

ПЕРВИЧНЫЕ РАСПЛАВЫ ИЗВЕСТКОВО-ЩЕЛОЧНЫХ МАГНЕЗИАЛЬНЫХ БАЗАЛЬТОВ КЛЮЧЕВСКОГО ВУЛКАНА (КАМЧАТКА)

© 1998 г. С. А. Хубуная, член-корреспондент РАН А. В. Соболев

Поступило 12.01.98 г.

Одной из основных проблем магматической петрологии и геохимии является определение условий образования и состава мантийных источников островодужных магматических серий. В настоящее время проблема далека от решения, так как абсолютное большинство островодужных магм не равновесно с веществом мантии вследствие процессов разноглубинной кристаллизационной дифференциации. Таким образом, чтобы подойти к оценке мантийных параметров образования островодужных магм особенно необходима предварительная работа по определению состава и условий образования первичных расплавов, характеризующихся последним равновесием с мантийным веществом. Уникальную возможность исследования первичных расплавов островных дуг представляют магнезиальные базальты Ключевского вулкана. Это один из немногих вулканов на Камчатке и в мире в целом, характеризующийся проявлениями высокомагнезиального вулканизма, продукты которого могут быть равновесны с мантийным веществом [1–3 и др.].

Объектом исследования были 21 побочный прорыв известково-щелочных магнезиальных базальтов Ключевского вулкана. Особенности петрографии, минералогии и химизма этих вулкаников подробно описаны в [1]. Главной особенностью рассматриваемых вулкаников является присутствие во всех базальтах фенокристаллов высокомагнезиального оливина (Fo 91.2–88) с включениями высокохромистой шпинели, которые могли кристаллизоваться из первичных мантийных расплавов [4].

Для оценки состава первичного расплава базальтов Ключевского вулкана исследованы первичные расплавные включения в высокомагнезиальных оливинах по всему спектру составов базальтов: от

высокомагнезиальных, прорыв Булочка (MgO 12 мас. %), до низкомагнезиальных, прорыв Билюкай (MgO 8 мас. %).

Главные элементы анализировались в минералах и стеклах на рентгеноспектральном микроанализаторе “Самебах” в Институте вулканологии ДВО РАН, определение воды в экспериментально полученных и природных закалочных стеклах расплавных включений проводилось на ионном микроанализаторе IMS-4f в Институте микроэлектроники РАН, Ярославль [5].

Гомогенизация расплавных включений проведена на высокотемпературной малоинерционной оптической установке системы Слуцкого–Соболева в атмосфере чистого гелия [6]. Полной гомогенизации расплавных включений в оливинах достичь не удалось. При температуре (1190–1200°C), соответствующей плавлению дочерних кристаллических фаз клинопироксена, объем газового пузыря переставал уменьшаться и сохранялся постоянным до момента разгерметизации включения (1450–1500°C). Поэтому был применен метод частичной гомогенизации. Включения доводились до плавления последнего кристалла-узника (высокомагнезиального клинопироксена) и закачивались после минимального (меньше 2 мин) времени выдержки. Составы закаленных расплавных включений при температуре плавления последнего кристалла из наиболее магнезиальных оливинов представлены в табл. 1.

Оценка состава первичного расплава получена путем численного моделирования обратного хода фракционной кристаллизации расплава в поле оливина от составов, отвечающих закаленным расплавным включениям, до равновесия с реально установленным наиболее магнезиальным оливином данной серии (Fo 91.2 по [1]) с использованием метода, описанного в [7]. Степень окисленности железа в расплаве, необходимая для расчетных моделей, определялась на основе равновесия шпинель–расплав [8]. Полученные оценки фугитивности кислорода близки к буферу кварц–фаялит–магнетит [1].

*Институт вулканологии
Дальневосточного отделения
Российской Академии наук,
Петропавловск-Камчатский*

*Институт геохимии и аналитической химии
им. В.И. Вернадского
Российской Академии наук, Москва*

Таблица 1. Первичные расплавы базальтов Ключевского вулкана, мас. %

| Компонент | 1 | 2 | 3 | 4 | Компонент | 1 | 2 | 3 | 4 |
|--|-------|-------|-------|-------|--|-------|-------|-------|-------|
| Составы частично гомогенизированных расплавных включений | | | | | Расчетные составы первичных расплавов, равновесных с Fo 91.2 | | | | |
| SiO ₂ | 49.13 | 49.67 | 47.53 | 49.10 | SiO ₂ | 49.8 | 49.2 | 47.65 | 49.68 |
| TiO ₂ | 0.90 | 0.94 | 1.00 | 0.70 | TiO ₂ | 0.85 | 0.82 | 0.89 | 0.67 |
| Al ₂ O ₃ | 15.29 | 15.69 | 15.79 | 14.70 | Al ₂ O ₃ | 14.52 | 13.69 | 14.06 | 14.11 |
| FeO* | 8.27 | 8.45 | 8.67 | 8.37 | FeO | 8.59 | 8.94 | 9.12 | 8.62 |
| MnO | 0.14 | 0.12 | 0.15 | 0.12 | MnO | 0.13 | 0.10 | 0.13 | 0.10 |
| MgO | 9.85 | 7.42 | 7.82 | 10.60 | MgO | 13.15 | 13.47 | 13.36 | 13.25 |
| CaO | 10.31 | 12.10 | 13.06 | 11.60 | CaO | 9.79 | 10.55 | 11.63 | 10.78 |
| Na ₂ O | 2.64 | 2.77 | 2.66 | 2.25 | Na ₂ O | 2.51 | 2.42 | 2.37 | 2.11 |
| K ₂ O | 0.55 | 0.79 | 0.74 | 0.31 | K ₂ O | 0.52 | 0.69 | 0.66 | 0.29 |
| Оливин-хоэзин | 89.5 | 88.5 | 90.4 | 88.1 | | | | | |
| T _{зак} , °C | 1220 | 1205 | 1205 | 1220 | | | | | |

Примечание. 1, 2, 3, 4 – побочные прорывы магнезиальных базальтов соответственно Булочка, Цирк, Билюкай, Слюнина; T_{зак} – температура закалки включения в экспериментальной установке; оливин-хоэзин – содержание форстеритового компонента (%) в составе оливина минерала-хоэзина.

Рассчитанные составы первичных расплавов для всех частично гомогенизированных расплавных включений отвечают пикритам (табл. 1). Кроме того, в составе расплавов установлены высокие содержания H₂O [9]. На рис. 1 представлены отношения H₂O к Al₂O₃ в расплавных включениях в магнезиальных оливинах. Эти отношения практически не зависят от фракционирования ранних ликвидусных фаз (оливин, клинопироксен, хромшпинелид) и, следовательно, могут представлять таковые в первичных расплавах [9]. Однако измеренные отношения в расплавных включениях характеризуются значительными вариациями, не зависящими от состава вмещающего оливина. Это может быть связано с частичной потерей воды из включений как в природных условиях, так и в процессе эксперимента [9]. Поэтому наиболее реальными являются наибольшие значения, которые соответствуют интервалу H₂O/Al₂O₃ = 0.17–0.21. Этим значениям соответствуют 2.2–2.9 мас. % H₂O в первичных магмах (пересчитано по содержанию Al₂O₃ в первичных расплавах, табл. 1). Полученные содержания H₂O в первичных островодужных магмах в 2–3 раза превышают более ранние оценки [10], подтверждая вывод работы [9] о том, что значительная доля субдуцированной воды поступает обратно в продуктах надсубдукционного магматизма.

Условия образования первичных магм могут быть оценены на основании их составов и предположения их равновесия с мантийным веществом лерцолит-гарцбургитового ряда. Такая оценка проведена на основе диаграммы Ol–Pl–Q–Di с изобарами давлений, определенных по экспери-

ментальным данным в присутствии H₂O [4, 11]. Полученные результаты позволяют предполагать, что расплав отделился от мантийного вещества при давлениях, соответствующих 15–18 кбар (рис. 2). Эти давления отвечают глубине мантийного очага в 50–60 км и соответствуют оценкам

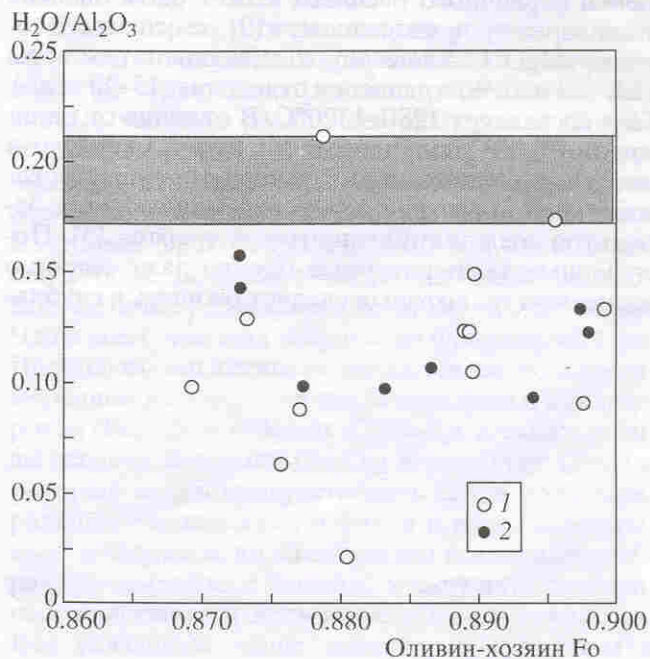


Рис. 1. Содержания H₂O (нормализованы к Al₂O₃) в расплавных включениях в магнезиальных оливинах базальтов Ключевского вулкана. 1 – данные этой работы; 2 – данные [9]. Заштрихован принятый интервал исходных значений (см. текст).

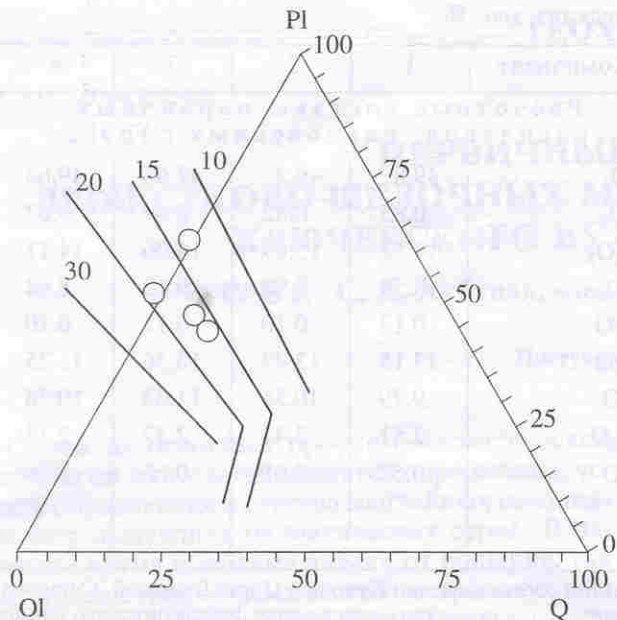


Рис. 2. Оценки давлений образования первичных расплавов ключевских базальтов на проекции системы оливин (Ol)–плагиоклаз(Pl)–кремнекислота(Q)–кальциевый пироксен(Di) из вершины Di. Изобары равновесия с лерцолитовым веществом показаны для водосодержащих систем с содержанием H_2O в расплаве 2–3 мас. % [4, 11]. Цифрами показаны давления, кбар; значками – составы первичных расплавов из табл. 1.

по геофизическим данным [12]. Температура отделения первичного расплава может быть оценена по алгоритму, приведенному в [9], на основе его состава (MgO 13.5 мас. %), содержания в нем воды (2.2–2.9 мас. %) и давления отделения (15–20 кбар). Она составляет 1280–1320°C. В отличие от бонинитов [9, 13], полученные оценки температур и давлений сопоставимы с условиями существования мантийного респгита после выплавления базальтов срединно-океанических хребтов [5]. Полученные температурные оценки даже значимо ниже, чем те, которые следует ожидать в глубин-

ной части мантийных колонн под типичными срединно-океаническими хребтами (более 1350°C для $P > 15$ кбар по [5]). Поэтому для происхождения первичных магм Ключевского вулкана может быть предложена модель выплавления примитивного (ранее не плавленного) мантийного источника базальтов срединно-океанических хребтов под действием водосодержащего субдукционного компонента.

Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (гранты 96–05–66211 и 96–05–66014), а также грантом Министерства науки и техники РФ “Магматизм Курило-Камчатского региона”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хубуная С.А., Богоявленский С.О., Новгородцева Т.Ю., Округина А.И. // Вулканология и сейсмология. 1993. № 3. С. 46–68.
2. Kersting A.B., Arculus R.J.J. // Petrology. 1994. V. 35. № 1. P. 1–41.
3. Арускин А.А., Бармина Г.С., Озеров А.Ю. и др. // Петрология. 1995. Т. 3. № 5. С. 496–521.
4. Sobolev A.V., Danyushevsky L.V. // J. Petrol. V. 35. P. 1183–1211.
5. Соболев А.В. // Петрология. 1996. Т. 4. № 3. С. 228–239.
6. Соболев А.В., Слуцкий А.Б. // Геология и геофизика. 1984. № 12. С. 97–110.
7. Соболев А.В., Никогосян И.К. // Петрология. 1994. Т. 2. № 2. С. 131–168.
8. Danyushevsky L.V., Sobolev A.V. // Petrol. and Miner. 1996. V. 57. P. 229–241.
9. Sobolev A.V., Chaussidon M. // Earth and Planet. Sci. Lett. 1996. V. 137. P. 45–55.
10. Thompson A.V. // Nature. 1992. V. 358. P. 295–302.
11. Danyushevsky L.V., Green D.H., Falloon T.J., Sobolev A.V. // Miner. Mag. 1994. V. 58A. P. 209–210.
12. Горшков Г.С. // ДАН. 1956. Т. 106. № 4. С. 703–705.
13. Соболев А.В., Портнягин М.В., Дмитриев Л.В. и др. // Петрология. 1993. Т. 1. № 4. С. 379–412.