

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, lmal@gstras.ru

Аннотация. Для девяти 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 «Арти» (ARU) в интервале эпицентральных расстояний $\Delta=30\text{--}80^\circ$. Приведены следующие параметры: сейсмический момент, длина разрыва, сброшенное и кажущееся напряжение, величина подвижки в очаге землетрясения. На основе значений сейсмического момента M_0 , полученных по цифровым записям на станциях «Обнинск», «Талая» и «Арти», вычислена моментная магнитуда M_w по формуле Х. Канамори. Сопоставление полученных параметров M_0 и M_w с данными международного центра GCMТ показало их близость.

Ключевые слова: динамические параметры очага, сейсмический момент, моментная магнитуда.

DOI: 10.35540/1818-6254.2020.23.24

Для цитирования: Чепкунас Л.С., Малянова Л.С. Очаговые параметры сильных землетрясений Земли // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 23 (2014 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2020. – С. 244–249. doi: 10.35540/1818-6254.2020.23.24

Введение. В данной работе приведены результаты определения очаговых спектров и параметров сильных землетрясений Земли по данным широкополосных телесейсмических станций ФИЦ ЕГС РАН.

Исходные данные и методика измерений. Очаговые параметры рассчитаны по спектрам продольных волн, зарегистрированных на сейсмических станциях «Обнинск» (OBN), «Талая» (TLY) и «Арти» (ARU) (табл. 1), для девяти землетрясений, произошедших в 2014 г. [1]. Их кинематические параметры и магнитуды по поверхностным волнам *MS* приведены в табл. 2. Все землетрясения расположены в земной коре на расстояниях $\Delta < 100^\circ$ от регистрирующих станций (рис. 1). Большинство из них – достаточно сильные землетрясения на территории России и в пограничных районах Северной Евразии, представляющие заметный интерес.

Таблица 1. Станции и их координаты

№	Название станции	Код	Координаты			Источник
			φ° , N	λ° , E	<i>h</i> , м	
1	Обнинск	OBN	55.114	36.569	130	[2]
2	Талая	TLY	51.681	103.644	579	[3]
3	Арти	ARU	56.429	58.562	260	[2]

Таблица 2. Сведения о землетрясениях, помещенных в Сейсмологическом бюллетене ГС РАН в 2014 г.

№	Дата, д м	t_0 , ч мин с	Гипоцентр			Магнитуда <i>MS/h</i>	Район
			φ°	λ°	<i>h</i> , км		
1	2	3	4	5	6	7	8
1	10.02	12 06 46.8	40.289	48.716	60	4.4/12	Восточный Кавказ
2	12.02	09 19 47.6	36.002	82.605	10f	7.1/100	Провинция Южный Синьцзян
3	12.04	20 14 37.8	-11.224	162.087	25	7.7/133	Соломоновы острова
4	13.04	12 36 17.6	-11.394	161.855	37	7.4/43	Соломоновы острова
5	19.04	13 27 57.8	-6.719	154.936	36	7.3/52	Соломоновы острова
6	23.05	19 42 25.7	56.045	113.937	6	5.1/144	Восточнее озера Байкал, Россия
7	07.06	06 05 28.3	40.432	51.588	29	4.8/67	Каспийское море
8	23.06	20 53 08.2	51.850	178.813	107	<i>MPSP=7.0/63</i>	Крысьи острова, Алеуты
9	20.07	18 32 45.8	44.656	148.915	64	5.9/59	Курильские острова

Примечание. В графе 6 знаком «f» отмечена фиксированная глубина, в графе 8 названия районов даны по регионализации Flinn-Engdal [4].

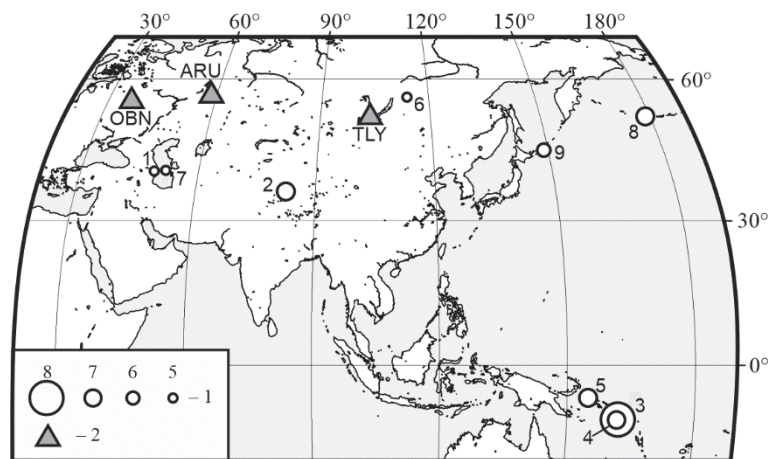


Рис. 1. Карта эпицентров землетрясений с рассчитанными спектрами за 2014 г.

Для настоящих исследований 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».

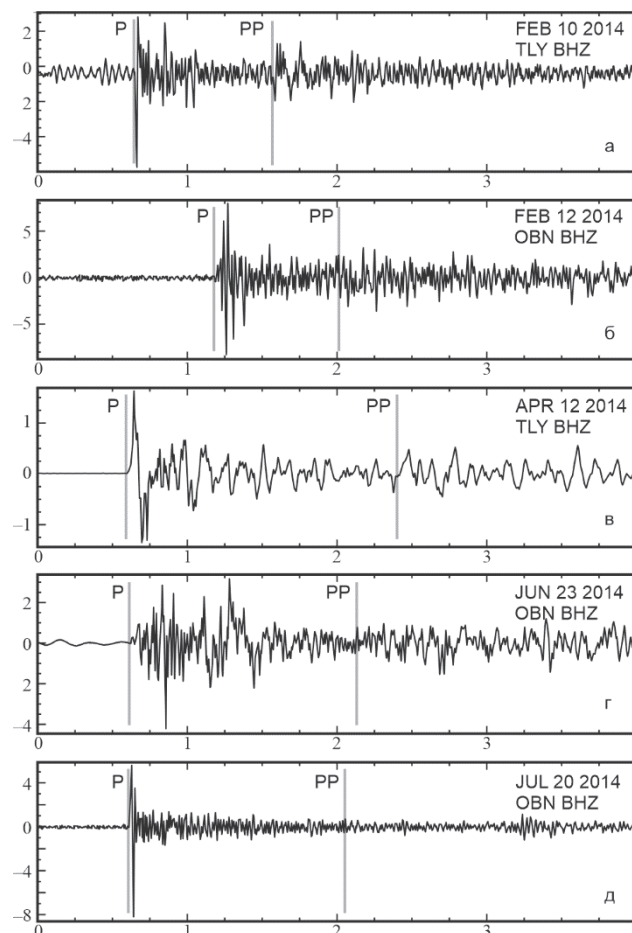


Рис. 2. Сейсмограммы продольных волн на станциях «Обнинск» и «Талая» для землетрясений 10 февраля в $12^{\text{h}}06^{\text{m}}$ с $MS=4.4$, $\Delta=38.95^\circ$ (а); 12 февраля в $09^{\text{h}}19^{\text{m}}$ с $MS=7.1$, $\Delta=36.60^\circ$ (б); 12 апреля в $20^{\text{h}}14^{\text{m}}$ с $MS=7.7$, $\Delta=80.31^\circ$ (в); 23 июня в $07^{\text{h}}34^{\text{m}}$ с $MPSP=7.0$, $\Delta=68.89^\circ$ (г); 20 июля в $18^{\text{h}}32^{\text{m}}$ с $MS=5.9$, $\Delta=65.33^\circ$ (д). По вертикали относительные значения отсчетов в каунтах а) ($\times 10^3$), б) ($\times 10^4$), в) ($\times 10^5$), г) ($\times 10^5$), д) ($\times 10^4$); по горизонтали – относительное время в секундах ($\times 10^2$)

Амплитудные спектры, приведенные на рис. 3, рассчитаны по программе Seismic Analysis Code (SAC) [5]. Это интерактивная программа общего назначения, снабженная модулями спектрального анализа, позволяющая выделять, рассчитывать и анализировать спектральные данные сигналов. Аппроксимация спектров и расчет очаговых параметров проводились согласно [6–8]. Стационарные 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 $R_{0\phi}$. 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 $R_{0\phi}$ принималась средней и равной 0.4 для всех землетрясений.

Спектральные параметры для всех девяти землетрясений даны в табл. 3.

Динамические параметры для восьми из них приведены в табл. 4.

Определены следующие спектральные характеристики: уровень Ω_0 длиннопериодной ветви спектра, частота f_n точки перелома спектра, частота угловой точки f_0 , точка пересечения двух прямых, описывающих спектр длиннопериодной и короткопериодной частей спектра. На их основе вычислялись динамические параметры: сейсмический момент M_0 , сброшенное $\Delta\sigma$ и кажущееся $\eta\sigma$ напряжения, а также длина L разрыва и подвижка \bar{u} в очагах по методике [6–8]. Для получения значений L , \bar{u} , $\Delta\sigma$ использовалась дислокационная модель Бруна [9], которая нашла широкое применение в сейсмологической практике.

Таблица 3. Значения спектральной амплитуды Ω_0 , скалярного сейсмического момента M_0 и моментной магнитуды M_w по данным станций OBN, TLY, ARU ГС РАН (сеть OBN) и GCMT [10] для землетрясений 2014 г.

№	Дата, д м	t_0 , ч мин с	Сейсмическая станция	Δ°	MS	$\Omega_0, 10^{-4}$ мс	$M_0, 10^{19}$ Н·м OBN	M_w OBN	$M_0, 10^{19}$ Н·м GCMT	M_w GCMT
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	10.02	12 06 46.8	TLY	38.95	4.4	0.01	0.032	5.6	0.02	5.5
2	12.02	09 19 47.6	OBN	36.64	7.1	0.35	1.4	6.7	2.9	6.9
3	12.04	20 14 37.8	TLY	80.31	7.7	3.02	19.0	7.5	32.8	7.6
4	13.04	12 36 17.6	TLY	80.29	7.4	2.0	13.0	7.4	17.9	7.4
5	19.04	13 27 57.8	TLY	72.80	7.3	4.8	22.0	7.5	22.9	7.5
6	23.05	19 42 25.7	ARU	30.08	5.1	0.02	0.036	5.7	0.015	5.4
7	07.06	06 05 28.3	TLY	37.08	4.8	0.01	0.042	5.7	0.015	5.4
8	23.06	20 53 08.2	OBN	68.89	7.2	7.4	60.0	7.8	95.6	7.9
9	20.07	18 32 45.8	OBN	65.33	5.9	0.22	0.57	6.5	0.33	6.3

Для события № 6 динамические параметры не рассчитывались, поскольку для станции Арти (ARU) не имеется поправок за частотную характеристику земной коры под станцией, влияющую на форму спектра в высокочастотной области, что делает невозможным проведение второй асимптоты по модели Бруна, как это сделано для восьми других землетрясений (рис. 3).

Таблица 4. Характеристики спектров P -волн и динамические параметры очагов землетрясений 2014 г.

№	Дата, д м	t_0 , ч мин с	Сейсмическая станция	MS	Δ°	$\Omega_0, 10^{-4}$ мс	$f_n, 10^{-2}$ Гц	$f_0, 10^{-2}$ Гц	$M_0, 10^{19}$ Н·м	M_w	$L, 10^3$ м	$\Delta\sigma, 10^5$ Па	$\eta\bar{\sigma}, 10^5$ Па	\bar{u} , м
1	10.02	12 06 46.8	TLY	4.4	38.95	0.01	28.8	43.6	0.032	5.6	11	8	0.3	0.10
2	12.02	09 19 47.6	OBN	7.1	36.64	0.35	4.8	28.8	1.4	6.7	17	100	70	1.76
3	12.04	20 14 37.8	TLY	7.7	80.31	3.02	5.0	13.8	19.0	7.5	36	142	413	5.33
4	13.04	12 36 17.6	TLY	7.4	80.29	2.0	2.3	9.1	13.0	7.4	54	29	21	1.62
5	19.04	13 27 57.8	TLY	7.3	72.80	4.8	5.0	5.8	22.0	7.5	86	12	9	1.08
7	07.06	06 05 28.3	TLY	4.8	37.08	0.01	7.9	33.1	0.042	5.7	14	5	0.8	0.08
8	23.06	20 53 08.2	OBN	7.2	68.89	7.4	3.2	13.2	60.0	7.8	44	246	2	4.93
9	20.07	18 32 45.8	OBN	5.9	65.33	5.9	27.5	45.7	0.57	6.5	12	115	6	0.63

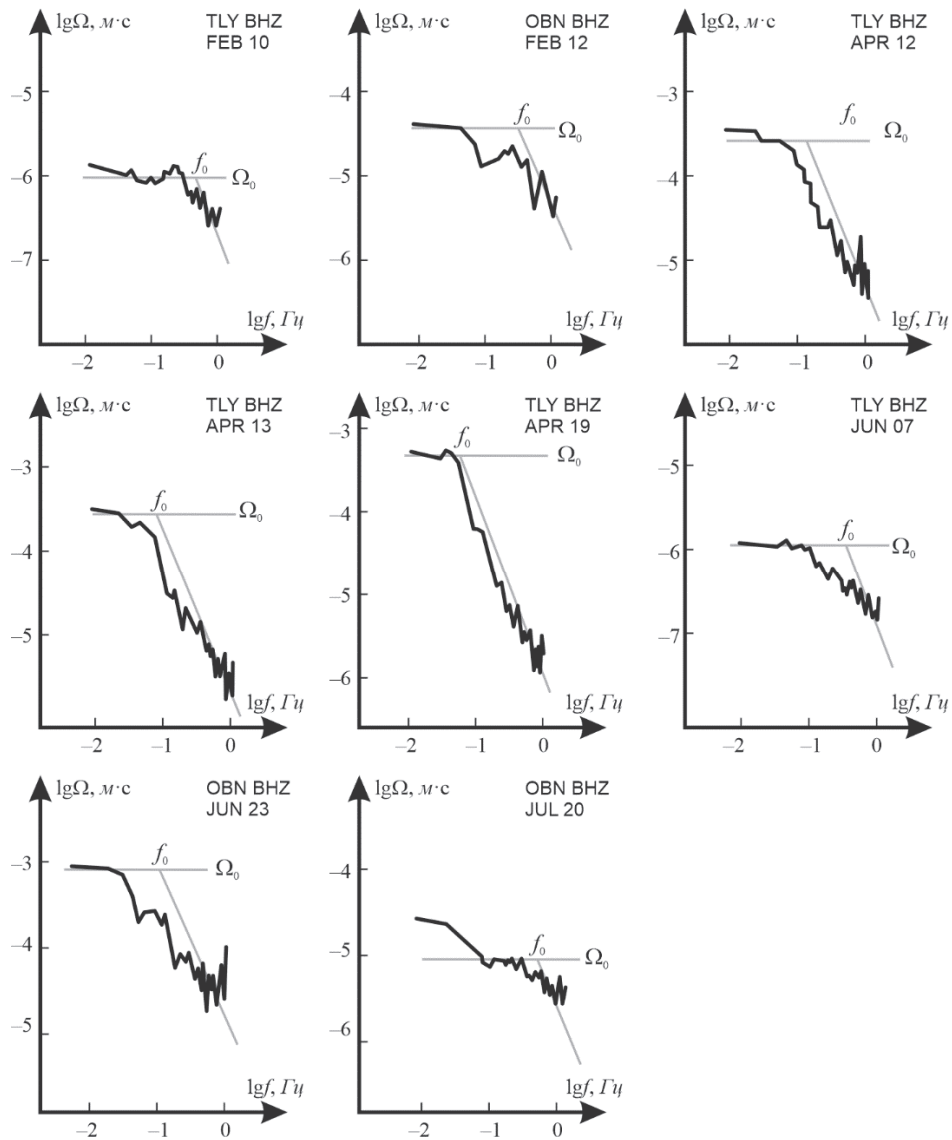


Рис. 3. Спектры P -волн землетрясений 2014 г. из табл. 1

На основе значений M_0 вычислена моментная магнитуда M_w с использованием формулы Х. Канамори [10]:

$$M_w = \frac{2}{3} \lg M_0 - 10.7.$$

Полученные значения сейсмических моментов M_0 и моментных магнитуд M_w близки к таковым по данным GСMT [10] (табл. 3).

Заклучение. Хорошее совпадение значений M_0 и моментных магнитуд M_w , полученных по данным широкополосных телсейсмических станций ГС РАН с аналогичными данными GСMT позволяет использовать данный подход для оперативных оценок магнитуд сильных и умеренных землетрясений в Службе срочных донесений, а также включать их в Сейсмологический бюллетень ФИЦ ЕГС РАН.

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., Малянова Л.С., Рыжикова М.И., Щербакова А.И. Каталог землетрясений Земли за 2014 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 23 (2014 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2020. – 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. 23–25.

3. Масальский О.К. и др. Прибайкалье и Забайкалье // Землетрясения в России в 2012 году. – Обнинск: ГС РАН, 2014. – С. 36–37.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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 станционного спектра к очаговому и расчет динамических параметров очага // *Вулканология и сейсмология* – 1989. – № 2. – С. 66–79.
9. Brune I.N. Tectonic stress and the spectrum of seismic shear waves from earthquake // *J. Geophys. Res.* – 1970. – 75. – N 26. – P. 4997–5009.
10. Global CMT Catalog (GCMT) [Site]. – URL: <http://www.globalcmt.org/>

SOURCE PARAMETERS of STRONG EARTHQUAKES of the EARTH

L.S. Chepkunas, L.S. Malyanova

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

Abstract. For nine strongest earthquakes in Russia and the World, dynamic parameters were determined. They were calculated from the *P*-wave spectra recorded by IRIS-IDA digital equipment at Obninsk (OBN), Talaya (TLY) and Arti (ARU) stations at the epicentral distances $\Delta=30\text{--}80^\circ$. The following parameters are given: seismic moment, rupture length, stress drop and apparent stress, average displacement during rupture of earthquake. The moment magnitude M_w obtained from seismic moment M_0 at Obninsk, Talaya, and Arti stations was calculate by the formula of H. Kanamori. A comparison of the obtained parameters M_0 and M_w with the data of the GCMT international center showed their proximity.

Keywords: dynamic parameters of the source, seismic moment, moment magnitude.

DOI: 10.35540/1818-6254.2020.23.24

For citation: Chepkunas, L.S., & Malyanova, L.S. (2020). [Focal parameters of strong earthquakes of the Earth]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 23(2014), 244–249. (In Russ.). doi: 10.35540/1818-6254.2020.23.24

R e f e r e n c e s

1. Boldyreva, N.V., Atorina, M.A., Babkina, V.F., Dulentsova, L.G., Malyanova, L.S., Ryzhikova, M.I., & Scherbakova, A.I. (2020). [Earthquake catalog for 2014]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 23(2014), Appendix on CD. (In Russ.).
2. Gabsatarova, I.P. et al. (2014). [East European platform, the Urals and Western Siberia]. *Zemletryaseniia Rossii v 2012 godu* [Earthquakes in Russia in 2012] (pp. 23–25). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
3. Masalsky, O.K. et al. (2014). [Baikal and Transbaikalia]. *Zemletryaseniia Rossii v 2012 godu* [Earthquakes in Russia in 2012] (pp. 36–37). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
4. 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.
5. Golstein, P., Dodge, D., Firpoand, M., & Lee, M. (2003). The IASPEI International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology / Ed. by W.H.K. Lee, H. Kanamori, P.C. Jennings and C. Kisslinger.

6. Zakharova, A.I., & Chepkunas, L.S. (1977). [Dynamic parameters of the sources of strong earthquakes from the spectra of longitudinal waves at the Obninsk station]. *Fizika Zemli* [Izvestiya. Physics of the Solid Earth], 2, 9–17. (In Russ.).
7. Aptekman, J.J., Daragan, S.K., Dolgoplov, 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 sources. Unification of initial data and procedures for calculating amplitude spectra]. *Vulkanologiya i seismologiya* [Journal of Volcanology and Seismology], 2, 60–70. (In Russ.).
8. 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.S. (1989). [*P*-wave spectra in the problem of determining the dynamic parameters of earthquake sources. The transition from the station spectrum to the focal spectrum and the calculation of the dynamic parameters of the focal area.]. *Vulkanologiya i seismologiya* [Journal of Volcanology and Seismology], 2, 66–79. (In Russ.).
9. Brune, J.N. (1970). Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes. *Journal of geophysical research*, 75(26), 4997–5009.
10. Global CMT catalog. (2020). Retrieved from <http://www.globalcmt.org/>