

СПЕКТРАЛЬНЫЕ и ОЧАГОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА

Л.С. Малянова, И.П. Габсатарова

ФИЦ ЕГС РАН», г. Обнинск, Россия, lmal@gsras.ru

Аннотация. Приведены динамические параметры очагов 21 землетрясения Северного Кавказа за 2014 г. с $K_p=9.5-11.5$, определенные по 44 амплитудным спектрам S -волн. Используются записи трех региональных цифровых сейсмических станций – «Анапа», «Кисловодск» и «Сочи», удаленных от очагов не более чем на 300 км. Для среды вблизи этих станций ранее были получены значения частотно-зависимой добротности $Q(f)$, необходимой для пересчета станционных спектров в очаговые. В 2014 г. большинство исследуемых землетрясений находилось на территории Восточного Кавказа. Совместно с данными за 2010–2013 гг., новые результаты позволили уточнить полученную ранее зависимость $\lg M_0=f(K_p)$ для Восточного Кавказа. По сравнению с аналогичным уравнением зависимости для всего Кавказа (Ризниченко и др., 1976), полученное соотношение хорошо согласуется по свободному члену, но отличается по наклону.

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

DOI: 10.35540/1818-6254.2020.23.26

Для цитирования: Малянова Л.С., Габсатарова И.П. Спектральные и очаговые параметры землетрясений Северного Кавказа // Землетрясения Северной Евразии. Вып. 23 (2014 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2020. – С. 263–270. doi: 10.35540/1818-6254.2020.23.26

Введение. Работы по построению очаговых спектров региональных землетрясений Северного Кавказа и расчету спектральных и динамических параметров очагов землетрясений этого региона были начаты в 2005 г. Благодаря исследованиям О.В. Павленко, получившей оценки добротности Q_{cp} для S -волн Северного Кавказа по записям станций «Анапа», «Сочи» и «Кисловодск» [1–3], удалось учесть затухание энергии сейсмических волн в мантии. С тех пор в ежегодных статьях настоящего ежегодника идет наращивание информации о спектральных характеристиках и динамических параметрах очагов землетрясений умеренных классов ($K_p \geq 9.5$). Так как применимость оценок добротности Q_{cp} для S -волн имеет ограничения по расстоянию, то рассчитанные параметры для каждого землетрясения получены, в основном, по одной, максимум двум станциям. Безусловно, авторы понимают, что такие исследования требуют увеличения списка станций для получения статистически обоснованных решений. Этот процесс находится в развитии, идет накопление информации для расчета значений добротности для других станций этого большого по площади региона.

Исходные данные. Для исследования были выбраны наиболее сильные ($K_p=9.5-11.5$) землетрясения Северного Кавказа в 2014 г., эпицентры которых удалены не более чем на 300 км от станций «Кисловодск», «Анапа», «Сочи». Параметры и положение эпицентров землетрясений приводятся в табл. 1 и на рис. 1.

Двенадцать землетрясений произошли в восточной зоне – в Чечне, Дагестане и приграничной области Грузии (№№ 2–12, №№ 14–21 в табл. 1 и на рис. 1), три землетрясения – в Кабардино-Балкарии (№№ 5, 7 и 13 в табл. 1 и на рис. 1), одно – в шельфовой зоне Абхазии, в очаговой зоне сильного землетрясения 23 декабря 2012 г. в $13^{\text{h}}31^{\text{m}}$ (№ 6 в табл. 1 и на рис. 1), одно (№ 1) – в Азовском море.

Таблица 1. Список землетрясений Северного Кавказа, для которых рассчитаны спектры в 2014 г.

| № | Район | Дата, д м | t_0 , ч мин с | Эпицентр | | h , км | K_p | $MPVA$ | M^p |
|---|----------------------|--------------|--------------------|---------------------|---------------------|-------------|-------|--------|-------|
| | | | | φ° , N | λ° , E | | | | |
| 1 | Азовское море | 04.01 | 07 48 00.8 | 46.10 | 36.60 | 15 | 9.9 | 4.0 | 3.3 |
| 2 | Чеченская Республика | 01.02 | 10 58 04.5 | 42.99 | 45.92 | 20 | 9.7 | 4.4 | 3.2 |
| 3 | Дагестан | 14.02 | 08 44 41.7 | 42.59 | 46.41 | 14 | 9.5 | 4.3 | 3.1 |
| 4 | Дагестан | 16.02 | 05 17 40.0 | 43.16 | 46.53 | 5 | 10.0 | 4.3 | 3.3 |

| № | Район | Дата, д м | t_0 , ч мин с | Эпицентр | | h , км | K_p | $MPVA$ | M^p |
|----|-------------------------|--------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------|-------|--------|-------|
| | | | | φ°, N | λ°, E | | | | |
| 5 | Кабардино-Балкария | 07.03 | 15 18 26.1 | 43.78 | 42.99 | 12 | 11.1 | 5.2 | 3.9 |
| 6 | Юго-восток Черного моря | 13.03 | 16 04 08.1 | 42.45 | 41.05 | 4 | 9.5 | 4.0 | 3.1 |
| 7 | Кабардино-Балкария | 14.04 | 23 16 31.3 | 43.47 | 44.17 | 4 | 10.9 | 5.0 | 3.8 |
| 8 | Чеченская Республика | 27.04 | 01 42 55.2 | 42.85 | 45.76 | 11 | 11.1 | 5.0 | 3.9 |
| 9 | Ингушетия | 02.06 | 08 07 28.3 | 43.42 | 45.31 | 13 | 11.5 | 5.1 | 4.2 |
| 10 | Дагестан | 03.06 | 05 14 31.5 | 42.76 | 47.71 | 6 | 9.5 | 4.3 | 3.1 |
| 11 | Грузия | 06.08 | 16 42 49.3 | 42.54 | 43.39 | 3 | 10.1 | 4.3 | 3.4 |
| 12 | Чеченская Республика | 01.09 | 15 58 51.6 | 43.65 | 45.23 | 22 | 9.8 | 4.3 | 3.2 |
| 13 | Кабардино-Балкария | 22.09 | 16 25 29.6 | 43.27 | 43.65 | 4 | 9.7 | 4.3 | 3.2 |
| 14 | Чеченская Республика | 02.10 | 12 24 41.9 | 43.05 | 46.22 | 90 | 9.5 | 4.2 | 3.1 |
| 15 | Дагестан | 03.10 | 09 30 59.6 | 42.96 | 47.03 | 6 | 9.5 | 4.1 | 3.1 |
| 16 | Грузия | 08.10 | 12 36 16.9 | 42.31 | 43.03 | 3 | 10.2 | 4.4 | 3.4 |
| 17 | Чеченская Республика | 18.10 | 12 34 57.6 | 42.56 | 45.44 | 14 | 10.5 | 5.0 | 3.6 |
| 18 | Чеченская Республика | 14.11 | 11 36 39.3 | 43.51 | 45.61 | 11 | 9.9 | 4.4 | 3.3 |
| 19 | Чеченская Республика | 24.11 | 19 05 01.1 | 43.02 | 45.85 | 6 | 11.1 | 5.0 | 3.9 |
| 20 | Грузия | 10.12 | 18 03 40.4 | 42.39 | 45.08 | 14 | 10.0 | 4.5 | 3.3 |
| 21 | Ингушетия | 26.12 | 12 58 30.8 | 42.99 | 45.23 | 14 | 10.3 | 4.6 | 3.5 |

Примечание. $MPVA$ – магнитуда по продольной волне P , полученная с использованием калибровочной функции для Кавказа [4]; M^p – расчетная магнитуда по формуле Т.Г. Раутиан $K_p=4+1.8 M$ [5].

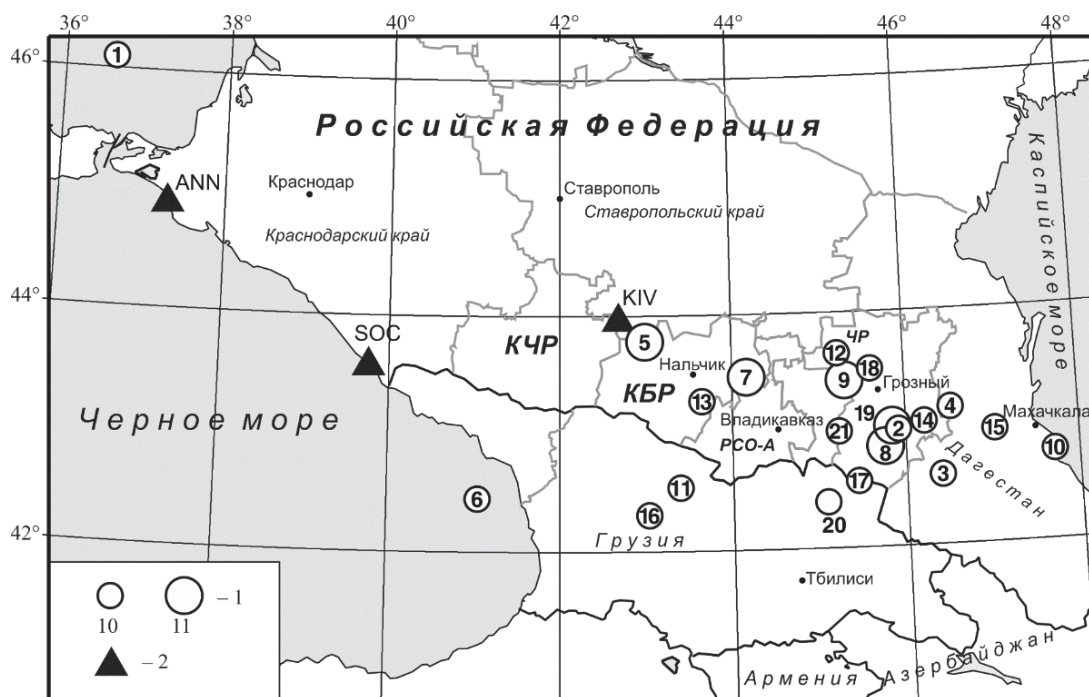


Рис. 1. Карта эпицентров землетрясений 2014 г. на Северном Кавказе, для которых проведен спектральный анализ

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 СМ-3-ОС.

Для анализируемых землетрясений Северного Кавказа (табл. 1) построены станционные спектры S -волн по записям станций «Кисловодск», «Анапа», «Сочи», которые были трансформированы в очаговые спектры по методике [6, 7], примененной ранее [8] в этом же регионе.

Методика. 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, то для корректного получения спектральных и динамических параметров очагов землетрясений необходимо применить методику учета всех этих факторов при переходе от замеров спектральной плотности, выполненных на станционных спектрах, к очаговому спектру [7–9].

Построенные с использованием преобразования Фурье стационарные спектры корректируются за амплитудно-частотные характеристики приборов, по ним выполняются замеры спектральной плотности Ω_0 . Согласно теоретической дислокационной модели Бруна [10], спектральная плотность Ω_0 пропорциональна скалярному сейсмическому моменту M_0 , а угловая частота f_0 прямо связана с размером дислокации r_0 , равной 1/2 длины разрыва L . Формула для расчета M_0 по стационарному спектру имеет вид:

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

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

Учет направленности излучения проводился с использованием среднего значения $R_{\theta\phi}=0.6$ [11]. Функция геометрического расхождения $G(\Delta, h)$ для близких землетрясений на расстояниях от станции регистрации $r < 1000$ км оценена как $1/r$ [9], где r – гипоцентральное расстояние. Частотная характеристика земной коры под станцией принимается в среднем равной $C(\omega)=2$. Поправка $S_m(f)$ рассчитывается по формуле (2) из [12]:

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

где t_s^* – отношение времени t_s пробега S -волны до станции регистрации к средней добротности среды Q_{cp} вдоль луча по [12]:

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

Значение Q_{cp} для S -волн Северо-Западного Кавказа по записям станций «Анапа», «Сочи» и «Кисловодск» определено О.В. Павленко [1–3] 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».

Геометрические размеры очага определялись по угловой частоте f_0 амплитудного спектра смещения. Для дислокационной модели Бруна с разрывом в виде круга радиус дислокации r_0 вычисляется по формуле:

$$r_0 = 2.34 \frac{V_p}{2\pi f_0}. \quad (4)$$

По найденным значениям сейсмического момента M_0 и размеров разрыва r_0 с использованием формул из работ [6–9] определялись другие динамические параметры очагов: L – длина разрыва, $\Delta\sigma$ – сброшенное напряжение, $\eta\sigma$ – кажущееся напряжение, u – средняя подвижка по разрыву и моментная магнитуда M_w .

Моментные магнитуды M_w рассчитывались по формуле (5) Канамори из [13]:

$$M_w = 2 / 3 (\lg M_0 + 7) - 10.7. \quad (5)$$

Построение спектров. Для построения стационарных спектров выбирался фрагмент записи S -волны от ее вступления до момента, когда амплитуда этой группы волн достигла примерно 1/3 $A_{S_{max}}$ [9]. 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.

Для трех землетрясений, показанных на рис. 2, приводятся сглаженные стационарные спектры S -волн горизонтальных компонент станции KIV (рис. 3). Для исследуемых землетрясений корректно проведены две асимптоты в соответствии с моделью Бруна [10].

Замеры спектральной амплитуды Ω_0 осуществлялись также на обоих горизонтальных компонентах и приведены в табл. 2 вместе с сейсмическими моментами M_0 и моментными магнитудами M_w , в качестве окончательного значения M_w выбрано максимальное из них.

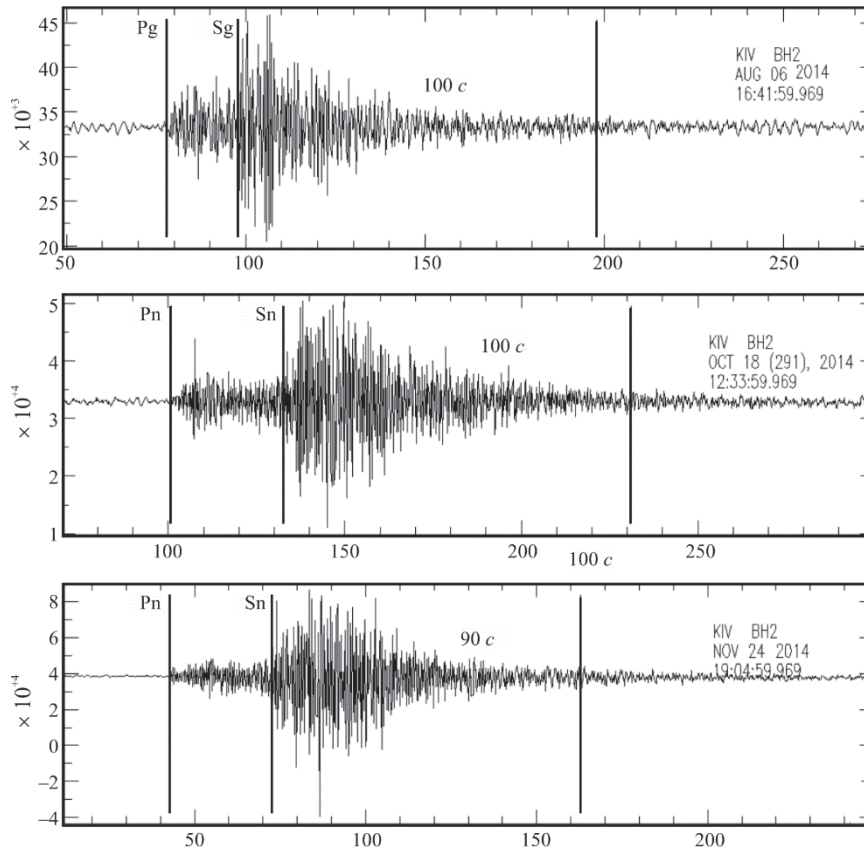


Рис. 2. Записи землетрясений 2014 г. на горизонтальной компоненте (BH2) широкополосного сейсмометра STS-1 станции «Кисловодск» (KIV): 6 августа в 16^h42^m с $K_P=10.1$, 18 октября в 12^h34^m с $K_P=10.5$, 24 ноября в 19^h05^m с $K_P=11.1$ (по вертикали приводятся цифровые отсчеты, по горизонтали – относительное время в секундах)

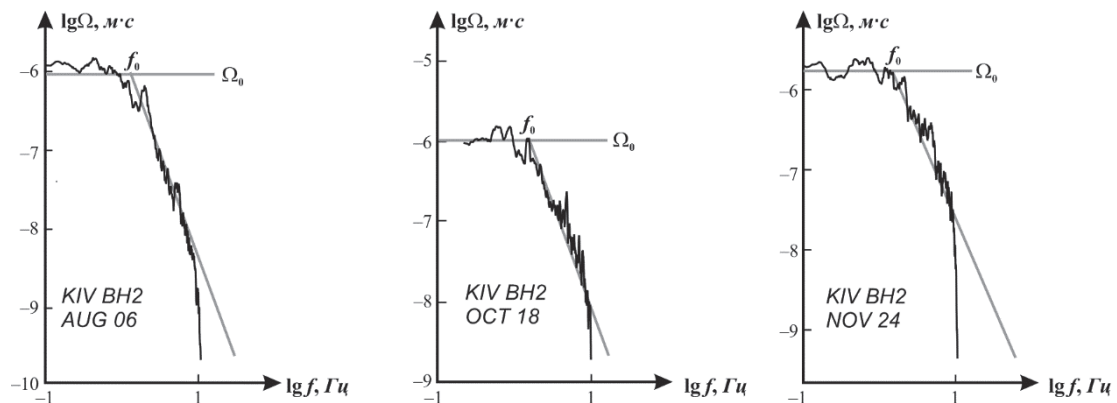


Рис. 3. Примеры стационарных спектров в соответствии с фрагментами записи на рис. 2 с асимптотами в соответствии с моделью Бруна

Расчет динамических параметров. Для 21 землетрясения из табл. 1 амплитудные спектры аппроксимировались двумя асимптотами: в длиннопериодной части спектра – прямой, параллельной оси частот, а в области коротких периодов – наклонной прямой с угловым коэффициентом $\gamma \approx -2$ (рис. 3). Для всех спектров в соответствии с моделью Бруна [10] определены уровень плоской части спектра Ω_0 и точка его пересечения с высокочастотным склоном угловая частота f_0 , которые использованы для расчета динамических параметров очагов и моментной магнитуды M_w (табл. 2). В таблице представлены следующие параметры землетрясений: Δ – эпицентральное расстояние, Ω_0 – спектральная плотность, f_{II} – 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 2. Спектральные и динамические параметры очагов землетрясений Северного Кавказа в 2014 г. (S-волны)

| № | Дата, д м | t_0 , ч мин с | Код с/ст | Компо- нента | Δ° | Ω_0 , $10^{-6} \cdot \text{м} \cdot \text{с}$ | f_n , Гц | f_0 , Гц | M_0 , Н·м | M_w | L , $10^3 \cdot \text{м}$ | $\Delta\sigma$, $10^5 \cdot \text{Па}$ | $\bar{\eta}\sigma$, $10^5 \cdot \text{Па}$ | \bar{u} , м | K_p |
|----|--------------|--------------------|-------------|-----------------|----------------|---|---------------|---------------|---------------------|-------|--------------------------------|--|--|------------------|-------|
| 1 | 04.01 | 07 48 00.8 | ANN | ВНН | 1.31 | 0.119 | 1.7 | 2.4 | $2.1 \cdot 10^{14}$ | 3.5 | 1.0 | 7 | 11 | 0.01 | 9.9 |
| 2 | 01.02 | 10 58 04.5 | KIV | ВН2 | 2.54 | 0.273 | 2.0 | 2.0 | $5.9 \cdot 10^{14}$ | 3.8 | 1.2 | 12 | 2 | 0.02 | 9.7 |
| 3 | 14.02 | 08 44 41.7 | KIV | ВН2 | 3.04 | 0.324 | 1.9 | 1.9 | $8.3 \cdot 10^{14}$ | 3.9 | 1.2 | 10 | 1 | 0.02 | 9.5 |
| 4 | 16.02 | 05 17 40.0 | KIV | ВН2 | 2.90 | 2.54 | 1.7 | 1.7 | $6.2 \cdot 10^{15}$ | 4.5 | 1.4 | 79 | 1 | 0.13 | 10.0 |
| 5 | 07.03 | 15 18 26.1 | SOC | ВНЕ | 2.35 | 1.75 | – | – | $5.5 \cdot 10^{15}$ | 4.5 | 1.4 | 70 | 7 | 0.12 | 11.1 |
| 6 | 13.03 | 16 04 08.1 | KIV | ВН2 | 1.92 | 0.218 | 0.8 | 1.2 | $3.5 \cdot 10^{14}$ | 3.7 | 1.8 | 2 | 3 | 0.01 | 9.5 |
| 7 | 14.04 | 23 16 31.3 | KIV | ВН2 | 1.18 | 3.96 | 1.8 | 1.8 | $4.0 \cdot 10^{15}$ | 4.4 | 1.2 | 81 | 6 | 0.12 | 10.9 |
| 8 | 27.04 | 01 42 55.2 | KIV | ВН2 | 2.50 | 15.3 | 0.8 | 1.0 | $3.2 \cdot 10^{16}$ | 5.0 | 2.2 | 105 | 1 | 0.28 | 11.1 |
| 9 | 02.06 | 08 07 28.3 | KIV | ВН2 | 1.98 | 16.8 | 0.6 | 1.0 | $2.8 \cdot 10^{16}$ | 4.9 | 2.2 | 92 | 3 | 0.25 | 11.5 |
| 10 | 03.06 | 05 14 31.5 | KIV | ВН2 | 3.85 | 1.29 | 0.9 | 1.2 | $4.2 \cdot 10^{15}$ | 4.4 | 1.8 | 25 | 0.2 | 0.05 | 9.5 |
| 11 | 06.08 | 16 42 49.3 | KIV | ВН2 | 1.50 | 0.397 | 0.8 | 1.4 | $5.0 \cdot 10^{14}$ | 3.8 | 1.6 | 4 | 8 | 0.01 | 10.1 |
| 12 | 01.09 | 15 58 51.6 | KIV | ВН2 | 1.87 | 0.883 | 2.4 | 2.5 | $1.4 \cdot 10^{15}$ | 4.1 | 0.8 | 96 | 1 | 0.09 | 9.8 |
| 13 | 22.09 | 16 25 29.6 | KIV | ВН2 | 0.98 | 0.141 | 1.4 | 2.0 | $1.2 \cdot 10^{14}$ | 3.4 | 1.2 | 2 | 12 | 0.01 | 9.7 |
| 14 | 02.10 | 12 24 41.9 | KIV | ВН2 | 2.73 | 0.403 | 2.0 | 2.0 | $9.3 \cdot 10^{14}$ | 3.9 | 1.2 | 19 | 1 | 0.03 | 9.5 |
| 15 | 03.10 | 09 30 59.6 | KIV | ВН2 | 3.32 | 0.774 | 1.5 | 2.0 | $2.2 \cdot 10^{15}$ | 4.2 | 1.2 | 44 | 0.4 | 0.06 | 9.5 |
| 16 | 08.10 | 12 36 16.9 | KIV | ВН2 | 1.66 | 3.40 | 0.5 | 0.5 | $4.8 \cdot 10^{15}$ | 4.4 | 4.4 | 2 | 1 | 0.01 | 10.2 |
| | | | SOC | ВЕ | 2.69 | 1.34 | 1.8 | 1.8 | $4.9 \cdot 10^{15}$ | 4.4 | 1.4 | 62 | 1 | 0.11 | |
| 17 | 18.10 | 12 34 57.6 | KIV | ВН2 | 2.45 | 1.13 | 1.6 | 1.6 | $2.3 \cdot 10^{15}$ | 4.2 | 1.4 | 29 | 4 | 0.05 | 10.5 |
| 18 | 14.11 | 11 36 39.3 | KIV | ВН2 | 2.31 | 1.31 | 2.0 | 2.0 | $2.6 \cdot 10^{15}$ | 4.2 | 1.2 | 52 | 1 | 0.08 | 9.9 |
| 19 | 24.11 | 19 05 01.1 | KIV | ВН2 | 2.48 | 2.86 | 1.6 | 1.6 | $6.0 \cdot 10^{15}$ | 4.5 | 1.4 | 76 | 6 | 0.13 | 11.1 |
| 20 | 10.12 | 18 03 40.4 | KIV | ВН2 | 2.35 | 0.447 | 0.7 | 0.7 | $8.9 \cdot 10^{14}$ | 3.9 | 3.2 | 1 | 3 | 0.004 | 10.0 |
| 21 | 26.12 | 12 58 30.8 | KIV | ВН2 | 2.09 | 3.23 | 0.7 | 0.7 | $5.7 \cdot 10^{15}$ | 4.5 | 3.2 | 6 | 1 | 0.02 | 10.3 |

Обсуждение результатов. Спектральные и динамические параметры землетрясения 4 января в 07^h48^m в Азовском море (№ 1 в табл. 1 и 2) определены также по станциям Крымской сети [14]. Параметры, полученные по станции «Анапа», хорошо согласуются со средними сетевыми значениями по станциям Крыма [14]. Их сравнение приведено в табл. 3. Возможно, в дальнейшем, по мере накопления данных о спектральных и динамических параметрах очагов в Азовском море, это позволит объединить Крымские и Кавказские результаты в единый каталог.

Таблица 3. Спектральные и динамические параметры очага землетрясения 4 января 2014 г.

| Результат | $M_0 \cdot 10^{13}$, Н·м | r_0 , км | $\Delta\sigma \cdot 10^5$, Па | $\bar{u} \cdot 10^{-2}$, м | $M_{w\text{пер}}$ |
|---|------------------------------|---------------|-----------------------------------|--------------------------------|-------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 5 | 9 |
| Средние значения по четырем Крымским станциям | 23.65 | 0.56 | 5.95 | 0.81 | 3.52 |
| Данные станции «Анапа» | 21.0 | 0.50 | 7.0 | 1.0 | 3.50 |

Как уже отмечалось, большая часть анализируемых в 2014 г. землетрясений произошла на Восточном Кавказе. Полученные в этом районе значения скалярного сейсмического момента M_0 землетрясений разных энергетических классов K_p объединены с аналогичными результатами для событий в этой зоне за 2010–2013 гг. из [15–17] (всего $N=42$) и позволили уточнить зависимость $\lg M_0 = f(K_p)$. Для сравнения с полученными ранее зависимостями значения M_0 , Н·м переведены в значения M_0 , дн·см. Полученная в итоге зависимость (6) почти равна по свободному члену в аналогичном уравнении (7) для Кавказа из [11], но отличается по угловому коэффициенту на 0.11:

$$\lg M_0 \pm 0.6 = 0.65 K_p + 14.56 (\pm 0.59) \text{ при } r=0.94, N=42, \quad (6)$$

$$\lg M_0 \pm 0.6 = 0.65 K_p + 14.5. \quad (7)$$

Пока не удалось построить зависимости других динамических параметров от K_p , т.к. их значения имеют значительный разброс, который не позволяет провести значимую корреляцию.

Заключение. Полученные в 2014 г. данные по спектральным и динамическим параметрам очагов землетрясений дополнили ряд исследованных землетрясений на Северном Кавказе.

Однако поставленные ранее вопросы о расширении списка станций для получения статистически более обоснованной информации о спектрах землетрясений и соответствующих параметрах очагов пока остаются нерешенными, поэтому полученные соотношения $\lg M_0 = f(K_p)$ для Восточной зоны Северного Кавказа нужно считать предварительными.

Л и т е р а т у р а

1. 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.
2. 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.
3. Павленко О.В. Изучение региональных характеристик излучения и распространения сейсмических волн на Северном Кавказе посредством моделирования акселерограмм // Физика Земли. – 2009. – № 10. – С. 38–48.
4. 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.
5. Раутиан Т.Г. Энергия землетрясений // Методы детального изучения сейсмичности (Труды ИФЗ АН СССР; № 9 (176)). – М.: ИФЗ АН СССР, 1960. – С. 75–114.
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., 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.
8. 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.
9. Пустовитенко Б.Г. Сейсмические процессы в Черноморском регионе и сейсмическая опасность Крыма // Дис. на соиск. уч. степ. д-ра ф.-м. наук / ИГ НАНУ. – Киев: 2003. – С. 58–71.
10. Brune I.V. Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes // J. Geophys. Res. – 1970. – 75. – N 26. – P. 4997–5009.
11. Ризниченко Ю.В., Джибладзе Э.А., Болквандзе И.Н. Спектры колебаний и параметры очагов землетрясений Кавказа // Исследования по физике землетрясений. – М.: Наука. 1976. – С. 74–86.
12. Anderson D.L., Hart R.S. Q of the Earth // J. Geophys. Res. – 1978. – 83. – N B12. – P. 5869–5882.
13. Hanks T.S., Kanamori H. A moment magnitude scale // J. Geophys. Res. – 1979. – 84. – N 135. – P. 2348–2350.
14. Пустовитенко Б.Г., Эреджепов Э.Э. Спектральные и очаговые параметры землетрясений Крымско-Черноморского региона // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 23 (2014 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2020. – С. 250–262. doi: 10.35540/1818-6254.2020.23.25
15. 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.
16. 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.
17. Малянова Л.С., Габсатарова И.П. Спектральные и очаговые параметры землетрясений Северного Кавказа // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 21 (2012 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – С. 294–301.

SPECTRAL and FOCAL PARAMETERS of NORTHERN CAUCASUS EARTHQUAKES

Malyanova L.S., Gabsatarova I.P.

Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences, Russia, Obninsk, lmal@gsras.ru

Abstract. Dynamic sources parameters of 21 earthquakes of the North Caucasus for 2014 with $K_p=9.5-11.5$, determined from 44 *S*-wave amplitude spectra are analyzed. Records of three regional digital seismic stations, “Anapa”, “Kislovodsk” and “Sochi”, located no more than 300 km from the sources are used. 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 by O.V. Pavlenko. In 2014, the majority of earthquakes studied were located in the Eastern Caucasus. The dependence between $\log M_0$ and K_p for this zone was constructed using the data for 2010–2013. Compared to the similar equation for the entire Caucasus (Riznichenko et al., 1976), this dependence is in a good agreement with respect to the free term, but differs by the slope.

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

DOI: 10.35540/1818-6254.2020.23.26

For citation: Malyanova, L.S., & Gabsatarova, I.P., (2020). [Spectral and focal parameters of Northern Caucasus earthquakes]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 23(2014) 263–270. (In Russ.). doi: 10.35540/1818-6254.2020.23.26

R e f e r e n c e s

1. 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.
2. Pavlenko, O.V. (2016). [Characteristics of radiation and propagation of seismic waves in the Northern Caucasus estimated from records at seismic stations “Sochi” and “Anapa,”]. *Voprosy inzhenernoy seismologii* [Seismic Instruments], 43(1), 49–61. (In Russ.).
3. 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.
4. Solov'yova, O.N., Agalarova, E.B., Alimamedova, V.P., Gasanov, A.G., Geodakyan, E.G., Gyul', E.K., Darrakhvelidze, 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 *Interpretatsiia seismicheskikh nabludenii* [Interpretation of seismic observations] (pp. 65–72). Moscow, Russia: MGC at the Presidium of the Academy of Sciences of the USSR Publ. (In Russ.).
5. Rautian, T.G. (1960) [Energy of the Earthquakes] In *Metody detal'nogo izucheniya seismichnosti. Trudy IFZ ANSSSR, 9(176)*. [Methods of Detailed Study of the Seismicity. Proceedings of the IFZ SA USSR № 9(176)] (pp. 75–114). Moscow, IFZ AN SSSR. (In Russ.).
6. Aptekman, Zh.Ya., Daragan, S.K., Dolgoplov, V.V., Zakharova, A.I., Zobin, V.M., Kogan, S.YA., Korchagina, O.A., Moskvina, A.G., Polikarpova, L.A., & Chepkunas, L.S. (1985) [P-wave spectra in the problem of determining the dynamic parameters of earthquake focuses. Unification of the initial data and the procedure for calculating the amplitude spectra]. *Vulkanologiya i seismologiya* [Journal of Volcanology and Seismology], 2, 60–70. (In Russ.).
7. Aptekman, Zh.Ya., Belavina, Yu.F., Zakharova, A.I., Zobin, V.M., Kogan, S.YA., Korchagina, O.A., Moskvina, A.G., Polikarpova, L.A., & Chepkunas, L.S. (1989). [P-wave spectra in the problem of determining the dynamic parameters of earthquake focuses. Transition from the station spectrum to the focal and calculation of the dynamic parameters of the focus]. *Vulkanologiya i seismologiya* [Journal of Volcanology and Seismology], 2, 66–79. (In Russ.).
8. Malyanova, L.S., & Gabsatarova, I.P. (2019) [Spectral and source parameters of earthquakes on Northern Caucasus]. *Zemletriaseniya Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 22(2013), 305–311 (In Russ.). doi: 10.35540/1818-6254.2019.22.28
9. Pustovitenko, B.G. (2003). *Seismicheskie protsessy v Chernomorskom regione i seismicheskaia opasnost' Kryma. Dis. na soisk. uch. step. d-ra f.-m. nauk* [Seismic processes in the Black Sea region and seismic hazard of the Crimea. Dr. phys. and math. sci. diss.]. Kiev, Ukraine: IG NANU Publ. (In Russ.).
10. Brune, J.N. (1970). Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes. *Journal of geophysical research*, 75(26), 4997–5009.

11. Riznichenko, Yu.V., Dzhibladze, E.A., & Bolkvadze, I.N. (1976). [Oscillation spectra and parameters of foci of earthquakes in the Caucasus] In *Issledovaniia po fizike zemletriasenii* [Studies in the physics of earthquakes] (pp. 74–86). Moscow, Russia: Nauka Publ. (In Russ.).
12. Anderson, D.L., & Hart, R.S. (1978). Q of the Earth // *J. Geophys. Res.*, 83(B12), 5869–5882.
13. Hanks, T.C., & Kanamori, H. (1979). A moment magnitude scale. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 84(B5), 2348–2350.
14. Pustovitenko, B.G., & Eredzhepov, E.E. (2020). [Crimean Black sea region]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 23(2014), 250–262. (In Russ.).doi: 10.35540/1818-6254.2020.23.25
15. Malyanova, L.S., & Gabsatarova, I.P. (2016). [Spectral and focal parameters of earthquakes of the Northern Caucasus]. In *Zemletryaseniya Severnoi Evrazii, 2010* [Earthquakes in Northern Eurasia, 2010] (pp. 305–311). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
16. Malyanova, L.S., & Gabsatarova, I.P. (2017). [Spectral and focal parameters of earthquakes of the Northern Caucasus]. In *Zemletryaseniya Severnoi Evrazii, 2011*. [Earthquakes in Northern Eurasia, 2011]. (pp. 294–299). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
17. Malyanova, L.S., & Gabsatarova, I.P. (2018) [Spectral and focal parameters of earthquakes of the Northern Caucasus]. *Zemletryaseniya Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 21(2012), 294–301. (In Russ.).