

Механизмы очагов вулcano-тектонических землетрясений Трещинного Толбачинского извержения в 2012-2013 гг.

М.В. Лемзиков

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006; e-mail: lemzikov@kscnet.ru

В работе определены параметры механизмов очагов вулcano-тектонических землетрясений, произошедших в региональной трещинной зоне, примыкающей с юга к вулканам Плоский и Острый Толбачики, в которой в 2012-2013 году произошло Трещинное Толбачинское извержение (ТТИ-50). Использовался метод, основанный на полярностях первых вступлений P -волн. Механизмы очагов определялись по волновым формам вулcano-тектонических землетрясений, которые были зарегистрированы сетью радиотелеметрических станций, расположенных преимущественно в районе вулканов Ключевской группы. Для определения параметров механизмов очагов использовались данные максимального количества сейсмических точек наблюдений. Азимуты простираций главных нодальных плоскостей механизмов очагов согласуются с особенностями расположения эпицентров и разломов в этом районе.

Введение

Вулкан Плоский Толбачик с абсолютной высотой 3085 м является действующим. Вместе с потухшим вулканом Острый Толбачик (абс. высота 3682 м) расположен в юго-западной части вулканов Ключевской группы. С юга к вулканам Плоский и Острый Толбачики примыкает региональная трещинная зона, получившая название «Толбачинский дол» [2].

В постройке вулканов Ключевской группы пепловые и шлаковые слои сложно перемежаются с интрузивными телами и погребенными лавовыми потоками. Район Ключевской группы вулканов располагается в восточной части Центрально-Камчатской депрессии и в структурном плане представляет собой сводно-глубовое поднятие плиоцен четвертичного возраста [3].

В течение многих лет региональная трещинная зона, примыкающая с юга к вулканам Плоский и Острый Толбачики и получившая название «Толбачинский дол», находилась в состоянии относительного покоя, хотя слабые вулканические землетрясения в этом районе сейсмологи регистрировали почти постоянно. Трещинные Толбачинские извержения в региональной трещинной зоне происходили несколько раз. Первое началось 7 мая 1941 года и продолжалось почти неделю. Второе, получившее впоследствии название Большое трещинное Толбачинское извержение, началось 6 июля 1975 года и продолжалось 1.5 года. И третье Трещинное Толбачинское извержение им. 50-летия Института Вулканологии и Сейсмологии (ТТИ-50) началось 27 ноября 2012 года и длилось почти год [2].

В данной работе поставлена цель определить, с использованием максимального количества станций, параметры механизмов очагов вулcano-тектонических землетрясений, произошедших в региональной трещинной зоне, примыкающей с юга к вулканам Плоский и Острый Толбачики, в которой произошло ТТИ-50 в 2012-2013 гг., и сопоставить результаты с геологическими данными и особенностями расположения эпицентров землетрясений в этом районе.

Исходные данные

В региональной трещинной зоне вулканов Плоский и Острый Толбачики за период 2012-2013 гг. произошло несколько вулcano-тектонических землетрясений ($M \geq 3.0$). Волновые формы этих землетрясений выбирались из архива хранения цифровых сейсмограмм за период 2012-2013 гг. и использовались для определения

параметров механизмов очагов. Они относятся к I типу вулканических землетрясений по классификации П.И. Токарева [4].

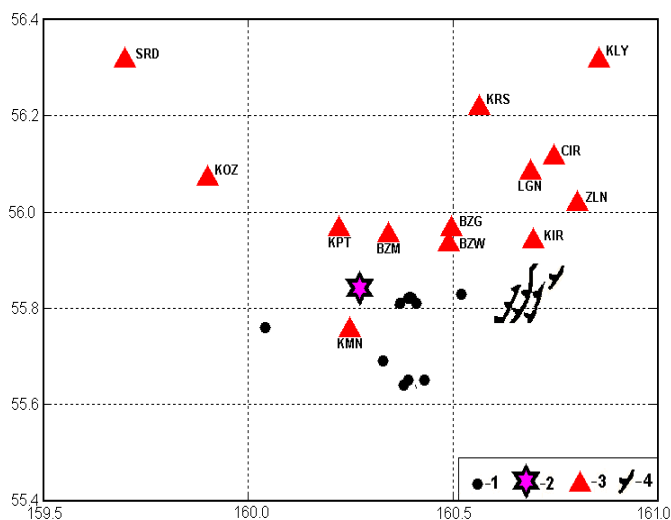


Рис. 1. Карта района исследования.

- 1 – эпицентры вулкано-тектонических землетрясений, произошедших в региональной трещинной зоне в 2012-2013 гг.;
- 2 – вершина вулкана Плоский Толбачик;
- 3 – радиотелеметрические сейсмические станции;
- 4 – разломы [3].

Регистрация землетрясений выполнена радиотелеметрическими сейсмическими станциями Камчатского филиала Федерального Исследовательского Центра Единой Геофизической службы РАН (КФ ФИЦ ЕГС РАН) (рис. 1) При определении параметров механизмов очагов вулкано-тектонических землетрясений использовались записи всех станций, на которых их волновые формы были зарегистрированы и четко видны. Перечислим кодировки и места их установки на Камчатке: BDR («Байданая» – в. Шивелуч), VZM («Безымянный» – в. Безымянный), BZG («Безымянный-Грива» – в. Безымянный), BZW («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. Шивелуч), SRD («Срединный» – хребет Срединный, Камчатка), ZLN («Зеленая» – в. Безымянный).

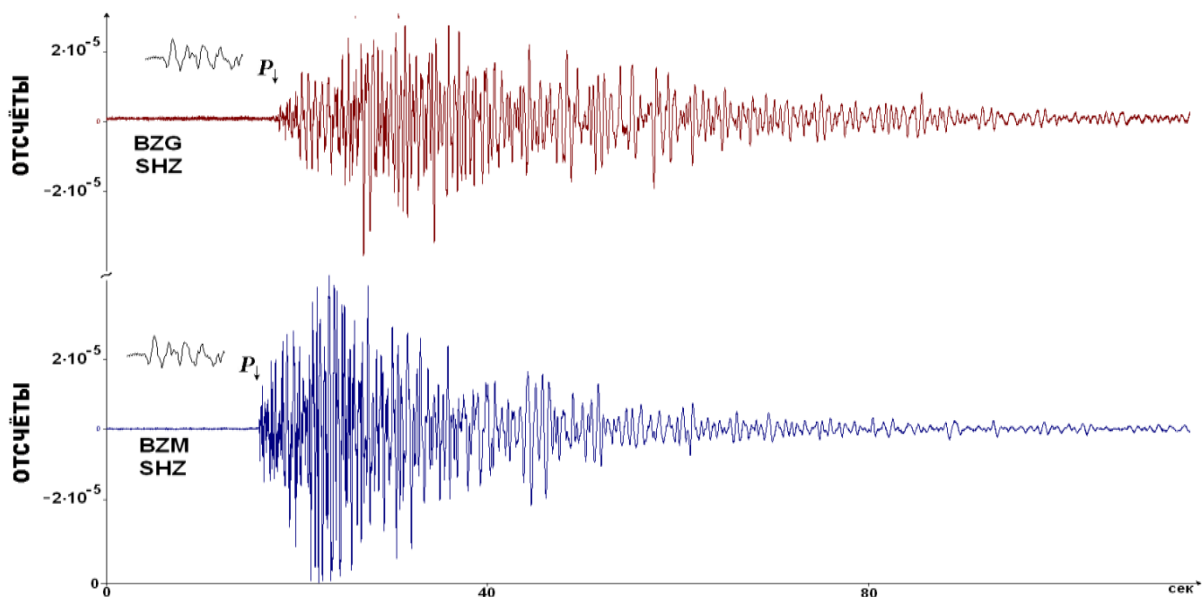


Рис. 2. Примеры волновых форм вулкано-тектонических землетрясений, произошедших на «Толбачинском долу», зарегистрированных на вертикальных (SHZ) сейсмических каналах станций BZW и BZM 9 сентября 2012 г. 10:37:47.1 (UTC).

Метод

Имеются разные методы 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 определения параметров и построения механизмов очагов вулканотектонических землетрясений. Для такого рода событий можно применить только метод, основанный на определении знаков первых вступлений *P*-волн (рис. 2).

Для определения механизма очага землетрясения необходимы: 1) знаки первых вступлений *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.

Удачное расположение сейсмических станций на конусе, вблизи и в окрестностях вулканов Ключевской группы позволило определить параметры механизмов очагов вулканотектонических землетрясений в региональной трещинной зоне, в которой произошло ТТИ-50 в 2012-2013 гг. Следует отметить, что не все волновые формы вулканотектонических землетрясений подходят для определения параметров и построения механизма очага. На некоторых записях вулканотектонических землетрясений волновые формы едва видны на фоне помех. Поэтому использовались только такие записи вулканотектонических землетрясений, у которых волновые формы имеют четкие вступления *P*-волн на фоне помех. В результате были получены параметры механизмов очагов нескольких вулканотектонических землетрясений, произошедших в региональной трещинной зоне: а) азимут простирания главной нодальной плоскости (strike); б) угол падения плоскости (dip); в) угол скольжения плоскости (rake). Вторую нодальную плоскость, которая получается в результате вычислений, можно тоже принять за главную нодальную плоскость.

Теоретический расчет механизма очага можно проверить сравнением его с геологическими исследованиями разлома на местности. Возможно также сравнение результата с известными картами разломов и с картами расположения эпицентров землетрясений. Такие же контрольные проверки возможны и для вулканических землетрясений.

Особенности пространственного положения эпицентров землетрясений и разломов, так или иначе, характеризуют механизмы их очагов. Этот факт также относится к пространственному положению разломов и эпицентров вулканических землетрясений.

Полученные в данной работе параметры механизмов очагов вулканотектонических землетрясений, произошедших в региональной трещинной зоне, сравнивались с особенностями расположения разломов и эпицентров в районе Северной группы вулканов [3]. Характерные примеры параметров механизмов очагов вулканотектонических землетрясений, произошедших в региональной трещинной зоне, показаны в таблице.

Землетрясения чаще всего происходят на разломах. Геологический разлом характеризуется тремя основными компонентами: *а)* азимутом простирания плоскости (strike); *б)* углом падения (dip), и *в)* углом скольжения плоскости (rake). Последнее определяется углом относительно простирания. Параметры механизмов очагов землетрясений ассоциируются с соответствующими компонентами разломов.

Таблица. Параметры механизмов очагов вулканотектонических землетрясений

№	Дата	Время	Координаты			$K_{S_{1,2}}^{\phi_{68}}$ [5]	Механизм очага		
			Широта, гр. N	Долгота, гр. E	Глубина, км		Strike	Dip	Rake
1	2012.09.09	10:37:47.1	55.76	160.04	14.66	8.7	272	61	-144
2	2012.11.10	11:08:56.2	55.81	160.37	3.15	6.7	295	58	126
3	2012.11.27	00:59:46.3	55.81	160.41	0.54	6.6	282	62	-174
4	2012.11.27	02:06:59.3	55.82	160.39	2.91	7.0	267	51	-170
5	2012.11.30	15:06:54.2	55.65	160.43	0.14	7.8	299	51	-138
6	2012.11.30	18:56:13.7	55.64	160.38	0.20	7.0	260	87	-153
7	2012.12.01	00:37:26.6	55.82	160.40	3.06	7.0	249	47	-174
8	2012.12.03	07:40:01.7	55.65	160.39	7.69	7.2	290	62	-155
9	2013.02.15	04:59:32.8	55.83	160.52	19.79	8.5	187	46	-175
10	2013.09.27	16:11:08.9	55.69	160.33	11.94	8.2	243	63	148

Выводы

На примере ТГИ-50 опробован метод определения механизмов очагов с использованием поляризации первых вступлений *P*-волн.

Получены параметры механизмов очагов вулканотектонических землетрясений, произошедших в региональной трещинной зоне вулканов Плоский и Острый Толбачики.

Азимут простирания главных нодальных плоскостей очагов вулканотектонических землетрясений в пространстве совпадает с расположением эпицентров и разломов 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. Гирина О.А. Трещинное Толбачинское извержение имени 50-летия ИВиС ДВО РАН в 2012-2013 гг. // Всеобщее богатство человеческих познаний. Материалы XXX Крашенинниковских чтений. Петропавловск-Камчатский: Камчатская краевая научная библиотека им. С.П. Крашенинникова. 2013. С. 84-87.
3. Иванов Б.В., Балеста С.Т. Глубинное строение, сейсмичность и современная деятельность Ключевской группы вулканов. Владивосток, 1976. 149 с.
4. Токарев П.И. Вулканические землетрясения Камчатки. М.: Наука, 1981. 164 с.
5. Федотов С.А. Энергетическая классификация Курило-Камчатских землетрясений и проблема магнитуд. М.: Наука, 1972. 116 с.
6. 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.