

**Предварительные оценки характеристик затухания поперечных сейсмических волн в районе Толбачинского дола**

**Лемзиков М.В.**

**Preliminary estimates of the attenuation characteristics of the transverse seismic waves in the area of Tolbachinsky Dol**

**Lemzikov M.V.**

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

В работе выполнена оценка характеристик затухания поперечных сейсмических волн в районе Толбачинского дола. С этой целью из архива хранения Камчатского филиала Федерального исследовательского центра Единой геофизической службы (КФ ФИЦ ЕГС РАН) за период 2000-2017 гг., были выбраны волновые формы вулcano-тектонических землетрясений. Волновые формы были обработаны методом MLTWA. Получены предварительные оценки.

**Введение**

Толбачинский дол – это зона шлаковых конусов в южной части вулкана Плоский Толбачик. Активность этой зоны тесно связана с вулканическими процессами, происходящими на вулкане Плоский Толбачик.

Региональная зона шлаковых конусов площадью 875 км<sup>2</sup> протягивается на 70 км от реки Толбачик до реки Студеной. Это обширная зона четвертичного базальтового ареального вулканизма на Камчатке, которая по мощности происходящих здесь вулканических процессов уступает во всей Курило-Камчатской дуге только Ключевскому вулкану. В южной части зона имеет северо-северо-восточное направление, далее пересекает вулкан Плоский Толбачик, изменяя простирание на северо-восточное. Южная часть именуется Толбачинским долом. Вдоль осевой части зоны в узкой (3-4 км) полосе сосредоточено до 80 % всех эруптивных центров в виде многочисленных трещин и цепочек шлаковых конусов, образующих отчетливо выраженную в рельефе вулканическую гряду. Склоны его представляют собой обширные поля клинкерных и волнистых лав, перекрытых в центральной части Толбачинского дола толстым слоем пепла и шлака извержения 1975-1976 гг., засыпавшим все неровности рельефа. Линейно-вытянутая региональная зона шлаковых конусов подобна рельефам Гавайских островов. Она сформировалась в течение последних 10 тыс. лет. Центральная часть дола представляет собой узкую погребенную гребеннообразную структуру, опущенную по разломам на 0.5-1.5 км, над которой располагаются самые крупные шлаковые конусы. Южная зона шлаковых конусов вулкана Плоский Толбачик является единственной зоной такого рода на Камчатке, сохраняющей активность в последние столетия. [2].

В историческое время достоверно известно несколько исторических извержений этой зоны ареального вулканизма: описанное С.П. Крашенинниковым извержение 1740 г., прорыв 1941 г., Большое Трещинное Толбачинское извержение 1975-1976 гг. (БТТИ) и Трещинное Толбачинское извержение 2012-2013 гг. им. 50-летия Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН (ТТИ-50).

Вулканическая среда в районе Толбачинского дола представлена сложной структурой. Такая сложная структура влияет на распространение сейсмических волн. В первую очередь это отражается на уровне затухания сейсмических волн. Затухание энергии сейсмических волн в Земле является следствием двух разных факторов. Главные из них: 1) поглощение за счет отличия свойств земных пород от идеально упругих; 2) рассеивание на неоднородностях, природа которых объясняется пространственными изменениями физических свойств среды. Поглощение приводит к безвозвратным потерям энергии сейсмических волн, которая идет на нагревание и/или

перестройку структуры среды, а рассеивание – к пространственно-временному перераспределению волновой энергии. В работе [6] предложен метод, позволяющий отдельно определять два фактора: внутреннее поглощение и рассеивание. Метод получил название MLTWA (Multiple Lapse Time Windows Analysis).

### Исходные данные

В работе использованы волновые формы вулcano-тектонических землетрясений из архива КФ ФИЦ ЕГС РАН за период 2000-2017 гг., произошедших в районе Толбачинского дола. Очаги выбранных для анализа вулcano-тектонических землетрясений находятся в диапазоне глубин от 0 до 20 км. Выбирались записи землетрясений с энергетическим классом не ниже 6-го [5]. Их волновые формы имеют четкие вступления *P* и *S*-волн, на записях преобладают объемные волны, поверхностные волны либо слабо выражены, либо вообще отсутствуют [1, 4]. Карта района вулкана Толбачик вместе с эпицентрами вулканических землетрясений и станциями представлена на (рис. 1).

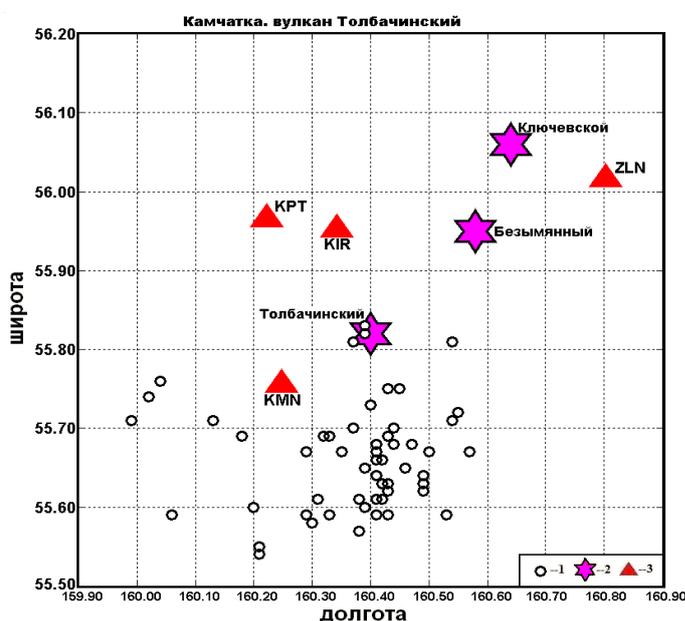


Рис. 1. Карта-схема района вулкана Толбачинский: 1 – эпицентры вулcano-тектонических землетрясений из района Толбачинского дола, 2 – вершины вулканов, 3 – радиотелеметрические сейсмические станции. KMN – Каменистая; KIR – Киришева; KPT – Копыто; ZLN – Зеленая.

### Метод исследования

Для получения оценок внутреннего поглощения и рассеивания энергии поперечных сейсмических волн в районе Толбачинского дола в работе используется метод MLTWA, предложенный в работе [6]. Данный метод определяет способ обработки волновых форм. Цифровые записи вулcano-тектонических землетрясений, произошедших в районе Толбачинского дола, сначала корректировались на амплитудно-частотную характеристику сейсмического канала станции и пропускались через полосовые цифровые фильтры (рис. 2). В работе было выбрано четыре октановых фильтра Баттерворта третьего порядка с полосами пропускания: 1-2; 2-4, 4-8; 8-16. Осевые частоты цифровых полосовых фильтров: 1.5; 3.0; 6.0; 12.0. Обработка записей вулcano-тектонических землетрясений выполнялась отдельно по каждой частотной полосе. Для каждого из трех каналов записи скорости оценивался квадрат амплитуды огибающей. На записях землетрясений отмечались первые вступления *S*-волн, и после этого в трех временных окнах [6] рассчитывались значения экспериментальных интегралов объемной плотности сейсмической энергии.

Расчет теоретических интегралов объемной плотности сейсмической энергии выполнен с использованием приближенного аналитического решения уравнения переноса сейсмической энергии, которое было предложено в [6].

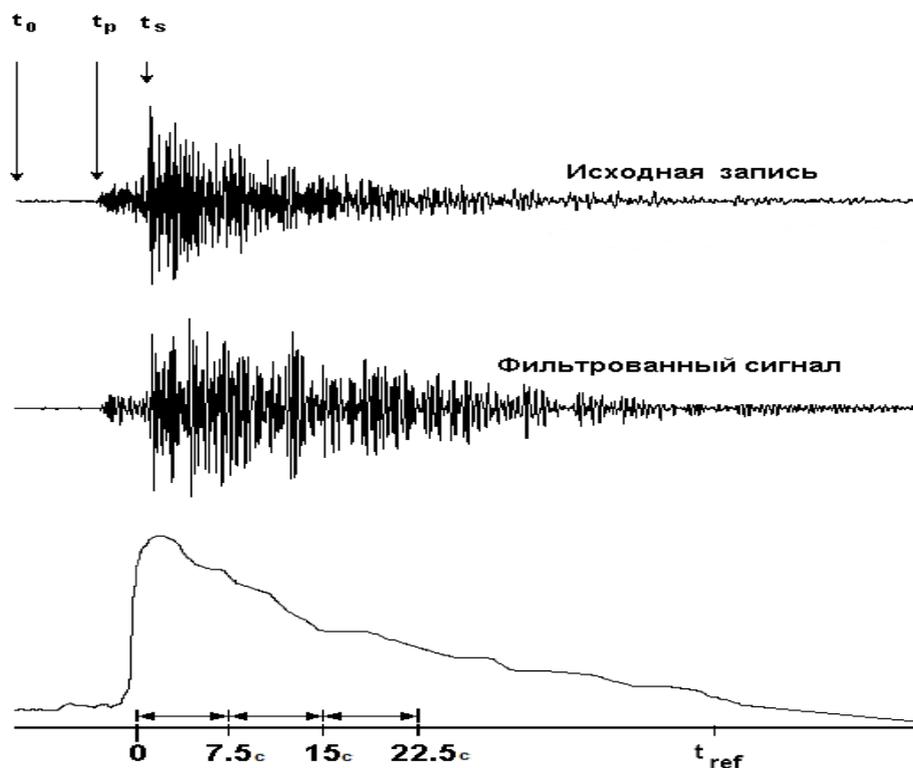


Рис. 2. Пример обработки волновых форм вулкано-тектонического землетрясения.

Для получения точечных оценок суммарного затухания  $\alpha_t$  и «сейсмического альбедо»  $B_0$ , значения теоретических интегралов объемной плотности сейсмической энергии сравнивались способом перебора с соответствующими значениями экспериментальных нормированных интегралов объемной плотности сейсмической энергии, а затем решалась задача минимизации функции.

Искомými точечными оценками являлась пара значений, принимающая минимум целевой функции.

### Результаты

В районе Толбачинского дола было несколько извержений. Последнее трещинное Толбачинское извержение произошло в этом районе в 2012-2013 гг. Изменение вулканической активности сопровождается усилением сейсмической активности [3].

Для получения точечных оценок параметров суммарного затухания  $\alpha_t$  и «сейсмического альбедо»  $B_0$ , выбирается подходящий вариант, при котором обеспечивается наилучшая подгонка значений экспериментальных нормированных интегралов к теоретическим значениям интегралов объемной плотности сейсмической энергии (табл. 1).

Таблица 1. Оценки параметров суммарного затухания и сейсмического альбедо

Станция (код)	N	$\alpha_t$				$B_0$			
		1.5	3.0	6.0	12.0	1.5	3.0	6.0	12.0
KMN	42	0.07	0.11	0.08	0.08	0.70	0.58	0.72	0.74
KPT	23	0.06	0.09	0.09	0.09	0.72	0.66	0.70	0.78
KIR	52	0.05	0.08	0.10	0.10	0.64	0.64	0.64	0.74
ZLN	24	0.08	0.08	0.08	0.11	0.66	0.74	0.68	0.76

Указанные параметры «сейсмического альбедо»  $B_0$  для большинства станций и для большинства частот больше, чем 0.5.

Из понятия «сейсмического альбедо» можно найти коэффициенты рассеивания и внутреннего поглощения, средние длины свободного пробега сейсмической волны и соответствующие добротности. Значение скорости сейсмических волн в районе Толбачинского дола было принято равным 3 км/сек.

Из оценок суммарного затухания  $\alpha_t$  и «сейсмического альбедо»  $B_0$  были вычислены остальные параметры, результаты которых показаны в таблице 2.

Таблица 2. Сводная таблица производных параметров поглощения и рассеивания

Станция	f, Гц	$l_t$	$l_s$	$l_i$	$\alpha_s$	$\alpha_i$	$Q_t$	$Q_s$	$Q_i$
KMN	1.5	14.3	20.4	47.6	0.049	0.021	45	64	150
	3.0	10.0	15.9	27.0	0.063	0.037	63	100	170
	6.0	12.5	17.4	44.6	0.058	0.022	157	218	561
	12.0	12.5	16.9	48.1	0.059	0.021	314	424	1208
KPT	1.5	16.7	23.1	59.5	0.043	0.017	52	73	187
	3.0	11.1	16.8	32.7	0.059	0.031	70	106	205
	6.0	11.1	15.9	37.0	0.063	0.027	140	199	465
	12.0	11.1	14.2	50.5	0.070	0.020	279	358	1267
KIR	1.5	20.0	31.3	55.6	0.032	0.018	63	98	174
	3.0	12.5	19.5	34.7	0.051	0.029	79	123	218
	6.0	10.0	15.6	27.8	0.064	0.036	126	196	349
	12.0	10.0	13.5	38.4	0.074	0.026	251	339	966
ZLN	1.5	12.5	18.9	36.8	0.053	0.027	39	59	115
	3.0	12.5	16.9	48.1	0.059	0.021	79	106	302
	6.0	12.5	18.4	39.1	0.054	0.026	157	231	491
	12.0	9.1	12.1	37.9	0.084	0.026	228	300	952

### Выводы

На основе исследования 67 волновых форм вулcano-тектонических землетрясений, произошедших в районе Толбачинского дола за период 2000-2017 гг., в работе были получены предварительные оценки характеристик затухания поперечных сейсмических волн, которые характеризуют физическое состояние вулканогенных горных породы в этом районе.

Величина «сейсмического альбедо»  $B_0$  на большинстве станций больше 0.5, что говорит о том, что в суммарном затухании преобладает рассеивание.

### Список литературы

1. Горельчик В.И., Зобин В.М., Токарев П.И. Сейсмичность вулканов // Вулканология и сейсмология. 1987. № 6. С. 61-77.
2. Двигало В.Н., Федотов С.А., Чирков А.М. Вулкан Плоский Толбачик // Действующие вулканы Камчатки. М.: Наука, 1991. Т. 1. С. 200-213.
3. Сеньюков С.Л., Нуждина И.Н., Дроздина С.Я., и др. Сейсмичность района вулкана Плоский Толбачик в 2000-2013 гг. // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Четвертой научно-технической конференции. Петропавловск-Камчатский. 29 сентября – 5 октября 2013 г. Обнинск: ГС РАН, 2013. С. 103-107.
4. Токарев П.И. Вулканические землетрясения Камчатки. Москва: Наука, 1981. 164 с.
5. Федотов С.А. Энергетическая классификация Курило-Камчатских землетрясений и проблема магнитуд. М.: Наука, 1972. 116 с.
6. Fehler M., Hoshiaba M., Sato H., Obara K. Separation of scattering and intrinsic attenuation for the Kanto Tokai region, Japan using measurements of the energy vs hypocentral distance // Geophysical Journal International. 1992. V. 108. P. 787-800.