

К вопросу о малоглубинном «коровом» магматическом очаге вулкана Ключевской (Камчатка)

С.А. Хубуная, Л.И. Гонтовая, В.С. Хубуная, А.П. Максимов, В.В. Пантилеева

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

Многочисленные вершинные и побочные извержения умереннокалиевых магнезиальных и высокоглиноземистых базальтов и андезибазальтов, их минералогические и геохимические особенности, состав природнозакаленных расплавных включений в оливинах шлаковых лапилли вулкана Ключевской свидетельствуют о наличии магматических очагов под вулканом. Большинство исследователей признается оценка глубины первоисточника магм в верхней мантии и магматического очага в нижней части земной коры под вулканом Ключевской [3, 11 и др.]. В то же время существование малоглубинной магматической камеры под конусом вулкана не столь однозначно. Это сообщение посвящено аргументации наличия малоглубинного магматического очага под постройкой вулкана Ключевской.

Впервые наличие малоглубинного расслоенного очага и выводных каналов под северо-восточным склоном вулкана Ключевской обосновал А.А. Меняйлов при изучении извержения 1937-1938 гг. [5]. Вершинное извержение андезибазальтов вулкана Ключевской (высота 4750 м) в 1937 г перешло в побочное извержение на западном склоне его постройки с образованием высокоглиноземистых прорывов: Камули (высота 4000 м), Радист (высота 3600 м), Перевальный (2400 м). Позднее в 1938 г на его восточном склоне образовались высокоглиноземистые и магнезиальные прорывы (сверху вниз) Козей (высота 1800 м), Невидимка (высота 1260 м), Тиранус (высота 1000 м) и Билюкай (высота 900 м). А.А. Меняйлов предполагал, что магма поднялась из расслоенного малоглубинного очага по дайке северо-восточного простирания. Верхняя часть дайки состояла из «плюма» высокоглиноземистой андезибазальтовой магмы, а нижняя часть состояла из магнезиальных магм (но не расплавов), уже насыщенных вышеописанными крупными магнезиальными кристаллами оливинов и пироксенов.

Позднее, на основании изучения ксенолитов третичных пород из лав побочных прорывов под северо-восточным склоном вулкана Ключевской, на это же указывал Б.И. Пийп. Он предполагал, что магматический очаг располагается до глубин 5-6 км ниже уровня моря [7].

Наши данные о возможности существования малоглубинного магматического очага под вулканом Ключевской основывались на изучении петрографии, минералогии и геохимии его магнезиальных и высокоглиноземистых базальтов и андезибазальтов большинства доисторических, исторических и современных извержений и детальном анализе результатов комплексных геолого-геофизических исследований в районе вулкана Ключевской, выполненных за 30-летний период [8-10]. В последнее время получены новые высокоточные данные о составах природнозакаленных расплавных включений в фенокристаллах оливинов, из шлаковых лапилли вершинного извержения 1994 г. и сопоставления результатов этих исследований с сейсмоплотностной структурой под конусом вулкана.

После годового перерыва вершинного извержения 1993 г. вулкана Ключевской и слабой фумарольной активности с 8 сентября по 2 октября 1994 г. происходило сильное вершинное извержение этого вулкана [6]. Наиболее значимыми особенностями этого извержения, необходимыми для дальнейшей аргументации присутствия малоглубинного магматического очага, являются составы шлаковых лапилли, которые выбрасывались в течение всего извержения. Следует отметить отсутствие

сейсмической подготовки перед его началом и сильную субплинианскую стадию в его финале с извержением лавовых и очень редких для базальтовых вулканов пирокластических потоков высокоглиноземистых и магнезиальных базальтов и андезибазальтов в Крестовском, Апохончичском и Козыревском желобах [10]. Химические и минеральные составы шлаковых лапилли полностью повторяют составы лавовых потоков. Они состоят из плагиоклазов, клинопироксенов, оливинов и магнетитов, а по химическому составу относятся к андезибазальтам. 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. Это обусловлено тем обстоятельством, что произошла закалка расплавных включений в оливинах шлаковых лапилли во время вершинного извержения. Природнозакаленные расплавные включения не содержат усадочных пузырьков. Они представляют собой чистое стекло. Стекла закаленных расплавных включений были изучены во всем интервале магнезиальности присутствующих оливинов Fo_{80-65} . 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 представлены на рисунке.

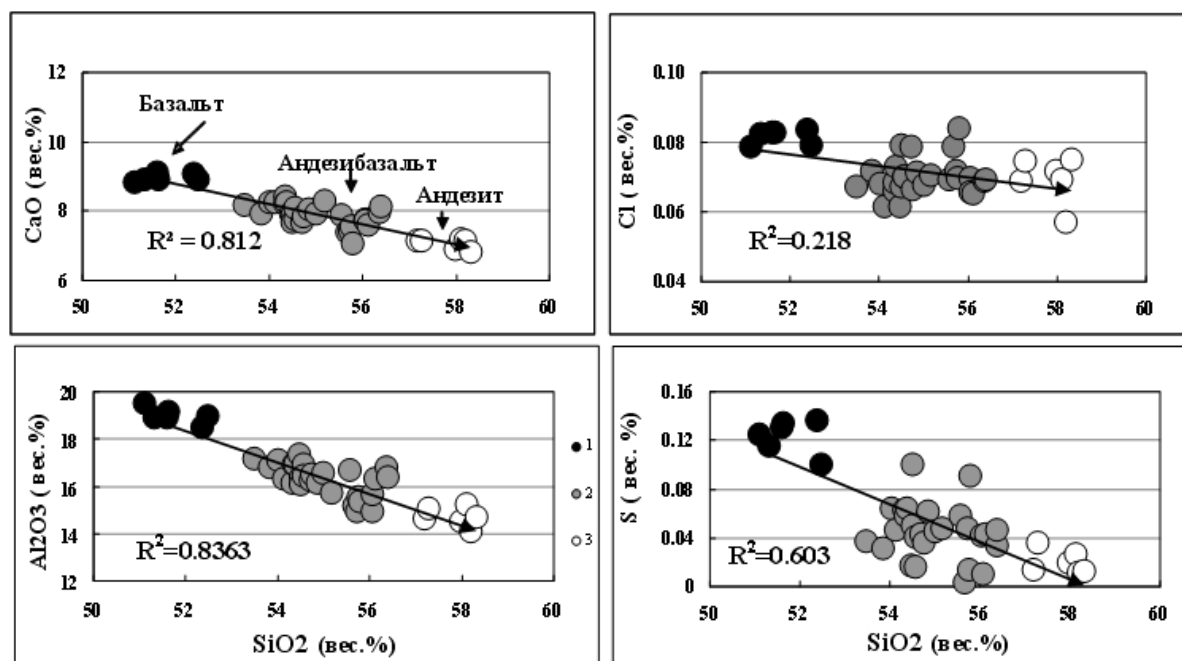


Рисунок. Составы первичных, природнозакаленных стекол расплавных включений в фенокристаллах оливинов шлаковых лапилли андезибазальтового состава вершинного извержения 1994 г. вулкана Ключевской, вес. %.

Примечание: R^2 – величина достоверности аппроксимации. Стрелка указывает направление изменения составов природнозакаленных расплавных включений.

Хорошо видно, что 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. Чтобы это произошло, необходима камера, где мог бы размещаться расплав в равновесных условиях [1]. 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 .

На присутствие малоглубинной камеры под конусом вулкана Ключевской указывают результаты геофизических исследований. В 1998-2000 гг. на основании анализа экспериментальных данных по сейсмическому просвечиванию (1970-1971 гг. и 1986-1987 гг.) Ключевской группы вулканов, сопоставлению ее структурных особенностей с сейсмической активностью вулcano-тектонических землетрясений и результатов петрографического и петрохимического изучения вершинных извержений 1993 и 1994 гг. было показано, что в верхней части земной коры (на глубинах 3-5 км ниже уровня моря) могут существовать условия для формирования периферического магматического очага [10]. Более детально верхняя часть земной коры (до глубины примерно 7-8 км) под вулканом Ключевской изучена методами КМПВ (корреляционный метод преломленных волн) и гравиметрии [2, 4]. Сейсмические исследования выполнялись с использованием продольных волн (P -волн) от взрывов. На основании интерпретации кинематических параметров и данных гравитационного моделирования присутствие разуплотненной области под постройкой вулкана устанавливалось надежно. Она располагалась в интервале глубин 0-5 км, и ее ширина достигала не менее 14 км. В привершинной части конуса вулкана и его северо-восточной периферии на основании сейсмотомографических исследований выделены интенсивные аномалии скорости V_p и V_s . В пределах этой зоны значение аномалии V_s составляет 6-15% отрицательного знака, что может быть связано с включениями флюид/расплавов. Максимальная мощность аномальной зоны около 3 км, протяженность 12-14 км. Аномальная зона имеет форму силла. К нему приурочена основная масса побочных конусов на северо-восточном склоне вулкана. В привершинном основании конуса вулкана отмечена интенсивная отрицательная аномалия продольных и поперечных волн (V_p и V_s). Выделенная область не находится в противоречии с данными гравиметрии и КМПВ [2, 4] и добавляет аргументов в пользу существования малоглубинного очага или отдельных магматических камер в пределах аномалии. По данным КМПВ, очаг может быть расположен между складчатым комплексом и поверхностью консолидированного фундамента [9]. В целом, выделенная область отвечает характеристикам, которые прогнозировались Б.И. Пийпом по геологическим данным. Они учитывали мощность и характер осадочных образований, составы ксенолитов, которые захватывались магмой при извержениях вулкана Ключевской [7]. По данным [11] под конусом Ключевского вулкана оконтурена изометричная аномалия повышенных значений параметра V_p/V_s на глубине около 10 км. Эта аномалия может быть связана с малоглубинным магматическим очагом в основании прогиба кристаллического фундамента под КГВ.

Заключение

В результате проведенных исследований были изучены составы оливинов шлаковых лапилли и природнозакаленных расплавных включений в этих оливинах вершинного извержения 1994 г. Впервые за столетнюю историю изучения вулкана Ключевской на этом природном объекте была показана возможность получения реальных андезитовых расплавов из высокоглиноземистых базальтов. Этот вывод, полученный на основе минералогических данных, позволил обосновать существование малоглубинного очага. Важность этого заключения лежит в плоскости дальнейшего изучения происхождения андезитов вулкана Безымянный, соседа вулкана Ключевской. О присутствии малоглубинной магматической камеры под постройкой вулкана Ключевской свидетельствуют и другие параметры его извержений: значительные объемы (до 0.4 км^3) лавового потока Билукай извержения 1938 г, последовательность изверженных продуктов вулканической деятельности извержения 1937-1938 гг. продолжительностью до 2 лет [5]. Во время вершинного извержения 1993 г. вулкана Ключевской были образованы два лавовых потока высокоглиноземистых андезибазальтов весом 10 млн тонн (Устное сообщение В.Н. Двигало). Результаты вулканологических и петрологических исследований хорошо согласуются с

результатами геофизических работ. Анализ результатов сейсмологических исследований (ГСЗ-КМПВ), сейсмической томографии, особенностей (частотно-магнитудного распределения землетрясений) структуры и свойств земной коры позволяют 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.

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. *Аносов Г.И.* Геологическое строение и геодинамика вулканов // В кн. Природные опасности России, сейсмические опасности. Москва, 2000. С. 200-205.
2. *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.
3. *Гонтовая Л.И., Степанова М.А., Хренов А.П., Сеньюков С.Л.* Глубинная модель литосферы в районе Ключевской группы вулканов (Камчатка) // Вулканология и сейсмология. 2004. № 3. С. 3-11.
4. *Зубин М.И., Козырев А.И., Лучицкий А.И.* Гравитационная модель строения Ключевского вулкана (Камчатка) // Вулканология и сейсмология. 1990. № 5. С. 76-93.
5. *Меняйлов А.А.* Динамика и механизм извержений Ключевского вулкана в 1937-1938 гг. // Труды Лаборатории вулканологии и Камчатской вулканологической станции. М.-Л. Изд-во Академии наук СССР. 1947. Выпуск 4. С. 3-91.
6. *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.
7. *Пийп Б.И.* Ключевская сопка и ее извержения в 1944-1945 гг. и в прошлом // Труды Лаб. вулканологии. М.: Наука. 1956. № 11. 310 с.
8. *Хубуная С.А., Аносов Г.И.* Малоглубинный магматический очаг под Ключевским вулканом (Камчатка) // Тезисы докладов международной конференции по вопросам сейсмологии, вулканологии и процессам Алеутского региона. Петропавловск-Камчатский. 1998. С. 12-13.
9. *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.
10. *Хубуная С.А., Гонтовая Л.И., Москалева С.В.* Малоглубинный очаг вулкана Ключевской (по данным петрологии и геофизики) // Материалы конференции, посвященной Дню вулканолога, 27-29 марта 2008 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2008. С. 291-304.
11. *Koulakov I., Gordeev E., Dobretsov N. et al.* Feeding paths of the Kluchevskoy volcano group (Kamchatka) from the results of local earthquake tomography // Geophys. Res. Lett. 2011. Vol 38. LXXXXX. DOI: 10.1029/2011GL046957