

Механизмы очагов сильных вулкано-тектонических землетрясений вулкана Плоский Толбачик

Лемзиков М.В.

Focal mechanisms of strong volcano-tectonic earthquakes of Plosky Tolbachik volcano Lemzikov M.V.

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский;

e-mail: lemzikov@kscnet.ru

Определены механизмы очагов по полярностям P -волн сильных вулкано-тектонических землетрясений вулкана Плоский Толбачик. Использовались волновые формы сейсмограмм, зарегистрированные Ключевской и Козыревской сетями радиотелеметрических сейсмических станций, установленных вблизи, вокруг и на конусах вулканов Северной группы.

Введение

Самая крупная на полуострове Камчатка Северная группа вулканов, площадь которой составляет 8500 м^2 , расположена в Центральной Камчатской депрессии. Большую часть Северной группы занимает Ключевская группа вулканов. Она состоит из вулканов Ключевской, Безымянный, Ушковский, Крестовский и вулканов Толбачинского массива (вулканов Острый, Плоский Толбачик и Толбачинского дола). К северу от Ключевской группы вулканов находится гигантский вулканический массив Шивелуч с активным вулканом молодой Шивелуч. К югу от Ключевской группы расположен вулкан Кизимен. Вся эта группа вулканов расположена на стыке Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг [5].

Действующий вулкан Плоский Толбачик (абс. высота 3085 м, относительная – около 2000 м) вместе с потухшим Острым Толбачиком (абс. высота 3862 м) является крупнейшим вулканом юго-западного сектора Ключевской группы вулканов. Сросшиеся постройки Острого и Плоского Толбачика представляют единый большой вулканический массив, однако морфологически они четко различаются. Вершина Плоского Толбачика срезана кальдерой гавайского типа диаметром около 3 км, в его западной части располагается малая кальдера-впадина диаметром 1.8 и глубиной 450 км [3].

В период сейсмической деятельности под фундаментом и вокруг фундамента вулкана Плоский Толбачик было зарегистрировано некоторое количество сильных вулкано-тектонических землетрясений.

Удачное расположение 19 радиотелеметрических сейсмических станций Ключевского и Козыревского кустов вблизи вулканов, на их конусах и вокруг Северной группы вулканов позволяет определить механизмы очагов сильных вулкано-тектонических землетрясений вулкана Плоский Толбачик.

В данной работе поставлена цель определить параметры механизмов очагов сильных вулкано-тектонических землетрясений вулкана Плоский Толбачик.

Исходные данные

В работе использовались волновые формы сильных вулкано-тектонических землетрясений вулкана Плоский Толбачик. Они выбирались из архива Камчатского филиала Федерального исследовательского центра Единой геофизической службы РАН (КФ ФИЦ ЕГС РАН) [7]. Глубины выбранных землетрясений – от 0 до 20 км, энергетический класс $K_{51,2}^{\Phi 68}$ – не ниже седьмого [6].

Регистрация вулкано-тектонических землетрясений выполнена двумя сетями радиотелеметрических сейсмических станций Ключевского и Козыревского кустов (КФ ФИЦ ЕГС РАН), установленных вблизи и на конусах Северной группы вулканов, а также в окрестностях п. Ключи и п. Козыревск: Байдарная (BDR), Семкарок (SMK), Сорокина (SRK), Цирк (CIR), Логинов (LGN), Крестовский (KRS), Ключи (KLY),

Безымянный (BZM), Безымянный – Грива (BZG), Безымянный – Запад (BZW), Срединный (SRD), Зеленая (ZLN), Киришева (KIR), Козыревск (KOZ), Каменистая (KMN), Крутоберегово (KBT) (рис. 1).

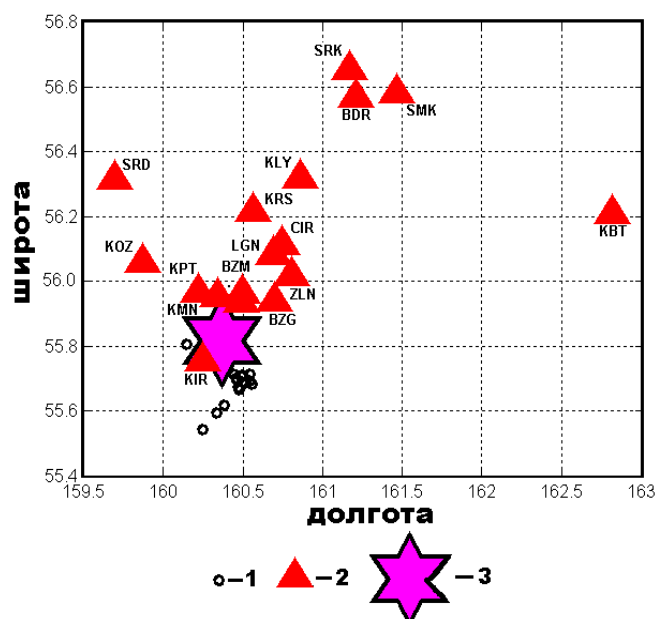


Рис. 1. Карта района исследования.

1 – эпицентры вулcano-тектонических землетрясений вулкана Плоский Толбачик, рассмотренных в работе;
2 – радиотелеметрические сейсмические станции;
3 – вершина вулкана Плоский Толбачик.

Рассмотренные в работе вулcano-тектонические землетрясения вулкана Плоский Толбачик были относительно сильными событиями, поэтому сейсмические сигналы были хорошо зарегистрированы на многих радиотелеметрических сейсмических станциях. Они относятся к вулcano-тектоническим землетрясениям по определению Г.С. Горшкова [2] (рис. 2).

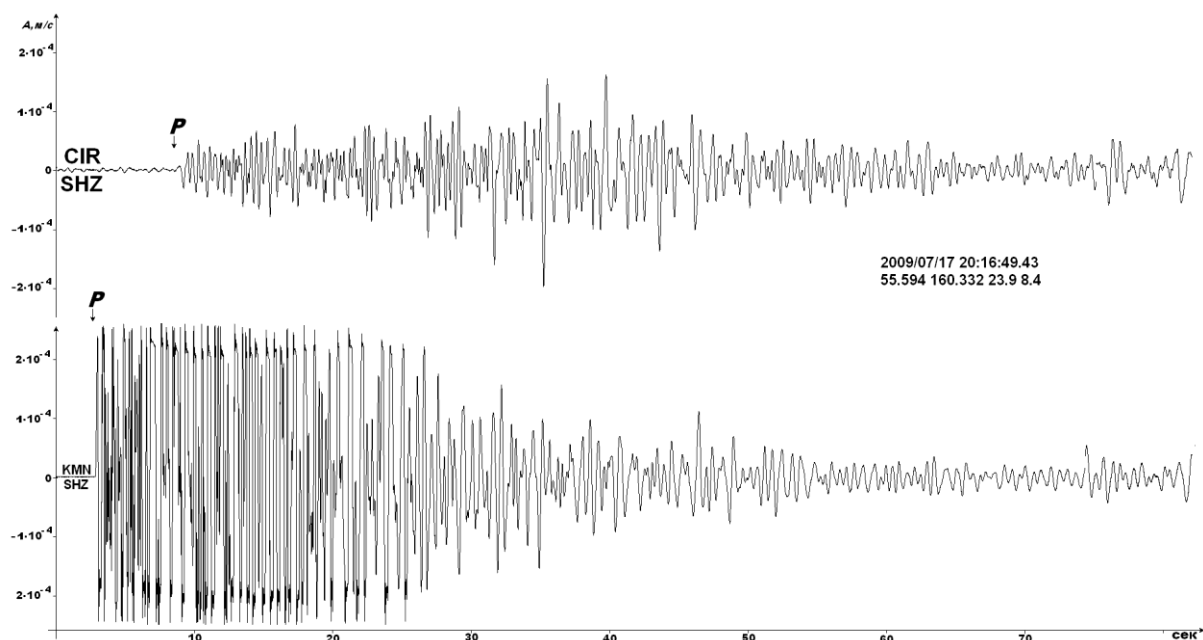


Рис. 2. Примеры волновых форм вулcano-тектонических землетрясений вулкана Плоский Толбачик, зарегистрированные вертикальными сейсмическими каналами станций Цирк (CIR) и Каменистая (KMN).

Остановимся на этом вопросе более подробно. Общеизвестно деление землетрясений на «вулканические» и «тектонические»; обычно подробно описываются характер и происхождение землетрясений «тектонических», а о «вулканических»

даются довольно неопределенные сведения, позволяющие думать, что «вулканические» землетрясения имеют какие-то существенные особенности происхождения, отражающиеся и в записи, и на сейсмограмме. В работе [2] предлагается называть землетрясения тектонического происхождения в районах действующего вулканизма «вулкано-тектоническими», подчеркивая их тектонический характер и приуроченность к району вулканизма.

На всех радиотелеметрических сейсмических станциях установлен трехкомпонентный короткопериодный канал для регистрации скорости смещений грунта: один вертикальный (SHZ) и два горизонтальных (SHE, SHN), а также дополнительно еще одна вертикальная компонента для регистрации скорости смещений грунта с повышенным уровнем чувствительности (EHZ).

Следует отметить, что не все волновые формы вулкано-тектонических землетрясений вулкана Плоский Толбачик подходят для определения механизмов очагов. На некоторых цифровых сейсмограммах сигналы волновых форм вулкано-тектонических землетрясений едва видны на фоне шума, а на других сигналы находятся близко друг к другу. Поэтому использовались только такие сейсмограммы вулкано-тектонических землетрясений, у которых волновые формы имеют четкие вступления *P*-волн на фоне шума.

Метод

Имеются разные методы для определения механизмов очагов землетрясений. Широко известны комплексы программ под названием FPFIT, FPLOT и др., разработанные во второй половине XX века по идеям работы [1]. Алгоритмы, инструкции, описание и тексты этих программ доступны для специалистов на различных сайтах (например, <http://www.usgs.gov/>).

В работе для определения параметров и построения механизмов очагов вулкано-тектонических землетрясений вулкана Плоский Толбачик использовался комплекс программ [8].

Для определения механизмов очагов землетрясений необходимы: 1) полярности первых вступлений *P*-волн; 2) географические координаты станций и очага; 3) эпицентральные расстояния и азимуты из очагов на станции; 4) углы выхода сейсмических волн на станциях [3]. Все эти измерения влияют на точность определения механизмов очагов [4]. Чем больше количество станций, тем точнее определение механизмов очагов. Вычисления углов выхода сейсмических волн на станциях выполнялись с использованием скоростной модели среды, которая применяется на Камчатке для определения географических координат очагов землетрясений и включает слои выше уровня моря. Учет вертикальных и горизонтальных особенностей скоростной модели при конкретном положении очага землетрясения и станции выполнялся за счет разбиения среды на мелкие горизонтальные блоки с конкретными значениями скоростей сейсмических волн.

Механизмы очагов вулкано-тектонических землетрясений

В результате использования комплекса программ FPFIT, FPLOT [8] были получены параметры 15 механизмов очагов сильных вулкано-тектонических землетрясений вулкана Плоский Толбачик. Тип разлома у большинства механизмов очагов представлен сдвигом. Параметры механизмов очагов, полученные в данной работе, показаны в таблице.

Таблица. Механизмы очагов вулcano-тектонических землетрясений вулкана Плоский Толбачик

№	Дата	Time (UTC)	Координаты очага			К	Механизм очага			
			φ, с.ш.	λ, в.д.	Н, км		STR	DIP	RAKE	
1	2008/08/08	06:28:33.13	55.619	160.382	6.3	7.8	225	65	-138	
2	2009/07/17	20:16:49.43	55.594	160.332	23.9	8.4	351	79	179	
3	2018/08/18	18:41:36.45	55.685	160.555	2.9	8.8	324	65	155	
4	2018/08/19	02:20:44.13	55.693	160.543	3.0	8.3	326	67	169	
5	2018/08/26	13:12:04.08	55.712	160.499	15.1	8.2	232	57	-176	
6	2019/04/13	12:12:22.75	55.701	160.453	18.6	7.5	258	57	-153	
7	2020/06/21	02:28:59.80	55.807	160.146	14.6	8.0	198	64	-165	
8	2021/01/31	04:59:26.37	55.672	160.470	9.9	9.3	248	67	180	
9	2021/01/31	06:22:21.80	55.665	160.478	3.8	7.9	343	62	-163	
10	2021/05/31	18:52:37.08	55.715	160.543	5.2	8.9	223	58	175	
11	2021/06/10	10:24:42.96	55.687	160.514	7.0	10.1	309	62	-161	
12	2022/05/05	22:43:19.17	55.544	160.246	8.9	7.9	312	59	-164	
13	2023/07/16	02:55:28.22	55.690	160.495	12.4	8.6	294	59	-163	
14	2023/07/20	04:28:50.51	55.714	160.442	17.1	9.1	323	60	-169	
15	2023/07/29	13:45:53.86	55.707	160.492	13.8	8.5	343	66	166	

Выводы

На примере волновых форм сейсмических сигналов вулcano-тектонических землетрясений вулкана Плоский Толбачик опробован метод определения механизмов очагов с использованием поляризации первых вступлений *P*-волн. Определены параметры механизмов очагов вулcano-тектонических землетрясений вулкана Плоский Толбачик.

Работа выполнена с использованием данных, полученных на уникальной научной установке «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира» [7].

Список литературы

1. Введенская А.В. Определение полей смещений при землетрясениях с помощью теории дислокаций // Известия АН СССР. Серия геофизическая. 1956. № 3. С. 34-47.
2. Горишков Г.С. Вулканическое дрожание, связанное с прорывом кратера Былинкиной // Бюллетень вулканологической станции. 1954. № 23. С. 33-37.
3. Двигало В.Н., Федотов С.А., Чирков А.М. Вулкан Плоский Толбачик // Действующие вулканы Камчатки. М.: Наука, 1991. Т. 1. С. 200-209.
4. Лемзиков В.К., Лемзиков М.В. Изучение механизмов очагов слабых вулканических землетрясений в период подготовки и извержения вулкана Корякский (2008-2009 гг.) // Вулканология и сейсмология. 2015. № 6. С. 34-43.
5. Мелекесцев И.В., Хренов А.П., Кожемяка Н.Н., Тектоническое положение и общий очерк вулканов Северной группы и Срединного хребта // Действующие вулканы Камчатки. М.: Наука, 1991. Т. 1. С. 74-78.
6. Федотов С.А. Энергетическая классификация Курило-Камчатских землетрясений и проблема магнитуд. М.: Наука, 1972. 116 с.
7. Чеброва А.Ю., Чемарев А.С., Матвеев Е.А. и др. Единая информационная система сейсмологических данных в Камчатском филиале ФИЦ ЕГС РАН: принципы организации, основные элементы, ключевые функции // Геофизические исследования. 2020. Т. 21. № 3. С. 66-91.
8. Reasenber P., Oppenheimer D. FPFIT, FPLOT and FPPAGE: Fortran computer programs for calculating and displaying earthquake fault-plane solutions // U.S. Geological Survey Open-File Report. 1985. № 85-739. 109 p.