

Оценка параметров затухания сейсмических волн в центральной части Байкальской рифтовой зоны по записям близких землетрясений

© *П. А. Предеин*¹, *А. А. Добрынина*^{1,2}, *Ц. А. Тубанов*¹, *Е. И. Герман*¹

¹ Геологический институт СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия. E-mail: crmpeter@ginst.ru

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

Получены оценки параметров затухания сейсмических волн для центральной части Байкальской рифтовой зоны (БРЗ): сейсмическая добротность (Q^{-1}), частотный параметр (n) и декремент затухания (σ). Проведено разделение общего затухания (Q_T) на компоненты. Полученные результаты свидетельствуют о том, что в центральной части БРЗ внутреннее поглощение (Q_i) играет преобладающую роль по отношению к явлениям рассеяния на неоднородностях среды (Q_{sc}).

Ключевые слова: затухание; добротность; Байкальская рифтовая зона.

Estimation of attenuation parameters of seismic waves in the central part of the Baikal rift zone using near earthquake seismograms

*P. A. Predein*¹, *A. A. Dobrynina*^{1,2}, *Ts. A. Tubanov*¹, *E. I. German*¹

¹ Geological Institute, SB RAS, Ulan-Ude, Russia. E-mail: crmpeter@ginst.ru

² Institute of the earth's crust, SB RAS, Irkutsk, Russia. E-mail: dobrynina@crust.irk.ru

Attenuation parameters of seismic waves for the Central part of the Baikal rift zone are obtained, like quality factor (Q^{-1}), frequency parameter (n) and attenuation decrement (σ). The total attenuation (Q_T) is divided into components. The results indicate that in the Central part of the Baikal rift zone the internal absorption (Q_i) plays the predominant role in relation to the phenomena of scattering by medium inhomogeneities (Q_{sc}).

Keywords: attenuation; quality factor; Baikal rift zone.

Основными причинами уменьшения амплитуды (затухания) сейсмической волны при прохождении в среде являются потеря внутренней энергии вследствие геометрического расхождения и затухание за счет рассеяния на неоднородностях, преломляющих, отражающих и рассеивающих энергию сейсмической волны [1].

Параметрами, описывающими затухание, являются безразмерный параметр сейсмической добротности (Q^{-1}), частотный параметр (n) и декремент затухания (σ).

Для оценки параметров затухания сейсмических волн использовались записи землетрясений и промышленных взрывов на территории центральной части Байкальской рифтовой зоны (рис. 1).

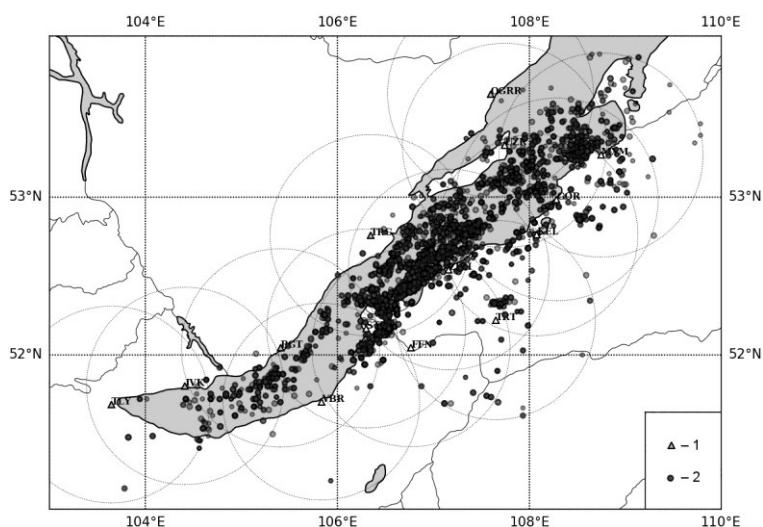


Рис. 1. Схема расположения сейсмических станций (1) и эпицентров землетрясений (2) на эпицентральных расстояниях до 70 км (окружностями для каждой станции показаны области радиусом 70 км).

Для обработки использовались записи локальных сейсмических событий на эпицентральных расстояниях до 70 км (рисунок). Использование локальных землетрясений позволяет исключить из анализа поверхностные волны, а также, при расстояниях между соседними сейсмическими станциями от 50 до 100 км, визуально картировать район центрального Байкала по параметру сейсмической добротности.

Для оценки параметра сейсмической добротности по кода-волнам использовалась программа CodaQ [2], входящая в состав пакета программ Seisan. Использовались записи землетрясений с энергетическими классами от 7 до 11. Для обработки выбирались записи с соотношением сигнал-шум > 4, длина окна для обработки и анализа коды бралась равной 20 секунд. Записи отфильтровывались на центральных частотах 1.5, 3.0, 6.0 и 12.0 Гц.

Полученные значения сейсмической добротности на разных частотах использовались для построения карт латеральных вариаций параметров затухания. Анализ пространственных вариаций затухания на разных частотах показывает мозаичное распределение параметра Q в пределах рассматриваемого региона — области с высоким затуханием чередуются со сравнительно узкими районами со слабым затуханием. Максимальные значения параметра добротности на референтной частоте 1.5 Гц для района центрального Байкала были получены для станции Заречье (ZRH) — 181, минимальное — для станции Узур (UZR), равное 119. Совместный анализ карт суммарной сейсмической энергии и плотности эпицентров показал, что максимальное затухание наблюдается в областях с наиболее высоким уровнем сейсмической активности, при этом, такие области не всегда совпадают с местами наибольшей концентрации сейсмических событий.

Важным результатом, по мнению авторов, также является обнаружение локальной области повышенного затухания сейсмических волн на территории Забайкальского края. Здесь, в отличие от остальной части рифта, в качестве источников сейсмических волн анализировались не только землетрясения, но и промышленные взрывы. В этом случае, повышенной затухание сейсмических волн может объясняться двумя факторами: спектральным составом колебаний и поверхностной глубиной взрывов. В целом, при известных фоновых региональных значениях сейсмической добротности резкое увеличение затухания может использоваться в качестве одного из критериев дискриминации слабых землетрясений и промышленных взрывов.

Согласно модели многократного рассеяния [6], полученное значение добротности по кода-волнам Q_c можно представить в виде:

$$\frac{1}{Q_c} = \frac{1}{Q_i} + \frac{1 - 2 \cdot \delta(\tau)}{Q_{sc}}$$

где $1 - 2 \cdot \delta(\tau) = \frac{-1.44}{4.44 + 0.738 \cdot \tau}$, и $\tau = \frac{\omega \cdot W}{Q_{sc}}$, W — длина окна обработки коды (секунд), ω — угловая частота.

Значение добротности по прямым S-волнам (Q_s), полученное с помощью программы CodaNorm [3], принимается за общее значение добротности Q_T ($Q_T = Q_s$). Начало окна для обработки выбиралось равным удвоенному значению времени пробега S-волны [4], длина окна для обработки коды выбиралась равной 10-20 секунд, в зависимости от эпицентрального расстояния.

Согласно [5], значения внутреннего затухания Q_i и рассеяния на неоднородностях Q_{sc} рассчитывались из величин Q_T и Q_c по формулам:

$$\frac{1}{Q_{sc}} = \frac{1}{2 \cdot \delta(\tau)} \cdot \left(\frac{1}{Q_T} - \frac{1}{Q_c(\tau)} \right)$$

$$\frac{1}{Q_i} = \frac{1}{2 \cdot \delta(\tau)} \cdot \left(\frac{1}{Q_c(\tau)} + \frac{2 \cdot \delta(\tau) - 1}{Q_T} \right)$$

Разделение на компоненты показало, что наибольший вклад в затухание сейсмических волн в рассматриваемом эпицентральной диапазоне вносит внутреннее поглощение — порядка 90%. Затухание вследствие рассеяния на неоднородностях среды (Q_{sc}) менее значимо. Высокий вклад внутреннего поглощения в общее затухание сейсмических волн объясняется активно протекающими тектоническими процессами в рассматриваемом регионе.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 17-35-50011–мол_нр).

Литература

1. Aki K. Analysis of the seismic coda of local earthquakes as scattered waves // J. Geophys. Res. 1969. V. 74. P. 615–631.
2. Coda Q in different tectonic areas, influence of processing parameters / J. Havskov [et al.] // Bulletin of the Seismological Society of America. 2016. V. 106. № 3. С. 956–970.
3. Predein P. A., Dobrynina A. A., Tubanov T. A., German E. I. CodaNorm: A software package for the body-wave attenuation calculation by the coda-normalization method // SoftwareX. 2017. Т. 6. С. 30–35.
4. Rautian T. G., Khalturin V. I. The use of the coda for determination of the earthquake source spectrum // Bulletin of the Seismological Society of America. 1978. Т. 68. №. 4. С. 923–948.
5. Wennerberg L. Multiple-scattering interpretations of coda-Q measurements // Bulletin of the Seismological Society of America. 1993. Т. 83. №. 1. С. 279–290.
6. Zeng Y., Su F., Aki K. Scattering wave energy propagation in a random isotropic scattering medium: 1. Theory // Journal of Geophysical Research: Solid Earth. 1991. Т. 96. № B1. С. 607–619.

Предин Петр Алексеевич, младший научный сотрудник Геологического института СО РАН, г. Улан-Удэ.