

**СПЕКТРАЛЬНЫЕ и ОЧАГОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА**

Л.С. Малянова, И.П. Габсатарова

Геофизическая служба РАН, г. Обнинск, ira@gsras.ru

Для семи землетрясений Северного Кавказа (табл. 1, рис. 1) выполнены спектральные исследования по записям станции «Сочи» и «Анапа» с использованием методики [1], примененной ранее для Пешехского землетрясения 15 ноября 2004 г. [2]. По записям станции «Анапа» построены спектры только для двух из анализируемых землетрясений – 21 сентября и 24 октября.

Таблица 1. Список землетрясений Северного Кавказа, для которых рассчитаны спектры в 2005 г.

№	Дата, д м	t_0 , ч мин с	Эпицентр		h , км	K_p	Магнитуды						Район
			φ°, N	λ°, E			$MPVA$, [3]	$MPSP$, [4]	MS , [4]	m_b , [5]	M_s , [5]	M_w , [5]	
1	20.02	02 41 54.0	44.60	36.96	19	8.6	3.7						Анапский
2	11.03	00 10 07.7	43.98	39.05	9	8.2	3.3						Сочинский
3	13.03	01 31 19.7	44.71	37.18	22	11.9	5.1	4.6	3.2	4.4	4.1	4.6	Черное море
4	18.03	07 34 51.2	44.48	42.24	4	10.3	4.6	4.1		3.9			Ставропольский край
5	21.09	19 08 02.0	45.36	37.26	33	10.0	4.8	4.2		3.7			Побережье Азовского моря
6	06.10	17 57 27.1	42.77	42.15	11	11.8	5.3	4.6		4.4	3.9		Грузия
7	24.10	12 03 53.9	44.61	37.81	5	8.0	3.5						Черное море

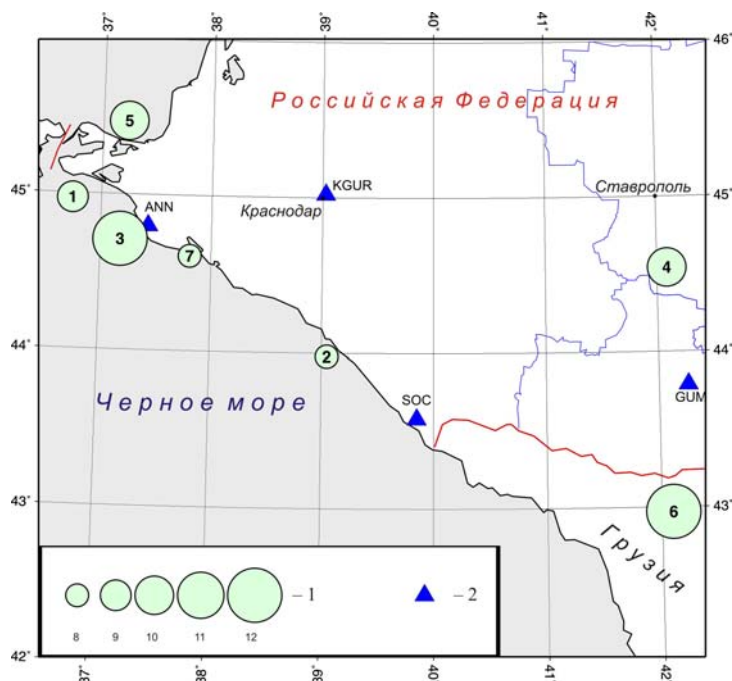


Рис. 1. Карта эпицентров землетрясений Северного Кавказа за 2005 г., для которых проводился спектральный анализ

Известно, что спектр записи реального землетрясения в точке наблюдения является суперпозицией эффектов самого источника, амплитудно-частотной характеристики регистрирующего при-

бора, среды на пути очаг–станция, направленности излучения. Методика учета всех этих факторов при переходе от стационарного спектра к спектру источника подробно изложена в [6–8]. Формула для расчета M_0 по стационарному спектру имеет вид:

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

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

Для относительно слабых по магнитуде землетрясений при неизвестном механизме очага обычно принимается среднее значение $R_{\theta\varphi}=0.4$ [6, 7].

Функция геометрического расхождения $G(\Delta, h)$ для близких землетрясений на расстояниях от станции регистрации $r < 1000$ км может быть оценена как $1/r$, где r – гипоцентральное расстояние [9]. Частотная характеристика земной коры под станцией принимается в среднем равной $C(\omega)=2$ в случае отсутствия данных конкретных исследований.

Кроме того, стационарный спектр должен быть приведен к очаговому спектру при введении поправки $S(f)$ за неупругое затухание волны в мантии, которая рассчитывается по формуле:

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

где t_s^* – отношение времени (t_s) пробега S -волны до станции регистрации к средней добротности среды вдоль луча (Q_{cp}) по [10]. Значение Q_{cp} для S -волн Северо-Западного Кавказа по записям «Сочи» и записям «Анапы» определено О.В. Павленко [11] и находится из зависимости $Q(f) \sim 80 f^{0.9}$ для полосы 1–8 Гц для «Сочи» и $Q(f) \sim 130 f^{0.7}$ для полосы 1–8 Гц – для «Анапы».

Для построения спектров выбирался фрагмент записи S -волны (рис. 2) от начала вступления до момента, когда амплитуда этой группы волн достигла примерно $1/3 A_{S \max}$, максимальной амплитуды S -волны [8]. Длительность τ записи выбранных фрагментов составила $\tau=20-70$ с от вступления S -волны, в зависимости от удаленности станции от очага землетрясения.

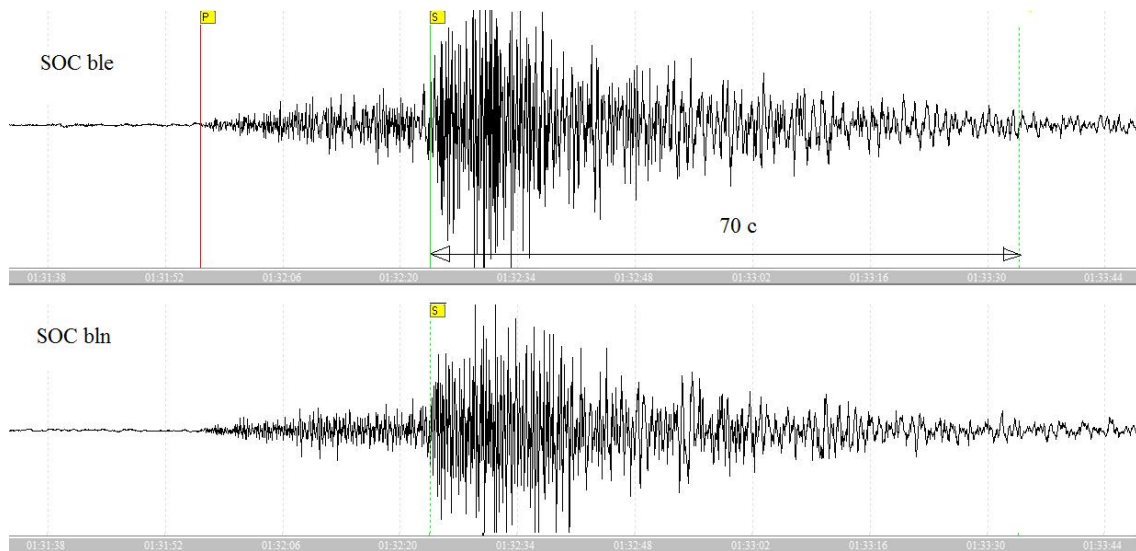


Рис. 2. Записи землетрясения 13 марта 2005 г. в 01^h31^m на горизонтальных компонентах Е, N широкополосного сейсмометра СМ-3-ОС станции «Сочи»

Спектры S -волн шести землетрясений приводятся на рис. 3 и 4 для двух горизонтальных компонент. Замеры спектральной амплитуды A_0 осуществлялись также для обеих горизонтальных компонент и приведены в табл. 2 вместе с вычисленными по ним сейсмическими моментами M_0 и магнитуды M_w по формуле Канамори [12]:

$$M_w = 2/3 \cdot \lg M_0 - 10.7. \quad (3)$$

Таблица 2. Значения спектральных амплитуд A_0 , скалярного сейсмического момента M_0 и магнитуды Канамори M_w для семи землетрясений Северного Кавказа

№	Дата, д м	K_p	Станция	Δ°	Компо- нента	A_0 , см·с	M_0 , дн·см	M_w
1	20.02	8.6	Сочи	2.55	ВН(Е)	0.0000211	$1.1 \cdot 10^{21}$	3.3
					ВН(Н)	0.0000210	$1.1 \cdot 10^{21}$	3.3
2	11.03	8.2	Сочи	0.62	ВН(Е)	0.0000117	$1.4 \cdot 10^{20}$	2.7
					ВН(Н)	0.0000121	$1.5 \cdot 10^{20}$	2.7
3	13.03	11.9	Сочи	2.34	ВЛ(Е)	0.00184	$8.7 \cdot 10^{22}$	4.6
					ВЛ(Н)	0.00170	$8.0 \cdot 10^{22}$	4.6
4	18.03	10.3	Сочи	1.96	ВН(Е)	0.000315	$1.2 \cdot 10^{22}$	4.0
					ВН(Н)	0.000222	$0.9 \cdot 10^{22}$	3.9
5	21.09	10.0	Анапа	0.59	ВН(Н)	0.000357	$4.2 \cdot 10^{21}$	3.7
			Сочи	2.59	ВН(Е)	0.000137	$7.2 \cdot 10^{21}$	3.9
					ВН(Н)	0.000134	$7.0 \cdot 10^{21}$	3.9
6	06.10	11.8	Сочи	1.85	ВЛ(Е)	0.00059	$2.2 \cdot 10^{22}$	4.2
					ВЛ(Н)	0.00059	$2.2 \cdot 10^{22}$	4.2
7	24.10	8.0	Анапа	0.45	ВН(Е)	0.0000210	$1.9 \cdot 10^{20}$	2.8
					ВН(Н)	0.0000296	$2.7 \cdot 10^{20}$	2.9

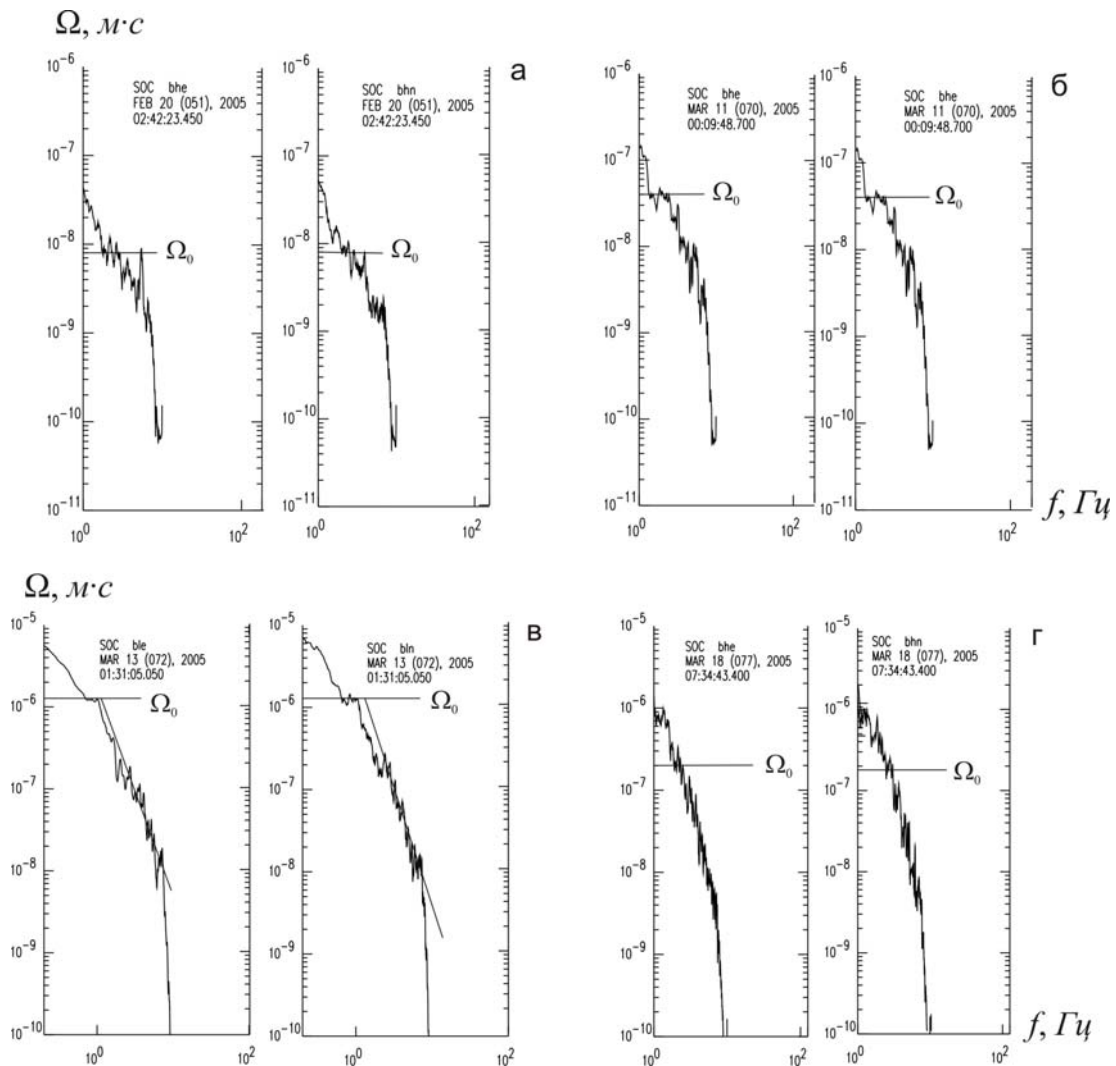


Рис. 3. Станционные спектры на горизонтальных составляющих каналов ВН(Н), ВН(Е) станции «Сочи» для землетрясений, произошедших 20 февраля в $02^{\text{h}}42^{\text{m}}$ (а), 11 марта в $00^{\text{h}}09^{\text{m}}$ (б), 13 марта в $01^{\text{h}}31^{\text{m}}$ (в) и 18 марта в $07^{\text{h}}34^{\text{m}}$ (г)

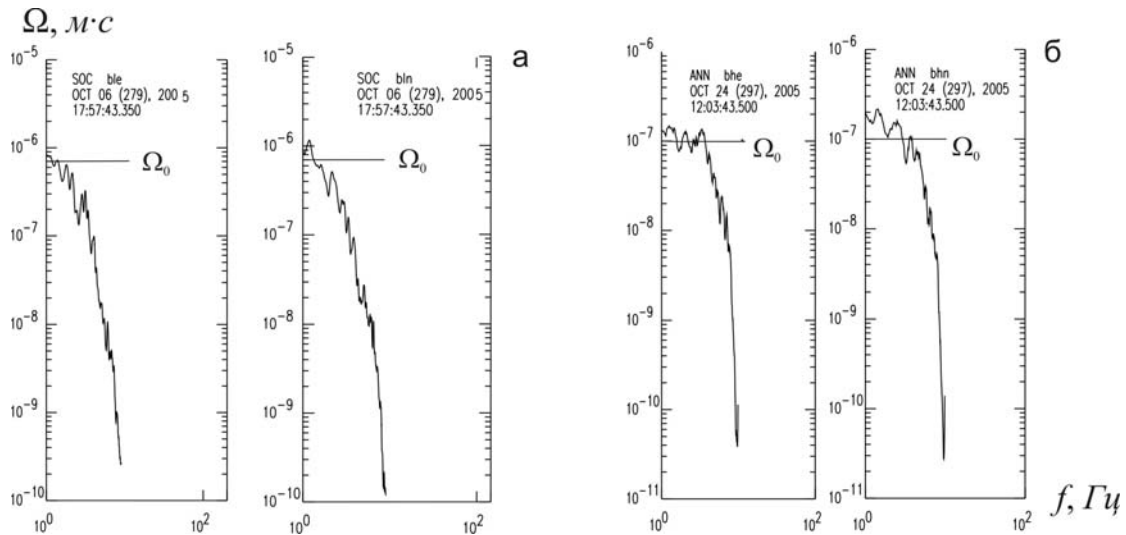


Рис. 4. Стационарные спектры на горизонтальных составляющих каналов ВН(Н), ВН(Е) двух землетрясений: станции «Сочи» – 6 октября в 17^h57^m (а) и «Анапа» – 24 октября в 12^h03^m (б)

Характеристики амплитудных спектров f_0 и Ω_0 для двух землетрясений использованы для расчета динамических параметров очагов землетрясений Крыма. В табл. 3 представлены следующие параметры очагов землетрясений: Δ – эпицентральное расстояние, Ω_0 – спектральная плотность, f_0 – угловая частота, M_0 – сейсмический момент, r_0 – радиус круговой дислокации, $\Delta\sigma$ – сброшенное напряжение, $\bar{\eta}\sigma$ – кажущееся напряжение, \bar{u} – средняя подвижка по разрыву.

Таблица 3. Спектральные и динамические параметры очагов землетрясений 2005 г. по записям станции «Сочи»

№	Дата, д м	Станция	Составляющая	Δ°	Ω_0 , 10^{-6} м·с	f_p , Гц	f_0 , Гц	M_0 , 10^{15} Н·м	M_w	L , км	$\Delta\sigma$, 10^6 Н/м ²	$\bar{\eta}\sigma$, 10^5 Н/м ²	\bar{u} , м
1	13.03	Сочи	BLE	2.34	1.84	1.0	1.2	8.7	4.6	2.2	2.8	1.5	0.08
			BLN		1.70	1.0	1.3	8.0	4.6	2.0	3.5	1.7	0.09
2	06.10	Сочи	BLE	1.85	0.59	2.2	2.7	2.2	4.2	1.0	7.7	6.1	0.09
			BLN		0.59	2.2	2.4	2.2	4.2	1.1	6.1	6.1	0.08

Спектральные параметры землетрясений 20 февраля в 02^h41^m и 13 марта в 01^h31^m исследованы и по данным станций Крымской сети [13]. При сравнении результатов оказалось, что расхождения в значениях M_w не превышали в первом случае 0.1, во втором – 0.2. Получены близкие значения r – радиуса круговой дислокации и связанной с ним длины разрыва L ($r=L/2$) и сброшенного напряжения $\Delta\sigma$ для землетрясения 13 марта.

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 в 2004 г. – Обнинск: ГС РАН, 2010. – С. 268–272.
2. **Габсатарова И.П.** Пшехское землетрясение 15 ноября 2004 года с $M_w=4.6$, $M_S=4.6$, $I_0^p=5-6$ (Краснодарский край) // Землетрясения Северной Евразии, 2004 год. – Обнинск: ГС РАН, 2010. – С. 386–394.
3. **Габсатарова И.П. (отв. за обработку), Селиванова Е.А. (сост.).** Сейсмологический каталог землетрясений ($N=438$) и взрывов ($N=5$) по региону Северный Кавказ за 2005 г. (Приложение к сейсмологическому каталогу ГС РАН). – Обнинск: Фонды ГС РАН, 2006.
4. **Сейсмологический бюллетень (ежедекадный) за 2005 год** / Отв. ред. О.Е. Старовойт. – Обнинск: ГС РАН, 2005–2006.

5. **Bulletin of the International Seismological Centre for 2005.** – Berkshire: ISC, 2007.
6. **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.
7. **Аптекман Ж.Я., Белавина Ю.Ф., Захарова А.И. и др.** Спектры *P*-волн в задаче определения динамических параметров очагов землетрясений. Переход от станционного спектра к очаговому и расчет динамических параметров очага // *Вулканология и сейсмология.* – 1989. – № 2. – С. 66–79.
8. **Пустовитенко Б.Г., Пантелеева Т.Г.** Спектральные и очаговые параметры землетрясений Крыма. – Киев: Наукова думка. – 1990. – 251 с.
9. **Пустовитенко Б.Г.** Сейсмические процессы в Черноморском регионе и сейсмическая опасность Крыма. Диссертация д-ра физ.-мат. наук / ИГ НАНУ. – Киев, 2003. – 387 с.
10. **Anderson D.L., Hart R.S.** Q of the Earth // *J. Geophys. Res.* – 1978. – **83.** – N B12. – P. 5869–5882.
11. **Павленко О.В.** Изучение закономерностей излучения и распространения сейсмических волн в коре и верхней мантии Северного Кавказа по записям сейсмостанций «Сочи» и «Анапа» // *Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Пятой Международной сейсмологической школы.* – Обнинск: ГС РАН, 2010. – С. 138–142.
12. **Hanks T.S., Kanamori H.** A moment magnitude scale // *J. Geophys. Res.* – 1979. – **84.** – N 135. – P. 2348–2350.
13. **Пустовитенко Б.Г., Поречнова Е.И., Калинюк И.В., Сыкчина З.Н.** Очаговые параметры землетрясений Крыма. (См. раздел II (Спектры и динамические параметры очагов землетрясений) в наст. сб.).