

Механизмы очагов вулcano-тектонических землетрясений вулкана Кизимен**М.В. Лемзиков***Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006; e-mail: lemzikov@kscnet.ru*

В работе определены механизмы очагов вулcano-тектонических землетрясений вулкана Кизимен. Использовался метод, основанный на полярностях первых вступлений *P*-волн. Механизмы очагов определялись по волновым формам вулcano-тектонических землетрясений вулкана Кизимен. Азимуты простираний главных нодальных плоскостей механизмов очагов согласуются с азимутом простирания плоскостей разломов и дайки в этом районе.

Введение

Вулкан Кизимен с абсолютной высотой 2485 м, расположен на юго-восточном борту Щапинского грабена на полуострове Камчатка. Вулкан является действующим, имеет коническую форму, тип извержений - эффузивно-эксплозивный.

Известно два исторических извержения вулкана Кизимен, предпоследнее из которых произошло в 1927-1928 году [3]. В декабре 2010 года после более 80 лет молчания началось очередное эксплозивное извержение вулкана Кизимен, которому предшествовала слабая сейсмическая подготовка. Сильное эксплозивное извержение вулкана Кизимен началось 09 декабря 2010 года. Извержение вулкана Кизимен сопровождалось акустическими и сейсмическими эффектами. Оно продолжалось с переменной вулканической и сейсмической активностью, и закончилось только в начале декабря 2013 года.

Если оценить активность вулкана по количеству землетрясений относительно 2009 года, то в 2010 году она увеличилась в 2,5 раза, 2011 году – 25 раз, а в 2012 году уменьшилась почти в 10 раз. В 2011 году было самое мощное поступление магматического вещества по каналу, и оно беспрепятственно поднималось до глубины 3 км под вулкан. Отмечается, что в 2010, 2011 и даже 2012 годы происходили вулканические землетрясения в конусе вулкана, а это означает, что выжималась дайка. В 2012 году мощное поступление магматического вещества постепенно ослабевало, что привело к затвердеванию ее на нижних горизонтах вулканического канала (примерно, в диапазоне глубин от 3 до 6 км под вулканом), процесс извержения вулкана постепенно прекратился (рис.1)

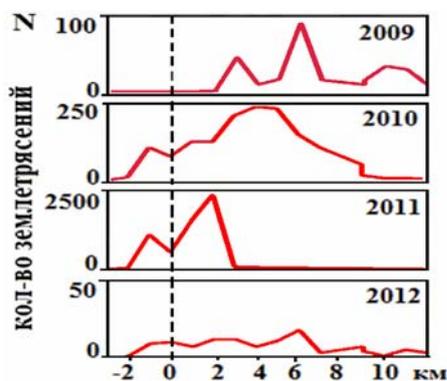


Рис.1. Распределение очагов вулcano-тектонических землетрясений при извержении вулкана Кизимен по параметру глубин очагов по годам. Штриховая линия обозначает нулевую линию горизонта, выше которой они происходили в конусе вулкана.

В литературе есть утверждения, что причиной генерации вулcano-тектонических землетрясений является движение дайки [5]. Не сразу после начала извержения вблизи этого вулкана были установлены радиотелеметрические сейсмические станции, но

после удачного расположения трех станций вокруг вулкана Кизимен, появилась возможность определять очаги вулcano-тектонических землетрясений [2].

В работе поставлена цель определить параметры механизмов очагов вулcano-тектонических землетрясений вулкана Кизимен за период 2011-2012 гг.

Исходные данные

Почти все очаги этих землетрясений при извержении вулкана Кизимен были по магнитудам очень слабые с $M \leq 1,0$. Однако произошло за время извержения вулкана несколько десятков сильных вулcano-тектонических землетрясений с $M \geq 3,0$. Их количество значительно меньше по сравнению с вулcano-тектоническими землетрясениями с $M \leq 1,0$. И они так же использовались для определения параметров механизмов очагов. Волновые формы используемых в работе землетрясений выбирались из архива хранения цифровых сейсмограмм за период 2011-2012 гг. Они относятся к I типу вулканических землетрясений по классификации [4].

Регистрация землетрясений выполнена радиотелеметрическими сейсмическими станциями Камчатского филиала Федерального Исследовательского Центра Единой Геофизической службы РАН (КФ ФИЦ ЕГС РАН). Ближайшие, установленные на склоне и вблизи вулкана Кизимен станции: KZV- («Кизимен»), TUM- («Тумрок») и TUMD- («Тумрок-источники») (рис. 2а).

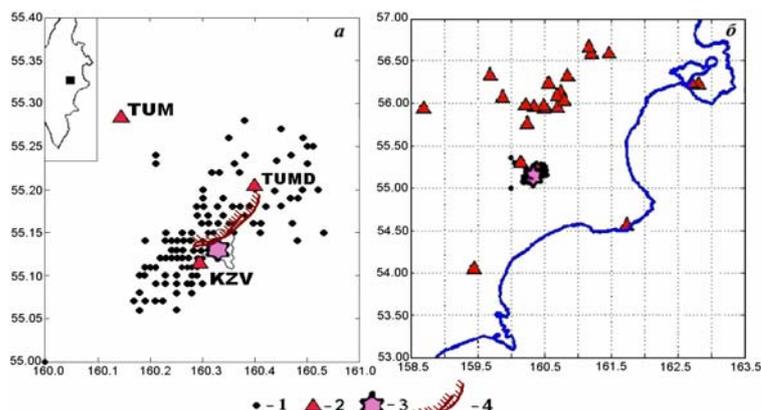


Рис. 2. Карта района исследования. На вкладке черным квадратом показано расположение исследуемого района на карте Камчатки. 1 – эпицентры вулcano-тектонических землетрясений вулкана Кизимен; 2 – радиотелеметрические сейсмические станции; 3 – вершина вулкана Кизимен; 4 – разломы.

Для анализа немногих сильных вулcano-тектонических землетрясений вулкана Кизимен с магнитудой $M \geq 3,0$ использовались данные сейсмических станций, которые показаны на рис. 2б. Сейсмические станции КФ ФИЦ ЕГС РАН предназначены, в том числе, для слежения за активными вулканами и многие из них установлены близко к ним, поэтому из трех станций, установленных на вулкане Кизимен (рис. 2а), в другом географическом масштабе (рис. 2б) видна только одна. При определении параметров механизмов очагов вулcano-тектонических землетрясений Кизимена использовались записи всех станций, на которых их волновые формы были зарегистрированы. Перечислим кодировки и места их установки на Камчатке: BDR («Байданая» - в. Швелуч), VZM («Безымянный» - в. Безымянный), VZG («Безымянный-Грива» - в. Безымянный), VZW («Безымянный-Запад» - в. Безымянный), CIR («Цирк» - в. Ключевской), KBT («Крутоберегово» - пос. Усть-Камчатск), KIR («Киришева» - в. Толбачик), KLY («Ключи» - пос. Ключи), KMN («Каменистая» - в. Толбачик), KOZ («Козыревск» - пос. Козыревск), KPT («Копыто» - в. Толбачик), KRS («Крестовский» - в. Ключевской), KRY («Карымский» - в. Карымский), KZV («Кизимен» - в. Кизимен), LGN («Логинов» - в. Ключевской), MKZ («мыс Козлова» - мыс Кроноцкий), TUM

(«Тумрок» - в. Кизимен), TUMD («Тумрок-источники» - в. Кизимен), SMK («Семкарок» - в. Шевелуч), SRD («Срединный» - хребет Срединный, Камчатка), ZLN («Зеленая» - в. Безымянный).

Метод

Имеются разные методы для определения механизмов очагов землетрясений. Широко известен комплекс программ под названием FPFIT, FPLOT и др. [6], разработанный 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 использован алгоритм программы FPFIT вместе с некоторыми новейшими алгоритмами [6], детализирующими и уточняющими нахождение параметров механизмов очагов землетрясений. На этой основе создан комплекс программ для нахождения и построения механизмов очагов вулcano-тектонических землетрясений. Для такого рода событий можно применить только метод, основанный на определении знаков первых вступлений P -волн (рис. 3).

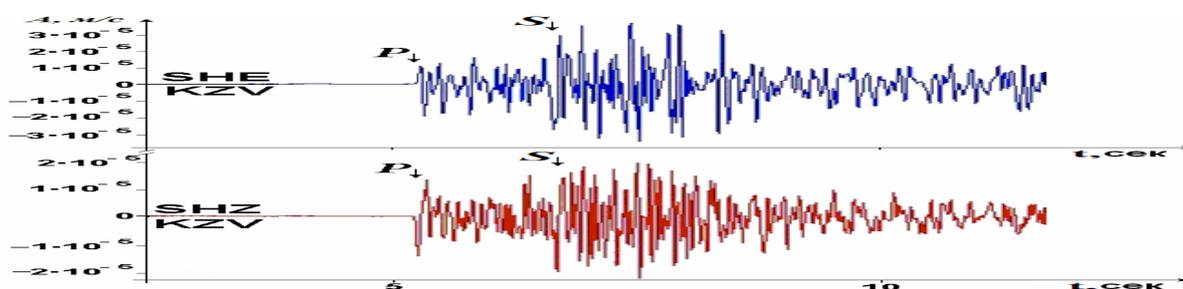


Рис. 3. Примеры волновых форм вулcano-тектонических землетрясений вулкана Кизимен, зарегистрированные на горизонтальном (SHE) и вертикальном (SHZ) сейсмических каналах станции KZV 6 мая 2011 г. в 17:09:23.0 UTC.

Для определения механизма очага землетрясения необходимы: 1) знаки первых вступления P -волн; 2) географические координаты станций и очага; 3) эпицентральные расстояния и азимуты из очага на станции; 4) углы выхода сейсмических волн на станциях. Все эти измерения влияют на точность определения механизма очага. Влияние их при количестве станций 15 и более может быть минимизировано. 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.

Результаты

Квадрантное распределение знаков первых вступлений сейсмических волн наблюдается при подавляющем большинстве землетрясений и свидетельствует о том, что разрядка энергии в деформированной среде происходит, главным образом, за счет сдвиговых напряжений

Хотя, расположение трех сейсмических станций вокруг Кизимена позволяет определять параметры механизмов очагов слабых вулcano-тектонических землетрясений с $M \approx 1,0$, все же точность определения параметров отдельного механизма очага, сделанного по данным ограниченного количества сейсмических наблюдений, невысока. Вулcano-тектонические землетрясения с $M \approx 1,0$ являются очень слабыми событиями, поэтому они регистрируются только тремя сейсмическими

станциями, установленными вблизи вулкана Кизимен (рис. 2а). Параметры механизмов очагов этих землетрясений определялись по этим трем сейсмическим станциям.

Для определения параметров механизмов очагов сильных вулcano-тектонических землетрясений с $M \geq 3,0$ использовались данным более 15-ти региональных сейсмических станций, установленных на Ключевской группе вулканов (рис. 2б). Графическое представление азимутов простираний главных нодальных плоскостей механизмов очагов сильных вулcano-тектонических землетрясений с $M \geq 3,0$ Кизимена представлено на рис. 4б. Азимуты простираний главных нодальных плоскостей механизмов очагов сильных вулcano-тектонических землетрясений вулкана Кизимен с $M \geq 3,0$, полученные по данным более 15 региональных сейсмических станций, соответствуют азимутам простираний разломов и азимуту простирания дайки в этом районе.

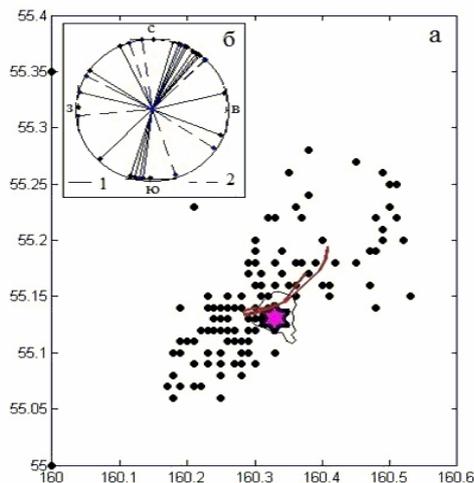


Рис.4. Эпицентры вулcano-тектонических землетрясений вулкана Кизимен. На вкладке азимуты простираний главных нодальных плоскостей механизмов очагов вулcano-тектонических землетрясений с $M \geq 3,0$ вулкана Кизимен.

Выводы

Для вулкана Кизимен определены параметры механизмов очагов вулcano-тектонических землетрясений в период извержения 2011-2012 гг. Результаты по данным сильных вулcano-тектонических землетрясений с $M > 3,0$ Кизимена показали, что в целом азимут простираний плоскостей механизмов очагов вулcano-тектонических землетрясений совпадает с азимутом простирания разломов и азимуту простирания дайки в этом районе.

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. Сенюков С.Л., Нуждина И.Н., Дроздина С.Я. и др. Сейсмичность вулкана Кизимен // Труды третьей научно – технической конференции // Проблемы комплексного геофизического мониторинга. 2010. Петропавловск-Камчатский: КФ ФИЦ ЕГС РАН. С. 144–148.
3. Пийп Б.И. Вулкан Кизимен // Бюлл. вулканол. станции на Камчатке. 1946. №13. С. 22-32.
4. Токарев П.И. Вулканические землетрясения Камчатки. М.: Наука, 1981. 164 с.
5. Lingyun Ji, Zhong Lu, Daniel Dzurisin, et al. Pre-eruption deformation caused by dike intrusion beneath Kizimen volcano, Kamchatka, Russia, observed by InSAR // Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2013. V. 256. P. 87–95.
6. Reasenberg 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.