

УДК 550.344.43

М. В. Лемзиков

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,
Петропавловск-Камчатский, 683 006;
e-mail: lemzikov@kscnet.ru*

Оценка поглощающих свойств среды по импульсам слабых вулканических землетрясений в конусе вулкана Ключевской

В работе проведено исследование поглощающих свойств среды в конусе вулкана Ключевской по импульсам слабых вулканических землетрясений 2–4 типов. Используются цифровые записи слабых вулканических землетрясений 2–4 типов вулкана Ключевской с глубиной очага от 0 до –4 км (в конусе вулкана) в диапазоне энергетического класса $4,8 \leq K_{S1,2}^{Ф68} \leq 6,0$ выбранные по месяцам за календарный период 2000 – 2007 года. Получена связь изменения средних оценок добротности среды с изменением вулканической активности вулкана Ключевской.

Введение

Вулканические землетрясения имеют повторяющиеся волновые формы. Эта особенность позволила авторам работ [3, 7], изучавшим вулканическую сейсмичность, разделять вулканические землетрясения на несколько типов. Например, в [7] выполнено деление вулканических землетрясений на 4 типа. Позже Токарев в [3] разделил вулканические землетрясения вулканов Камчатки на 5 типов (рис. 1).

Вулканические землетрясения 1-го типа есть результат хрупкого разрушения пород в вулканической постройке [1 и др.]. Все вулканические землетрясения 2-го, 3-го и 4-го типов образуются в результате быстрого хаотичного изменения давления в вулканическом канале вулкана. Поэтому в последние годы, некоторые авторы [6] предлагают делить вулканические землетрясения на две основные группы. 1-я группа – вулканические землетрясения 1-го типа. Они и по предыдущему делению называются вулканотектоническими землетрясениями. А 2-я группа – все остальные типы вулканических землетрясений, которые называются длиннопериодными вулканическими землетрясениями. На основании многочисленных исследований вулканических землетрясений на вулканах мира, можно предположить, что на записях вулканических землетрясений присутствуют отдельные сейсмические импульсы, создаваемые быстрым хаотическим изменением давления в вулканическом канале вулкана.

В данной работе исследуются поглощающие свойства среды по импульсам слабых вулканических землетрясений 2–4 типов в конусе вулкана Ключевской.

Исходные данные и способ обработки

Исходным материалом для обработки являются цифровые сейсмограммы слабых вулканических землетрясений 2–4 типов вулкана Ключевской с

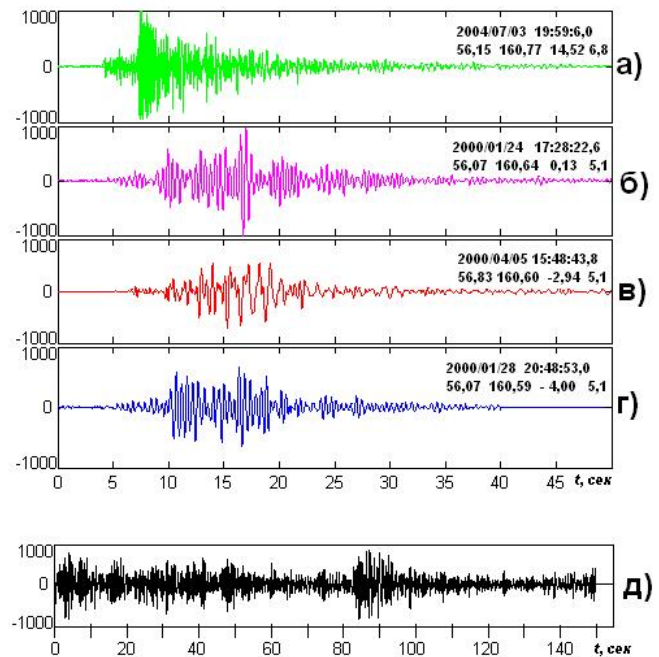


Рис. 1. Типы вулканических землетрясений, регистрируемых на вулкане Ключевской, согласно работе [3]. а) вулканическое землетрясение I типа (вулканотектоническое); б) вулканическое землетрясение II типа; в) вулканическое землетрясение III типа; г) вулканическое землетрясение IV типа; д) вулканическое землетрясение V типа (вулканическое дрожание).

глубиной очага от 0 до –4 км (в конусе вулкана) в диапазоне энергетических классов $4,8 \leq K_{S1,2}^{Ф68} \leq 6,0$ [4]. Они выбирались из архива хранения записей КФ ГС РАН по месяцам за календарный период 2000 – 2007 г. Всего выбрано и обработано 142 слабых вулканических землетрясений.

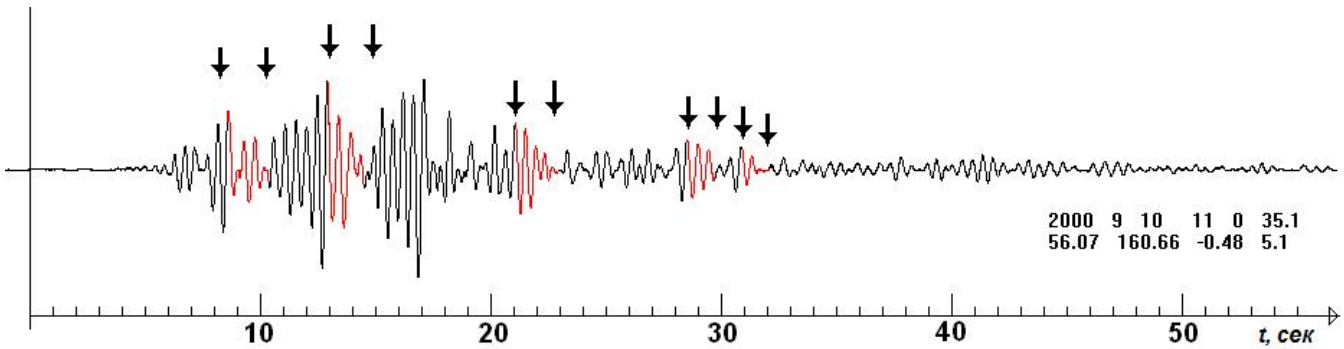


Рис. 2. Пример слабого вулканического землетрясения вулкана Ключевской, состоящего из комбинации отдельных сейсмических импульсов. Стрелками на канале отмечены отдельные временные интервалы импульсов сейсмических волн, используемые для анализа. Вертикальная линия обозначает момент в очаге землетрясения по каталогу КФ ГС РАН.

Землетрясения, согласно [3], относятся ко второму, третьему и четвёртому типу вулканических землетрясений.

В работе использовались цифровые сейсмограммы радиотелеметрических сейсмических станций Камчатского филиала Геофизической службы РАН (КФ ГС РАН), расположенных на постройке вулкана Ключевской: Цирк (CIR), Логинов (LGN) и Зелёная (ZLN). Высоты этих станций над уровнем моря 1420, 2500 и 1065 м соответственно. Каждая станция имеет три сейсмических канала для записи скорости колебаний грунта: две горизонтальные (SHE, SHN) и одну вертикальную (SHZ).

Проведённое предварительное исследование частотного состава сейсмических колебаний слабых вулканических землетрясений Ключевского вулкана за календарный период 2000–2007 гг., в [2] показало, что они, в основном, состоят из квазимонохроматических сейсмических колебаний с основными модами на низких частотах, примерно на значениях 1,0 и 2,0 Гц. Однако, в декабре 2003 г., марте 2005 г. и апреле 2007 г., вся энергия сейсмических колебаний слабых вулканических землетрясений сосредоточена, преимущественно, на частотах около 1,0 Гц.

Визуально на каждой записи слабого вулканического землетрясения 2–4 типа отмечались временные интервалы продолжительностью несколько секунд. При этом начало и окончание каждого временного интервала отмечалось вручную. Временные интервалы выделялись на фильтрованных сейсмограммах, пропущенных через узкополосный фильтр в полосе частот 1 – 3 Гц. Хотя этого можно было бы не делать, поскольку, как было сказано выше, основная энергия вулканических землетрясений вулкана Ключевской сосредоточена на этих частотах. Подобные временные интервалы на записях длиннопериодных вулканических землетрясений вулкана Kelut (Ява) использовались в работе [8].

При этом затухание амплитуды каждого отдельного импульса слабого вулканического землетрясе-

ния во времени описывается известным экспоненциальным соотношением [8]:

$$A = A_0 e^{-\alpha t} \quad (1)$$

где A — амплитуда импульса в точке регистрации, A_0 — амплитуда импульса в очаге вулканического землетрясения, α — коэффициент поглощения, который связан с параметром добротности среды Q и частотой f следующим соотношением: $\alpha = \pi f / Q$.

Пример записи слабого вулканического землетрясения вулкана Ключевской, содержащего отдельные импульсы, и отметки временных интервалов, показан на рис. 2.

Обсуждение результатов

Вулкан Ключевской — типичный стратовулкан с конусом правильной формы и абсолютной высотой около 4750 м, самый высокий из действующих вулканов Европы и Азии, сложен базальтовыми лавовыми потоками и пирокластическим материалом, преобладающим в верхней части постройки [5].

Максимальная активность вулкана Ключевской за календарный период 2000–2007 гг. наблюдалась во второй половине 2003 г. Причём, активизация вулкана началась с середины 2003 г., а максимум вулканической активности был в конце 2003 г. — повышенный уровень вулканической и сейсмической активности, излияние лавы из кратера вулкана.

Для получения наиболее характерных особенностей добротности среды в конусе вулкана Ключевской, в периоды его вулканической активности, выполнялось «по месячное» осреднение оценок добротности среды по станциям и по каналам. Затем строились графики временного хода средних оценок добротности среды по месяцам отдельно по каналу (SHZ) и отдельно по каналу (SHE) для каждой из трёх станций за календарный период 2000–2000 гг.

Разброс результатов очень большой, так как не всегда имелась возможность выделения «чистого» импульса. Однако окончательный результат определялся путём обмера большого количества исходных данных и последующего «по-месячного» осреднения.

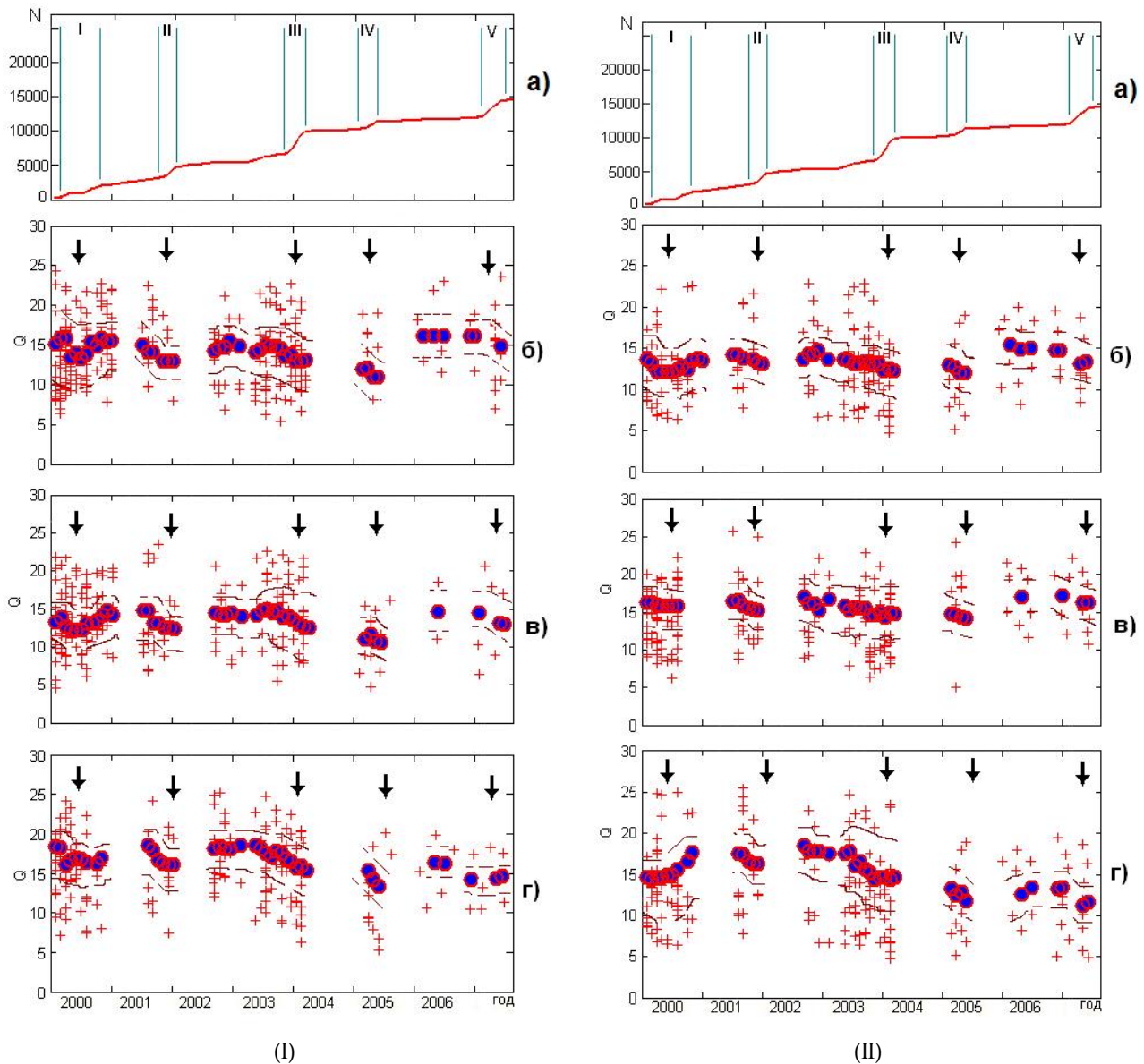


Рис. 3. Графики временного хода средних оценок добротности среды в конусе вулкана Ключевской по вертикальному (SHZ) каналу в соотношении с кумулятивным графиком количества длиннопериодной сейсмичности. а) кумулятивный график количества длиннопериодных вулканических землетрясений вулкана Ключевской за календарный период 2000–2007 гг.; б) станция Цирк (CIR); в) станция Логинов (LGN); г) станция Зелёная (ZLN).

На рис. 3 показаны результаты, полученные по описанной методике. На рис. 3(I) графики временного хода, средних оценок добротности среды, по вертикальному (SHZ) каналу. На рис. 3(II) по горизонтальному (SHE) каналу. Для трёх станций Цирк (CIR), Логинов (LGN) и Зелёная (ZLN). Визуальный анализ показал, что по каналам каждой станции для каждой отдельной фазы повышенной длиннопериодной сейсмичности наблюдается изменение средних оценок добротности среды. Полученные в работе результаты статистически не значимы.

Выводы

1. Предложен способ оценки поглощения энергии сейсмических волн в вулканической среде

по записям вулканических землетрясений вулкана Ключевской.

2. Способ заключается в определении поглощающих свойств среды в конусе вулкана Ключевской по импульсам слабых вулканических землетрясений 2–4 типов.

3. За исследуемый календарный период времени 2000–2007 гг. поглощающие свойства среды в конусе вулкана Ключевской изменялись вместе с изменением вулканической активности.

Список литературы

1. Горельчик В. И., Сторчевус А. В., Глубокие длиннопериодные землетрясения под Ключевским вулканом. Камчатка // Геодинамика и вулканизм Курило-Кам-

- чатской островодужной системы. Петропавловск-Камчатский. 2001. С. 373–389.
2. Лемзиков В. К., Яцук В. В., Лемзиков М. В., Дроздин Д. В. Спектральные особенности длиннопериодных вулканических сигналов вулкана Ключевской // Вулканология и сейсмология. 2011. № 1. С. 45–54.
 3. Токарев П. И. Извержения и сейсмический режим вулканов Ключевской группы М.: Наука. 1966. 177 с.
 4. Федотов С. А. Энергетическая классификация Курило-Камчатских землетрясений и проблема магнитуд. М.: Наука. 1972. 162 с.
 5. Хренов А. П., Двигало В. Н., Кирсанов И. Т. и др. Ключевской вулкан // в кн. Действующие вулканы Камчатки. М.: Наука. 1991. Т. 1. С. 106–153.
 6. Lahr J., Chouet B., Stephens C. et al. Earthquake classification, location, and error analysis in a volcanic environment: Implications for the magmatic system of the 1989–1990 eruptions at Redoubt Volcano, Alaska // J. Volcanol. Geotherm. Res. 1994. Vol. 62. P. 137–151.
 7. Minakami T. Fundamental research for predicting volcanic eruption, pt 1. // Bull. Earthq. Res. Inst., 1960. 38. P. 4.
 8. Ph, Lesage et al. Seismic precursors of the February 10, 1990 eruption of Kelut volcano Java // Journal of Volcanology and Geothermal Research. 1995. Vol. 65. P. 135–146.