

## Некоторые результаты определения механизмов очагов вулcano-тектонических землетрясений вулкана Ключевской

*М.В. Лемзиков*

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006; e-mail: [lemzikov@kscnet.ru](mailto:lemzikov@kscnet.ru)*

В работе определены параметры механизмов очагов вулcano-тектонических землетрясений вулкана Ключевской. Применялся метод определения параметров механизма очага, основанный на полярностях первых вступлений *P*-волн. Использовались волновые формы, зарегистрированные сетью сейсмических станций, расположенные на конусе, вблизи и вокруг активного вулкана Ключевской. Для определения механизма очага использовались данные максимального количества сейсмических точек наблюдений. Полученные в работе параметры механизмов очагов вулcano-тектонических землетрясений сравнивались с разломами и особенностями расположения эпицентров в районе Северной группы вулканов. Азимуты простираения главных нодальных плоскостей очагов вулcano-тектонических землетрясений вулкана Ключевской, совпадают с азимутом простираения плоскостей разломов и расположением эпицентров в этом районе.

### Введение

Вулкан Ключевской с абсолютной высотой 4750 м является действующим, тип извержений - эффузивно-эксплозивный, расположен в Ключевской группе вулканов на полуострове Камчатка. Постройка вулкана Ключевской сложена из изверженного магматического вещества, преобразовавшегося на поверхности в пеплы, шлаки, лавовые потоки и вулканические бомбы. В постройке вулкана пепловые и шлаковые слои сложно перемежаются с интрузивными телами и погребенными лавовыми потоками [5]. Район Ключевской группы вулканов располагается в восточной части Центрально-Камчатской депрессии и в структурном плане представляют собой сводно-глубокое поднятие плиоцен четвертичного возраста [2]. Вулкан Ключевской расположен в сложной системе разломов, некоторые из которых проходят через его конус.

В данной работе поставлена цель определить механизмы очагов вулcano-тектонических землетрясений вулкана Ключевской, и сопоставить результаты с геологическими данными и особенностями расположения эпицентров землетрясений.

### Исходные данные

Использовались волновые формы вулcano-тектонических землетрясений вулкана Ключевской, с очагами под ним на глубинах до 20 км. Они выбирались из архива хранения цифровых сейсмограмм за период 2012-2013 гг. Не ниже седьмого энергетического класса  $K_{S1,2}^{\Phi 68} = 7,0$ . [4].

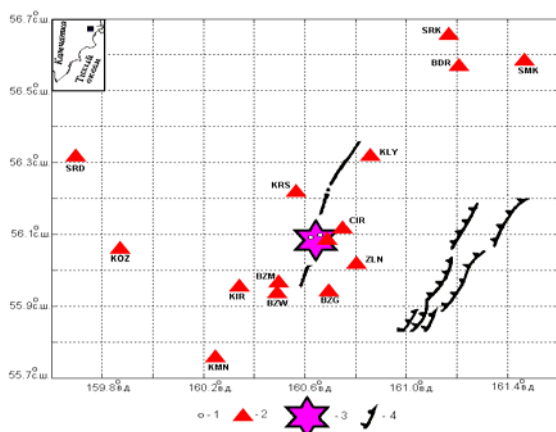


Рис. 1. Карта района исследования. На вкладке черным квадратом показано расположение исследуемого района на карте Камчатки. 1 – эпицентры вулcano-тектонических землетрясений вулкана Ключевской используемые в работе; 2 – радиотелеметрические сейсмические станции; 3 – вершина вулкана Ключевской; 4 – разломы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

Регистрация вулcano-тектонических землетрясений вулкана Ключевской выполнена радиотелеметрическими сейсмическими станциями Камчатского Филиала Федерального Исследовательского Центра Единой Геофизической службы РАН (КФ ФИЦ ЕГС РАН), установленными на конусе, вблизи и в окрестностях вулкана Ключевской: 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), Козеревск (KOZ), Каменистая (KMN) (рис. 1).

В работе использованы вулcano-тектонические землетрясения вулкана Ключевской (они имеют четкие вступления  $P$  и  $S$  сейсмических волн), которые относятся к I типу вулканических землетрясений по классификации П.И. Токарева [3]. (Рис.2).

На всех 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).

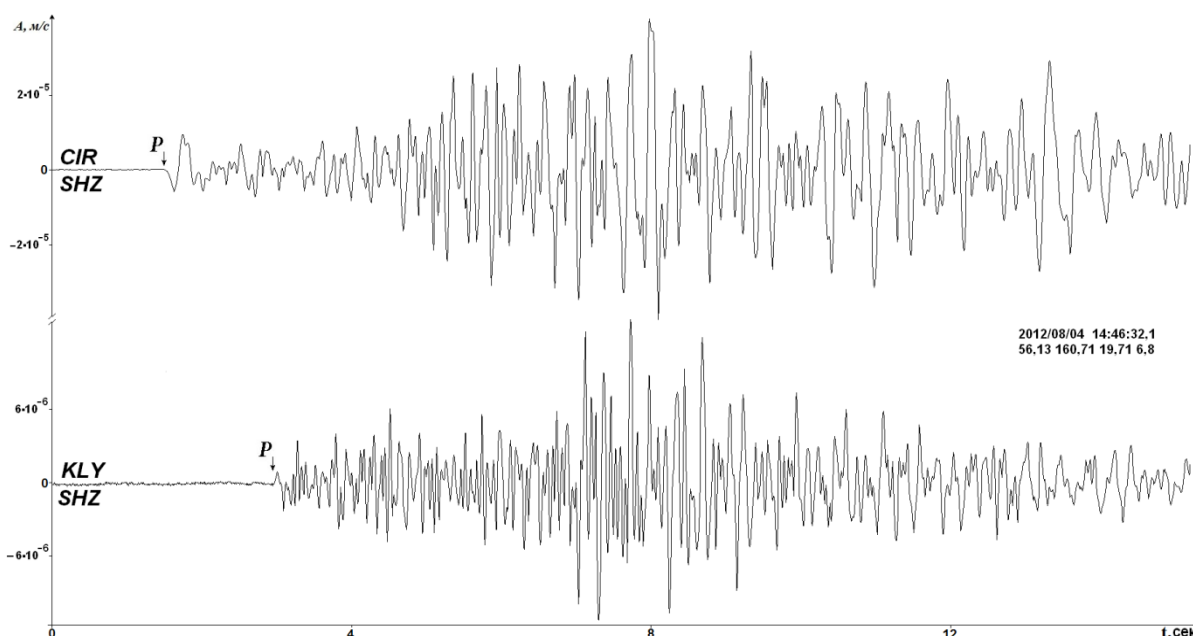


Рис. 2. Примеры волновых форм вулcano-тектонических землетрясений вулкана Ключевской, зарегистрированные вертикальными сейсмическими каналами станциями Цирк (CIR) и Ключи (KLY).

### Метод

Имеются разные методы для определения механизмов очагов землетрясений. Широко известен комплекс программ под названием FPFIT, FPLOT и др. [5], 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. 2).

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

Удачное расположение сейсмических станций на конусе, вблизи и в окрестностях вулкана Ключевской, позволило определить механизмы очагов вулканотектонических землетрясений этого вулкана. Следует отметить, что не все волновые формы вулканотектонические землетрясения вулкана Ключевской подходят для определения 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 вулканотектонических землетрясений вулкана Ключевской: а) азимут простирания плоскости (strike); б) угол падения плоскости (dip); в) угол скольжения плоскости (rake). Вторую нодальную плоскость, которая получается в результате вычислений, можно то же 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, характеризует механизмы их очагов. Этот факт также относится к пространственному положению разломов и эпицентров вулканических землетрясений.

Параметры механизмов очагов вулканотектонических землетрясений вулкана Ключевской, полученные в данной работе, сравнивались с особенностями расположения разломов и эпицентров в районе Северной группы вулканов. На рис. 3 показана карта расположения эпицентров вулканических землетрясений в районе Северной группы вулканов за период 2000-2016 гг. и расположение разломов в этом районе [2].

Характерные примеры механизмов очагов вулканотектонических землетрясений вулкана Ключевской, полученные в данной работе показаны на рис. 3.

На рис. 3 видно, что азимут простирания главных нодальных плоскостей очагов вулканотектонических землетрясений совпадает с пространственным расположением эпицентров вулканических землетрясений и разломов в этой районе. И представляет собой северо-западное простирание.

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

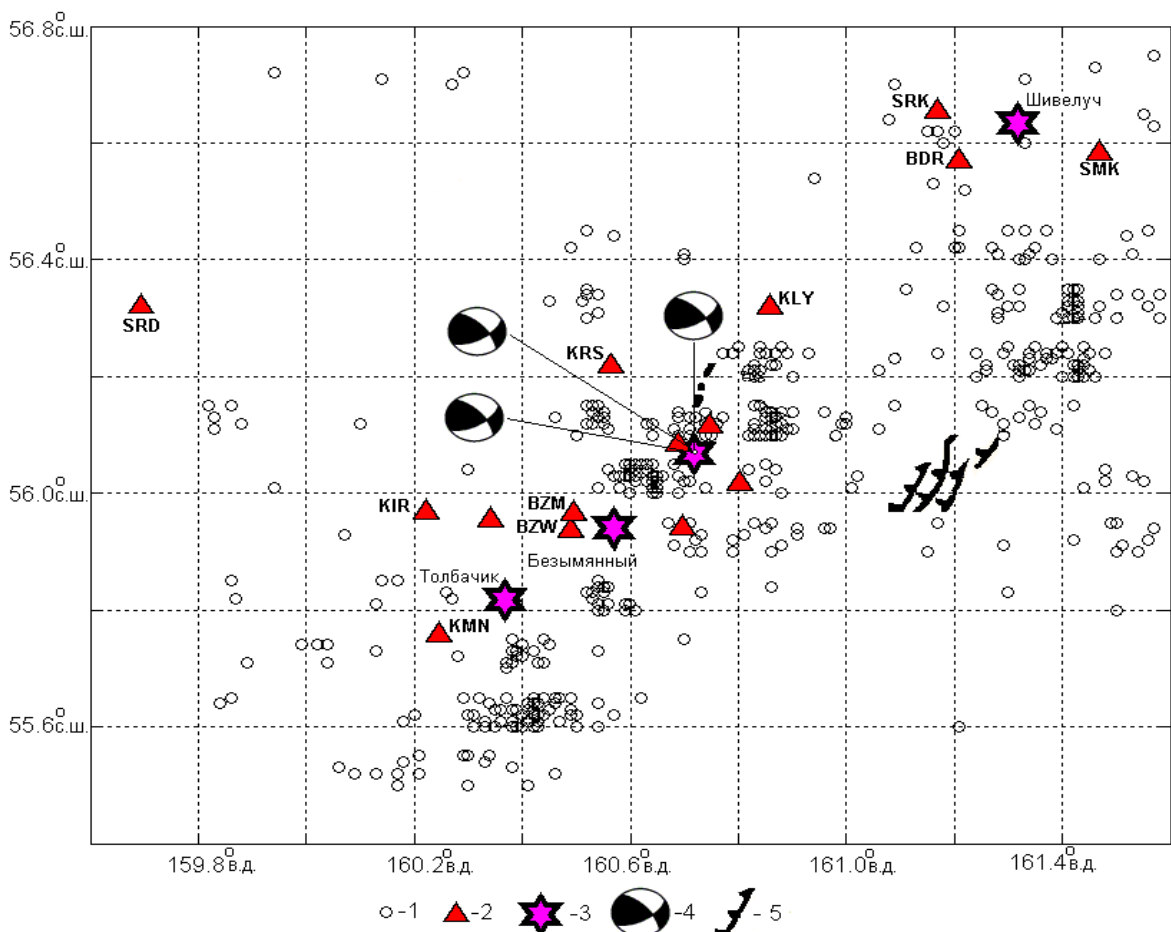


Рис. 3 Карта-схема расположения эпицентров вулканических землетрясений района Северной группы вулканов и разломов, 1 – эпицентры вулканических землетрясений; 2 – сейсмические станции; 3 – вершины вулканов; 4 – механизмы очагов вулкано-тектонических землетрясений вулкана Ключевской, 5 – разломы согласно [2].

### Выводы

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

Получены параметры механизмов очагов вулкано-тектонических землетрясений вулкана Ключевской.

Азимут простирания главных нодальных плоскостей очагов вулкано-тектонических 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. Иванов Б.В., Балеста С.Т. Глубинное строение сейсмичность и современная деятельность Ключевской группы вулканов. Владивосток, 1976. 149 с.
3. Токарев П.И. Вулканические землетрясения Камчатки. М.: Наука, 1981. 164 с.
4. Федотов С.А. Энергетическая классификация Курило-Камчатский землетрясений и проблема магнитуд. М.:Наука, 1972. 116 с.
5. Хренов А.П., Двигало В.Н., Курсанов И.Т., и др. Ключевской вулкан // Действующие вулканы Камчатки. М.:Наука, 1991. № 1. С. 106 –153.
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.