

В. А. КУТОЛИН

**К ВОПРОСУ О ГЕНЕЗИСЕ БАЗАЛЬТОВ В СВЯЗИ С СОСТАВОМ
ВЕРХНЕЙ МАНТИИ**

(Представлено академиком Ю. А. Кузнецовым 18 V 1970)

Как известно, в основу теорий происхождения базальтовой магмы были положены предпосылки: 1) верхняя мантия имеет ультраосновной состав типа гранатового лерцолита или «широлита» ⁽¹⁾; 2) базальты являются продуктом частичного плавления этого ультраосновного материала.

В последние годы в результате экспериментального изучения плавления перидотитов возникли сомнения в справедливости второго из этих предположений. Оказалось, что в сухой системе при высоких давлениях, соответствующих тем глубинам, на которых должны генерироваться базальты, частичное плавление гранатового перидотита дает расплав не базальтового, а пикритового состава ⁽²⁾. Аналогичный результат получается и при плавлении шпинелевого лерцолита в присутствии воды ⁽³⁾, так как появляющийся при этом расплав находится в равновесии с оливином, а следовательно, как показали Ито и Кеннеди ⁽²⁾, имеет не базальтовый, а пикритовый состав. Эти данные, полученные при плавлении натуральных поликомпонентных пород, хорошо согласуются с более ранними экспериментами по изучению влияния давления на температуру плавления порообразующих минералов ^(4, 5), а также по изучению систем диопсид — форстерит — энстатит ⁽⁶⁾ и диопсид — форстерит — пироп ⁽⁷⁾, в результате которых выяснилось, что с повышением давления состав эвтектической точки бинарной системы, содержащей форстерит, должен смещаться в сторону последнего, поскольку, вплоть до давлений в 30 кбар, начальный наклон кривых плавления для форстерита значительно положе, чем для других порообразующих минералов.

Таким образом, заключение о том, что частичное плавление перидотитов при высоком давлении дает расплав не базальтового, а пикритового состава, является непреложным. Это обстоятельство заставило О'Хару ⁽⁸⁾ предположить, что базальты являются дифференциатами такой пикритовой магмы, причем дифференциация происходит во время подъема этого пикритового расплава к поверхности Земли. Гипотеза О'Хары была поддержана некоторыми авторами, однако нам представляется, что она противоречит ряду геологических данных. Прежде всего, трудно объяснить, почему дифференциация пикритовой магмы во время подъема во всех случаях приводит к одному и тому же результату — появлению именно базальтов. Так как скорость подъема, температура, давление, проницаемость и другие физические условия должны сильно варьировать в разных вулканических областях, следовало бы ожидать, что состав базальтовых магм, изливающихся на поверхность, будет значительно более разнообразным, чем это имеет место в действительности ⁽⁹⁾. Несомненно, при этих условиях были бы широко распространены породы, дающие всю гамму переходов от пикритов до базальтов, чего, как известно, на самом деле не наблюдалось. Наконец, сами «первичные пикриты» в случаях особо быстрого подъема должны были бы достигать поверхности, однако породы такого типа не распространены ни в одной области базальтового вулканизма ⁽¹⁰⁾. Характерно, что трубки взрыва в базальтовых вулканических областях сложены обычно именно базальтами, а не пикритами, хотя иногда в таких трубках и появляются лимбургиты. Между тем несомненно, что именно в трубках взрыва обеспечивается наиболее быстрый транспорт материала со

значительных глубин. Обычно базальты в этих трубках содержат ультраосновные нодулы и крупные вкрапленники пироксенов, которые в настоящее время считаются фенокристами, кристаллизовавшимися при высоком давлении. Как подчеркнул Грин ⁽¹¹⁾, наличие таких образований является сильным доводом в пользу глубинного, «первичного» характера базальтов, выполняющих трубки взрыва.

Наконец, в настоящее время есть и прямые геологические данные, убедительно свидетельствующие о весьма быстром подъеме базальтовой магмы из областей ее формирования к поверхности Земли. Так, извержению вулкана Килауса Ики на Гавайских островах непосредственно предшествовала сейсмическая активность на глубине 60 км, которая связывается с зарождением этой магмы ⁽¹²⁾. Основываясь на этих данных, Шейнманн ⁽¹³⁾ оценивает скорость подъема магмы в десятки метров за час.

В связи с изложенным выше нам представляется, что построения О'Хары, появившиеся лишь в связи с необходимостью объяснить экспериментальные данные по частичному плавлению перидотитов, носят искусственный характер. Между тем, существует возможность объяснить эти эксперименты не приходя в противоречие с геологическими фактами. С этой целью необходимо более детально рассмотреть первую из предпосылок, положенных в основу гипотезы происхождения базальтов, — предположение о перидотитовом составе верхней мантии. Это сделано нами в статье ⁽¹⁴⁾, основные положения которой сводятся к следующему.

Среди ультраосновных включений в базальтах, кроме шпинелевых перцолитов, обычно присутствуют вебстериты, которые образуют с перцолитами единую генетическую группу. Между этими группами пород существуют постепенные переходы в минеральном составе, клинопироксен и шпинель в них обогащены хромом. Многие факты свидетельствуют о том, что перцолиты не представляют собой аккумулятивных образований, но являются ксенолитами вещества верхней мантии, а следовательно являются таковыми и связанные с ними включения пироксенитов. В процессе транспортировки на поверхность ультраосновные нодулы подвергаются сильной коррозии базальтовым расплавом, причем наименее устойчивыми к этому корродирующему воздействию оказываются пироксены и шпинель, тогда как оливин значительно более устойчив. Вследствие этого пироксениты имеют меньше шансов уцелеть и попасть в руки исследователей, чем дуниты и перидотиты. Поэтому весьма вероятно, что в пределах верхней мантии, наряду с шпинелевыми и гранатовыми перцолитами, может присутствовать значительное количество пироксенитов, которые сравнительно редко наблюдаются среди ультраосновных включений лишь потому, что успевают дезинтегрироваться во время транспортировки на поверхность.

Предположение о наличии в пределах верхней мантии значительного количества пироксенитов позволяет по-новому подойти к пониманию генезиса базальтов. Прежде всего, как показали Йодер и Тилли ⁽¹⁵⁾, некоторые пироксениты близки по валовому составу к базальтам, а потому эти по-

Таблица 1

Химические анализы вебстеритов из нодул в базальтах Минусы (вес. %)

Оксид	Обр. № 5е	Обр. № 20/19	Обр. № 22/17
SiO ₂	49,24	51,58	49,74
TiO ₂	0,35	0,42	0,15
Al ₂ O ₃	7,26	7,19	7,73
Fe ₂ O ₃	1,54	Не обн.	2,03
FeO	11,70	6,18	8,39
MnO	0,12	0,16	0,16
MgO	24,41	19,90	26,80
CaO	2,73	11,07	2,41
Na ₂ O	0,54	1,00	0,21
K ₂ O	0,29	0,28	0,21
H ₂ O	0,14	0,16	0,22
П.л.п.	1,30	1,34	1,47
P ₂ O ₅	0,04	0,16	Не обн.
Cr ₂ O ₃	0,36	0,47	0,51
NiO	0,12	Не опр.	0,10
Сумма	100,14	99,91	100,13

следние могут возникнуть при полном, а не частичном плавлении пород такого типа. Необходимость допустить полное плавление подкорового субстрата для того, чтобы объяснить геологические и петрографические особенности траппов, недавно настоятельно подчеркивалось Масайтисом⁽¹⁶⁾, а в применении вообще ко всем базальтам — Белоусовым⁽¹⁷⁾. Однако большая часть пироксенитов не являются изохимическими эквивалентами базальтов, но представляет собой породы, более богатые магнием, при пониженном содержании глинозема. В табл. 1 приведены три химических анализа вобстеритов из нодул в базальтах Минусы⁽¹⁸⁾, которые, по нашему мнению, являются мантийными образованиями. Эти породы содержат около 20—25% MgO и могут рассматриваться как смесь 60% базальта, содержащего 8% MgO, и 40% перидотита, содержащего 40% MgO. Очевидно, что частичное плавление такой смеси даже при высоком давлении должно дать расплав базальтового, а не пикритового состава.

Таким образом, базальты можно считать по-прежнему продуктом частичного плавления материала мантии, а необходимость в сложных и искусственных построениях о первичной пикритовой магме полностью отпадает. Важно подчеркнуть также, что из такой смеси может выплавиться значительно больше базальтовой магмы, чем из гранатового лерцолита или пиролита Рингвуда⁽¹⁾, что ликвидирует те трудности, которые возникают при рассмотрении вопроса о механизме отделения базальтовой магмы от исходного субстрата⁽¹⁹⁾, и обеспечивает объяснение геологических данных о громадном площадном распространении базальтов некоторых типов.

Что же касается причин значительного однообразия состава базальтов, то можно основываться на работе Уилли⁽²⁰⁾, который показал, что поверхность ликвидуса в системе базальт — перидотит должна иметь значительный пологий участок, в связи с чем в широком интервале температур будет происходить выплавление расплава только базальтового состава. Это предположение хорошо подтверждается результатами частичного плавления перидотита при атмосферном⁽²¹⁾ и высоком⁽²⁾ давлении.

Более универсальным, чем способ Уилли, является механизм, предложенный Пресналом⁽²²⁾, который также обеспечивает постоянство состава расплава, получившегося при частичном плавлении мантийного материала, и позволяет объяснить, почему те неоднородности состава, которые имеют место в верхней мантии, не вызывают значительных различий в составе базальтов. Как показал Преснал в том случае, когда продукт частичного плавления удаляется из системы и не реагирует с твердыми фазами, состав получившегося расплава остается постоянным на протяжении значительного интервала плавления и мало зависит от второстепенных особенностей состава исходного субстрата.

Институт геологии и геофизики
Сибирского отделения Академии наук СССР
Новосибирск

Поступило
8 V 1970

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ A. E. Ringwood, *Geochim. et cosmochim. acta*, 30, № 1 (1966). ² K. Ito, G. C. Kennedy, *Am. J. Sci.*, 265, № 6 (1967). ³ I. Kushiro, Y. Syono, S. Akimoto, *J. Geophys. Res.*, 73, № 18 (1968). ⁴ F. R. Boyd, *Science*, 145, № 3627 (1964). ⁵ B. T. Davis, *J. R. England, J. Geophys. Res.*, 69, № 6 (1964). ⁶ I. Kushiro, *Carnegie Inst. Wash. Year Book*, 63 (1964). ⁷ B. T. Davis, *Carnegie Inst. Wash. Year Book*, 63 (1964). ⁸ M. J. O'Hara, *Scottish J. Geol.*, 1, Part 1 (1965). ⁹ В. А. Кутюлин, Статистическое изучение химизма базальтов разных формаций, «Наука», 1969. ¹⁰ А. Ф. Белоусов, Геология и геофизика, № 1 (1970). ¹¹ D. H. Green, *Tectonophysics*, 7, № 5—6 (1969). ¹² J. P. Eaton, K. J. Murata, *Science*, 132, № 3432 (1960). ¹³ Ю. М. Шейнманн, Бюлл. МОИП, отд. геол., 39, № 4 (1964). ¹⁴ В. А. Кутюлин, ДАН, 194, № 2 (1970). ¹⁵ Г. С. Йодер, К. Э. Тилли, Происхождение базальтовых магм, 1965. ¹⁶ В. Л. Масайтис, В кн.: Проблемы петрологии и генетической минералогии, 1, «Наука» (1969). ¹⁷ А. Ф. Белоусов, Геология и геофизика, № 1 (1970). ¹⁸ V. A. Kutolin, V. M. Frolova, *Contr. Mineral. and Petrol.*, 29, № 2 (1970). ¹⁹ Ю. М. Шейнманн, Сов. геол., № 1 (1969). ²⁰ P. J. Wyllie, *Min. Mag.*, 32, № 249 (1960). ²¹ A. Reay, P. G. Harris, *Bull. Volcanol.*, 27, 5 (1964). ²² D. C. Presnall, *Am. J. Sci.*, 267, 1178 (1969).