

Механизмы очагов вулcano-тектонических землетрясений вулкана Ключевской

Лемзиков М.В.

Focal mechanisms of volcanic-tectonic earthquakes of Klyuchevskoy volcano

Lemzikov M.V.

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

e-mail: lemzikov@kscnet.ru

В работе выполнено определение механизмов очагов вулcano-тектонических землетрясений вулкана Ключевской. Использовались волновые формы сейсмограмм, зарегистрированные Ключевской сетью радиотелеметрических сейсмических станций, установленных на конусе, вблизи и вокруг вулкана. Механизмы очагов определялись по полярностям *P*-волн.

Введение

Ключевская группа вулканов расположена на полуострове Камчатка в северной части Центрально-Камчатской депрессии [2, 8]. Она состоит из вулканов Ключевской, Безымянный, Ушковский, Крестовский и вулканов Толбачинского массива (вулканов Острый, Плоский Толбачик, и Толбачинского дола). Самый северный вулкан в Центральной Камчатской депрессии – вулкан Шивелуч. К югу от Ключевской группы вулканов расположен вулкан Кизимен. Тип извержений Ключевского вулкана – эффузивно-эксплозивный. Постройка вулкана Ключевской сложена лавовыми потоками, пеплами и шлаками. В постройке вулкана пепловые и шлаковые слои сложно перемежаются с интрузивными телами и погребенными лавовыми потоками. Расположение Ключевской радиотелеметрической сейсмической сети станций вблизи вулканов, на их конусах и вокруг Северной группы вулканов позволяет определить механизмы очагов вулcano-тектонических землетрясений вулкана Ключевской.

В данной работе поставлена цель определить параметры механизмов очагов сильных вулcano-тектонических землетрясений вулкана Ключевской и сопоставить «визуально» на экране компьютера по дате механизмы очагов с плоско-ориентированными кластерами.

Исходные данные

В работе использовались волновые формы сильных вулcano-тектонических землетрясений вулкана Ключевской. Они выбирались из архива Камчатского Филиала Федерального Исследовательского Центра «Единая геофизическая служба РАН» (КФ ФИЦ ЕГС РАН) [6]. Глубины выбранных землетрясений – от 0 до 20 км, энергетический класс $K_{S1,2}^{\phi 68}$ – не ниже седьмого [7].

Регистрация вулcano-тектонических землетрясений выполнена Ключевской радиотелеметрической сетью сейсмических станций (КФ ФИЦ ЕГС РАН), установленных на конусе, вблизи и в окрестностях Северной группы вулканов. Это станции 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) (рис. 1).

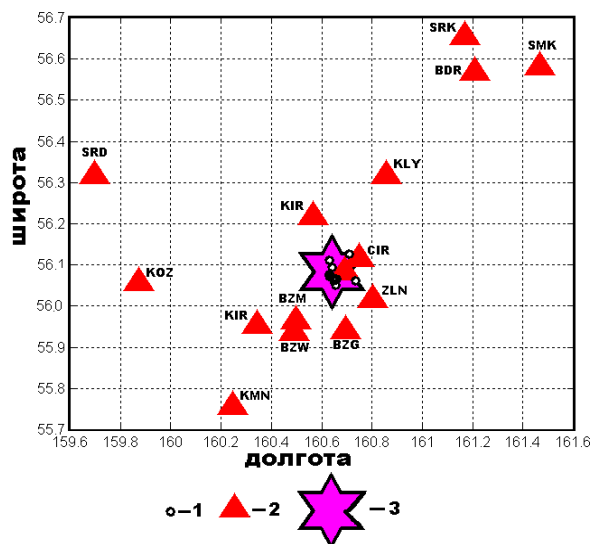


Рис. 1. Карта района исследования.
 1 – эпицентры вулcano-тектонических землетрясений вулкана Ключевской, рассмотренных в работе;
 2 – радиотелеметрические сейсмические станции;
 3 – вершина вулкана Ключевской.

Рассмотренные в работе вулcano-тектонические землетрясения вулкана Ключевской были относительно сильными событиями, поэтому они были хорошо зарегистрированы на 15-ти станциях (записи представлены четкими вступлениями *P* и *S* сейсмических волн). Они относятся к I типу вулканических землетрясений по классификации П.И. Токарева [5] (рис. 2).

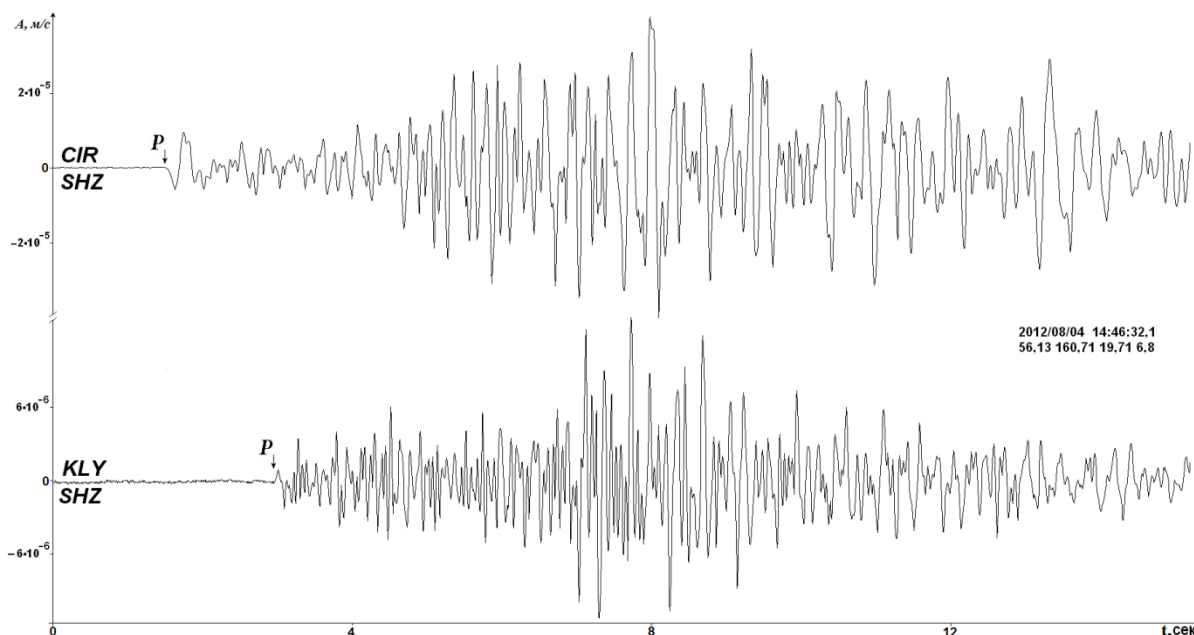


Рис. 2. Примеры волновых форм вулcano-тектонических землетрясений вулкана Ключевской, зарегистрированных вертикальными сейсмическими каналами станций Цирк (CIR) и Ключи (KLY).

На всех радиотелеметрических сейсмических станциях 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).

Метод

Имеются разные методы для определения механизмов очагов землетрясений. Широко известны комплексы программ под названием FPFIT, FPPLOT [9] 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/>).

На основе созданного алгоритма [9] в работе [4] был разработан комплекс программ для определения параметров и построения механизмов очагов вулканотектонических землетрясений. Для таких событий можно определять только полярности первых вступлений *P*-волн (рис. 2).

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. Все эти измерения влияют на точность определения механизмов очагов. 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 вулканотектонических землетрясений вулкана Ключевской

Следует отметить, что не все волновые формы вулканотектонических землетрясений вулкана Ключевской подходят для определения механизмов очагов. На некоторых цифровых сейсмограммах волновые формы вулканотектонических землетрясений едва видны на фоне помех. Поэтому использовались только такие сейсмограммы вулканотектонических землетрясений, у которых волновые формы имеют четкие вступления *P*-волн на фоне помех.

В результате были получены 14 механизмов очагов сильных вулканотектонических землетрясений вулкана Ключевской. Механизмы очагов, полученные в данной работе, показаны в таблице.

Таблица. Механизмы очагов вулканотектонических землетрясений вулкана Ключевской

№	Дата	Time (UTC)	Координаты очага			К	Механизм очага			
			φ, с.ш.	λ, в.д.	Н, км		STR	DIP	RAKE	
1	2008/04/19	11:29:07.1	56.06	160.74	2.2	6.8	53	73	-136	
2	2008/05/08	23:39:52.2	56.05	160.66	8.5	7.0	62	67	129	
3	2008/07/04	06:02:17.1	56.09	160.64	16.2	6.9	74	73	-109	
4	2008/07/30	20:15:29.1	56.07	160.65	5.6	7.1	32	63	-115	
5	2008/08/10	22:37:29.1	56.07	160.64	10.8	8.2	334	48	-134	
6	2008/08/29	06:27:08.4	56.06	160.65	11.6	8.3	265	61	-143	
7	2012/08/04	14:46:32.1	56.13	160.71	19.7	6.8	60	63	-154	
8	2012/12/03	04:08:21.2	56.11	160.63	13.9	6.7	231	51	166	
9	2012/12/06	17:32:02.0	56.07	160.63	3.8	7.1	290	57	-176	
10	2013/02/27	19:31:58.0	56.07	160.63	5.3	6.8	85	55	176	
11	2013/03/10	18:28:02.2	56.07	160.63	3.4	6.8	80	59	-170	
12	2013/03/12	06:39:01.6	56.07	160.63	3.3	7.4	10	51	-179	
13	2013/03/29	22:38:20.4	56.07	160.66	3.6	6.8	126	72	-118	
14	2013/04/05	09:15:48.6	56.07	160.63	4.1	7.9	337	59	-150	

Сопоставление ориентации плоско-ориентированных кластеров и механизмов очагов вулкано-тектонических землетрясений

Анализ локальной сейсмичности в пределах Северной группы вулканов в период 2000-2020 гг. позволяет выявить плоско-ориентированные кластеры, интерпретируемые как процесс внедрения даек и силлов (магматического фразинга).

Выявление плоско-ориентированных площадок выполнено с помощью программы Frac-Digger [3].

Параметры механизмов очагов сравнивались «визуально» по дате с плоско-ориентированными кластерами вулканических землетрясений Северной группы вулканов. В результате выборки и сопоставления с датами механизмов очагов были получены наиболее подходящие номера плоско-ориентированных кластеров № 573, № 583 (дата 2008/04/19) и № 813 (дата 2012/08/04).

Выводы

На примере вулкана Ключевской опробован метод определения механизмов очагов землетрясений с использованием поляризации первых вступлений *P*-волн. Определены механизмы очагов вулкано-тектонических землетрясений вулкана Ключевской.

Визуализация и сопоставление по дате механизмов очагов вулкано-тектонических землетрясений с плоско-ориентированными кластерами показало небольшое совпадение полученных в работе механизмов очагов с плоско-ориентированными кластерами.

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».

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-27-00127, <https://rscf.ru/project/23-27-00127/>.

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. *Иванов Б.В., Балеста С.Т.* Глубинное строение, сейсмичность и современная деятельность Ключевской группы вулканов. Владивосток, 1976. 149 с.
3. *Кирюхин А.В., Федотов С.А., Кирюхин П.А.* Геомеханическая интерпретация локальной сейсмичности, связанная с извержениями и активизацией вулканов Толбачик, Корякский и Авачинский, Камчатка, 2008-2012 гг. // Вулканология и сейсмология. 2016. № 5. С. 1-8.
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. *Токарев П.И.* Вулканические землетрясения Камчатки. М.: Наука, 1981. 164 с.
6. *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.
7. *Федотов С.А.* Энергетическая классификация Курило-Камчатских землетрясений и проблема магнитуд. М.: Наука, 1972. 116 с.
8. *Хренов А.П., Двигало В.Н., Кирсанов И.Т. и др.* Ключевской вулкан // Действующие вулканы Камчатки. М.: Наука, 1991. Т. 1. С. 106-153.
9. *Reasenber P., Oppenheimer D.* FPFIT, FPPLLOT 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.