3],
M – расчетная магнитуда по формуле Т.Г. Раутиан $K_p=4+1.8 M$ [4].

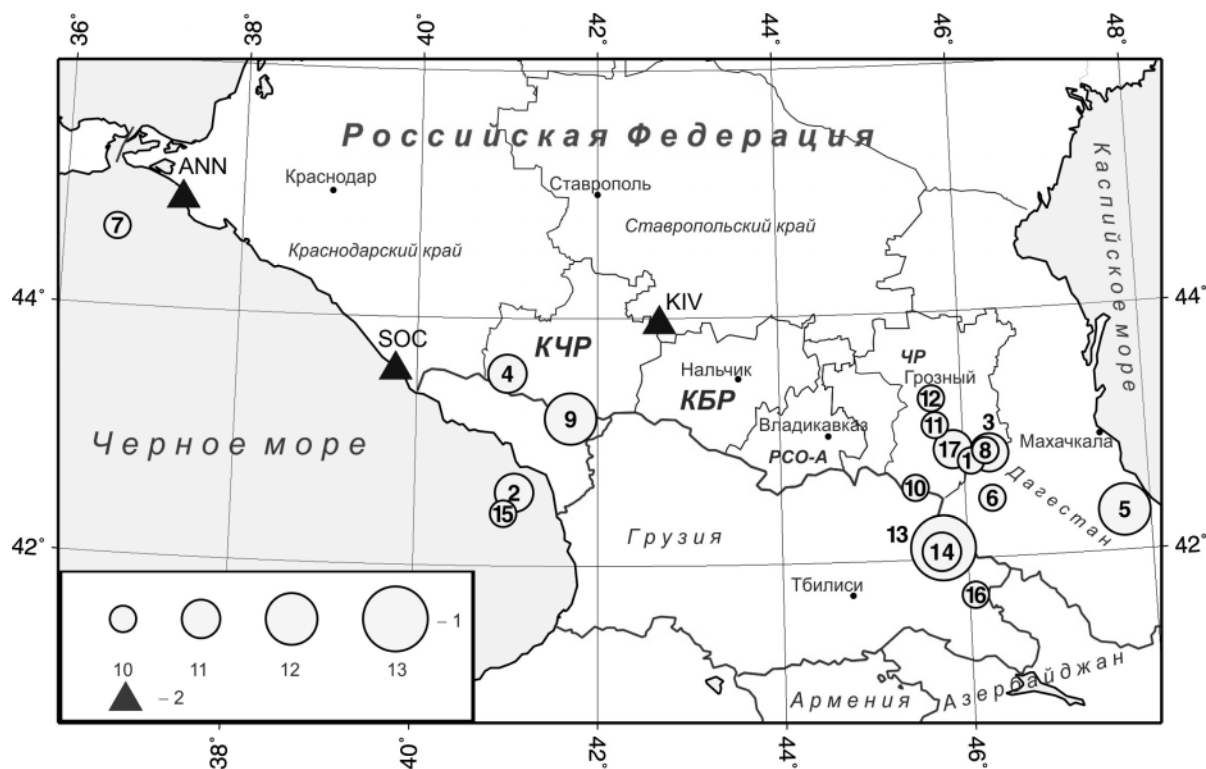


Рис. 1. Карта эпицентров землетрясений 2013 г. на Северном Кавказе, для которых проведен спектральный анализ

1 – энергетический класс K_p ; 2 – сейсмические станции опорной сети «Кисловодск» KIV с широкополосным сейсмографом STS-1, «Анапа» ANN и «Сочи» SOC, оснащенные широкополосными приборами CM-3-OC.

Для 18 землетрясений Северного Кавказа (табл. 1) построены стационарные спектры S-волн по записям станций «Кисловодск», «Анапа», «Сочи», которые были трансформированы в очаговые спектры по методике [5, 6], примененной ранее [7, 8, 9] в этом же регионе. Кроме того, в экспериментальном режиме использовались записи станция «Махачкала» на основании полученных в [10] результатов по определению частотно зависимой добротности среды вблизи этой станции.

Методика обработки и интерпретация амплитудных спектров. Поскольку 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, была применена методика учета всех этих факторов при переходе от стационарного спектра к спектру источника, которая подробно изложена в работах [5, 6, 11]. Значение сейсмического момента в очаге землетрясения M_0 получено по формуле из [6]:

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

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

Учет направленности излучения проводился с использованием среднего значения $R_{\theta\phi} = 0.6$ [12]. Функция геометрического расхождения $G(\Delta, h)$ для близких землетрясений на расстояниях от станции регистрации $r < 1000$ км может быть оценена как $1/r$ [13], где r – гипоцентральное расстояние. Частотная характеристика земной коры под станцией принимается в среднем равной $C(\omega) = 2$.

В стационарные спектры были введены поправки $S(f)$ за неупругое затухание волны в мантии, которая рассчитывается по формуле (2) из [11]:

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

где t_s^* – отношение времени t_s пробега S -волны до станции регистрации к средней добротности среды Q_{cp} вдоль луча по [11] равно:

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

Значение Q_{cp} для S -волн Северо-Западного Кавказа по записям станций «Анапа», «Сочи» и «Кисловодск» определено О.В. Павленко [14–16] и находится для полосы частот $\Delta f = 1–8$ Гц из зависимости $Q(f) \sim 90 f^{0.7}$ – для «Анапы», $Q(f) \sim 80 f^{0.9}$ – для «Сочи» и $Q(f) \sim 85 f^{0.9}$ – для «Кисловодска». Для станции «Махачкала» в [10] было получено $Q(f) \sim 79 f^{1.09}$.

Построение стационарных спектров и расчет очаговых спектров. Для построения спектров выбирался фрагмент записи S -волны от начала вступления до момента, когда амплитуда этой группы волн достигла примерно $1/3 A_{S \max}$ [13] (примеры записей землетрясений на горизонтальных компонентах станции «Кисловодск» представлены на рис. 2). В зависимости от удаленности станции от очага землетрясения длительность τ записи выбранных фрагментов варьировала от 60 до 100 с от вступления S -волны.

Сглаженные стационарные спектры S -волн станций KIV четырех землетрясений для горизонтальных компонент приводятся для примера на рис. 3. Для исследуемых землетрясений корректно проведены две асимптоты в соответствии с моделью Бруна [1].

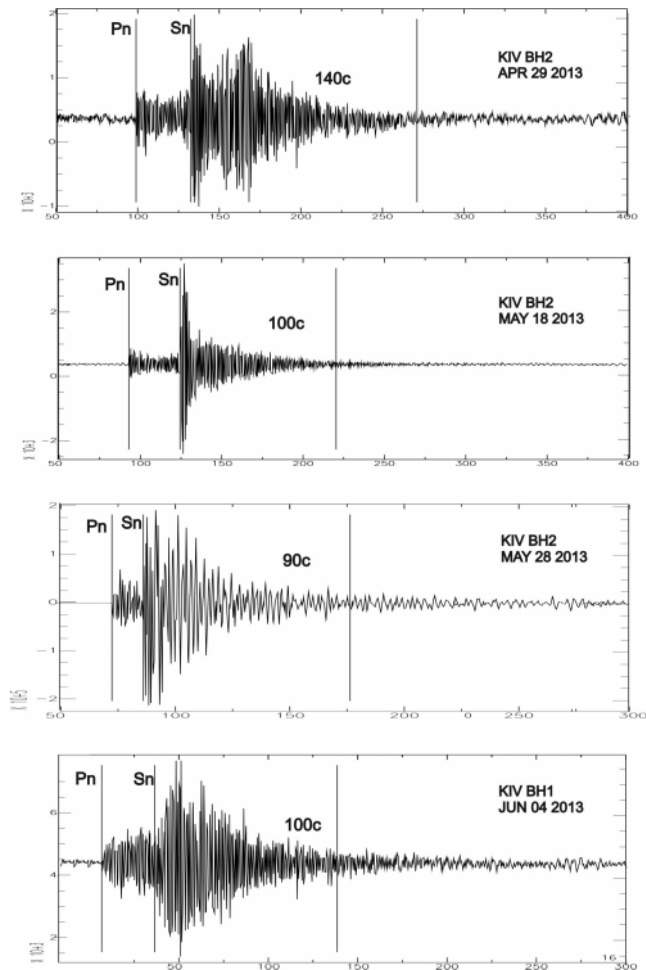


Рис. 2. Записи землетрясений 2013 года на горизонтальных компонентах широкополосного сейсмометра STS-1 станции «Кисловодск» (KIV): 29 апреля в $14^h 26^m$ с $K_p = 10.4$, 18 мая в $19^h 12^m$ с $K_p = 10.0$, 28 мая в $00^h 09^m$ с $K_p = 11.6$, 4 июня в $23^h 59^m$ с $K_p = 10.2$

Замеры спектральной амплитуды Ω_0 осуществлялись также на обеих горизонтальных компонентах и приведены в табл. 2 вместе с вычисленными по ним сейсмическими моментами M_0 и моментными магнитудами M_w по формулам (4) Канамори из [17]:

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

В качестве окончательного значения M_w выбрано максимальное из них.

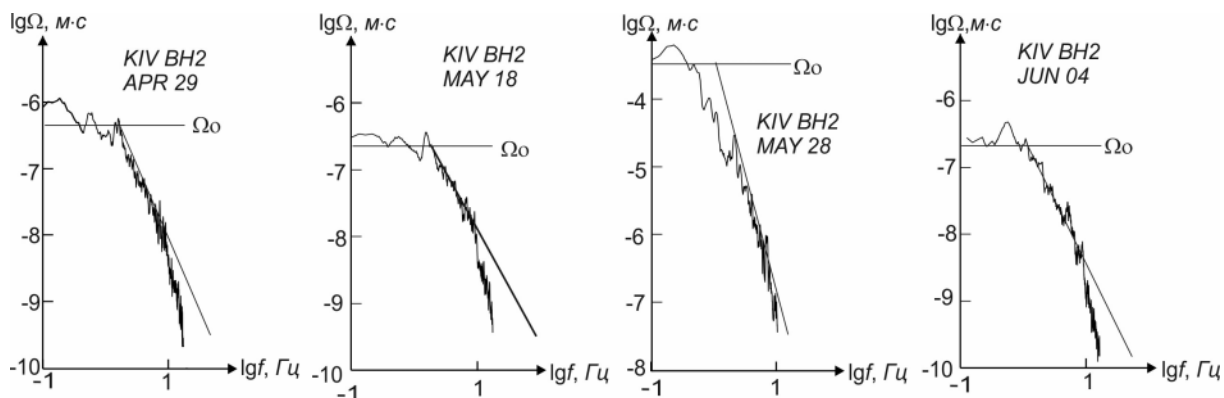


Рис. 3. Примеры станционных спектров в соответствии с фрагментами записи на рис. 2 с асимптотами в соответствии с моделью Бруна

Таблица 2. Значения спектральной амплитуды Ω_0 , скалярного сейсмического момента M_0 и моментной магнитуды для 18 землетрясений Северного Кавказа в 2013 г. по данным станции «Кисловодск» (KIV), «Анапа» (ANN), «Сочи» (SOC) и «Махачкала» (МАК)

№	Дата, д м	t_0 , ч мин с	K_p	Код с/ст	Δ°	Комп-нента	Ω_0 , мс	M_0 , H_m	M_w
1	24.01	11 00 34.3	10.1	KIV	2.73	BHE	0.00000711	$1.6 \cdot 10^{15}$	4.1
						BHN	0.00000491	$1.1 \cdot 10^{15}$	4.0
				МАК	1.06	BHE	0.00000674	$9.6 \cdot 10^{14}$	4.0
						BHN	0.00000328	$4.8 \cdot 10^{14}$	3.8
2	24.02	01 04 38.6	10.9	KIV	1.80	BHE	0.00000900	$1.4 \cdot 10^{15}$	4.1
						BHN	0.00000991	$1.5 \cdot 10^{15}$	4.1
				SOC	1.38	BHE	0.0000154	$2.8 \cdot 10^{15}$	4.3
						BHN	0.0000129	$2.4 \cdot 10^{15}$	4.2
3	10.03	05 38 02.6	10.7	KIV	2.85	BHE	0.0000295	$7.2 \cdot 10^{15}$	4.5
						BHN	0.0000221	$5.2 \cdot 10^{15}$	4.4
				МАК	0.90	BHE	0.0000328	$4.0 \cdot 10^{15}$	4.4
						BHN	0.0000206	$2.5 \cdot 10^{15}$	4.2
4	26.03	23 35 23.2	11.9	ANN	3.55	BLE	0.000182	$8.7 \cdot 10^{16}$	5.3
						BLN	0.000126	$6.0 \cdot 10^{16}$	5.2
				GCMT				$2.67 \cdot 10^{16}$	4.9
5	11.04	22 31 31.2	11.0	KIV	1.29	BH1	0.0000487	$5.2 \cdot 10^{15}$	4.4
						BH2	0.0000464	$5.2 \cdot 10^{15}$	4.4
				SOC	0.90	BLE	0.0000870	$1.0 \cdot 10^{16}$	4.6
						BLN	0.0000576	$6.8 \cdot 10^{15}$	4.5
6	16.04	12 26 56.9	11.8	МАК	0.64	SLE	0.000410	$3.5 \cdot 10^{16}$	5.0
						SLN	0.0000661	$5.6 \cdot 10^{15}$	4.5
7	29.04	14 26 52.2	10.4	KIV	3.02	BH1	0.00000643	$1.6 \cdot 10^{15}$	4.1
						BH2	0.00000933	$2.4 \cdot 10^{15}$	4.2
				МАК	1.01	BHE	0.00000749	$1.0 \cdot 10^{15}$	4.0
						BHN	0.00000858	$1.2 \cdot 10^{15}$	4.0
8	01.05	01 44 10.3	10.0	SOC	2.52	BHE	0.00000182	$6.2 \cdot 10^{14}$	3.8
						BHN	0.00000186	$6.3 \cdot 10^{14}$	3.8
				KRYM				$5.87 \cdot 10^{14}$	3.8

№	Дата, д м	t_0 , ч мин с	K_p	Код с/ст	Δ°	Компо- нента	Ω_0 , мс	M_0 , Н·м	M_w
9	18.05	19 12 49.3	10.0	KIV	2.81	BH1	0.00000266	$6.3 \cdot 10^{14}$	3.8
						BH2	0.00000493	$1.2 \cdot 10^{15}$	4.0
				MAK	0.93	BHE	0.00000601	$7.5 \cdot 10^{14}$	3.9
						BHN	0.00000590	$7.4 \cdot 10^{14}$	3.9
10	28.05	00 09 51.8	11.6	KIV	1.05	BH1	0.00101	$8.9 \cdot 10^{16}$	5.3
						BH2	0.00128	$1.1 \cdot 10^{17}$	5.3
				SOC	1.46	BLE	0.000837	$1.6 \cdot 10^{17}$	5.4
						BLN	0.000730	$1.4 \cdot 10^{17}$	5.4
				NEIC				$5.0 \cdot 10^{16}$	5.1
GCMT				$7.57 \cdot 10^{16}$	5.2				
11	04.06	23 59 25.2	10.2	KIV	2.45	BH1	0.00000332	$6.9 \cdot 10^{14}$	3.8
						BH2	0.00000513	$1.1 \cdot 10^{15}$	4.0
				MAK	1.55	BHE	0.0000123	$1.6 \cdot 10^{15}$	4.1
						BHN	0.0000126	$1.6 \cdot 10^{15}$	4.1
12	15.08	11 11 44.6	10.0	KIV	2.36	BH1	0.00000186	$6.7 \cdot 10^{14}$	3.8
						BH2	0.00000329	$1.2 \cdot 10^{15}$	4.0
				MAK	1.33	BHE	0.00000611	$2.0 \cdot 10^{15}$	4.2
						BHN	0.00000601	$1.9 \cdot 10^{15}$	4.2
13	24.08	23 33 05.3	10.2	KIV	2.26	BH1	0.00000538	$1.0 \cdot 10^{15}$	4.0
						BH2	0.00000967	$1.8 \cdot 10^{15}$	4.1
				MAK	1.39	BHE	0.00000674	$1.2 \cdot 10^{15}$	4.0
						BHN	0.0000102	$1.9 \cdot 10^{15}$	4.1
14	17.09	04 09 12.9	12.9	KIV	2.91	BH1	0.000784	$1.9 \cdot 10^{17}$	5.5
						BH2	0.00112	$2.8 \cdot 10^{17}$	5.6
				MAK	1.56	SLE	0.00332	$7.0 \cdot 10^{17}$	5.9
						SLN	0.00280	$3.8 \cdot 10^{17}$	5.8
				NEIC				$1.25 \cdot 10^{17}$	5.3
GCMT				$1.26 \cdot 10^{17}$	5.3				
15	18.09	00 23 31.2	10.6	KIV	2.92	BH1	0.0000110	$2.7 \cdot 10^{15}$	4.2
						BH2	0.0000145	$3.6 \cdot 10^{15}$	4.3
				MAK	1.59	BHE	0.0000171	$3.6 \cdot 10^{15}$	4.3
						BHN	0.0000192	$4.1 \cdot 10^{15}$	4.3
16	16.11	03 49 45.3	10.5	KIV	1.98	BH1	0.0000130	$2.2 \cdot 10^{15}$	4.2
						BH2	0.0000176	$3.0 \cdot 10^{15}$	4.3
				SOC	1.45	BLE	0.0000205	$4.0 \cdot 10^{15}$	4.4
						BLN	0.0000184	$3.6 \cdot 10^{15}$	4.3
17	28.11	18 32 02.4	10.0	MAK	1.64	BHE	0.0000109	$2.4 \cdot 10^{15}$	4.2
						BHN	0.0000123	$2.7 \cdot 10^{15}$	4.2
18	08.12	07 39 34.0	10.8	KIV	2.56	BH1	0.0000158	$3.4 \cdot 10^{15}$	4.3
						BH2	0.0000178	$3.8 \cdot 10^{15}$	4.4
				MAK	1.19	BHE	0.0000221	$3.5 \cdot 10^{15}$	4.3
				BHN	0.0000291	$4.6 \cdot 10^{15}$	4.4		

Расчет динамических параметров. Для 17 землетрясений из табл. 2, спектры которых аппроксимировались двумя асимптотами: в длиннопериодной части спектра – прямой, параллельной оси частот, в области коротких периодов – наклонной прямой с угловым коэффициентом $\gamma \sim -2$, как например, на рис. 3, определены характеристики f_0 и Ω_0 амплитудных спектров в соответствии с моделью Бруна [1], которые использованы для расчета динамических параметров их очагов и моментной магнитуды 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 Северного Кавказа в 2013 г. (S-волны)

№	Дата, д м	t_0 , ч мин с	Код с/ст	Компо- нента	Δ°	Ω_0 , 10^{-6} м·с	$f_{\text{п}}$, Гц	f_0 , Гц	M_0 , Н·м	M_w	L , $10^3 \cdot \text{м}$	$\Delta\sigma$, $10^5 \cdot \text{Н/м}^2$	$\bar{\eta}_\sigma$, $10^5 \cdot \text{Н/м}^2$	\bar{u} , м
1	24.01	11 00 34.3	KIV	BHN	2.73	4.9	1.8	1.8	$1.1 \cdot 10^{15}$	4.0	1.2	22	3	0.03
			МАК	BHE	1.06	6.7	2.8	2.8	$9.6 \cdot 10^{14}$	4.0	0.9	46	4	0.05
2	24.02	01 04 38.6	KIV	BHE	1.80	9.0	2.4	2.4	$1.4 \cdot 10^{15}$	4.1	0.8	96	17	0.09
3	10.03	05 38 02.6	МАК	BHE	0.90	32.8	1.7	2.0	$4.0 \cdot 10^{15}$	4.4	1.3	64	4	0.10
4	26.03	23 35 23.2	ANN	BLE	3.55	182	0.7	0.7	$8.7 \cdot 10^{16}$	5.3	3.8	55	3	0.25
5	11.04	22 31 31.2	KIV	BH1	1.29	48.7	1.6	1.6	$5.2 \cdot 10^{15}$	4.4	1.4	66	6	0.11
			SOC	BLN	0.90	57.6	1.8	1.8	$6.8 \cdot 10^{15}$	4.5	1.4	87	4	0.15
6	16.04	12 26 56.9	МАК	SLN	0.64	66.1	1.9	2.4	$5.6 \cdot 10^{15}$	4.5	1.0			
8	29.04	14 26 52.2	KIV	BH2	3.02	9.3	1.7	1.7	$2.4 \cdot 10^{15}$	4.2	1.3	38	3	0.06
			МАК	BHN	1.01	8.6	2.4	2.4	$1.2 \cdot 10^{15}$	4.0	1.0	42	6	0.05
9	18.05	19 12 49.3	KIV	BH2	2.81	4.9	2.0	2.0	$1.2 \cdot 10^{15}$	4.0	1.1	32	2	0.04
			МАК	BHE	0.93	6.0	2.4	2.4	$7.5 \cdot 10^{14}$	3.9	1.0	26	4	0.03
10	28.05	00 09 51.8	KIV	BH2	1.05	1280	0.35	0.9	$1.1 \cdot 10^{17}$	5.3	2.4			
11	04.06	23 59 25.2	KIV	BH1	2.45	3.3	1.2	3.0	$6.9 \cdot 10^{14}$	3.8	0.8	47	7	0.05
			МАК	BHE	1.55	12.3	1.7	2.3	$1.6 \cdot 10^{15}$	4.1	1.1	42	3	0.06
12	15.08	11 11 44.6 ($h=83 \text{ км}$)	МАК	BHE	1.33	6.1	2.3	2.6	$2.0 \cdot 10^{15}$	4.2	1.2	40	2	0.05
13	24.08	23 33 05.3	МАК	BHN	1.39	10.2	2.3	2.3	$1.9 \cdot 10^{15}$	4.1	1.1	50	2	0.07
14	17.09	04 09 12.9	KIV	BH2	2.91	1120	0.5	0.8	$2.8 \cdot 10^{17}$	5.6	2.8			1.52
15	18.09	00 23 31.2	KIV	BH2	2.92	14.5	0.7	1.6	$3.6 \cdot 10^{15}$	4.3	1.4	46	3	0.08
			МАК	BHN	1.59	19.2	1.8	1.8	$4.1 \cdot 10^{15}$	4.3	1.4	52	3	0.09
16	16.11	03 49 45.3	KIV	BH1	1.98	13.0	1.7	3.0	$2.2 \cdot 10^{15}$	4.2	0.8			
17	28.11	18 32 02.4	МАК	BHN	1.64	12.3	1.5	1.7	$2.7 \cdot 10^{15}$	4.2	1.5	28	1	0.05
18	08.12	07 39 34.0	МАК	BHN	1.19	29.1	1.6	1.9	$4.6 \cdot 10^{15}$	4.4	1.4	59	4	0.10

Обсуждение результатов. Для Восточного Кавказа полученные значения скалярного сейсмического момента землетрясений разных энергетических классов K_p , объединенные с аналогичными результатами для событий в этой зоне из [7–9], (всего $N=28$) позволили посчитать методом ортогональной регрессии зависимость $\lg M_0=f(K_p)$ (для сравнения с полученными ранее зависимостями значения M_0 , Н·м переведены в значения M_0 , дин см). Получена в итоге зависимость (5), которая по сравнению с аналогичным уравнением средне-мировой зависимости (6) из [2] неплохо согласуется по угловому коэффициенту, но почти на две единицы отличается по свободному члену, превышая средне-мировые значения, т.е.:

$$\lg M_0=0.855 (\pm 0.09) K_p+13.58 (\pm 0.36) \quad \text{при } r=0.89, N=28, \quad (5)$$

$$\lg M_0 \pm 0.6=0.889 K_p+11.84. \quad (6)$$

Такая зависимость для Восточного Кавказа получена нами впервые. Безусловно, она будет уточняться по мере накопления данных спектральных и динамических параметров в этой зоне, также будут в дальнейшем построены зависимости длины разрыва $L=f(K_p)$ и падения напряжения $\Delta\sigma=f(K_p)$.

Сравнивая уравнение (5) с зависимостями, полученными ранее для западной и центральной зон Северного Кавказа, можно сказать, что нарастание значений $\lg M_0$ с ростом K_p в Восточном Кавказе происходит более «энергично» или более «круто», нежели в двух других зонах [7–9], на территории которых находятся, в том числе, и платформенные структуры.

Л и т е р а т у р а

1. **Brune I.V.** Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes // J. Geophys. Res. – 1970. – 75. – N 26. – P. 4997–5009.
2. **Ризниченко Ю.В.** Размеры очага корового землетрясения и сейсмический момент // Исследования по физике землетрясений. – М.: Наука, 1976. – С. 9–27.

3. Соловьёва О.Н., Агаларова Э.Б., Алимамедова 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.
4. Раутиан Т.Г. Энергия землетрясений // Методы детального изучения сейсмичности (Труды ИФЗ АН СССР; № 9 (176)). – М.: ИФЗ АН СССР, 1960. – С. 75–114.
5. 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.
6. Аптекман Ж.Я., Белавина Ю.Ф., 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. Переход от стационарного спектра к очаговому и расчет динамических параметров очага // Вулканология и сейсмология. – 1989. – № 2. – С. 66–79.
7. Малянова Л.С., Габсатарова И.П. Спектральные и очаговые параметры землетрясений Северного Кавказа // Землетрясения Северной Евразии, 2010 год. – Обнинск: ГС РАН, 2016. – С. 305–311.
8. Малянова Л.С., Габсатарова И.П. Спектральные и очаговые параметры землетрясений Северного Кавказа // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ГС РАН, 2017. – С. 294–299.
9. Малянова Л.С., Габсатарова И.П. Спектральные и очаговые параметры землетрясений Северного Кавказа // Землетрясения Северной Евразии, 2012 год. – Обнинск: ГС РАН, 2018. – С. 294–301.
10. Пономарёва Н.Л., Габсатарова И.П., Бабкина В.Ф., Малянова Л.С. Изучение поглощения сейсмических волн в коре и верхней мантии Восточного Предкавказья // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы XII Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – С. 279–283.
11. Anderson D.L., Hart R.S. Q of the Earth // J. Geophys. Res. – 1978. – **83**. – N B12. – P. 5869–5882.
12. 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.
13. 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.
14. 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.
15. Павленко О.В. Характеристики излучения и распространения сейсмических волн на Северном Кавказе, оцененные по записям сейсмостанций «Сочи» и «Анапа» // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2016. – **43**. – № 1. – С. 49–61.
16. Павленко О.В. Изучение региональных характеристик излучения и распространения сейсмических волн на Северном Кавказе посредством моделирования акселерограмм // Физика Земли. – 2009. – № 10 – С. 38–48.
17. Hanks T.S., Kanamori H. A moment magnitude scale // J. Geophys. Res. – 1979. – **84**. – N 135. – P. 2348–2350.

METADATA IN ENGLISH

SPECTRAL and SOURCE EARTHQUAKE PARAMETERS on NORTHERN CAUCASUS

L.S. Malyanova, I.P. Gabsatarova

GS RAS, Russia, Obninsk, Russia, ira@gsras.ru

Abstract. The dynamic parameters of 18 earthquakes sources in the North Caucasus for 2013 with $K_p=10.0$ –12.9, determined from 64 amplitude spectra of S -waves are given. Records of three regional digital

seismic stations, “Anapa”, “Kislovodsk” and “Sochi” are used. They are located no more than 300 km from the sources. The records of the “Makhachkala” station were used in a test mode. For the environment near these stations, the values of the frequency-dependent Q -factor, necessary for recalculating the station spectra to the focal ones, were obtained earlier. In 2013, the largest number of studied earthquakes was located in the Eastern Caucasus. The dependence of $\log M_0$ and K_p for this zone was established with use of the data obtained in 2010–2013. Compared to the similar equation of world average dependence (Riznichenko, 1976), our dependence is in a good agreement with it by the slope, but the free term exceeds the same in the world average dependence by almost two units.

Keywords: Brune model, seismic moment, stress drop, fracture length, dynamic source parameters, Eastern Caucasus.

DOI: 10.35540/1818-6254.2019.22.28

For citation: Malyanova, L.S., & Gabsatarova, I.P. (2019). Spectral and source earthquake parameters on Northern Caucasus. *Zemletryaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 22 (2013), 311–319. (In Russ.). doi: 10.35540/1818-6254.2019.22.28

References

1. Brune, J.N. (1970). Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes. *Journal of geophysical research*, 75 (26), 4997–5009.
2. Riznichenko, Yu.V. (1976). [The dimensions of the crustal earthquake source and the seismic moment]. In *Issledovaniya po fizike zemletryasenyi* [Studies in the physics of earthquakes] (pp. 9–27). Moscow: Nauka Publ. (In Russ.).
3. Solov'yova, O.N., Agalarova, E.B., Alimamedova, V.P., Gasanov, A.G., Geodakyan, E.G., Gyul', E.K., Darakhvelidze, L.K., Petrosyan, M.D., Fabritsius, Z.E., & Khrometskaya, Ye.A. (1983). [Calibration functions for determining the magnitude of Caucasian earthquakes by the short-period wave P at small epicentral distances]. In *Interpretatsiya seysmicheskikh nablyudenyi* [Interpretation of seismic observations] (pp. 65–72). Moscow: MGC at the Presidium of the Academy of Sciences of the USSR Publ. (In Russ.).
4. Rautyan, T.G. (1960). [Earthquake energy]. *Trudy IFZ AN SSSR* [Proceedings of the IPF of the USSR Academy of Sciences], 9 (176), 75–114. (In Russ.).
5. Aptekman, J.Y., Daragan, S.K., Dolgopopov, D.V., Zakbarova, A.J., Zobin, V.N., Kogan, S., Korchagina, O.A., Moskvina, A.G., Polikarpova, L.A., & Chepkunas, L.S. (1985). [The P-wave spectra in the problem of determination of focal earthquake dynamic parameters: unification of initial data and amplitude spectra calibration procedure]. *Vulkanologiya i seismologiya* [Journal of Volcanology and Seismology], 2, 60–70. (In Russ.).
6. Aptekman, J.Y., Belavina, Y.F., Zakharova, A.S., Zobin, V.M., Kogan, S.Y., Korchagina, O.A., Moskvina, A.G., Polikarpova, L.A., & Chepkunas, L.S. (1989). [P-wave spectra in the problem of determination of focal earthquake dynamic parameters: transformation spectra from station to the source and calculation dynamic parameters]. *Vulkanologiya i seismologiya* [Journal of Volcanology and Seismology], 2, 66–79. (In Russ.).
7. Malyanova, L.S., & Gabsatarova, I.P. (2016). [Spectral and focal parameters of earthquakes of the Northern Caucasus]. In *Zemletryaseniia Severnoi Evrazii v 2010 gody* [Earthquakes in Northern Eurasia, 2010] (pp. 305–311). Obninsk: GS RAS Publ. (In Russ.).
8. Malyanova, L.S., & Gabsatarova, I.P. (2017). [Spectral and focal parameters of earthquakes of the Northern Caucasus]. In *Zemletryaseniia Severnoi Evrazii v 2011 gody* [Earthquakes in Northern Eurasia, 2011] (pp. 305–311). Obninsk: GS RAS Publ. (In Russ.).
9. Malyanova, L.S., & Gabsatarova, I.P. (2018). Spectral and focal parameters of earthquakes of the Northern Caucasus. *Zemletryaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 21 (2012), 305–311. (In Russ.).
10. Ponomaryova, N.L., Gabsatarova, I.P., Babkina, V.F., & Malyanova, L.S. (2017). [Study of seismic wave absorption in the crust and upper mantle of the Eastern Ciscaucasia]. In *Materialy XII Mezhdunarodnoy seysmologicheskoy shkoly "Sovremennyye metody obrabotki i interpretatsii seysmologicheskikh dannyykh"*. [Proceedings of the XII International Seismological Workshop "Modern Methods of Processing and Interpretation of Seismological Data"] (pp. 279–283). Obninsk: GS RAS Publ. (In Russ.).
11. Anderson, D.L., & Hart, R.S. (1978). Q of the Earth. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 83 (B12), 5869–5882.

12. Riznichenko, Yu.V., Dzhibladze, E.A., & Bolkvadze, I.N. (1976). [Oscillation spectra and parameters of the Caucasian focuses] In *Issledovaniya po fizike zemletryaseniy* [Earthquake physics research] (pp. 74–86). Moscow: Nauka Publ. (In Russ.).
13. Pustovitenko, B.G. (2003). [Seismic processes in the Black Sea region and seismic hazard of the Crimea. Dr. phys. and math. sci. diss.]. Kiev: IG NANU Publ. (In Russ.).
14. Pavlenko, V.A., & Pavlenko, O.V. (2016). The seismic wave absorption in the crust and upper mantle in the vicinity of the Kislovodsk seismic station. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 52 (4), 492–502.
15. Pavlenko, O.V. (2016). [Characteristics of emission and propagation of seismic waves in the North Caucasus, estimated from the records of the Sochi and Anapa seismic stations]. *Voprosy inzhenernoy seismologii*. [Issues of engineering seismology], 43 (1), 49–61. (In Russ.).
16. Pavlenko, O.V. (2009). The study of the radiation characteristics and propagation of seismic waves in the North Caucasus by modeling the accelerograms of the recorded earthquakes. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 45 (10), 874.
17. Hanks, T.C., & Kanamori, H. (1979). A moment magnitude scale. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 84 (B5), 2348–2350.