

УДК 552.13

ПЕТРОЛОГИЯ МАНТИЙНЫХ КСЕНОЛИТОВ В ПОРОДАХ ВУЛКАНА БЕЗЫМЯННЫЙ (КАМЧАТКА)

© 2010 г. В. Д. Щербаков, П. Ю. Плечов

Представлено академиком Д.Ю. Пушаровским 20.04.2010 г.

Поступило 27.05.2010 г.

Ксенолиты перидотитов в островодужных лавах преимущественно представлены шпинелевыми перидотитами, отражающими состав островодужной литосферной мантии [7]. На Камчатке мантийные ксенолиты найдены в породах вулканов Авачинский. Ключевской. Шивелуч, в базальтах Харчинской и Бакенингской ареальных зон. В 2009 г. нами найдены ксенолиты шпинелевых гарцбургитов в продуктах извержения октября 2007 г. вулкана Безымянный. В данной работе приводится описание их петрографических и минералогических особенностей, на основе которых оценены параметры литосферной мантии и показана связь андезитов вулкана с мантийным источником.

Для вулкана Безымянный, возобновившего свою активность в 1955 г. после тысячелетнего перерыва, характерны частые (1–2 раза в год) эксплозивные извержения. Петрология магм вулкана и проблемы их генезиса привлекли внимание многих ученых [3–5]. В последнее десятилетие продукты извержений достаточно однородны и представляют собой пористые дупироксеновые андезиты с преобладанием плагиоклаза среди укрепленников.

Извержение 14–16 октября 2007 г. сформировало на юго-восточном склоне вулкана пирокластический поток длиной 5.5 км и короткий (<400 м) лавовый поток поверх экструзивного купола [1]. Были обнаружены округлые высококристаллические порфиоровые включения – анклавы – размером от 5 до 30–40 см, содержащие мантийные ксенолиты. Анклавы имеют порфиоровую структуру и преимущественно сложены резко зональным плагиоклазом и пироксенами (с преобладанием ромбического). Характерны для анклавов реликты роговой обманки, окруженные опацитовыми каймами, продукты полного разложения, а также реликтовые зерна оливина, окруженные ортопироксен-магнетитовыми реакционными каймами. Роговая обманка и оливин практически отсутствуют во вмещающих андезитах.

Насколько нам известно, описанных в литературе находок перидотитов в продуктах извержений вулкана Безымянный не было. В.А. Ермаков с соавторами [2] описали единичные находки ксенолитов оливиновых пироксенитов в породах экструзивного купола Экспедиция (4 км на юго-юго-запад от вершины вулкана Безымянный). Так же как и в образцах извержения Безымянного 2007 г., ксенолиты купола Экспедиция содержатся внутри анклавов.

Найденные нами ксенолиты гарцбургитов имеют угловатую форму и размеры до нескольких сантиметров. Первичный парагенезис в них представлен оливином, ортопироксеном и хромшпинелидом (рис. 1а, табл. 1). Анализы минералов получены в лаборатории локальных методов исследования вещества кафедры петрологии геологического факультета МГУ (микроскоп JEOL JSM-6480LV с энергодисперсионным анализатором INCA-Energy 350 и волновым спектрометром INCA-Wave 500).

Магнезиальный оливин $Fe_{0.2-0.9}Mg_{0.8-0.9}$ образует крупные зерна до 2–3 мм, с деформационными дислокациями и значительным количеством планарных элементов, насыщенных мелкими флюидными включениями. Высокие концентрации NiO и низкие CaO отвечают полю оливинов мантийных ксенолитов [15]. Ортопироксен образует призматические зерна длиной до 0.1 мм. Его состав изменяется в пределах $En_{89.7-91.6}Fs_{8.4-9.4}Wo_{0-0.9}$. Кристаллы хромшпинелида имеют округлую форму и бухтообразные границы. Ядра некоторых зерен более глиноземистого состава и с более высоким отношением $Mg/(Mg + Fe^{2+})$ по сравнению с краевыми частями зерен.

Крупный первичный хромшпинелид в исходном парагенезисе определяет фацию шпинелевых перидотитов, для которых характерны давления 10–20 кбар. Составы сосуществующих оливина и хромшпинелида соответствуют температуре равновесия 947°C (станд. отклонение 36°C, $n = 14$, [9]). Фугитивность кислорода, определенная по оливин-хромшпинелевому равновесию [9] при давлении 15 кбар, изменяется от 1.8 до 2.6 лог. ед. выше кислородного буфера QFM, составляя в среднем +2.1 (станд. отклонение 0.4, $n = 14$).

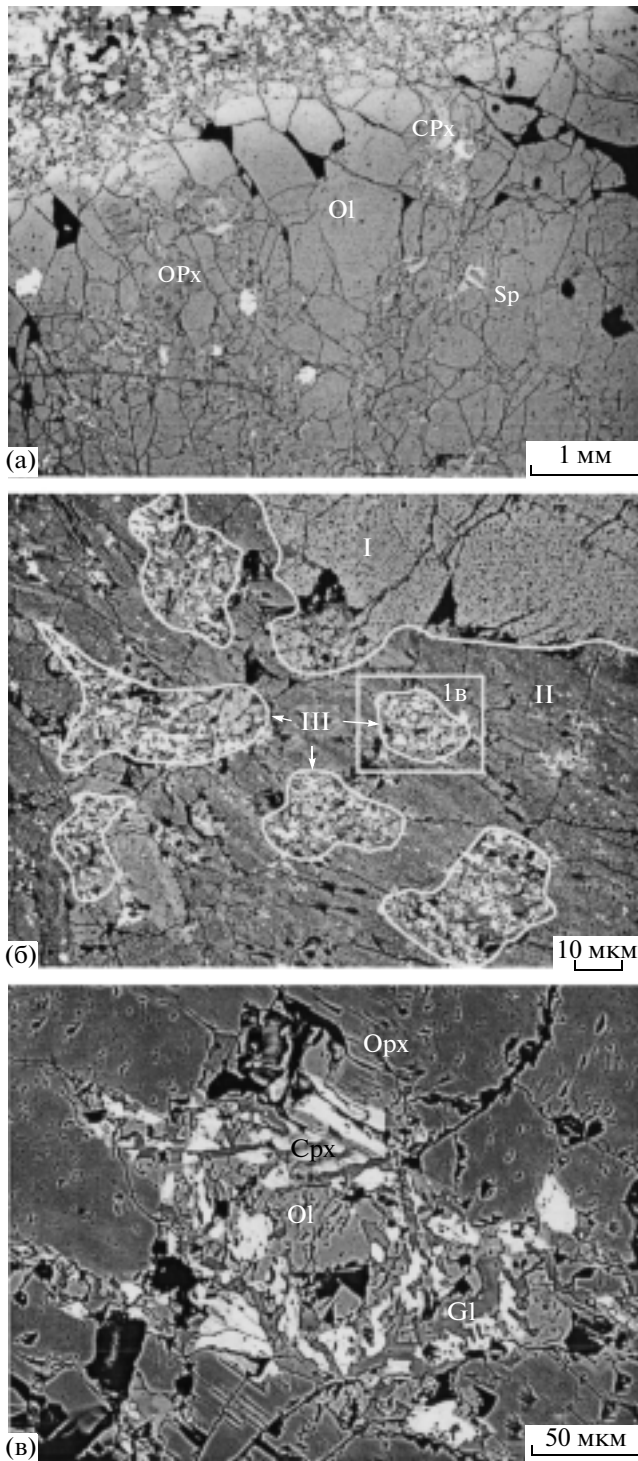


Рис. 1. Изображения ксенолитов вулкана Безымянный, выполненные в отраженных электронах. а – общий вид гарцбургитового ксенолита на контакте с вмещающим анклавом. На мантийный парагенезис оливин(ОI)—ортопироксен(Орх)—шпинель(Sp) накладываются ортопироксен-оливин-клинопироксеновые(Срх) зоны перекристаллизации. На границе с вмещающими породами образуется зональная ортопироксеновая кайма, а оливин имеет более железистый состав. б – общий вид зоны перекристаллизации. I – оливин из первичного гарцбургитового парагенезиса, II – зона, содержащая ортопироксен, шпинель и амфибол, III – зоны, содержащие оливин, клинопироксен и вулканическое стекло. Прямоугольник указывает область, изображенную на рисунке 1в. в – увеличенное изображение зоны III на рисунке 1б. Субидиоморфные кристаллы оливина и клинопироксена погружены в вулканическое стекло (Gl).

На основной парагенезис накладываются прожилки перекристаллизации, сложенные в краевых частях ортопироксеном $En_{90,0-91,6}Fs_{8,4-9,3}Wo_{0-0,7}$, а в центральных зонах содержащие обособления клинопироксена $En_{47,3-50,8}Fs_{4,1-5,9}Wo_{42,2-46,8}$, оливина $Fo_{90,1-90,0}$ и хромшпинелида ($Cr/(Cr + Al) = 0.46-0.58$), в которых субидиоморфные кристаллы погружены в вулканическое стекло (рис. 1б, 1в). Ортопироксеновые зоны прожилков включают редкие кристаллы амфибола и хромшпинелида. Клинопироксен содержит 0.4–1.8% Cr_2O_3 и 1.8–4.1% Al_2O_3 . Интерстициальное стекло по составу отвечает стехиометрии плагиоклаза. Минеральные пары оливин-клинопироксен из зон перекристаллизации исходного парагенезиса соответствуют температурам равновесия $1080^\circ C$ (станд. отклонение $12^\circ C$, $n = 6$, [13]).

Мощность ортопироксеновых реакционных кайм на границе с окружающими анклавами составляет 140–270 мкм. Зерна оливина на границе ксенолита имеют значительно более железистый состав, до Fo_{85-86} . Магнезиальность ортопироксена в реакционной кайме уменьшается при удалении от ксенолита с 83.7 до 73.5.

Мы предполагаем, что описанные ксенолиты отражают состав островодужной литосферной мантии под Безымянным вулканом, процессы ее преобразования мигрирующими расплавами и/или флюидами и процессы, происходящие при транспортировке ксенолитов к поверхности.

Первичный парагенезис оливина, ортопироксена и хромшпинелида изученных ксенолитов соответствует шпинелевым гарцбургитам. Степень плавления мантийного субстрата может быть оценена по хромистости шпинели [14] как 20–30% (рис. 2). Оцененная фугитивность кислорода (+1.8–2.6 ΔQFM) парагенезиса гарцбургитов является самой высокой среди описанных в литературе перидотитов и совпадает с оценками f_{O_2} для ксенолитов вулкана Шивелуч [10], который находится всего в 86 км от Безымянного вулкана.

Вслед за рядом исследователей [7, 12] мы считаем, что образование амфиболсодержащих ортопироксен-хромшпинелевых прожилков связано с процессами миграции расплавов и/или растворов через островодужную литосферную мантию. Структурно-текстурные особенности участков, содержащих оливин, клинопироксен и стекло плагиоклазового состава свидетельствуют об их образовании при кристаллизации расплава. Возможно, что они представляют собой частично раскристаллизованный реликтовый расплав, фильтрующийся через островодужную мантию.

Существование реакционных ортопироксеновых кайм между ксенолитами и окружающей магмой позволяет оценить время взаимодействия ксенолита с магмой до его выноса на поверхность (по методике, предложенной в [11]). Для оценки

Таблица 1. Средние составы минералов мантийных гарцбургитов из ксенолитов вулкана Безымянный, мас. %

Минерал	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Ar ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	NiO	CaO	Сумма
Оливин (8)	41.34 ± 0.58	0.01 ± 0.01	0.03 ± 0.03	0.14 ± 0.17	9.60 ± 0.48	0.14 ± 0.08	50.21 ± 0.85	0.41 ± 0.07	0.09 ± 0.03	101.9
Ромбический пироксен (7)	57.57 ± 0.50	0.06 ± 0.07	1.75 ± 0.42	0.22 ± 0.13	6.19 ± 0.24	0.14 ± 0.09	35.24 ± 0.22	Н.а.	0.33 ± 0.11	101.6
Хромшпинелид (8)	Н.а.	0.00	25.01 ± 3.81	34.75 ± 3.77	25.15 ± 2.01	0.10 ± 0.18	14.10 ± 0.90	0.13 ± 0.25	Н.а.	98.9

Примечание. В скобках указано количество усредненных анализов, н. а. — анализ не проводился.

времени нами принят коэффициент скорости роста 2.95 мкм²/ч, полученный по замерам мощности кайм вокруг оливина в последовательных извержениях вулкана Аренал [11]. Оценка времени образования кайм вокруг ксенолитов в породах вулкана Безымянный лежит в диапазоне 280–1030 дней (0.76–2.82 лет), что превышает характерный интервал между извержениями. Следовательно, ксенолиты могут сохраняться в магмати-

ческой камере в течение нескольких эруптивных событий и не выносятся на поверхность в результате извержения, что может быть объяснено строением и динамикой магматической системы, питающей вулкан. Высокая эруптивная активность вулкана Безымянный предполагает интенсивную подпитку его, следовательно, должны существовать факторы, не позволяющие ксенолитам и анклавам попадать на поверхность. Геометрия магматической системы может представлять собой либо сильно вытянутый по вертикали магматический очаг, либо состоять из двух разноуровневых очагов, что не противоречит геофизическим данным [6]. Если очаг сильно вытянут по вертикали, то поступающие в нижнюю его часть порции магмы с ксенолитами не могут взаимодействовать непосредственно с магмой в верхней части очага, питающей извержение. Ксенолиты и анклавы, оставаясь в нижней части очага, могут сохраняться в течение долгого времени.

При существовании системы двух разноуровневых очагов, магма, несущая ксенолиты, попадает в нижний очаг и вытесняет часть магмы из нижнего очага в верхний. Все процессы, связанные непосредственно с извержением, в таком случае будут происходить в верхнем очаге, а ксенолиты при этом останутся в нижнем. Вынос ксенолитов и анклавов на поверхность возможен в двух случаях: 1) если в магматический очаг попадает порция магмы большого объема и ее часть поступает в верхний очаг, вынося с собой ксенолиты; 2) если порция магмы, минуя нижний очаг, попадает непосредственно в верхний.

Авторы благодарят В.О. Япаскурта и Е.В. Гусеву за активную помощь в проведении микрозондовых исследований, Т. Кайзар — за участие в сборе полевого материала.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке программы “Партнерство в Области Международных Исследований и Обучения” (Partnership in International Research and Education OISE 0530278) Национального Научного Фонда США (NSF).

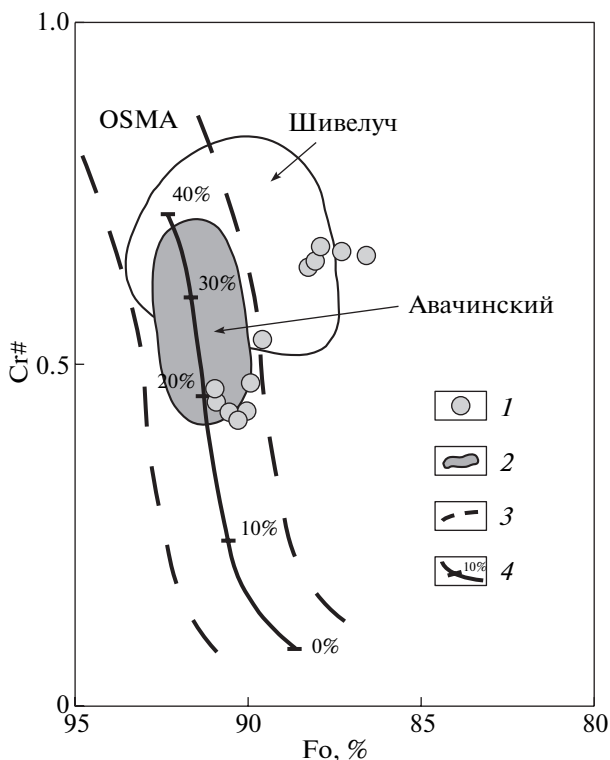


Рис. 2. Диаграмма составов сосуществующих оливинов и хромшпинелидов в мантийных ксенолитах. Хромистость (Cr#) шпинели — отношение Cr/(Cr + Al), Fo, % — содержание форстерита в оливине. 1 — оливин-шпинелевые парагенезисы ксенолитов вулкана Безымянный; 2 — составы оливина и шпинели ксенолитов вулканов Шивелуч и Авачинский [10, 13]; 3 — поле составов, характерных для мантийных перидотитов (OSMA) по [11]; 4 — степень плавления мантийного субстрата по [8].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гирин О.А., Ушаков С.В., Малик Н.А. и др.* // Вулканонология и сейсмология. 2007. Т. 3. № 1. С. 1–17.
2. *Ермаков В.А., Колосков А.В.* В сб.: Ксенолиты и гомеогенные включения. М.: Наука, 1968. С. 68–75.
3. *Озеров А.Ю., Арискин А.А., Кайл Ф. и др.* // Петрология. 1997. Т. 6. № 6. С. 614–635.
4. *Плечов П.Ю., Цай А.Е., Щербаков В.Д. и др.* // Петрология. 2008. Т. 16. № 1. С. 21–37.
5. *Толстых М.Н., Наумов В.Б., Богоявленская Г.Е. и др.* // Геохимия. 1999. Т. 67. № 1. С. 14–24.
6. *Федотов С.А., Жаринов Н.А., Гонтовая Л.И.* // Вулканонология и сейсмология. 2010. Т. 4. № 1. С. 1–33.
7. *Arai S., Isimura S.* // J. Petrol. 2008. V. 49. № 4. P. 665–695.
8. *Arai S., Takada S., Michibayashi K. et al.* // J. Petrol. 1994. V. 45. № 2. P. 369–389.
9. *Ballhaus C.* // Contrib. Mineral. and Petrol. 1991. V. 107. № 1. P. 27–40.
10. *Bryant J.A., Yagodinsky G.M., Churikova T.G.* // Geochem. Geophys. Geosyst. 2007. V. 8. № 4. Q04007.
11. *Coombs M.L., Gardner J.E.* // Amer. Miner. 2004. V. 89. P. 748–759.
12. *Ionov D.A.* // J. Petrol. 2010. V. 51. № 1. P. 327–361.
13. *Loucks R.R.* // Contrib. Mineral. and Petrol. 1996. V. 125. № 2/3. P. 140–150.
14. *Pearce J.A., Barker P.F., Edwards S.J. et al.* // Contrib. Mineral. and Petrol. 2000. V. 139. № 1. P. 36–53.
15. *Simkin T., Smith J.V.* // J. Geol. 1970. V. 78. № 3. P. 304–325.