

И.А.Готтман, Е.В.Пушкарев, В.А.Вилисов

РЕАКЦИОННОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПЕРИДОТИТОВ С ФЛЮИДОНАСЫЩЕННЫМИ РАСПЛАВАМИ ОСНОВНОГО СОСТАВА (НА ПРИМЕРЕ ХАБАРНИНСКОГО МАССИВА)

Считается, что вторичное метасоматическое обогащение мантийных перидотитов "базальтоидными" компонентами (Al_2O_3 , CaO, TiO_2 , щелочами и др.) в результате их взаимодействия с основными расплавами - важный петрологический механизм подготовки мантийных субстратов для последующей генерации щелочных, кимберлитовых и карбонатитовых магм, а также расплавов, родоначальных для дунит-клинопироксенит-габбровых комплексов [3, 5, 7, 12]. Примером подобного взаимодействия являются полимиктовые перидотит-горнблендитовые брекчии Хабаровинского массива на Южном Урале. Установленные по геологическим данным интрузивные взаимоотношения горнблендитов с вмещающими породами, полимиктовый состав ксеногенного материала и высокотемпературный характер реакционного взаимодействия горнблендитов с гипербазитами позволяет нам рассматривать перидотит-горнблендитовые брекчии как эруптивные. Геологическое строение Хабаровинского массива и особенности состава слагающих его пород подробно описаны в ряде публикаций и здесь не рассматриваются, а расчленение массива на различные габбро-гипербазитовые комплексы принято по работе [6].

Полимиктовые перидотитовые брекчии с горнблендитовым или близким к нему составом цементирующей массы образуют тела мощностью от первых до нескольких десятков метров. Так, в центральной части Хабаровинского массива в составе Губерлинского интрузива молостовского комплекса зафиксирован шток порфирированных мелкозернистых меланогаббро (иситов). Иситы прорывают вмещающие гарцбургиты, которые в зоне контакта интенсивно хлоритизированы и антигоритизированы. Мощность метасоматического контактового ореола не превышает 10-15 см. Породы штока содержат угловатые ксенолиты перидотитов и округлые включения оливковых клинопироксенитов. Ксенолиты интенсивно хлоритизированы и изменены выветриванием, а их принадлежность к перидотитам устанавливается по валовому химическому составу обломков и составу реликтовых

аксессуарных хромшпинелидов. Оливиновые клинопироксениты из круглых включений (размером 10-15 см) представлены абсолютно свежими мелко- и среднезернистыми породами, состоящими из зонального клинопироксена (70-80%), оливина (10-15%), интерстициального амфибола и биотита и, возможно, принадлежат клинопироксенитам молостовского комплекса.

Тела перидотит-горнблендитовых брекчий с более свежими ксенолитами ультраосновных пород вскрываются глубокими скважинами (NN 570, 573 и др.), пробуренными в восточной части Хабарнинского массива. Наиболее представительные разрезы брекчий вскрыты скважиной 570 [6]. Цементирующая масса брекчий варьирует от пироксен-биотит-амфиболовых пород до горнблендитов и роговообманковых меланогаббро. Структура пород мелко-, среднезернистая, иногда крупнозернистая. Во всех случаях амфибол является главным породообразующим минералом. По составу, в соответствии с классификацией С. Hawthorne (1981), он соответствует эдениту (см. далее табл. 3).

Количество ксенолитов обычно не превышает 20-30% объема породы. Форма обломков неправильная, остроугольная или вытянутая, уплощенная. В последнем случае ксенолиты ориентированы субпараллельно друг другу и согласно общему падению тела брекчий (около 45° к горизонту). Наиболее часто встречающийся размер ксенолитов 2-10 см. По минеральному составу среди них выделяются ортопироксениты, амфиболовые дуниты, клинопироксениты и гарцбургиты. Последние явно преобладают. Микроструктуры пород в разных ксенолитах варьируют от протогранулярных до порфирокластических и эквигранулярных, но преобладают гарцбургиты порфирокластической структуры со следами высокотемпературных пластических деформаций и перекристаллизации. Порфирокласты представлены в основном чечевицеобразными изогнутыми зернами ортопироксена (размером 2-6 мм), реже оливина, окруженными шлейфом ненапряженных необластов ортопироксена и оливина. Порфирокласты ортопироксена ориентированы субпараллельно друг другу. Для дунитов и ортопироксенитов обычно характерна эквигранулярная, перекристаллизованная структура, хотя отмечаются и комбинации структур. Обломки клинопироксенитов по минеральному составу и структуре напоминают клинопироксениты восточно-хабарнинского комплекса. Все ультраосновные породы ксенолитов содержат в разных количествах амфибол и флогопит. Гидроксилсодержащие минералы занимают интерстициальное положение либо образуют крупные пойкилокрсты с включениями более ранних силикатов. Аксессуарные хромшпинелиды практически всегда приурочены только к флогопиту и амфиболу.

На контакте перидотитовых ксенолитов и вмещающих горнблендитов наблюдаются реакционные каймы зонального строения мощностью 1-3 мм. По направлению от ксенолита к вмещающему горнблендиту состав реакционной зоны меняется от мономинеральной ортопироксеновой, через промежуточную тальк-серпентинит-хлоритовую, обогащенную сульфидами, до амфибол-флогопитовой зоны. Две первые зоны - результат минералогического преобразования ультраосновного ксенолита, последняя - отражает изменение горнблендитов в контакте с ксенолитами. Для изучения характера воздействия горнблендитов на перидотиты были определены составы всех главных минералов в системе: ксенолит - реакционная зона - вмещающий горнблендит (табл. 1-4).

Порфиробластический ортопироксен гарцбургитовых ксенолитов соответствует низкоглиноземистому (Al_2O_3 до 1,5 мас.%, $f=0,08-0,09$) энстатиту деплетированных мантийных перидотитов (см. табл. 1). Мелкие необласты ортопироксена характеризуются такой же железистостью, но заметно меньшим содержанием глинозема и хрома, что отражает регрессивную направленность процесса перекристаллизации. Ортопироксен реакционной зоны отличается от породообразующего более высокой железистостью 0,15-0,19 и большим содержанием $Al_2O_3=1,60-1,96$ мас.% и $CaO=0,66-0,85$ мас.%.

Воздействие горнблендитов на ультраосновные ксенолиты выражается в изменении состава оливина и хромшпинелида. В центре ксенолитов железистость оливина равна 0,08-0,09 плавно увеличивается к краю до 0,12-0,13 и в целом соответствуют данным [10]. От центра к краю ксенолитов возрастают железистость хромшпинелидов (от 0,3-0,6 до 0,7=0,8) и содержание в них TiO_2 - от 0,1-0,2 до 0,6-0,8 мас.% (см. табл. 2). Вариации состава аксессуарных хромшпинелидов из ксенолитов по величине $Cr/(Cr+Al)$ охватывают практически весь интервал, характерный для альпинотипных перидотитов, и статистически подразделяются на три группы: 1) 0,3, 2) 0,5-0,6, 3) 0,7-0,8 [1]. Низкохромистые шпинели по составу приближаются к хромитам лерцолитового типа, что весьма интересно, поскольку лерцолиты в составе Хабарнинского массива до этого не описывались. Температура оливин-хромитового равновесия [11] всегда оказывается в среднем на 100° выше в краю ксенолитов (1050-1150° C) по сравнению с центральными зонами (950-1050° C), что указывает на термальное воздействие со стороны вмещающих пород.

В ксенолитах перидотитов амфибол представлен двумя разновидностями: 1) тремолитом ($f=0,06$, $Na+K<0,5$ ф.е., $Ti<0,5$ ф.е.) и 2) эденитом ($f=0,11-0,16$, $Na+K<0,5$ ф.е., $Ti<0,5$ ф.е.) (см. табл. 3). Оба амфи-

Химический состав ортопироксенов, мас. %

Компонент	570/323-5-7-1	570/323-5-8-1	570/323-1-11-1	570/323-1-8-1	570/323-1-8-2	570/323-6-1-1	570/323-6-1-2	570/323-6-9-1	570/323-6-9-2
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO ₂	54,64	54,59	54,23	54,26	54,36	53,64	53,85	53,51	53,29
TiO ₂	0,02	0,02	0,04	0,04	0,08	0,10	0,10	0,08	0,08
Al ₂ O ₃	1,42	1,44	1,71	1,68	1,96	1,66	1,78	1,60	1,79
Cr ₂ O ₃	0,61	0,67	0,03	0,14	0,11	0,11	0,11	0,10	0,11
FeO	5,76	5,70	9,92	11,53	11,93	11,52	11,56	12,56	12,66
MnO	0,21	0,20	0,28	0,34	0,37	0,47	0,47	0,52	0,53
MgO	34,61	34,93	31,93	31,49	30,80	31,87	31,67	31,09	31,00
CaO	0,47	0,56	0,66	0,78	0,74	0,81	0,85	0,85	0,85
Na ₂ O	0,05	0,05	0,09	0,10	0,37	0,04	0,03	0,08	0,05
K ₂ O	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00
Сумма	98,79	98,18	98,89	100,27	100,53	100,23	100,43	100,04	100,36
f	0,09	0,08	0,15	0,17	0,18	0,17	0,17	0,18	0,19

Примечание. 1-2 - порфиридные выделения ортопироксена в гарцбургитах, 3-9 - ортопироксен из реакционной каймы; f-Fe/(Fe+Mg). Все железо в форме FeO.

Приведенные здесь и далее результаты анализов получены на рентгеновском микроанализаторе JXA-5 в Институте геологии и геохимии УрО РАН, аналитик Вилицов В.А.

Таблица 2

Химический состав хромшпинелидов из ксенолитов перидотитов, мас. %

Компонент	570/323	570/323-37	570/323-1-44 (Ц)	570/323-1-44 (К)	570/323-1-3-1 (Ц)	570/323-1-3-2 (К)	570/323-5-41 (Ц)	570/323-5-41 (К)	570/323-5-4-1
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
FeO	16,07	17,77	30,38	29,95	35,18	64,92	27,85	29,71	28,12
MgO	16,41	15,73	7,60	7,61	7,35	3,45	9,79	8,93	9,95
MnO	0,17	0,13	0,32	0,39	0,37	0,36	0,28	0,39	0,30
Cr ₂ O ₃	26,91	26,45	49,20	50,07	42,68	20,66	41,71	43,08	42,50
Al ₂ O ₃	40,91	37,15	10,85	10,62	13,66	5,97	19,04	16,69	18,91
TiO ₂	0,02	0,02	0,17	0,13	0,32	1,20	0,13	0,07	0,12
NiO	-	0,21	0,16	0,00	-	-	0,16	0,11	-
ZnO	-	0,14	0,19	0,23	-	-	0,37	0,37	-
V ₂ O ₃	-	0,17	0,08	0,10	-	-	0,24	0,21	-
Сумма	100,47	98,17	98,95	99,18	99,56	96,56	99,56	99,58	99,90
f	0,32	0,30	0,59	0,61	0,66	0,81	0,52	0,56	0,52

Примечание. Ксенолиты перидотитов: 1,2 - гарцбургиты, 3-9 - амфиболовые дуниты. Ц - центр зерна, К - край зерна, f - Fe²⁺ / (Fe²⁺ + Mg).

бола образуют мелкие зерна в интерстициях либо пойкилокристы с включениями оливина. В шлифах амфиболы практически бесцветны, и различить их под микроскопом довольно сложно. Эденит часто находится в тесном срастании с хромшпинелидами. Амфибол реакционной зоны по составу также принадлежит эдениту и обладает промежуточной железистостью (f=0,25-0,29) между эденитом из ксенолитов и вмещающих горнблендитов (см. табл. 3). Кроме этого, он наиболее богат щелочами (Na₂O+K₂O=2,8-3,3 мас. %), даже в сравнение с амфиболом из вмещающих горнблендитов, что находит свое объяснение в принципе кислотно-основного взаимодействия Д.С. Коржинского. Диффузный приток калия к контактовым зонам с ксенолитами экспериментально подтвержден М.Б. Эпельбаумом и Э.Г. Конниковым [4]. Этим же механизмом можно объяснить обогащение реакционной зоны вокруг ксенолитов флогопитом. Если рассматривать появление эденита в ксенолитах как результат воздействия на ультраосновные породы со стороны горнблендитов, то образование тремоли-

Таблица 3

Химический состав амфиболов, мас. %

Компонент	570/323-1-2-1	570/323-5-3-1	570/323-5-5-1	570/323-5-2-1	570/323-1-9-1	570/323-6-6-2	570/323-6-7-1	570/325	570/327 _a
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO ₂	45,48	45,22	54,62	54,63	44,76	44,87	45,27	42,50	42,54
TiO ₂	0,56	0,30	0,10	0,06	1,06	1,16	1,06	1,36	1,66
Al ₂ O ₃	10,96	11,18	3,59	1,94	10,21	11,60	11,97	11,40	12,18
Cr ₂ O ₃	0,48	1,72	1,17	0,59	0,03	0,03	0,11	0,04	-
Fe ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	3,50	3,50
FeO	5,95	4,27	2,68	2,64	9,47	10,04	10,00	9,16	8,98
MnO	0,07	0,15	0,10	0,10	0,11	0,23	0,24	0,16	0,18
MgO	17,97	20,34	23,49	23,90	16,19	14,00	15,53	14,50	14,20
CaO	12,53	11,85	12,74	13,02	11,95	12,08	11,85	12,25	12,04
Na ₂ O	1,67	1,79	0,80	0,55	2,02	1,90	1,74	1,61	1,66
K ₂ O	1,16	1,07	0,39	0,30	1,32	1,23	1,14	0,65	0,86
Сумма	96,83	97,90	99,69	97,73	97,13	97,14	98,91	96,94	97,68
f	0,16	0,11	0,06	0,06	0,25	0,29	0,27	0,32	0,32

Примечание. 1-4 - ксенолиты перидотитов; 5-7 - реакционная кайма; 8-9 - горнблендиты основной массы; f - Fe/(Fe+Mg).

Таблица 4

Химический состав флогопитов, мас. %

Компонент	570/323-5-6-1	570/323-5-5-1	570/323-5-3-1	570/323-5-1-1	570/323-1-3-1	570/323-1-5-1	570/323-6-1-1	570/323-6-8-1	570/323-6-10-1
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO ₂	41,02	40,03	40,20	40,65	42,79	40,66	39,13	39,76	37,86
TiO ₂	0,28	0,28	0,30	0,34	0,50	0,06	1,38	0,88	2,10
Al ₂ O ₃	13,47	13,74	13,55	12,88	14,45	15,34	14,96	11,16	15,57
Cr ₂ O ₃	1,46	1,46	1,36	1,68	0,68	0,38	0,11	0,12	0,11
FeO	2,92	2,92	2,96	2,94	4,53	4,30	6,35	6,34	9,18
MnO	0,05	0,05	0,05	0,03	0,07	0,05	0,08	0,10	0,11
MgO	24,98	24,70	24,60	24,23	21,60	24,98	24,75	27,22	19,86
CaO	0,01	0,01	0,03	0,04	0,00	0,00	0,03	0,06	0,04
Na ₂ O	0,61	0,62	0,45	0,77	0,58	0,48	0,78	0,53	0,76
K ₂ O	9,07	9,07	9,22	9,42	9,42	9,17	8,68	6,11	8,73
Сумма	93,88	92,87	92,73	92,98	94,62	95,42	96,26	92,28	94,33
f	0,06	0,06	0,06	0,06	0,11	0,09	0,13	0,12	0,21

Примечание: 1-6 - ксенолиты перидотитов; 7,8 - реакционная кайма; 9 - горнблендиты основной массы. f - Fe/(Fe+Mg). Все железо в форме FeO.

та, возможно, связано с более ранним этапом гидратации перидотитов. Это подтверждается тем, что тремолиты сходного состава (без эденита или паргасита) обнаружены в истощенных лерцолитах Хабаровинского массива, описанных в этом же сборнике. Амфиболы пергасит-эденитового и тремолитового состава, присутствующие в перидотитах, в последнее время довольно часто описывают в литературе [8]. Они установлены в лерцолитах Кемпирсайского массива [9], вторично обогащенных перидотитах о. Св. Павла в Экваториальной Атлантике [5, 12 и др.], а их появление связывают с процессами мантийного метасоматоза.

Закономерности изменения состава флогопита в системе: ксенолит перидотита - реакционная кайма - горнблендит аналогичны описанным для амфибола. Железистость флогопита в ксенолитах 0,6-0,11, в реакционной зоне - 0,12-0,13, во вмещающих горнблендитах до - 0,21 (см. табл. 4). С увеличением железистости в минерале возрастает содержание титана (от 0,2 до 2 мас. % TiO₂) и сокращается - хрома (от 1,5 до 0,1 мас. % Cr₂O₃). Флогопиты из брекчий часто образуют тончайшие срастания с хлоритом и серпентином, что отражается в уменьшенном содержании калия и в дефици-

те сумм анализов. Появление флогопита в ксенолитах перидотитов мы также рассматриваем как результат метасоматической проработки ультраосновных пород под влиянием вмещающих горнблендитов.

Глубина метасоматической проработки ксенолитов в среднем составляет несколько сантиметров, поэтому ксенолиты небольшого размера (не более 2-3 см) переработаны практически полностью, а более крупные обломки сохраняют реликтовые области в центре ксенолитов. Интенсивность этого процесса должна быть связана с продолжительностью взаимодействия, температурой, составом и активностью флюида и другими факторами. В ксенолитах не наблюдаются новообразованные парагенезисы, соответствующие средним (400-600°С) температурам контактового метаморфизма (к примеру, антитигрит и др.), а развиваются эденит, флогопит и ортопироксен, у гойчивые при более высоких температурах, следовательно, можно говорить о высокотемпературном характере взаимодействия пород, что подтверждается данными по оливин-шпинелевому равновесию, приведенными выше. Цемент брекчий представлен горнблендитами. Это означает, что система была насыщена флюидом и была реакционноспособной. Следовательно, небольшая глубина метасоматической проработки ксенолитов связана с кратким процессом взаимодействия ультраосновных пород и горнблендитов, что служит косвенным подтверждением эруптивной природы последних, формирующих тела взрывного характера (трубки взрыва).

Метасоматическое развитие в составе ксенолитов амфибола и флогопита обогащает их целым рядом базальтоидных компонентов: Al_2O_3 , CaO, Na_2O , K_2O , TiO_2 и др., что приближает состав деплетированных перидотитов к неистощенным лерцолитам и даже более богатым по калию и титану породам, чем примитивная мантия [2, 3]. Критерием повторного обогащения перидотитов может служить высокохромистый (дунитовый или гарцбургитовый) состав аксессуарных хромшпинелидов при лерцолитовом соотношении главных петрогенных компонентов в породах [5]. Частичное плавление таких пород способно приводить к образованию щелочных базальтов, лампроитов и других основных расплавов, обогащенных титаном, калием, магнием и хромом, [3, 12 и др.]. Предполагается, что метасоматически обогащенные мантийные перидотиты могли быть источником магм, по составу аналогичным горнблендитам и пироксен-флогопит-амфиболовым породам, слагающим цемент брекчий в Хабаровском массиве, так как химический состав последних соответствует оливиновым щелочным базальтам. Мы не исключаем также и того, что часть ультраосновных ксенолитов, особенно с протогранулярной и порфирокластической структурой, - фрагменты этого метасоматизированного мантийного субстрата, вынесенные горнблендитами из области магмагенерации. Вместе с тем горнблендиты могут представлять собой остаточные флюидонасыщенные расплавы, образовавшиеся при дифференциации высококислотных ультраосновных магм типа оливинов. К клинопироксенитов или тылаитов [6, 7]. Генерация подобных магм связана с плавлением мантийных субстратов, обогащенных кальцием по отношению к глинозему ($CaO/Al_2O_3 \gg 1$) и резко отличных по этому параметру от хондритов, гипотетического пиrolита или метасоматизированных перидотитов из хабарнинских брекчий ($CaO/Al_2O_3 < 1$). Такое обогащение мантийного материала кальцием может происходить, например, при взаимодействии перидотитов с карбонатитовыми расплавами. Основываясь на геологических и петрохимических данных, мы считаем, что генезис горнблендитов из цемента перидотитовых брекчий Хабаровского массива связан с дифференциацией клинопироксенитов, хотя для окончательного решения этой проблемы необходимы дополнительные геохимические исследования.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 98-05-64826) и ФЦП «Интеграция».

Список литературы

1. Готтман И.А. О составе хромшпинелидов из перидотит-горнблендитовых брекчий Хабаровского массива (Южный Урал)//Материалы Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и преподавателей вузов. Уральская минералогическая школа-97. Екатеринбург, 1995. С. 44-46.
2. Готтман И.А., Пушкарев Е.В. Эруптивные перидотитовые брекчии с горнблендитовым цементом (Хабарнинский массив, Южный Урал) //Магматизм, метаморфизм и глубинное строение Урала. Тезисы докладов VI Уральского петрографического совещания. Екатеринбург, 1995. Ч.2. С.1280-1294.
3. Когарко Л.Н., Никольская Н.Е. Титанистый метасоматоз океанической и континентальной мантии//Докл. АН СССР. 1993. Т. 333, N 3. С. 363-365.

4. *Конников Э.Г., Эпельбаум М.Б., Чехмир А.С.* Причины концентрации калия в эндоконтакте Чинейского габбро-норитового плутона // *Геохимия*, 1981. №2. С.257-263.
5. *Никольская Н.Е., Козарко Л.Н.* Геохимические особенности гипербазитов разлома Романш (Экваториальная Атлантика) // *Геохимия*. 1995. №9. С.1280-1295.
6. Петрология постгарцбургитовых интрузивов кемпирсайско-хабарнинской офиолитовой ассоциации (Южный Урал) / *Балыкин П.А., Конников Э.Г., Кривенко А.П., Леснов Ф.П. и др.* // Свердловск: УрО АН СССР, 1991. 160 с.
7. *Пушкарев Е.В., Ферштатер Г.Б.* Минералого-петрохимическая дискретность пород и проблема происхождения первичных расплавов дунит-клинопироксенит-габбровых комплексов // Актуальные проблемы магматической геологии, петрологии и рудообразования. Екатеринбург, 1995. С. 100-119.
8. *Савельева Г.Н.* Габбро-ультрабазитовые комплексы офиолитов Урала и их аналоги в современной океанической коре. М.: Наука, 1987. 246 с.
9. *Савельева Г.Н., Перцев А.Н.* Мантийные ультрамафиты в офиолитах Южного Урала, Кемперсайский массив // *Петрология*. 1995. Т. 3, № 2. С.115-132.
10. *Смирнов С.В.* Изменение состава оливина в ксенолитах метагарцбургита // Ежегодник-1988 Ин-та геологии и геохимии УрО АН СССР. Свердловск, 1989. С.117.
11. *Fabris Jacques.* Spinel-olivine geothermometry in peridotites from ultramafite complexes // *Contrib. Mineral. Petrol.* 1979. V.69, №4. P. 329-336.
12. *Roden M.K., Stanley R.H., Frey F.A., Melson W.G. Sr, Nd and Pb and REE geochemistry of St. Paul's Rocks: the metamorphic and metasomatic development of an alkali basalt mantle source* // *Contrib. Mineral. Petrol.* 1984. V. 85, N 4. P. 376-390.