

Механизмы очагов вулcano-тектонических землетрясений вулкана Шивелуч

Лемзиков М.В.

Focal mechanisms of volcano-tectonic earthquakes of Shiveluch volcano

Lemzikov M.V.

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

e-mail: lemzikov@kscnet.ru

В работе выполнено определение механизмов очагов по поляриностям *P*-волн сильных вулcano-тектонических землетрясений вулкана Шивелуч. Использовались волновые формы сейсмограмм, зарегистрированные Ключевской и Козыревской сетями радиотелеметрических сейсмических станций, установленные вблизи, вокруг на конусах вулканов.

Введение

Самая крупная на Камчатке Северная группа вулканов, площадь которой составляет 8500 м², расположена на полуострове Камчатка в Центрально-Камчатской депрессии [5]. Большую часть 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 вулканов расположен вулкан Кизимен. Вся эта группа вулканов расположена на стыке Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг.

Шивелуч – это одно из крупнейших вулканических сооружений Камчатки. Поперечник его основания, включая пояс аккумулятивных равнин подножий вулкана, равен 45-50 км, площадь не менее 1300 м². Вулкан Шивелуч сложен преимущественно породами андезитового и андезито-базальтового состава. Абсолютная высота 3283 м (Главная вершина), высшая точка действующего аппарата (Молодой Шивелуч) около 2800 м. Современная постройка вулкана Шивелуч включает три главных элемента: Старый Шивелуч, древнюю кальдеру и активный Молодой Шивелуч. Старый Шивелуч по морфологии и особенностям геологического строения следует считать сложно построенным полигенным стратовулканом. Основание стратовулкана во всех секторах (кроме южного, уничтоженного при образовании кальдеры) сложено мощной (местами более 1500 м) грубообломочной толщей существенно андезитового состава. Локально, преимущественно в восточном и северо-восточном секторах, на высотах 1500-1800 м наблюдается пачка чередующихся лав и пироклаستيки состава оливин-пироксеновых андезито-базальтов. Для последних 10 тыс. лет и исторического времени (XIX-XX вв.) для вулкана Шивелуч были характерны преимущественно два типа извержений: катастрофические эксплозивные типа направленных взрывов, ось которых наклонена под острым углом (40-60°) к горизонту, и субвертикальные с близким к вертикальному выбросом пироклаستيки; слабые и умеренные по силе извержения, сопровождавшие рост эксплозивных куполов [5]. В период подготовки к извержениям и во время извержения вулкана Шивелуч были зарегистрированы вулcano-тектонические землетрясения.

Удачное расположение двух радиотелеметрических сейсмических кустов Ключевского и Козыревского вблизи вулканов, на их конусах и вокруг Северной группы вулканов позволяет определить механизмы очагов вулcano-тектонических землетрясений вулкана Шивелуч.

В данной работе поставлена цель определить параметры механизмов очагов сильных вулcano-тектонических землетрясений вулкана Шивелуч.

Исходные данные

В работе использовались волновые формы сильных вулcano-тектонических землетрясений вулкана Шивелуч. Они выбирались из архива Камчатского филиала

Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук» (КФ ФИЦ ЕГС РАН) [4]. Глубины выбранных землетрясений – от 0 до 20 км, энергетический класс $K_{51,2}^{\Phi 68}$ – не ниже седьмого [4].

Регистрация вулcano-тектонических землетрясений выполнена Ключевской и Козыревской сетями радиотелеметрических сейсмических станций (КФ ФИЦ ЕГС РАН), установленных вблизи и на конусах Северной группы вулканов, а также в окрестностях населенных пунктов Ключи и 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 (КБТ) (рис. 1).

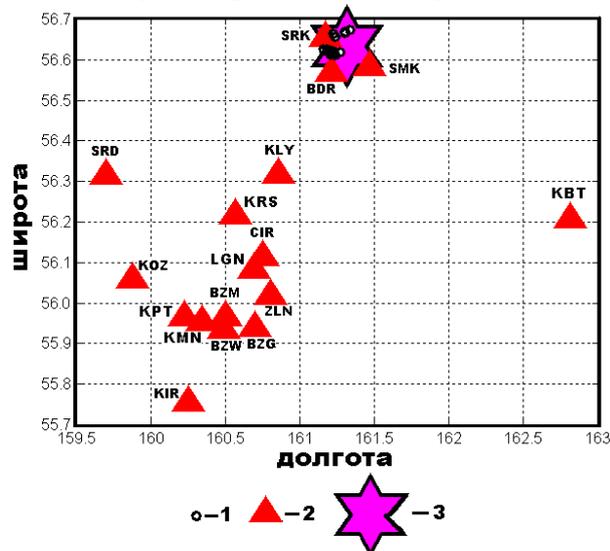


Рис. 1. Карта района исследования.
1 – эпицентры вулcano-тектонических землетрясений вулкана Шивелуч, рассмотренных в работе;
2 – радиотелеметрические сейсмические станции;
3 – вершина вулкана Шивелуч.

Рассмотренные в работе вулcano-тектонические землетрясения вулкана Шивелуч были относительно сильными событиями, поэтому сейсмические сигналы были хорошо зарегистрированы на 15 радиотелеметрических сейсмических станциях. Они относятся к вулcano-тектоническим землетрясениям по определению Г.С. Горшкова [2] (рис. 2).

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 «вулcano-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), и дополнительно еще одна вертикальная компонента для регистрации скорости смещений грунта с повышенным уровнем чувствительности (EHZ).

Следует отметить, что не все волновые формы вулcano-тектонических землетрясений вулкана Шивелуч подходят для определения механизмов очагов. На некоторых цифровых сейсмограммах сигналы волновых форм вулcano-тектонических землетрясений едва видны на фоне шума. Поэтому использовались только такие сейсмограммы вулcano-тектонических землетрясений, у которых волновые формы имеют четкие вступления P -волн на фоне помех.

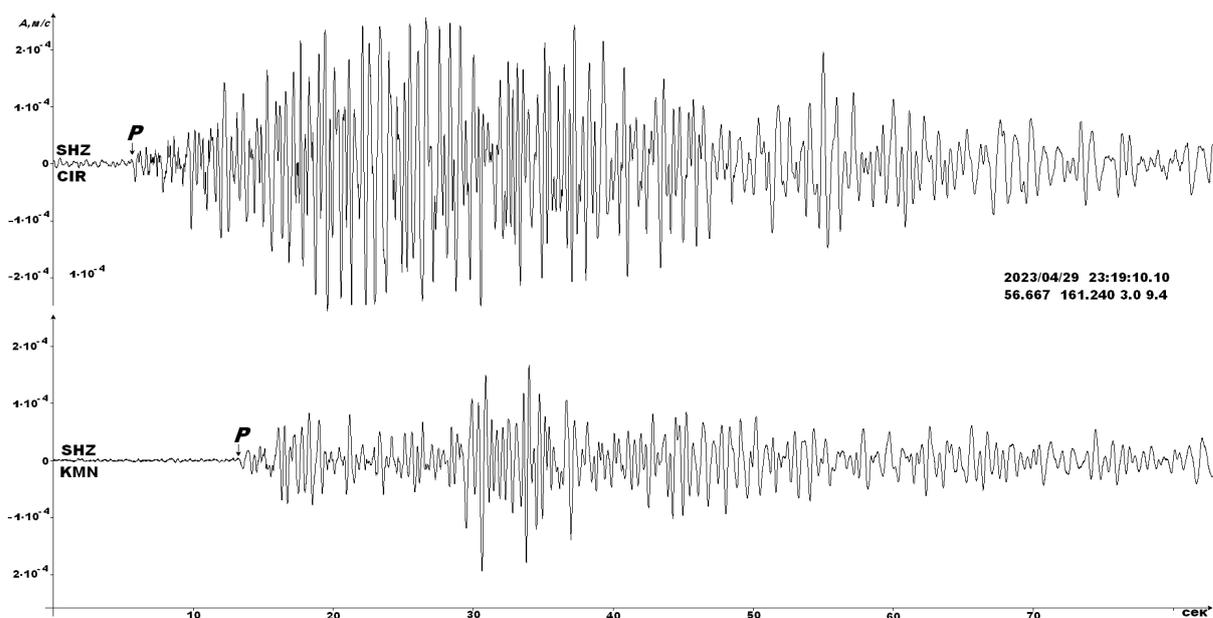


Рис. 2. Примеры волновых форм вулcano-тектонических землетрясений вулкана Шивелуч, зарегистрированные вертикальными сейсмическими каналами станций Цирк (CIR) и Каменистая (KMN).

Метод

Существуют 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 использовался комплекс программ [7] для определения параметров и построения механизмов очагов вулcano-тектонических землетрясений вулкана Шивелуч.

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. 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 вулcano-тектонических землетрясений

В результате использования комплекса программ FPFIT, FPLOT [7] были получены параметры 15 механизмов очагов сильных вулcano-тектонических землетрясений вулкана Шивелуч. По механизмам очага они представлены сбросами и взбросами. Параметры механизмов очагов, полученные в данной работе, показаны в таблице.

Таблица. Механизмы очагов вулcano-тектонических землетрясений вулкана Шивелуч

№	Дата	Time (UTC)	Координаты очага			К	Механизм очага			
			φ, с.ш.	λ, в.д.	Н, км		STR	DIP	RAKE	
1	2008/04/24	07:57:40.3	56.62	161.27	3.1	7.0	214	55	-123	
2	2009/04/03	19:10:45.0	56.67	161.33	6.6	8.1	313	62	-153	
3	2009/05/16	09:32:03.5	56.66	161.31	5.7	7.8	59	65	-142	
4	2011/05/31	03:14:26.0	56.61	161.24	0.9	7.0	247	58	-176	
5	2014/10/15	02:16:20.4	56.67	160.30	1.2	8.6	30	63	-145	
6	2023/04/29	23:19:10.1	56.66	161.24	3.0	9.4	337	62	-149	
7	2023/04/30	01:14:15.0	56.66	161.22	2.8	9.0	204	68	171	
8	2023/04/30	06:16:56.8	56.62	161.21	2.3	8.1	360	66	160	
9	2023/05/01	00:32:52.0	56.62	161.20	2.9	8.2	132	68	157	
10	2023/05/01	02:32:51.0	56.63	161.18	20.2	7.8	16	58	-143	
11	2023/05/02	00:48:12.2	56.62	161.22	20.8	8.4	233	66	-178	
12	2023/05/03	03:45:10.2	56.61	161.23	21.9	8.6	239	63	-163	
13	2023/05/08	18:38:54.4	56.62	161.22	22.8	8.5	298	55	-147	
14	2023/08/16	06:03:05.6	56.63	161.16	20.2	8.6	0	59	-159	
15	2023/08/25	11:41:42.6	56.62	161.18	21.8	8.2	21	64	-161	

Выводы

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

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» [6].

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. Гориков Г.С. Вулканическое дрожание, связанное с прорывом кратера Былинкиной // Бюллетень вулканологической станции. М.: Академия наук СССР. 1954. № 23. С. 33-37.
3. 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.
4. Федотов С.А. Энергетическая классификация Курило-Камчатских землетрясений и проблема магнитуд. М.: Наука, 1972. 116 с.
5. Хренов А.П., Двигало В.Н., Кирсанов И.Т. и др. Вулкан Шивелуч // Действующие вулканы Камчатки. М.: Наука, 1991. Т. 1. С. 106-153.
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. 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.