

О магматической малоглубинной камере вулкана Ключевской (Камчатка)

Л.И. Гонтовая, С.А. Хубуная, В.С. Хубуная

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

Приведена аргументация наличия малоглубинного магматического очага под постройкой вулкана Ключевской путем сопоставления особенностей сейсмоплотностной модели верхней части земной коры под вулканом с результатами изучения шлаковых лапилли высокоглиноземистых андезибазальтов вершинного извержения 1994 г.

Одной из главных петрологических проблем высокоглиноземистых базальтоидов вулкана Ключевской является проблема их источника. Ни один из наиболее распространенных типов высокоглиноземистых базальтов, развитых в пределах Ключевской группы вулканов, не может быть получен непосредственным плавлением предполагаемого вещества мантии [6]. Решение проблемы лежит в возможности разноглубинного и частичного плавления вещества мантии и дальнейшего фракционирования и смешения магм в промежуточных магматических камерах. Изучение магматических очагов под вулканом Ключевской является одной из актуальных задач вулканологии, тесно связанной с проблемами геодинамики и прогнозом вулканических извержений. Это сообщение посвящено аргументации наличия малоглубинного магматического очага под постройкой вулкана Ключевской путем сопоставления особенностей сейсмоплотностной модели верхней части земной коры под вулканом с результатами изучения шлаковых лапилли высокоглиноземистых андезибазальтов вершинного извержения 1994 г.

При изучении систем магматического питания активных вулканов значительная роль принадлежит геофизическим, в частности сейсмологическим, методам. Они используются во многих вулканических районах мира. Это связано с наличием природных источников сейсмических волн (землетрясений) в толще литосферы под активными вулканами. Их частотно-магнитудные характеристики «описывают» аномальные свойства среды и позволяют выявить участки, которые могут быть связаны с источниками питания вулканов. Наряду с этим, в последние десятилетия широко используется метод сейсмической томографии в различных модификациях; он получил развитие и на Камчатке [2, 7]. Для большинства изученных вулканов характерны их приуроченность к депрессиям фундамента и наличие приповерхностных магматических очагов. Они связываются с разуплотнением в основании депрессии за счет воздействия тепла более глубокого источника. На рис. 1 показано 2- и 3-мерное изображение параметра b -value в интервале глубин 0-35 км земной коры под вулканами Ключевской группы. Его значения (наклоны графиков частотно-магнитудного распределения землетрясений) рассчитаны по каталогу вулcano-тектонических (ВТ) землетрясений Камчатского филиала Геофизической службы РАН (КФ ГС РАН). Всего при расчетах использовано 12500 событий с $M \geq 1.6$. Аномалии этого параметра, согласно существующим представлениям, могут соответствовать зонам повышенной трещиноватости или высокого порового давления, связанного с наличием магматических очагов. Судя по рисунку аномалий b -value, они могут размещаться в нижней коре и в приповерхностном слое. Увеличение величины b означает относительное возрастание числа слабых землетрясений при уменьшении прочности вмещающей среды. Она связана обратной зависимостью с изменением ее пластичности и температуры. Таким образом, высокое значение этого параметра указывает на низкую прочность вмещающей среды, а низкое – на сравнительное увеличение прочности. Одновременно с изучением характера распределения указанного выше параметра в

земной коре и верхней части верхней мантии рассмотрены особенности скоростной модели земной коры под Ключевским вулканом.

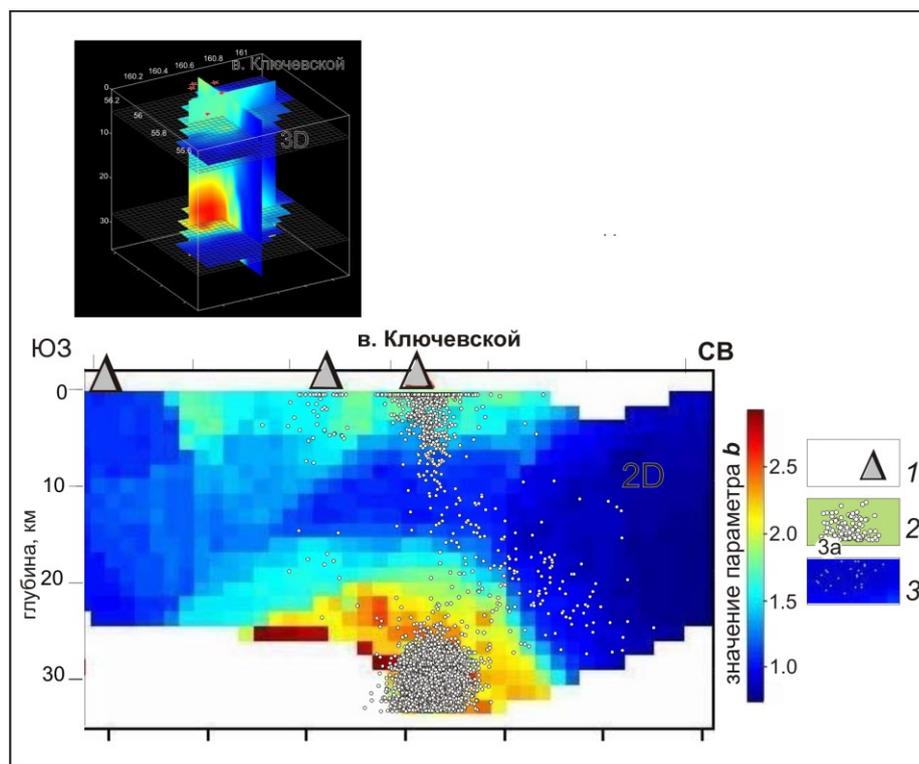


Рис. 1. Распределение магнитудно-частотных характеристик ВТ землетрясений в земной коре под Ключевскими вулканами. 1 – вулканы; 2 – гипоцентры; 3 – значения параметра b -value.

Модель разработана по данным локальных землетрясений, взятых из каталога КФ ГС РАН. Здесь приведен вертикальный разрез модели в значениях скорости поперечных волн (V_s) и его сопоставление со значениями параметра V_p/V_s в пределах выявленных аномалий скорости, а также некоторыми полученными в этом районе сейсмическими методами преломленных волн от контролируемых источников и обменных волн землетрясений [1]. На основании особенностей скоростных аномалий и других геофизических данных можно предположить, что в верхней части коры под конусом Ключевского вулкана на глубине ~ 5 км существует зона, которая по ряду признаков может связываться с его магматическим очагом; на разрезах скоростной модели она достаточно уверенно выделяется в районе побочных конусов вулкана и имеет форму силла протяженностью ~ 12 км; его мощность уменьшается в направлении на СВ. По данным корреляционного метода преломленных волн (КМПВ), очаг локализован между складчатым комплексом и поверхностью консолидированного фундамента [1]. Вероятно, с его присутствием в разрезе коры связаны значительные осложнения зарегистрированной здесь волновой картины, которые отражены положением точек дифракции по данным КМПВ и положением точек обмена по данным метода обменных волн землетрясений (МОВЗ) (рис. 2). Очаг в целом отвечает характеристикам, которые прогнозировались Б.И. Пийпом [4]. Он предполагал его залегание на глубине 5-6 км по геологическим данным, мощности и характеру осадочных образований, которые захватывались магмой при извержениях в виде ксенолитов. Возможно, на более высоких уровнях развиты также и менее глубокие очаги – в подошве вулкана или в нижних частях его постройки. Они достаточно контрастно проявлены в объемной модели распределения параметра b -value. Геофизические исследования подтверждаются результатами изучения составов шлаковых лапилли вершинного извержения вулкана Ключевской 1994 г.

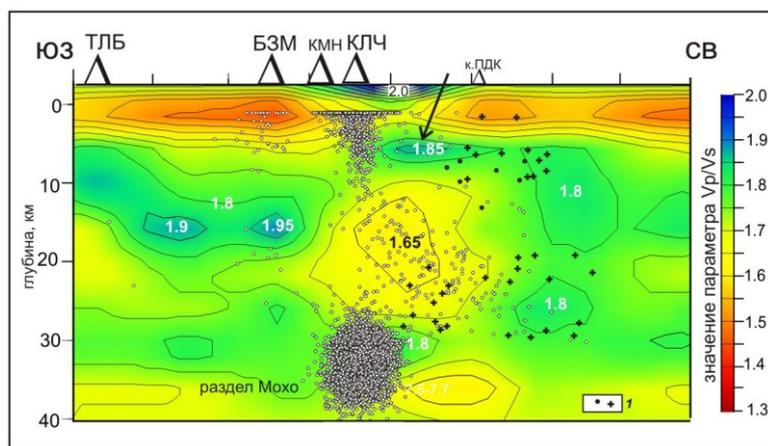


Рис. 2. Вертикальное сечение объемной скоростной модели в аномалиях скорости V_s . Цифры на разрезе – значения параметра V_p/V_s в пределах аномалий. 1 – точки обмена и дифракции сейсмических волн. Вулканы: ТЛБ –Толбачик, БЗМ – Безымянный, КМН – Камень, КЛЧ – Ключевской, к.ПДК – конус Подкова.

С 8 сентября по 2 октября 1994 г. происходило сильное вершинное извержение вулкана Ключевской [3]. Наиболее значимыми особенностями этого извержения, необходимыми для дальнейшей аргументации присутствия малоглубинного магматического очага, являются составы шлаковых лапилли, которые выбрасывались в течение всего извержения. Химические и минеральные составы шлаковых лапилли полностью повторяют составы лавовых потоков. Они отвечают андезибазальтам и состоят из плагиоклазов, клинопироксенов, оливинов и магнетитов. Из раздробленных проб шлаковых лапилли было отобрано 470 кристаллов оливинов. Практически все кристаллы оливинов содержат закаленные первичные расплавные включения. Следует подчеркнуть, это – уникальные магматические образования. Химический состав стекла отражает реальный *состав расплава*, который был захвачен во время кристаллизации оливина. Стекла расплавных включений были изучены во всем интервале магнезиальности присутствующих оливинов F_{080} - F_{065} . Было исследовано 470 кристаллов оливинов и в них 40 закаленных стекол расплавных микровключений, размеры которых позволяли провести анализ без захвата материала минерала-хозяина, оливина. Составы расплавных включений дифференцированы. Они соответствуют базальтам, андезибазальтам и андезитам. Очевидно, оливины из шлаковых лапилли были образованы из серии расплавов базальтового, андезибазальтового и андезитового составов [5]. Чтобы это произошло, необходима камера, где мог бы размещаться расплав в равновесных условиях. И эта камера должна быть расслоена. На приповерхностное положение камеры указывает резкая дегазация S и Cl, связанная с подъёмом магматического расплава и, вероятно, с дегазацией H_2O .

Заключение

В результате проведенных исследований были изучены составы оливинов шлаковых лапилли и природнозакаленных расплавных включений вершинного извержения вулкана Ключевской 1994 г. Составы включений в оливинах соответствуют высокоглиноземистым базальтам, андезибазальтам и андезитам. Геохимические особенности пород принадлежат одной серии и свидетельствуют о расслоенности магматической камеры [5]. Результаты вулканологических и петрологических исследований хорошо согласуются с результатами геофизических работ. Анализ результатов сейсмологических исследований: глубинного сейсмического зондирования, корреляционного метода преломленных волн (ГСЗ-КМПВ), сейсмической томографии, особенностей (частотно-магнитудного распределения землетрясений) структуры и свойств земной коры позволяет выделить периферический магматический очаг под

конусом Ключевского вулкана в интервале глубин 0-6 км. Малоглубинная камера, наиболее вероятно, расположена между складчатым комплексом и поверхностью консолидированного фундамента. Диаметр малоглубинной камеры, ориентировочно, составляет около 12-14 км, а его мощность может достигать 3 км [5].

Авторы выражают искреннюю благодарность академику А.В. Соболеву за возможность проведения аналитических исследований в Институте химии им. Макса Планка (г. Мейнц, Германия) и в Институте наук о Земле Университета им. Дж. Фурье (г. Гренобль, Франция). Авторы приносят благодарность старшему научному сотруднику ИГМ СО РАН к.г.-м.н. Д.А. Кузьмину, старшему научному сотруднику ГЕОХИ РАН к.г.-м.н. В.Г. Батановой за помощь в выполнении рентгеноспектральных анализов минералов и пород.

Список литературы

1. Балеста С.Т., Гонтовая Л.И., Каргопольцев В.А. и др. Результаты сейсмических исследований земной коры в районе Ключевского вулкана // Вулканология и сейсмология. 1991. № 3. С. 3-18.
2. Ермаков В.А., Гарагаиш И.А., Гонтовая Л.И. Модель тектоно-магматических процессов в Ключевской группе вулканов (по геолого-геофизическим данным) // Вестник КРАУНЦ. Серия: Науки о Земле. 2014. № 2. Вып. 24. С. 231-243.
3. Озеров А.Ю., Карпов Г.А., Дроздин В.А. и др. Динамика извержения Ключевского вулкана 7 сентября – 2 октября 1994 г. (Камчатка) // Вулканология и сейсмология. 1996. № 5. С. 3-16.
4. Пийп Б.И. Ключевская сопка и ее извержения в 1944-1945 гг. и в прошлом // Труды Лаборатории вулканологии. М.: Наука. 1956. № 11. 310 с.
5. Хубуная С.А., Гонтовая Л.И., Соболев А.В., Хубуная В.С. К вопросу о магматических очагах под вулканом Ключевской // Вулканология и сейсмология. 2018. № 2. С. 14-29.
6. Hoffman A.W. Chemical differentiation of the Earth: the relationship between mantle continental crust and oceanic crust // Earth and Planetary Science Letters 1988. V. 73. P. 287-310.
7. Koulakov I., Gordeev E.I., Dobretsov N.L. et.al. Feeding paths of the Kluchevskoy volcano group (Kamchatka) from the results of local earthquake tomography // Geophysical research letters. 2011. V. 38. L09305. <https://doi.org/10.1029/2011GL046957>.