

## Динамические характеристики очагов слабых землетрясений центральной части Байкальского рифта

© Д. П.-Д. Санжиева<sup>1</sup>, А. А. Добрынина<sup>1,2</sup>, Ц. А. Тубанов<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Геологический институт СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия. E-mail: gindarima@mail.ru

<sup>2</sup> Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия. E-mail: dobrynina@crust.irk.ru

<sup>3</sup> Бурятский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Улан-Удэ, Россия. E-mail: geos@ginst.ru

Изучены очаговые спектры региональных землетрясений с магнитудами 1–6 за 2006–2011 гг. Цифровые сейсмограммы, используемые в исследовании, зарегистрированы 15 сейсмостанциями на эпицентральных расстояниях до 300 км. По спектрам смещений P– и S–волн были рассчитаны сейсмические моменты землетрясений с применением модели круговой дислокации Бруна. Спектры корректировались с учетом специально определенных для этого станционных спектральных поправок. Определены эмпирические уравнения между сейсмическим моментом и другими динамическими параметрами очага.

**Ключевые слова:** Байкальский рифт; землетрясение; спектр; сейсмический момент землетрясения.

### Dynamic characteristics of foci of weak earthquakes in the central part of the Baikal rift

*D. P.-D. Sanzhieva<sup>1</sup>, A. A. Dobrynina<sup>1,2</sup>, Ts. A. Tubanov<sup>1,3</sup>*

<sup>1</sup> Geological Institute, SB RAS, Ulan-Ude, Russia. E-mail: gindarima@mail.ru

<sup>2</sup> Institute of the Earth's Crust, SB RAS, Irkutsk, Russia. E-mail: dobrynina@crust.irk.ru

<sup>3</sup> Buryat Regional Seismological Centre GS of RAS, Ulan-Ude, Russia. E-mail: geos@ginst.ru

Focal spectra of regional earthquakes with magnitudes 1–6 for 2006–2011 have been analyzed. The digital seismograms used in this study were recorded by 15 seismic stations with epicentral distances up to 300 km. From the P– and S–wave displacement spectra, the seismic moments of earthquakes were calculated according to Brune's source model. Observed spectra were corrected using the spectral corrections designed for stations. Empirical equations are determined between the seismic moment and other dynamic parameters of the source.

**Keywords:** Baikal rift; earthquake; spectrum; earthquake seismic moment.

Район Центрального Байкала (106,1°–109,1° в.д. и 51,7°–53,7° с.ш.) одна из сейсмически активных областей Байкальского рифта. Он характеризуется довольно высокой плотностью слабой сейсмичности с  $M > 2$  и наличием эпицентров сильных землетрясений с  $M \sim 5$ . [5] Данные о сильных землетрясениях прошлого свидетельствуют о высокой сейсмоактивности этой области, где неоднократно происходили сильные землетрясения с  $M > 6$ . За последние 150 лет в районе исследования произошло четыре катастрофических землетрясения (1862, 1885, 1903, 1959 годов). При наиболее сильном — Цаганском (1862) — образовался залив Провал, и было затоплено 220 кв. км суши. Среднебайкальское землетрясение от 29.08.1959 ( $M=6,8$ ) является одним из сильнейших за инструментальный период регистрации, с 50–х годов 20 века [3]. С 1996 г. в районе Центрального Байкала действует Селенгинская локальная сеть (BUGSR). В настоящий момент она состоит из 10 сейсмостанций Бурятского филиала ФИЦ ЕГС РАН и ГИН СО РАН, оснащенных цифровой аппаратурой работающих в непрерывном режиме. В сводной обработке участвует также 5 станций Байкальского филиала ФИЦ ЕГС РАН [1]. Это обстоятельство позволяет расширить энергетический диапазон регистрируемых землетрясений, увеличить представительность (в сторону меньших магнитуд) определений динамических характеристик очагов землетрясений.

Предметом исследования настоящей работы являются динамические характеристики очагов (частота в диапазоне 0.2–25 Гц) землетрясений ( $M = 1–6$ ), что представляет интерес для изучения физики очага землетрясения, а также важно для решения ряда инженерно-сейсмологических задач.

Сила землетрясения может оцениваться несколькими показателями — сейсмической энергией  $E$ , магнитудой  $M$ , энергетическим классом  $K$  и сейсмическим моментом  $M_0$ . Использование каждого из указанных параметров имеет свои недостатки, которые выражаются в сложности выделения энергии упругих сейсмических волн из полной энергии землетрясения, рассогласованности различных шкал магнитуд, некорректности определения энергетического класса для сильных землетрясений ( $K > 14,0$ ), в эффекте «насыщения» магнитуд для сильных землетрясений и т.д. В этом отношении сейсмический момент имеет явное преимущество, поскольку является четко сформулированной физической величиной (в противоположность магнитуде) и не теряет смысла в ближней зоне (в отличие от сейсмической энергии) [2]. Существует два способа оценки сейсмического момента:

1) прямой — в случае выхода разрыва на поверхность, измеряется амплитуда смещения и геометрические размеры разрыва, и по формуле  $M_0 = \mu SD$ , где  $\mu$  — модуль упругости сдвига,  $S$  — площадь разрыва,  $D$  — окончательное смещение по разрыву (среднее по площади) рассчитывается сейсмический момент и

2) косвенный — определение момента источника с помощью анализа сейсмограмм (спектральный анализ, расчет искусственных сейсмограмм).

Для расчета сейсмического момента, как правило, применяется стандартная модель круговой дислокации Бруна [4], по которой разрыв происходит в результате мгновенного приложения импульса тангенциального напряжения к его внутренней стороне. Спектр смещений в простейшем случае описывается с помощью двух прямых — горизонтальной в области низких частот, высота которой пропорциональна сейсмическому моменту, до некоторой частоты  $f_c$ , известной как угловая частота (corner frequency), и наклонной в области высоких частот, связанной с линейными размерами очага землетрясения.

Уровень спектральной амплитуды в области низких частот  $\Omega_0$  (см·с) и сейсмический момент  $M_0$  (дин·см= $10^{-7}$  Н·м) связаны соотношением [4]:

$$M_0 = \frac{4 \cdot \pi \cdot \rho \cdot \Delta \cdot V^3 \cdot \Omega_0}{R_{\theta\phi}}, \quad (1)$$

где  $\rho$  — плотность среды (г/см<sup>3</sup>),  $\Delta$  — расстояние источник — приемник (км),  $V$  — скорость сейсмических волн, продольных или поперечных (км/с) и  $R_{\theta\phi}$  — функция направленности очагового излучения, определяемая из решения фокального механизма [Аки, Ричардс, 1983].

Радиус источника эквивалентной круговой дислокации  $r$  (км) связан с угловой частотой  $f_c$  (Гц) соотношением [4]:

$$r = \frac{2,34 \cdot V_s}{2 \cdot \pi \cdot f_c}, \quad (2)$$

Сброшенное напряжение  $\Delta\sigma$  (1 дин/см<sup>2</sup>= $10^{-6}$  бар=0,1 Па) связано с сейсмическим моментом (дин·см) и радиусом (км) источника соотношением [4]:

$$\Delta\sigma = \frac{7 \cdot M_0}{16 \cdot r^3}, \quad (3)$$

Нами были определены такие параметры очага, как сейсмический момент, размеры очага, сброшенное напряжение и моментная магнитуда. Проведено уточнение регионального типового соотношения  $M_w$  —  $K_p$  (или  $M_w$  —  $M_L$ ), которое необходимо для формирования каталога землетрясений с возможностью сравнения очаговых параметров землетрясений Байкальской рифтовой зоны с другими регионами мира.

#### *Литература*

1. Результаты сейсмического мониторинга различных регионов России. Прибайкалье и Забайкалье / О. К. Масальский [и т.д.] // Землетрясения России в 2015 году. Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. С. 41–46.
2. Ризниченко Ю. В. Проблемы сейсмологии. Избранные труды. М.: Наука, 1985.
3. Сейсмогеология и детальное сейсмическое районирование Прибайкалья / Под ред. В. П. Солоненко. Новосибирск: Наука, 1981. 168 с.
4. Brune J. N. Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes // J. Geophys. Res. 1970. V. 75. № 26. P. 4997–5009.
5. Seismicity of the Baikal rift system from regional network observations / N. A. Radziminovich [et al.] // Journal of Asian Earth Sciences. 2013. V. 62. P. 146–161.

**Санжиева Дарима Пурба-Доржиевна**, аспирант Геологического института СО РАН, г. Улан-Удэ.