

## II. СПЕКТРЫ И ДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

УДК 550.348. (100)

### **ОЧАГОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ЗЕМЛИ**

*Л.С. Чепкунас, Л.С. Малянова*

*ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск, Россия, [luba@gstras.ru](mailto:luba@gstras.ru)*

**Аннотация.** Для 19 наиболее сильных землетрясений России и мира определены динамические параметры, рассчитанные по спектрам *P*-волн, зарегистрированных цифровой аппаратурой IRIS-IDA на станциях «Обнинск» (OBN), «Талая» (TLY) и «Кисловодск» (KIV) в интервале эпицентральных расстояний  $\Delta=25\text{--}82^\circ$ . Приведены следующие параметры: – сейсмические моменты, длины разрывов, сброшенное и кажущееся напряжения, величины подвижек в очагах землетрясений. На основе значений сейсмического момента  $M_0$ , полученных по цифровым записям на станциях «Обнинск», «Талая» и «Кисловодск», вычислена моментная магнитуда  $M_w$  по формуле Х. Канамори.

**Ключевые слова:** Динамические параметры очага, сейсмический момент, моментная магнитуда.

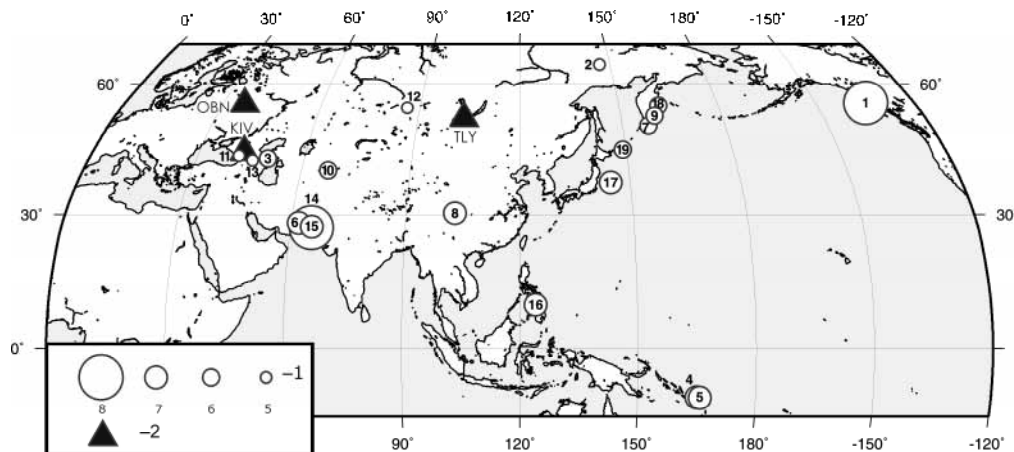
**DOI:** 10.35540/1818-6254.2019.22.26

**Для цитирования:** Чепкунас Л.С., Малянова Л.С. Очаговые параметры сильных землетрясений Земли // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 22 (2013 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – С. 292–298. doi: 10.35540/1818-6254.2019.22.26

Очаговые параметры в 2013 г. рассчитаны по спектрам продольных волн, зарегистрированных на станциях «Обнинск» (OBN), «Талая» (TLY) и «Кисловодск» (KIV) (табл. 1). Спектры построены для 19 землетрясений Земли из [1], их параметры приведены в табл. 2. Все землетрясения расположены в основном в восточной части земного шара на расстоянии  $\Delta < 100^\circ$  с очагами в земной коре (рис. 1). Но это представляющие интерес достаточно сильные землетрясения на территории России ( $N=11$ ), в пограничных районах Северной Евразии ( $N=4$ ) и вне ( $N=4$ ).

**Таблица 1.** Станции и их координаты

№	Название станции	Код	Координаты			Источник
			$\varphi^\circ, N$	$\lambda^\circ, E$	$h, м$	
1	Обнинск	OBN	55.114	36.569	130	[2]
2	Талая	TLY	51.681	103.644	579	[3]
3	Кисловодск	KIV	43.955	42.686	1054	[4]



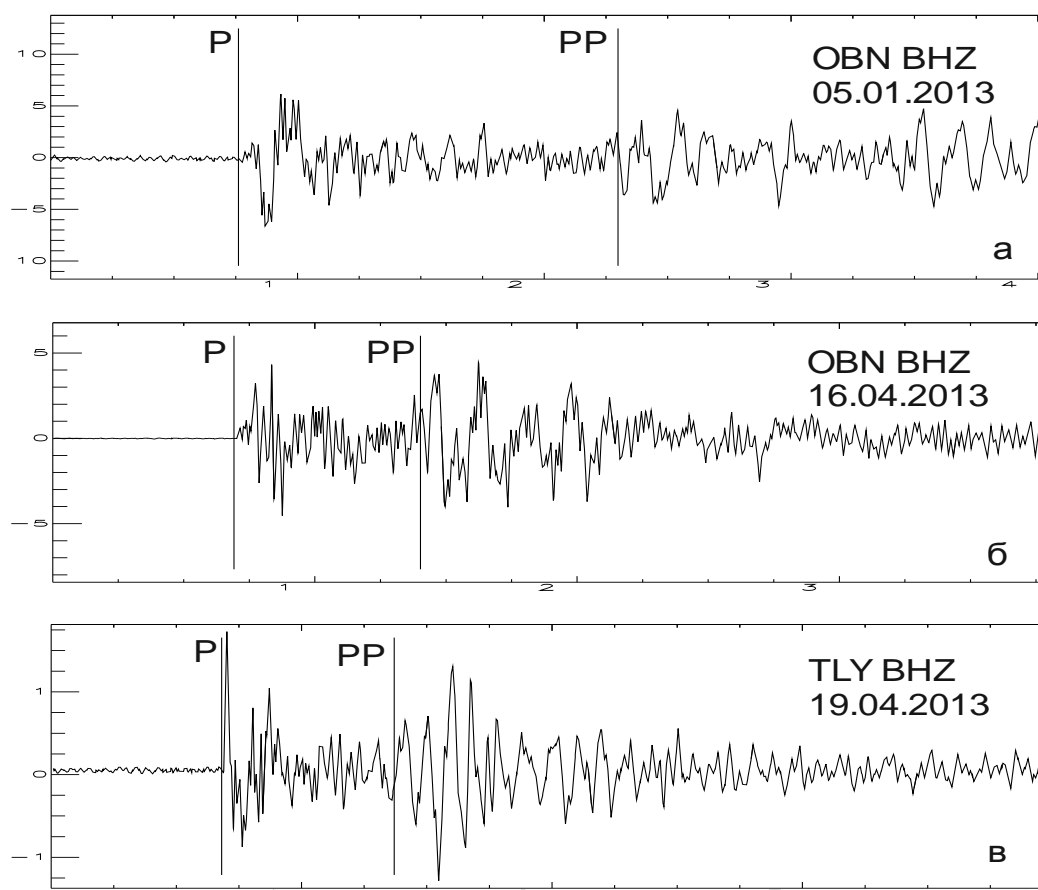
**Рис. 1.** Карта эпицентров землетрясений с рассчитанными спектрами за 2013 г.

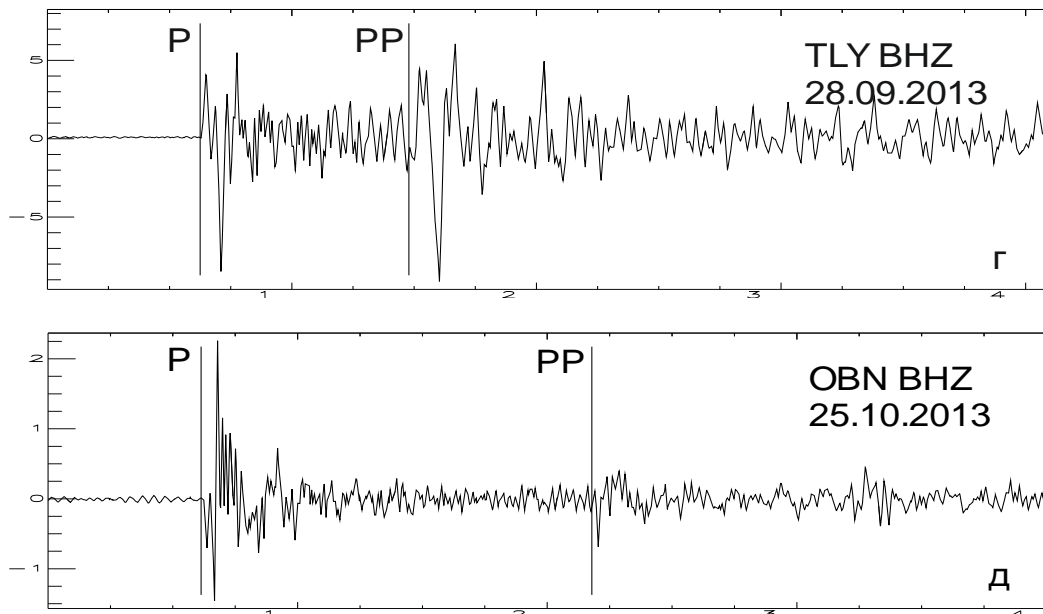
Таблица 2. Сведения об исследованных землетрясениях 2013 г. из [1]

№	Дата, д м	$t_0$ , ч мин с	Гипоцентр			Магнитуда $M_S$	Район
			$\varphi^\circ$	$\lambda^\circ$	$h$ , км		
1	05.01	08 58 16.2	55.31	-134.77	10	7.9	Юго-Восточная Аляска
2	20.01	10 48 45.7	64.83	146.54	12	5.5	Восточная Сибирь, Россия
3	28.01	16 38 51.2	42.59	49.79	8	6.1	Район озера Иссык-Куль
4	06.02	01 12 25.4	-10.76	165.04	34	7.2	Острова Санта-Крус
5	08.02	11 12 14.0	-10.80	165.87	33	7.0	Острова Санта-Крус
6	16.04	10 44 17.4	28.10	62.04	68	7.3	Юго-Восточный Пакистан
7	19.04	19 58 42.7	50.01	157.57	47	6.2	Курильские острова
8	20.04	00 02 48.5	30.30	102.96	33	6.8	Провинция Сычуань
9	19.05	18 44 13.6	52.31	160.0	57	6.2	У восточного побережья Камчатки
10	26.05	06 08 15.0	39.95	67.40	24	5.9	Юго-восточный Узбекистан
11	28.05	00 09 51.6	43.20	41.57	7	4.6	Западный Кавказ
12	18.06	23 02 08.7	54.18	86.14	14	5.0	Юго-западная Сибирь, Россия
13	17.09	04 09 13.3	42.09	45.76	11	5.0	Западный Кавказ
14	24.09	11 29 47.1	27.05	65.55	17	7.8	Пакистан
15	28.09	07 34 07.2	27.27	65.58	26	6.9	Пакистан
16	15.10	00 12 33.7	9.85	124.11	46	7.0	Минданао, Филиппины
17	25.10	17 10 17.8	37.19	144.68	30	7.2	У восточного побережья Хонсю, Япония
18	12.11	07 03 52.8	54.74	161.93	86	6.2	Восточное побережье Камчатки
19	08.12	17 24 54.4	44.56	149.10	45	5.9	Курильские острова

Примечание. Названия районов даны по [5].

На всех станциях использовались записи вертикального канала цифрового широкополосного сейсмометра STS-1. Анализируемый интервал выбирался от вступления продольной волны  $P$  до вступления отраженной волны  $PP$ . В качестве примера на рис. 2 приведены записи  $P$ -волн для пяти землетрясений, зарегистрированных на станциях «Обнинск» и «Талая».





**Рис. 2.** Сейсмограммы продольных волн на станциях «Обнинск» и «Талая» для землетрясений 5 января в 08<sup>h</sup>58<sup>m</sup> с  $MS=7.9$ ,  $\Delta=69.70^\circ$  (а); 16 апреля в 10<sup>h</sup>44<sup>m</sup> с  $MS=7.3$ ,  $\Delta=32.68^\circ$  (б); 19 апреля в 19<sup>h</sup>58<sup>m</sup> с  $MS=6.2$ ,  $\Delta=33.45^\circ$  (в); 28 сентября в 07<sup>h</sup>34<sup>m</sup> с  $MS=6.9$ ,  $\Delta=37.53^\circ$  (г); 25 октября в 17<sup>h</sup>10<sup>m</sup> с  $MS=7.2$ ,  $\Delta=69.52^\circ$  (д)

**Амплитудные спектры**, приведенные на рис. 2, рассчитаны по программе Access Service Controller (SAC) [6]. Это интерактивная программа общего назначения, снабженная модулями спектрального анализа, позволяющая выделять, рассчитывать и анализировать спектральные данные сигналов. Аппроксимация спектров и расчет очаговых параметров проводился по [7–9]. Станционные спектры исправлялись за влияние амплитудно-частотной характеристики аппаратуры и приводились к очагу с учетом неупругого затухания  $m(f)$ , частотной характеристики земной коры под станцией  $c(f)$ , геометрического расхождения  $G(\Delta)$  фронта  $P$ -волн, направленности излучения из очага  $R_{\theta\phi}$ . Первые два фактора  $m(f)$  и  $c(f)$  зависят от частоты, они приводят к изменению всей спектральной картины. В данной работе величина поправки за направленность излучения из очага  $R_{\theta\phi}$  принималась средней и равной 0.4 для всех землетрясений.

**Спектральные параметры** для всех 19 землетрясений даны в табл. 3. Отметим ряд трудностей в ее создании. Для события № 2 по станции KIV нет коровых поправок, которые влияют на форму спектра. В его короткопериодной части нельзя провести наклонную прямую к оси частот близко к значению  $-2$ . По станциям OBN и TLY для событий № 3, 10, 12, 13 не удалось построить высокочастотную часть спектра.

**Таблица 3.** Значения спектральной амплитуды  $\Omega_0$ , скалярного сейсмического момента  $M_0$  и моментной магнитуды  $M_w$  по OBN и GCMT 2013 г.

№	Дата, д м	$t_0$ , ч мин с	Сейсми- ческая станция	$\Delta^\circ$	$MS$	$\Omega_0 \cdot 10^{-4}$ м·с	$M_0$ , $10^{19}$ Н·м OBN	$M_w$ OBN	$M_0$ , $10^{19}$ Н·м GCMT	$M_w$ GCMT
1	05.01	08 58 16.2	OBN	69.70	7.9	4.68	27.0	7.6	24.66	7.5
2	20.01	10 48 45.7	KIV	56.54	5.5	0.04	0.09	5.9	0.04	5.6
3	28.01	16 38 51.2	OBN	30.55	6.1	0.11	0.33	6.3	0.24	6.2
4	06.02	01 12 25.4	TLY	81.51	7.2	2.69	13.0	7.4	93.70	7.9
5	08.02	11 12 14.0	TLY	81.92	7.0	0.16	0.78	6.6	2.28	6.8
6	16.04	10 44 17.4	OBN	32.68	7.3	5.01	21.0	7.5	50.93	7.7
			TLY	38.93		5.01	30.0	7.6		
7	19.04	19 58 42.7	OBN	64.26	6.2	0.12	0.89	6.6	0.16	6.1
			TLY	33.45		0.14	0.68	6.5		
8	20.04	00 02 48.5	OBN	52.42	6.8	0.58	2.4	6.9	1.02	6.6
9	19.05	18 44 13.6	OBN	63.18	6.2	0.08	0.30	6.3	0.10	5.9

№	Дата, д м	$t_0$ , ч мин с	Сейсмическая станция	$\Delta^\circ$	$MS$	$\Omega_0, 10^{-4}$ м·с	$M_0, 10^{19}$ Н·м OBN	$M_w$ OBN	$M_0, 10^{19}$ Н·м GCMT	$M_w$ GCMT
10	26.05	06 08 15.0	OBN	25.48	5.9	0.12	0.21	6.2	0.06	5.8
11	28.05	00 09 51.6	TLY	41.67	4.6	0.005	0.02	5.5	0.007	5.2
12	18.06	23 02 08.7	OBN	28.22	5.0	0.005	0.01	5.3	0.009	5.2
13	17.09	04 09 13.3	TLY	39.77	5.0	0.008	0.03	5.6	0.01	5.3
14	24.09	11 29 47.1	OBN	35.07	7.8	2.63	9.1	7.3	55.90	7.8
			TLY	37.73		3.02	11.5	7.3		
15	28.09	07 34 07.2	OBN	34.89	6.9	0.58	1.9	6.8	2.28	6.8
			TLY	37.53		0.72	2.7	6.9		
16	15 10	00 12 33.7	OBN	80.60	7.0	0.43	2.1	6.8	5.61	7.1
17	25.10	17 10 17.8	OBN	69.52	7.2	1.90	10.8	7.3	6.44	7.1
			TLY	32.22		2.88	9.3	7.3		
18	12.11	07 03 52.8	OBN	61.70	6.2	0.13	0.89	6.6	0.70	6.5
19	08.12	17 24 54.4	TLY	30.75	5.9	0.07	0.15	6.1	0.18	6.1

Динамические параметры были посчитаны для 14 событий (табл. 4). Определены следующие спектральные характеристики: уровень  $\Omega_0$  длиннопериодной ветви спектра, частота  $f_n$  точки перелома спектра, частота  $f_0$  угловой точки пересечения двух прямых, описывающих спектр длиннопериодной и короткопериодной частей спектра. На их основе вычислялись динамические параметры землетрясений: сейсмический момент  $M_0$ , сброшенное  $\Delta\sigma$  и кажущееся  $\eta\sigma$  напряжения, а также длина  $L$  разрыва и подвижка  $\bar{u}$  в их очагах по методике [7–9]. Для получения значений  $L$ ,  $\bar{u}$ ,  $\Delta\sigma$  использовалась дислокационная модель Брюна [10], которая нашла широкое применение в сейсмологической практике.

Таблица 4. Характеристики спектров Р-волн и динамические параметры очагов землетрясений 2013 г.

№	Дата, д м	$t_0$ , ч мин с	Сейсмическая станция	$MS$	$\Delta^\circ$	$\Omega_0, 10^{-4}$ м·с	$f_n, 10^{-2}$ Гц	$f_0, 10^{-2}$ Гц	$M_0, 10^{19}$ Н·м	$M_w$	$L, 10^3$ м	$\Delta\sigma, 10^5$ Н/м <sup>2</sup>	$\eta\sigma, 10^5$ Н/м <sup>2</sup>	$\bar{u},$ м
1	05.01	08 58 16.2	OBN	7.9	69.70	4.68	4.4	10.0	27.0	7.6	50	76	50	4.58
4	06.02	01 12 25.4	TLY	7.2	81.51	2.69	7.9	9.1	13.0	7.4	54	29	9	1.89
5	08.02	11 12 14.0	TLY	7.0	81.92	0.16	15.8	17.8	0.78	6.6	28	12	77	0.42
6	16.04	10 44 17.4	OBN	7.3	32.68	5.01	5.0	13.8	21.0	7.5	84	12	21	0.47
			TLY	7.3	38.93	5.01	5.6	12.6	30.0	7.6	92	14	15	0.56
7	19.04	19 58 42.7	OBN	6.2	64.26	0.12	5.1	26.3	0.89	6.6	18	53	4	1.17
			TLY	6.2	33.45	0.14	6.6	18.2	0.68	6.5	27	12	6	0.40
8	20.04	00 02 48.5	OBN	6.8	52.42	0.58	6.3	17.4	2.4	6.9	28	38	12	1.30
9	19.05	18 44 13.6	OBN	6.2	63.18	0.08	13.2	34.7	0.30	6.3	14	38	13	0.65
11	28.05	00 09 51.6	TLY	4.6	41.67	0.005	41.7	41.7	0.02	5.5	12	4	1	0.06
14	24.09	11 29 47.1	OBN	7.8	35.07	2.63	6.3	11.2	9.1	7.3	29	131	104	4.59
			TLY	7.8	37.73	3.02	5.2	17.0	11.5	7.3	44	47	82	2.52
15	28.09	07 34 07.2	OBN	6.9	34.89	0.58	7.1	25.1	1.9	6.8	20	83	22	2.02
			TLY	6.9	37.53	0.72	7.2	18.2	2.7	6.9	27	48	16	1.57
16	15.10	00 12 33.7	OBN	7.0	80.60	0.43	15.1	29.5	2.1	6.8	16	179	29	3.48
17	25.10	17 10 17.8	OBN	7.2	69.52	1.90	5.0	18.6	10.8	7.3	26	215	11	6.78
			TLY	7.2	32.22	2.88	7.2	11.7	9.3	7.3	42	44	13	2.24
18	12.11	07 03 52.8	OBN	6.2	61.70	0.13	2.8	45.7	0.89	6.6	12	180	11	0.98
19	08.12	17 24 54.4	TLY	5.9	30.75	0.07	5.2	11.5	0.15	6.1	42	1	9	0.04

На основе значений  $M_0$  вычислена моментная магнитуда  $M_w$ . Расчет  $M_w$  выполнен по формуле Х. Канамори [11]:

$$M_w, \text{дн}\cdot\text{см} = \frac{2}{3}\lg M_0 - 10.7, \tag{1}$$

$$M_w, \text{Н}\cdot\text{м} = \frac{2}{3}(\lg M_0 + 7) - 10.7. \tag{2}$$

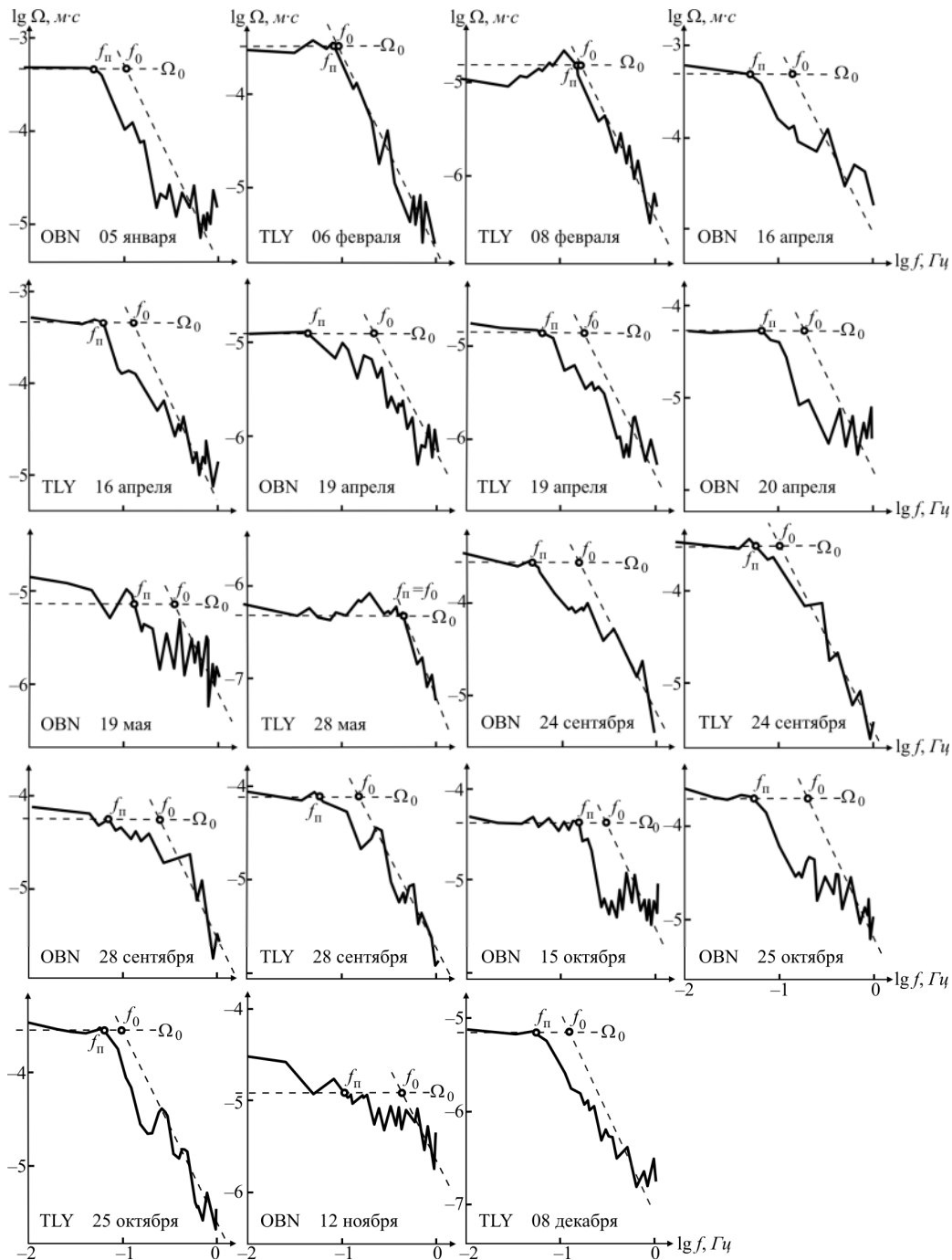


Рис. 3. Спектры  $P$ -волн землетрясений 2013 г. из табл. 1

Данные этой статьи, полученные по 19 событиям, подтверждают выводы прежних работ по оценке динамических параметров очагов сильных землетрясений. Они позволяют расширить динамический интервал рассматриваемых событий, используя волновые записи для оценки сейсмического момента в срочной и оперативной службах.

#### Л и т е р а т у р а

1. Болдырева Н.В. (отв. сост.), Аторина М.А., Бабкина В.Ф., Дуленцова Л.Г., Лёвкина А.В., Мальянова Л.С., Рыжикова М.И., Щербакова А.И. (сост.). Каталог землетрясений Земли за 2013 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 22 (2013 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – Приложение на CD\_ROM.

2. Габсатарова И.П. и др. Восточно-Европейская платформа, Урал и Западная Сибирь // Землетрясения в России в 2012 году. – Обнинск: ГС РАН, 2014. – С. 22–27.
3. Масальский О.К. и др. Прибайкалье и Забайкалье // Землетрясения в России в 2012 году. – Обнинск: ГС РАН, 2014. – С. 36–37.
4. Габсатарова И.П. и др. Северный Кавказ // Землетрясения в России в 2012 году. – Обнинск: ГС РАН, 2014. – С. 17–18.
5. Young J.B., Presgrave B.W., Aichele H., Wiens D.A., Flinn E.A. The Flinn-Engdahl Regionalisation Scheme: the 1995 revision // *Physics of the Earth and Planetary Interiors*. – 1996. – **96**. – P. 223–297.
6. Golstein P., Dodge D., Firpoand M., Lee M. The IASPEI International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology / Ed. by W.H.K. Lee, H. Kanamori, P.C. Jennings and C. Kisslinger. – London: Academic Press, 2003.
7. Захарова А.И., Чепкунас Л.С. Динамические параметры очагов сильных землетрясений по спектрам продольных волн на станции «Обнинск» // *Физика Земли*. – 1977. – № 2. – С. 9–17.
8. Аптекман Ж.Я., Дараган С.К., Долгополов Д.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.
9. 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.
10. Brune I.N. Tectonic stress and the spectrum of seismic shear waves from earthquake // *J. Geophys. Res.* – 1970. – **75**. – N 26. – P. 4997–5009.
11. Hanks T.C., Kanamori H. A Moment Magnitude Scale // *J. Geophys. Res.* – 1979. – **84**. – N 135. – P. 2348–2350.

## METADATA IN ENGLISH

### *SOURCE PARAMETERS of STRONG EARTHQUAKES of the EARTH*

*L.S. Chepkunas, L.S. Malyanova*

*Geophysical Survey of Russian Academy of Sciences,  
Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia. [luba@gsras.ru](mailto:luba@gsras.ru)*

**Abstract.** For 19 strongest earthquakes of Russia and the world the dynamic parameters: seismic moments, lengths of ruptures, stress drops, the values of motion in source are brought. The spectra of *P*-wave were calculated on records of IRIS-IDA digital equipment at stations Obninsk-OBN, Talay-TLY, Kislovodsk-KIV in the range of epitsentralny distances of  $\Delta=25\text{--}82^\circ$ . On the basis of the values of seismic moment  $M_0$  received on digital records at stations Obninsk-OBN, Talay-TLY, Kislovodsk-KIV, the momentny magnitude  $M_w$  (Kanamori) are presented.

**Keywords:** Earthquake source parameters, moment magnitude, seismic moment.

**DOI:** 10.35540/1818-6254.2019.22.26

**For citation:** Chepkunas, L.S., & Malyanova, L.S. (2019). Source parameters of strong earthquakes of the Earth. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 22(2013), 292–298. (In Russ.). doi: 10.35540/1818-6254.2019.22.26

## R e f e r e n c e s

1. Boldyreva, N.V., Atorina, M.A., Babkina, V.F., Dulentsova, L.G., Levkina, A.V., Malianova, L.S., Ryzhikova, M.I., & Shcherbakova, A.I. (2019). Earth Earthquake Catalog for 2013. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 22(2013), Appendix on CD. (In Russ.).

2. Gabsatarova, I.P. et al. (2014). [East-European platform, Ural Mountains and Western Siberia]. In *Zemletryaseniia Rossii, 2012 god* [Earthquakes in Russia, 2012] (pp. 22–27). Obninsk: GS RAS Publ. (In Russ.).
3. Masal'skii, O.K. et al. (2014). [Lake Baykal and Transbaykal regions]. In *Zemletryaseniia Rossii, 2012 god* [Earthquakes in Russia, 2012] (pp. 36–37). Obninsk: GS RAS Publ. (In Russ.).
4. Gabsatarova, I.P. et al. (2014). [North Caucasus]. In *Zemletryaseniia Rossii, 2012 god* [Earthquakes in Russia, 2012] (pp. 17–18). Obninsk: GS RAS Publ. (In Russ.).
5. Young, J.B., Presgrave, B.W., Aichele, H., Wiens, D.A., & Flinn, E.A. (1996). The Flinn-Engdahl regionalisation scheme: the 1995 revision. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 96(4), 223–297.
6. Golstein, P., Dodge, D., Firpoand, M., & Lee, M. (2003). The IASPEI International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology/Ed. by WHK Lee, H. Kanamori, PC Jennings and C. Kisslinger.
7. Zakharova, A.I., & Chepkunas, L.S. (1977). Dynamic parameters of the foci of strong earthquakes as obtained from spectra of longitudinal waves at the station at Obninsk. *Izv. Acad. Sci. USSR, Phys. Solid Earth*, 13, 81–87.
8. Aptekman, J.J., Daragan, S.K., Dolgopopov, D.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 foci. Unification of the initial data and the procedure for calculating the amplitude spectra]. *Vulkanologiya i seismologiya* [Journal of Volcanology and Seismology], 2, 60–70.
9. Aptekman, J.J., Belavina, Yu.F., Zakharova, A.I., Zobin, V.M., Kogan, S.Ya., Korchagina, O.A., Moskvina, A.G., Polikarpova, L.A., Chepkunas, L. (1989). [P-wave spectra in the problem of determining the dynamic parameters of earthquake foci. Transition from the station spectrum to the focal and calculation of the dynamic parameters of the source]. *Vulkanologiya i seismologiya* [Journal of Volcanology and Seismology], 2, 66–79.
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. Hanks, T.C., & Kanamori, H. (1979). A moment magnitude scale. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 84(B5), 2348–2350.