

УДК 550.344.43

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАТУХАНИЯ ЭНЕРГИИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН ВУЛКАНО-ТЕКТОНИЧЕСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

М.В. Лемзиков

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006; e-mail: lemzikov@kscnet.ru

Введение

Затухание энергии сейсмических волн в среде является важной геофизической характеристикой, которая содержит информацию о структуре и реологических свойствах земных недр. Надежные количественные оценки этого параметра представляют большой практический интерес, как необходимые исходные данные для изучения свойств сейсмических очагов, свойств среды, а также для прогноза извержений вулканов и землетрясений. Традиционно для определения затухания энергии сейсмических колебаний использовались продольные и поперечные волны. Однако в конце прошлого века для определения этого параметра в среде очень успешно развивалось исследование с использованием кода-волн. Интерпретация кода-волн выполнялась в рамках простейшей теоретической модели однократного обратного рассеяния S-волн в среде [6, 7]. Эта модель используется при следующих допущениях: рассеиватели случайно и статистически однородно распределены и среда обладает пространственно однородным поглощением. Результаты, полученные с использованием этой модели в течение продолжительного времени, использовались, чтобы характеризовать средние поглощающие свойства среды. Для определения затухания энергии сейсмических волн в работе используются кода-волны цифровых записей вулcano-тектонических землетрясений.

Исходные данные и способ обработки

Исходным материалом для обработки являются слабые вулcano-тектонические землетрясения вулкана Ключевской на глубинах до 30 км и на гипоцентральных расстояниях до 50 км. Они выбирались из архива хранения цифровых сейсмограмм вулканических землетрясений, зарегистрированных радиотелеметрическими сейсмическими станциями Камчатского филиала геофизической службы (КФ ГС) РАН за период с 1999 по 2007 гг. (рис. 1). Каждая станция имеет три канала записи скорости колебаний грунта: две горизонтальные (SHE, SHN) и одну вертикальную (SHZ). Всего было выбрано и обработано 86 слабых вулcano-тектонических землетрясений с энергетическим классом не ниже $K_{S1,2}^{\phi 68} \geq 6$.

Вулcano-тектонические землетрясения, согласно [4], относятся к первому типу вулканических землетрясений и по характеру записи ничем не отличаются от местных тектонических землетрясений. Механизм очага этих землетрясений, по-видимому, не отличается от механизма очага тектонического землетрясения, но, так как они имеют вулканическое происхождение, то их называют «вулcano-тектоническими» [1, 2].

Визуально на каждой записи вулcano-тектонического землетрясения отмечались первые вступления P и S-волн. Цифровые записи сейсмограмм слабых вулcano-тектонических землетрясений вначале программно корректировались на амплитудно-частотную характеристику сейсмического канала станции и пропускались через полосовые цифровые фильтры. В работе использовались пять октавных фильтров Баттерворта третьего порядка с полосами пропускания: 1-2, 2-4, 4-8, 8-16 и 12-24 Гц. Осевые частоты цифровых полосовых фильтров: 1.5, 3.0, 6.0, 12.0 и 18.0 Гц. Для

каждого из трех каналов записи скорости программно оценивался квадрат огибающей амплитуды, который затем программно корректировался на уровень шума. Уровень

шума программно определялся перед записью землетрясения. Отношение сигнал/шум оценивалось визуально на каждой записи землетрясения. В работе не использовались записи землетрясений, у которых отношение сигнал/шум меньше 3. Программно на каждой записи землетрясения определялся временной интервал кода-волн. Начало временного интервала отмечалось программно по следующему принципу - при запаздывании, равном двойному времени прихода S-волн от очага землетрясения до станции, огибающая кода-волн приобретает стандартный асимптотически спадающий вид, а окончание временного участка также программно отмечалось на записи после четырехкратного времени прихода S-волн от времени в очаге. От этого временного интервала кода-волн программно определялся угловой коэффициент (b) и параметр добротности Q_c по формуле:

$$b = 2\pi f (\log_{10} e) / Q_c \quad (1)$$

где b - угловой коэффициент, f - частота, Q_c - добротность среды. Пример обработки записей слабых вулcano-тектонических землетрясений 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 базальтовым лавовым и пирокластическим материалом. Это самый продуктивный вулкан Камчат-

ки - часто происходят его вершинные и побочные извержения [5]. Для исследования затухания энергии вулcano-тектонических землетрясений по глубинам, результаты параметра добротности Q_c были разделены на два диапазона глубин: 0-10 км и 10-30 км. Средние оценки параметра добротности Q_c затухания энергии кода-волн вулcano-тектонических землетрясений вулкана Ключевской, полученные в диапазоне глубин 0-10 км, представлены в таблицах 1, 2 и на рис. 3; в диапазоне глубин 10-30 км - в таблицах 3, 4 и на рис. 4.

Результаты показывают, что средние оценки добротности Q_c затухания энергии кода-волн вулcano-тектонических землетрясений для глубин 0-10 км ниже средних оценок для глубин 10-30 км. Затухание на поверхности больше. Эти оценки отражают природу распространения вулcano-тектонических землетрясений. Кроме этого, вышеназванные параметры, полученные за период 1999-2007 гг., сравнивались с

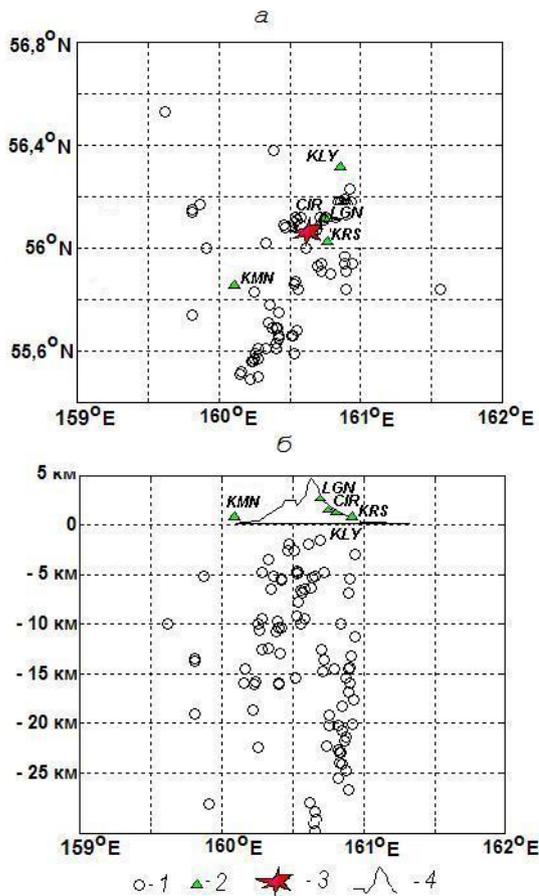


Рис. 1. Карта-схема распределения эпицентров слабых вулcano-тектонических землетрясений влк. Ключевской (а); вертикальная проекция гипоцентров в плоскости запад-восток (б). 1 – землетрясения; 2 – радиотелеметрические сейсмические станции КФ ГС РАН: LGN - «Логинов»; CIR - «Цирк»; KLY - «Ключи»; ZLN - «Зеленая»; KMN - «Каменистая»; KPT - «Копыто»; 3 - влк. Ключевской; 4 - горизонтальная проекция контура влк. Ключевской.

такowymi параметрами, определенными методом MLTWA (Multiple Lapse Time Window Analysis) за такой же период времени для вулcano-тектонических землетрясений (рис. 5). Результаты сравнения показали, что значения добротности Q_c и Q_s близки, и особенно - на частоте 6 Гц. На вулканах преобладающим фактором в затухании является поглощение рассеивания.

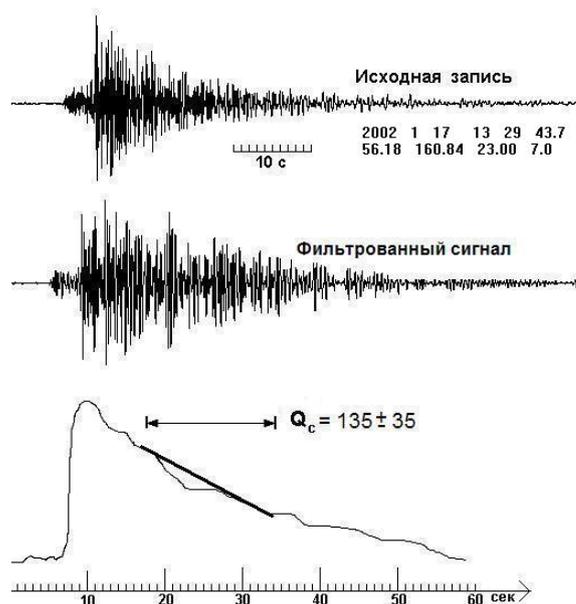


Рис. 2. Пример вулcano-тектонического землетрясения влк. Ключевской и демонстрация метода обработки Q_c . Приведены исходная, фильтрованная записи землетрясения станции “CIR” по каналу SHN и схематически сглаженное значение оценки мощности фильтрованной записи землетрясения. Применен полосовой фильтр с частотами среза $f_1=2$, $f_2=4$ Гц и $f_{\text{осевая}}=3$ Гц. Отмечен временной интервал, используемый для определения параметра Q_c^{-1} : [t_s+16 с, t_s+34 с].

Таблица 1. Средние значения параметра Q_c по вертикальному каналу SHZ на глубинах 0-10 км

Код	1,5 Гц	N	3,0 Гц	N	6,0 Гц	N	12,0 Гц	N	18,0 Гц	N
CIR	79±16	11	146±29	18	127±66	23	226±86	22	340±33	21
KLY	83±49	17	188±47	17	154±32	17	284±77	15	374±51	14
KRS	85±21	22	149±18	22	186±38	22	247±24	20	355±28	17
LGN	76±10	10	155±21	14	162±18	22	261±26	20	354±25	19
KMN	102±26	20	225±57	24	237±61	24	259±61	18	369±81	13

Таблица 2. Средние значения параметра Q_c по горизонтальным каналам SHE, SHN на глубинах 0-10 км

Код	1,5 Гц	N	3,0 Гц	N	6,0 Гц	N	12,0 Гц	N	18,0 Гц	N
CIR	194±60	93	358±80	88	412±89	98	437±76	73	536±63	69
KLY	135±49	96	347±79	86	426±84	87	498±79	90	672±76	78
KRS	119±75	86	208±56	78	276±60	77	358±72	84	646±30	92
LGN	158±77	98	268±89	31	349±87	78	495±86	86	597±79	94
KMN	194±81	76	232±61	64	304±78	95	323±91	69	363±85	84

Таблица 3. Средние значения параметра Q_c по вертикальному каналу SHZ на глубинах 10-30 км

Код	1,5 Гц	N	3,0 Гц	N	6,0 Гц	N	12,0 Гц	N	18,0 Гц	N
CIR	87±24	18	158±29	27	198±86	27	245±28	32	362± 61	37
KLY	98±79	15	203±52	27	269±29	25	290±56	28	310± 62	28
KRS	90±18	30	174±28	35	192±45	36	259±21	26	360± 20	29
LGN	97±22	21	160±19	33	178±17	35	273±20	35	366± 22	26
KMN	117±25	14	239±19	25	312±86	24	346±87	13	485± 62	4

Таблица 4. Средние значения параметра Q_c по горизонтальным каналам SHE, SHN на глубинах 10-30 км

Код	1,5 Гц	N	3,0 Гц	N	6,0 Гц	N	12,0 Гц	N	18,0 Гц	N
CIR	319±75	67	419±98	78	501±86	56	605±89	58	620± 88	66
KLY	208±66	74	385±48	84	497±80	56	658±83	78	884± 63	79
KRS	275±62	66	219±70	77	305±42	69	373±91	58	637± 92	69
LGN	259±87	56	320±94	69	321±92	89	466±94	68	533± 86	85
KMN	214±97	79	246±75	81	318±87	69	363±86	72	664± 93	83

Примечание. N – количество слабых вулcano-тектонических землетрясений.

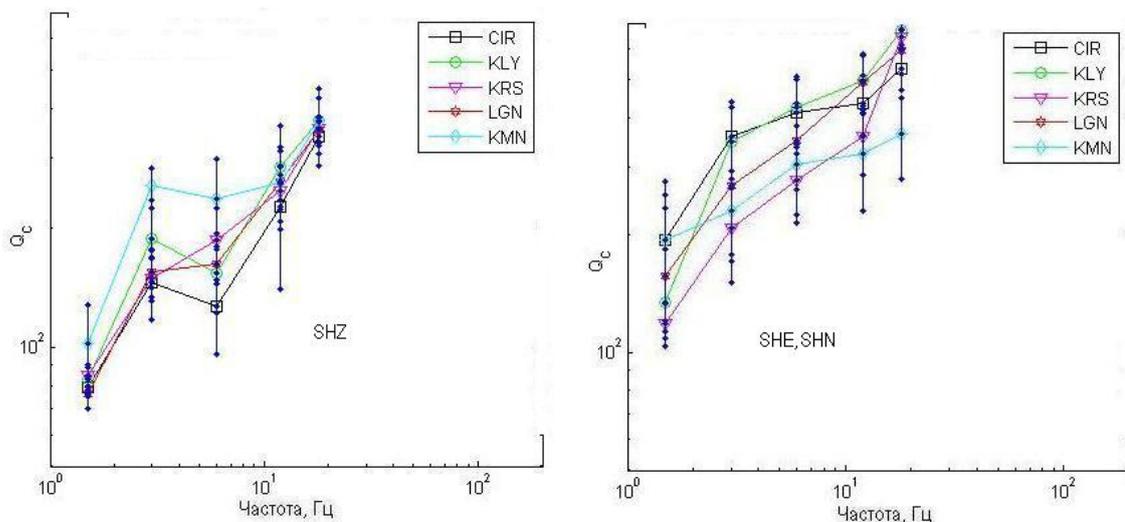


Рис. 3. Средние оценки параметра Q_c затухания энергии кода-волн вулcano-тектонических землетрясений Ключевского вулкана для различных станций в диапазоне глубин 0-10 км.

Выводы

1. На основе исследования кода-волн цифровых сейсмограмм вулcano-тектонических землетрясений получены оценки добротности Q_c затухания энергии кода-волн, которые характеризуют физическое состояние среды постройки вулкана Ключевской.

2. Для вулкана Ключевской средние оценки добротности Q_c затухания энергии кода-волн для глубин 0-10 км ниже таковых для глубин 10-30 км.

3. Средние оценки добротности Q_c наиболее близко соответствуют средним оценками добротности Q_s , полученных методом MLTWA.

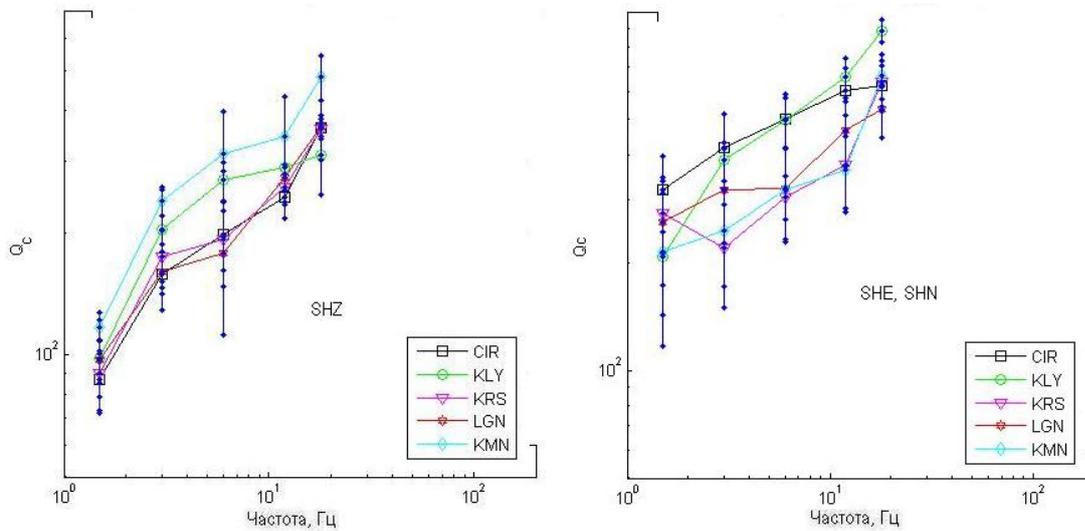


Рис. 4. Средние оценки параметра Q_c затухания энергии кода-волн вулcano-тектонических землетрясений Ключевского вулкана для различных станций в диапазоне глубин 10-30 км.

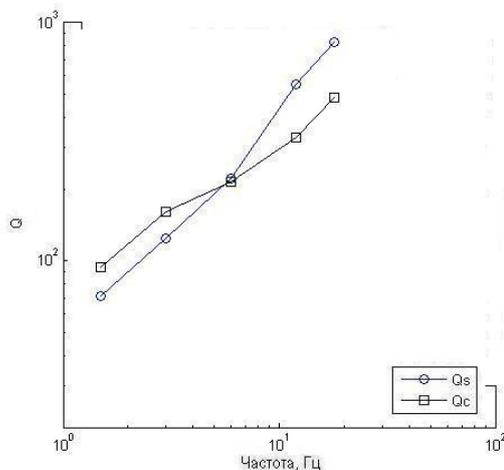


Рис. 5 Средние оценки добротности Q_c , полученные в данной работе и средние оценки добротности Q_s , полученные методом MLTWA [3] по вулcano-тектоническим землетрясениям за период 1999-2007 гг.

Список литературы

1. Горельчик В.И., Гарбузова В.Т. Сейсмичность Ключевского вулкана как отражение его современной магматической деятельности // Геодинамика и вулканизм Курило-Камчатской островодужной системы. Петропавловск-Камчатский. 2001. С. 352-372.
2. Горельчик В.И., Сторчеус А.В. Глубокие длиннопериодные землетрясения под Ключевским вулканом, Камчатка // Геодинамика и вулканизм Курило-Камчатской островодужной системы. Петропавловск-Камчатский. 2001. С. 373-389.

3. Лемзиков М.В. Оценка характеристик затухания поперечных сейсмических волн в постройке вулкана Ключевской // Вулканология и сейсмология. 2008. № 2. С. 125-134.
4. Токарев П.И. Вулканические землетрясения Камчатки. М.: Наука. 1981. 164с.
5. Хренов А.П., Двигало В.Н., Курсанов И.Т. и др. Ключевской вулкан // Действующие вулканы Камчатки. М.: Наука. 1991. Т. 1. С. 106-153.
6. Aki K., Chouet B. Origin of coda waves: Source, attenuation and scattering effects // J. Geophys. Res. 1975. V. 80. P. 3322-3342.
7. Sato H. Energy propagation including scattering effects: single isotropic scattering approximation // J. Phys. Earth Planet. Inter. 1977. V. 25. P. 27-41.

RESULTS OF STUDING ATTENUATION OF SEISMIC WAVE ENERGY FROM VOLCANIC AND TECTONIC EARTHQUAKES

M.V. Lemzikov

*The Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, 683006, Petropavlovsk-Kamchatsky;
e-mail lemzikov@kscnet.ru*

This paper provides an analysis of coda-waves of light volcanic and tectonic earthquakes from Klyuchevskoy Volcano within the depth of 30 km. The analysis is based on the model of discrete randomly distributed heterogeneities and single isotropic scattering. The author used digital records of seismograms from the radio-telemetric seismic stations installed on and in the vicinity of Klyuchevskoy Volcano. The average estimates of coda-wave energy attenuation of volcanic and tectonic earthquakes characterize the absorption properties of Klyuchevskoy rocks.