

## **Пространственное поглощение сейсмических волн в вулканогенных горных породах вблизи вулкана Кизимен**

**М.В. Лемзиков**

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006; e-mail: [lemzikov@kscnet.ru](mailto:lemzikov@kscnet.ru)*

Во время последнего извержения вулкана Кизимен (2009-2012 гг.) были зарегистрированы вулcano-тектонические землетрясения с очагами в конусе вулкана и под ним. Анализ кода-волн этих событий позволил изучить добротность среды вулканогенных горных пород вулкана. Полученные в работе средние оценки добротности  $Q_c$  кода-волн отражают вариации пространственного поглощения сейсмических волн в вулканогенных горных породах вблизи вулкана Кизимен.

### **Введение**

Вулкан Кизимен с абсолютной высотой 2485 м является действующим, тип извержений - эффузивно-эксплозивный, расположен на юго-восточном борту Щапинского грабена на полуострове Камчатка. Постройка вулкана приурочена к системе крупноамплитудных сбросов северо-восточного простирания зоны сочленения Щапинского грабена с горстом хребта Тумрок [1].

Геологические структуры, характеризующие вулканические среды сильно гетерогенны; они составлены из сложного распределения элементов различных по размерам и свойствам. Сложная структура вулкана воздействует на распространение и рассеивание сейсмических волн.

Цель представленной работы исследование вариаций пространственного поглощения энергии сейсмических волн в вулканогенных горных породах вблизи вулкана Кизимен.

### **Исходные данные**

Использовались слабые вулcano-тектонические землетрясения, с очагами в конусе вулкана и под ним на глубинах 5 - 12 км. Они выбирались из архива хранения цифровых сейсмограмм за 2009-2012 гг. Диапазон энергетических классов выбранных землетрясений находится в пределах от  $K_{S1,2}^{\Phi 68} = 5,9$  до  $K_{S1,2}^{\Phi 68} = 6,3$ , где  $K_{S1,2}^{\Phi 68}$  - энергетические классы местных Камчатских землетрясений.  $K_{S1,2}^{\Phi 68} = 6,1$  соответствует в шкале магнитуд  $M = 1,0$  согласно соотношению  $K_{S1,2}^{\Phi 68} = 1,5M + 4,6$  [3].

Регистрация слабых вулcano-тектонических землетрясений выполнена радиотелеметрическими сейсмическими станциями Камчатского Филиала Федерального Исследовательского Центра Единой Геофизической службы РАН (КФ ФИЦ ЕГС РАН), установленными вблизи и в окрестностях вулкана Кизимен: Кизимен (KZV) и Тумрок (TUM) (рис. 1). Станция TUM была установлена в 2003 году с целью слежения за слабой сейсмичностью района Восточной Камчатки. Станция KZV - в сентябре 2009 года, когда сейсмическая активность вулкана Кизимен значительно повысилась по сравнению с фоновой сейсмичностью.

В работе использованы слабые вулcano-тектонические землетрясения вулкана Кизимен (они имеют четкие вступления продольных и поперечных сейсмических волн), которые относятся к I типу вулканических землетрясений по классификации П.И. Токарева [2] (рис.2).

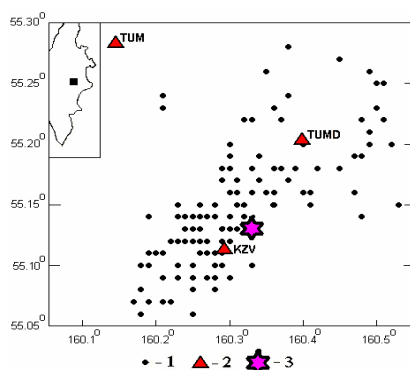


Рис. 1. Схема района исследования. На вкладке черным квадратом показано расположение исследуемого района на карте Камчатки. 1 – очаги слабых вулcano-тектонических землетрясений вулкана Кизимен 2009 – 2012 гг.; 2 – радиотелеметрические сейсмические станции (TUM, KZV); 3 – вершина вулкана Кизимен.

На станциях KZV и TUM установлен трехкомпонентный короткопериодный канал для регистрации скорости смещений грунта: один вертикальный (SHZ) и два горизонтальных (SHE, SHN), и дополнительно еще одна вертикальная компонента для регистрации скорости смещений грунта с повышенным уровнем чувствительности (ENZ).

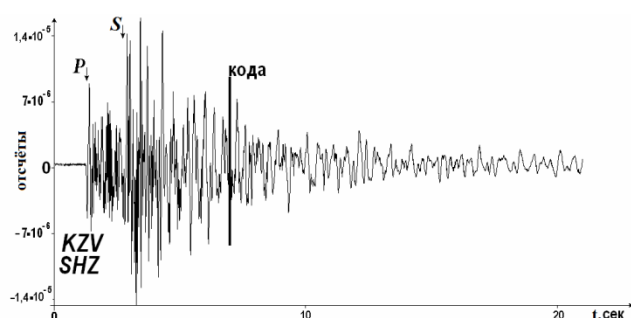


Рис. 2. Примеры волновых форм слабых вулcano-тектонических землетрясений вулкана Кизимен, зарегистрированные вертикальным сейсмическим каналом станцией KZV 10 января 2010 по времени (UTC) 12 ч 00 мин 48,0 сек.

### Метод

В предположении об однократном обратном рассеивании сейсмических волн в процессе формирования кода-волн, и при условии помещения очага и станции в одну и ту же точку огибающая кода-волн, как функция времени  $t$  в фиксированный отрезок времени, отсчитываемое от времени в очаге (названное продолжительностью времени), может быть выражено, следуя [4]:

$$A(f, t) = A_0(f) \cdot t^{-n} \cdot e^{-\pi ft/Q_c} \quad (1)$$

где  $A_0(f)$  – член, который зависит от очага;  $t$  – время;  $n$  – функция геометрического расхождения и  $Q_c$  – показатель добротности кода-волны.  $Q_c$  вычисляется, логарифмированием обеих частей уравнения 1:

$$\ln(A(f, t) \cdot t^n) = \ln(A_0(f)) - \pi ft/Q_c \quad (2)$$

И затем методом наименьших квадратов, измеряется угол наклона линии регрессии полученных данных. Наклон определяет коэффициент  $-\pi ft/Q_c$ , а свободный член  $-\ln(A_0(f))$ .

В работе использовались пять октавных фильтров Баттерворта третьего порядка с полосами пропускания: 0,5 – 1, 1 – 2, 2 – 4, 4 – 8 и 8 – 16 Гц. Осевые частоты цифровых полосовых фильтров: 0,75, 1,5, 3,0, 6,0 и 12,0 Гц.

## Результаты

В работе для анализа были выбраны такие записи вулcano-тектонических землетрясений, у которых волновые формы кода-волн представили однородный спад в длинном временном интервале, без вмешательства вступлений других волн. Коэффициент корреляция выбранных данных был для частоты 0,75 Гц и 1,5 Гц больше чем 0,6, для частоты 3,0 был равен 0,9, а для частоты 6,0, 12,0 Гц - больше чем 0,9. Средние оценки добротности  $Q_c$ , были рассчитаны для каждой станции по всем каналам в пяти частотных полосах. Результаты показывают, что средние оценки добротности  $Q_c$  полученные по данным станции TUM значительно выше, средних оценок добротности  $Q_c$ , полученных по данным станции KZV. Станция KZV установлена на подножии вулкана Кизимен поэтому результаты по этой станции отражают добротность вулканогенных горных пород вблизи вулкана Кизимен. Результаты показывают, что вулканогенные горные породы имеют сложную гетерогенную структуру, отражающую сложную природу распространения слабых вулcano-тектонических землетрясений.

Таблица 1. Сравнение средних огибающих кода-волн между двумя станциями KZV / TUM

F, Гц	Станция (код)	Кол-во	Коэф. корр.	среднее	$Z_{набл.}$
0.75	KZV	54	0,68	93,0 ± 27,0	3,83
	TUM	54	0,67	97,0 ± 32,0	
1.5	KZV	54	0,68	125,0 ± 30,0	4,60
	TUM	72	0,68	130,0 ± 45,0	
3.0	KZV	85	0,90	172,0 ± 47,0	5,78
	TUM	120	0,87	178,0 ± 63,0	
6.0	KZV	87	0,95	223,0 ± 55,0	5,94
	TUM	115	0,93	230,0 ± 87,0	
12.0	KZV	84	0,96	310,0 ± 87,0	7,28
	TUM	113	0,93	320,0 ± 96,0	

Для исследования параметра  $Q_c$  от временного интервала (продолжительности времени) кода-волн был выбран временной участок кода-волн от 8 до 45 сек, который был измерен от времени в очаге землетрясения. Временной участок кода-волн был разделен на семь одинаковых временных отрезков. Длительность каждого отрезка была 10 сек. В каждом временном отрезке были рассчитаны средние оценки добротности  $Q_c$  для всех станций и всех каналов. Затем был построен график зависимости обратных средних оценок добротности  $Q_c^{-1}$  в различных временных отрезках от частоты (рис. 3).

Четвертый временной интервал (20-30 сек) совпадает со средним значением параметра  $Q_c$ . Для сравнения с литературными данными на рис. 3 приведены данные оценок добротности  $Q_c$  полученные по вулканам Сент-Хеленс (США) и Визувий (Италия) [5].

Получить соотношение  $Q_c$  с частотой можно по следующему закону:

$$Q_c = Q_0 (f/f_0)^n \quad (3)$$

где  $Q_0$  – значения  $Q_c$  на частоте 1 Гц, и  $f_0$  – референсная частота 1 Гц,  $n$  – частотный параметр.

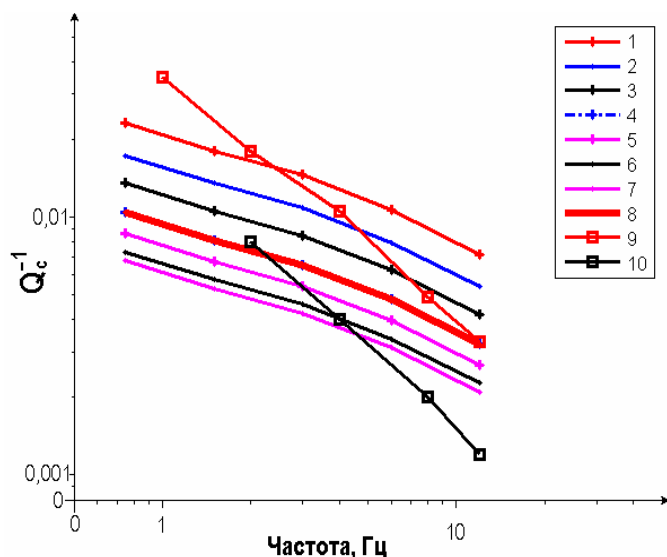


Рис. 3. Оценки добротности  $Q_c^{-1}$  в зависимости от отрезка продолжительности времени на коде для различных частотных полос. 1) 8 – 15 сек; 2) 10 – 20 сек; 3) 15 – 25 сек; 4) 20 – 30 сек; 5) 25 – 35 сек; 6) 30 – 40 сек; 7) 35 – 45 сек; 8) среднее значение; 9) вулкан Везувий (Италия) [5]; 10) вулкан Сент-Хеленс (США) [5].

### Выводы:

1. Сравнение средних огибающих кода-волн между двумя станциями показало, что средние оценки параметра добротности  $Q_c$  полученные по данным станции KZV ниже, чем оценки параметра добротности  $Q_c$  полученные по данным станции TUM.

2. Оценки параметра добротности  $Q_c$  по данным станции KZV отражают поглощение вулканогенных горных пород вблизи вулкана Кизимен, а оценки параметра добротности по данным станции TUM отражают поглощение вулканогенных горных пород вокруг вулкана Кизимен.

3. Полученные средние оценки добротности  $Q_c$  от продолжительности времени показывают, что чем дальше по времени участок коды, на котором измеряется амплитуда, тем в более глубокие слои земли проникают сейсмические волны, и тем выше добротность вулканогенных горных пород вулкана Кизимен.

### Список литературы

1. Камчатка, Курильские и Командорские острова (История развития рельефа Сибири и Дальнего Востока) / Под. ред. Лучицкого И.В. М.: Наука, 1974. 437 с.
2. Токарев П.И. Вулканические землетрясения Камчатки. М.: Наука, 1981. 164 с.
3. Федотов С.А. Энергетическая классификация Курило-Камчатских землетрясений и проблема магнитуд. М.: Наука, 1972. 116 с.
4. Aki K., Chouet B.A. Origin of coda waves: Source, attenuation and scattering effects // Journal Geophysical Research. 1975. V. 80. P. 3322 – 3342.
5. Bianco F., Castellano M., Del Pezzo, et. all Attenuation of the short period Seismic waves at Mt. Vesuvius, Italy. // Journal Geophysical International. 1999. V. 138(1). P. 67-76.