

УДК 553.22

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ ВЫСОКОБАРНЫЙ КАЛЬЦИЙ-НАТРИЕВЫЙ МЕТАСОМАТИЗМ И КОРУНДООБРАЗОВАНИЕ В ДОКЕМБРИЙСКОМ БЕЛОМОРСКОМ ПОДВИЖНОМ ПОЯСЕ (КАРЕЛИЯ)

© 2004 г. Н. С. Серебряков, В. Л. Русинов

Представлено академиком А.А. Маракушевым 19.11.2003 г.

Поступило 21.11.2003 г.

При изучении проявлений корунда (Хитоостров, Варацкое и др.) в кианит-гранат-биотитовых плагиогнейсах чупинской толщи Беломорского подвижного пояса (Северная Карелия) обнаружены и исследованы продукты кальций-натриевого слабощелочного метасоматизма, с которым связано корундообразование. Специфической чертой изученного метасоматизма служат высокие P - T -параметры процесса. Сходные корундосодержащие породы, образованные, по-видимому, также при слабощелочном метасоматизме, известны в Танзании, Индии, США и др. [1, 2]. В настоящей работе впервые представлен анализ корундообразующего кальций-натриевого метасоматизма.

Натриевый метасоматизм характерен для зон глубинных разломов и рудных месторождений, прямо или косвенно связанных с глубинными (мантийными и нижнекоровыми) очагами базитовой магмы. В существующих публикациях охарактеризованы продукты натриевого метасоматизма в зонах глубинных разломов с формированием парагенезисов альбит + эгирин [3], в комплексах полосчатых железистых кварцитов с парагенезисом альбит + эгирин + рибекит + гематит [4], в некоторых золоторудных месторождениях в региональных зонах сдвиговых деформаций, где он выражен в процессах альбитизации [5]. Кроме того, натриевый метасоматизм развивается в виде низкотемпературного изменения пород в районах уранового рудообразования с возникновением эйситов (кварц + альбит + гематит + карбонат) [6]. Во всех этих процессах прослеживается профилирующая роль альбитизации, а по T - P -условиям метасоматизм обычно относится к низкопараметрическим процессам

(T варьирует от 150 до 300–400°C, P – от первых сотен бар до 1–2 кбар).

Кальциевый метасоматизм, в отличие от натриевого, широко распространен в коровых процессах, вызванных коровыми флюидами. Это, например, формирование известковых скарнов по магнезиальным метасоматитам, эпидотизация и карбонатизация вулканогенных и терригенных пород, обычно связанные с гранитоидными интрузиями.

Известны примеры сонахождения продуктов натриевого и кальциевого метасоматизма. Так, в ряде скарновых месторождений кварц-полевошпатовый метасоматизм предшествует образованию известковых скарнов в контактах гранитных массивов [7]. В некоторых золоторудных месторождениях натриевый метасоматизм, сопровождающий рудообразование, наоборот, следует за отложением скарновых ассоциаций минералов [5]. Однако во всех случаях процессы натриевого и кальциевого метасоматизма отчетливо разделены во времени и связаны с флюидами, существенно различающимися по P - T - X -параметрам.

Принципиально иной характер присущ метасоматизму, приводящему к образованию корундосодержащих пород в чупинской толще Карелии [8], когда замещаются кианит-гранат-биотитовые плагиогнейсы, сформированные в условиях высокобарического метаморфизма амфиболитовой фации [9]. Здесь натриевая и кальциевая специализации проявлены одновременно. Метасоматиты приурочены к зонам сдвиговых деформаций и слагают линзообразные и пластообразные зональные тела, в целом конформные с гнейсоватостью вмещающих пород и имеющие протяженность первые сотни метров при мощности до 150 м. Различием проницаемости между центральными частями сдвиговых зон и их периферийными частями определяется весьма сложный характер метасоматической зональности (тыловая зона интенсивного фильтрационного метасоматизма и

*Институт геологии рудных месторождений,
петрографии, минералогии и геохимии
Российской Академии наук, Москва*

Таблица 1. Микронзондовые анализы минералов (в мас. %) из тыловой зоны корундсодержащих метасоматитов (проявление Хитоостров)

Компонент	Prg		Na-Ged	Grt		St	
	центр	край		центр	край	центр	край
SiO ₂	40.60	40.66	39.10	38.50	38.25	26.37	26.31
TiO ₂	1.22	1.13	0.22	0.07	0.05	0.70	0.77
Al ₂ O ₃	18.79	18.82	22.34	21.79	21.46	53.17	52.94
FeO	12.06	12.07	17.72	25.75	28.45	12.12	11.62
MnO	0.10	0.09	0.12	0.32	0.36	0.00	0.04
MgO	11.18	11.24	15.37	9.12	7.22	3.55	3.78
CaO	9.40	9.26	0.31	3.48	3.44	–	–
Na ₂ O	3.24	3.09	3.28	–	–	–	–
K ₂ O	0.33	0.28	0.00	–	–	–	–
Сумма	96.90	96.65	98.58	99.02	99.23	95.91	95.46

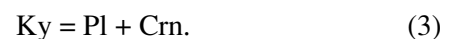
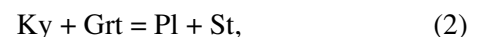
Примечание. Образцы анализировали на приборе Cameca Camebax MicroBiam (20 кВ, 15 нА), аналитик И.П. Лапутина (ИГЕМ РАН). Все железо в виде FeO.

внешние зоны, в которых проявлена поперечная диффузионная зональность).

В результате метасоматизма в тыловой зоне сформировались ассоциации минералов, включающие олигоклаз-андезин, паргасит, малокремниевый натриевый жедрит, гранат пироп-альмандинового ряда, ставролит и корунд (табл. 1). По данным хими-

ческого анализа метасоматизм сопровождался десиликацией пород и привнесом кальция и натрия (рис. 1). При этом при переходе от внешних зон метасоматической колонки к промежуточным (табл. 2) исчезает кварц, биотит исходных гнейсов замещается амфиболом ряда паргасит-чермакит, повышается кальциевость граната и плагиоклаза (от $X_{\text{Ca}}^{\text{Grt}} = 0.06-0.11$ и Pl № 25–30 в гнейсах до 0.10–0.21 и № 40–50 в метасоматитах). К тыловой зоне отношение $a_{\text{Na}}/a_{\text{Ca}}$ и величина a_{Na} возрастают, а a_{Ca} уменьшается, что отражается в снижении кальциевости плагиоклаза (№ 30) и граната ($X_{\text{Ca}}^{\text{Grt}} = 0.05-0.11$), в повышении натриевости кальциевого амфибола и в появлении малокремниевый натриевого жедрита.

Своеобразной чертой исследованного процесса является псевдоморфное замещение крупных кристаллов кианита в гнейсах симплектитам плагиоклаз + ставролит и плагиоклаз + корунд с формированием на конечных стадиях процесса крупных кристаллов корунда (рис. 2) [8]. Образование псевдоморфоз соответствует реакциям



Все они смещаются вправо при повышении активности натрия, а вторая и третья реакции – и кальция. Первая реакция имеет экстремум по активности натрия при составе плагиоклаза между №№ 50 и 60 (рис. 3). Согласно положительному наклону моновариантной линии для составов плагиоклаза слева от точки экстремума (реально

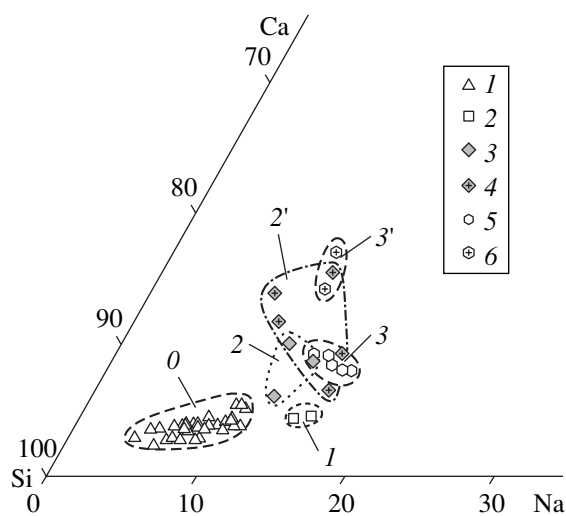


Рис. 1. Изменение химического состава пород внутри метасоматической зональности при образовании корундсодержащих метасоматитов по кианит-гранат-биотитовым плагиогнейсам. Цифры – номера метасоматических зон (табл. 2): без штриха – проявление Хитоостров, со штрихом – проявление Варацкое. 1 – Ky-Grt-Vt-плагиогнейсы чупинской толщи; 2, 3, 5 – соответственно метасоматические зоны 1, 2, 3с Хитоострова (табл. 2); 4, 6 – зоны 2, 3 Варацкого (данные предоставлены Е.Н. Тереховым и В.И. Левицким, а также авторские).

Таблица 2. Метасоматическая зональность в корундсодержащих породах проявлений Хитоостров и Варацкое

№ зоны	Хитоостров		Варацкое	
	замещение основной массы	замещение Ky	замещение основной массы	замещение Ky
0	$\frac{-}{Pl + Bt + Grt + Qtz + Ky}$	-	$\frac{-}{Pl + Bt + Grt + Qtz + Ky}$	-
1	$\frac{-}{Pl + Bt + Grt + Ky}$	-	$\frac{-}{Pl + Bt + Grt + Ky}$	-
1a	$\frac{Pl + Bt + Grt}{Ky}$	St + Pl	$\frac{Pl + Prg + Grt}{Ky}$	-
2	$\frac{Pl + Prg + Grt}{Ky}$	St + Pl	$\frac{Pl + Prg + Grt}{Ky}$	St + Pl
3a	$\frac{Pl + Prg + Grt + Na - Ged}{-}$	St + Crn + Pl	$\frac{Pl + Prg + St + Crn}{-}$	St + Pl и St + Crn + Pl
3b, c	$\frac{Pl + Prg + Grt + Na - Ged + St + Crn}{-}$	-		

Примечание. Зоны от 0 до 3b, c указаны в последовательности от неизменных гнейсов до тыловой зоны. Над чертой – новообразованные минералы, под чертой – замещаемые.

наблюдаемых в породах составов №№ 30–50) замещение кианита происходит только при повышении активности натрия без увеличения активности кальция.

Общая тенденция возрастания активности натрия в процессе замещения наследуется на следующем этапе метасоматизма, на котором образуются

анхимономинеральные олигоклазиты. Их крупные тела пространственно приурочены к тыловой зоне корундсодержащих метасоматитов.

Температура образования корундсодержащих метасоматитов определена по гранат-амфиболовому и гранат-ставролитовому геотермометрам [10]: ~600–700°C. Нижние значения давления оце-

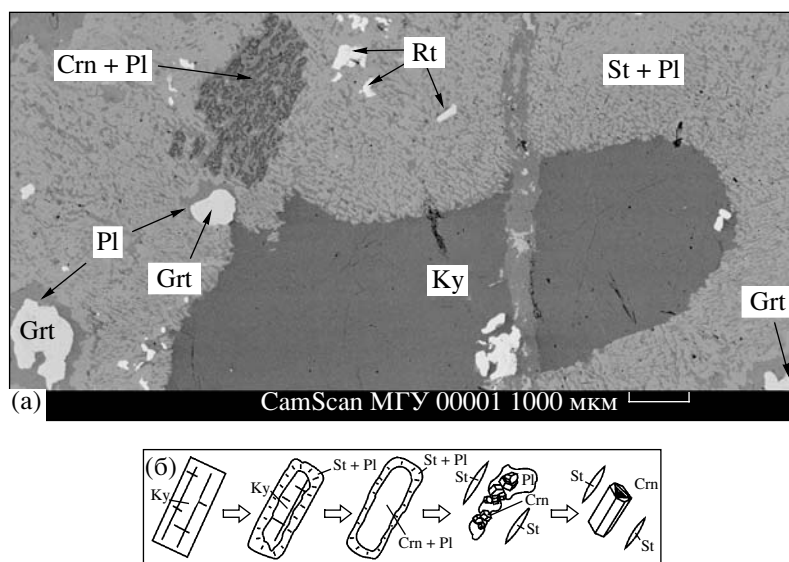


Рис. 2. (а) – St-Pl-псевдоморфоза по кианиту, Хитоостров. Внутри псевдоморфозы наблюдаются реликт кианита и новообразованные Crn-Pl-симплектиты. Все зерна граната отделены от ставролита каймой плагиоклаза; (б) – общая схема последовательного замещения кианита корундом, ставролитом и плагиоклазом.

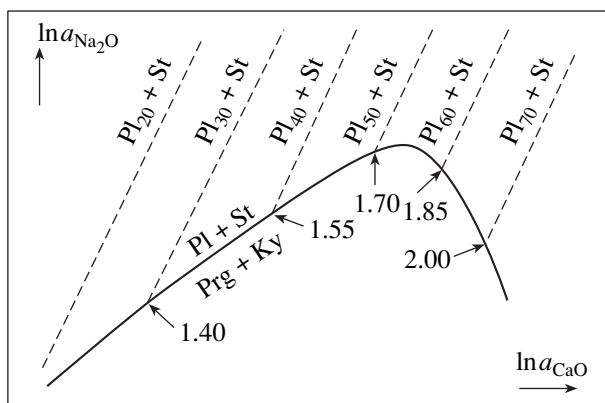


Рис. 3. Зависимость реакции образования St-Pl-псевдоморфоз по кианиту от логарифма активности кальция и натрия. Цифрами со стрелками возле кривой реакции указано содержание Ca в амфиболе (ф.е.), состав которого использован в расчете данной точки кривой.

ниваются в ~ 6 – 8 кбар по положению линии реакции $Ky \leftrightarrow Sill$ [11] для указанных температур. Верхние значения давления также должны быть 6 – 8 кбар, исходя из предположения, что метасоматиты в зонах сдвига образовывались при давлении, не выше, чем то, под которым находились замещаемые породы на момент метасоматизма. Полученные значения температур указывают на то, что, благодаря флюидной проработке, вдоль зон сдвига происходил значительный прогрев окружающих пород (температуры кианитовых гнейсов к началу метасоматизма были ~ 550 – 600°C).

Важная особенность рассматриваемого процесса заключается в многоминеральности возникающих ассоциаций. В наблюдаемой метасоматической зональности (табл. 2) отсутствует закономерное уменьшение числа минералов от внешних зон к тыловой, как это должно бы быть согласно модели метасоматической зональности в условиях локального равновесия [12]. Эта черта, казалось бы, не характерна для высокотемпературных процессов, подобных исследованному, поскольку скорости химических реакций в таких условиях при участии флюидов высоки. Однако явные признаки неравновесности обнаруживаются при изучении как минеральных взаимоотношений, так и внутреннего строения кристаллов некоторых минералов, особенно во внешних метасоматических зонах (зоны 1а–2 в табл. 2). Таким признаком являются псевдоморфозы корунд + + ставролит + плагиоклаз по кианиту, где корунд и ставролит практически всегда отделены от кальциевого амфибола и граната основной массы породы реакционной плагиоклазовой каймой (см. рис. 2а). Даже когда в тыловой зоне ставролит перекристаллизовывается с образованием идио-

морфных кристаллов и соприкасается с гранатом и паргаситом, то он приходит в равновесие лишь с краевыми частями зерен этих минералов; между составами же ставролита и центральных частей зерен граната и паргасита не наблюдается фазового соответствия, что отражается на показаниях минеральных геотермометров. Так, ставролит-гранатовый термометр [10] для центров зерен минералов тыловой зоны показывает нереально высокую температуру, превышающую 800°C , тогда как гранат-амфиболовый термометр [10] для центральных частей зерен из тех же образцов дает температуры 680 – 730°C . Когда же используются составы краевых частей зерен минералов, показания двух указанных термометров близки (610 – 670°C). Другой признак неравновесности – негомогенность зерен минералов, а также присутствие зерен одного и того же минерала с различным составом в пределах одной метасоматической зоны во внешней части метасоматической колонки. Лишь в тыловой зоне составы минералов приближаются к равновесным. Эта тенденция хорошо прослеживается на примере граната, особенно при рассмотрении зональности его зерен. Как видно на рис. 4, в зоне 2 метасоматитов (табл. 2) тренды зональности граната не упорядочены, тогда как в тыловой зоне 3 они подчиняются общей закономерности, характерной для ретроградной зональности.

Рассматриваемый процесс метасоматизма проходит через ряд последовательных реакций, понижающих общий энергетический порог активации. В результате неравновесного протекания процесса сохраняются метастабильные продукты этих промежуточных реакций, благодаря которым удается восстановить ход всего процесса. Например, замещение кианита представляется в виде последовательности минеральных ассоциаций (рис. 2б):

кианит \rightarrow псевдоморфозы, сложенные симплектитамы $Pl + St \rightarrow$ зональные псевдоморфозы, сложенные симплектитамы $Pl + St$ (край) и $Pl + Stn$ (центр) \rightarrow крупные кристаллы корунда и ставролита.

Сохранившиеся метастабильные фазы последовательных стадий и определяют многоминеральность возникающих ассоциаций минералов.

В изученных проявлениях характер метасоматической зональности несколько изменяется в зависимости от вариации активности натрия и кальция, но принципиальные черты ее – появление кальциевых и натриево-кальциевых минералов в малокальциевых кианитовых гнейсах, нарастание натриевости последних к тыловой зоне и многоминеральность ассоциаций во всех зонах – присутствуют повсеместно.

Сопоставление приведенных данных о реакциях замещения кианита и других исходных минералов, о составе новообразованных минералов и

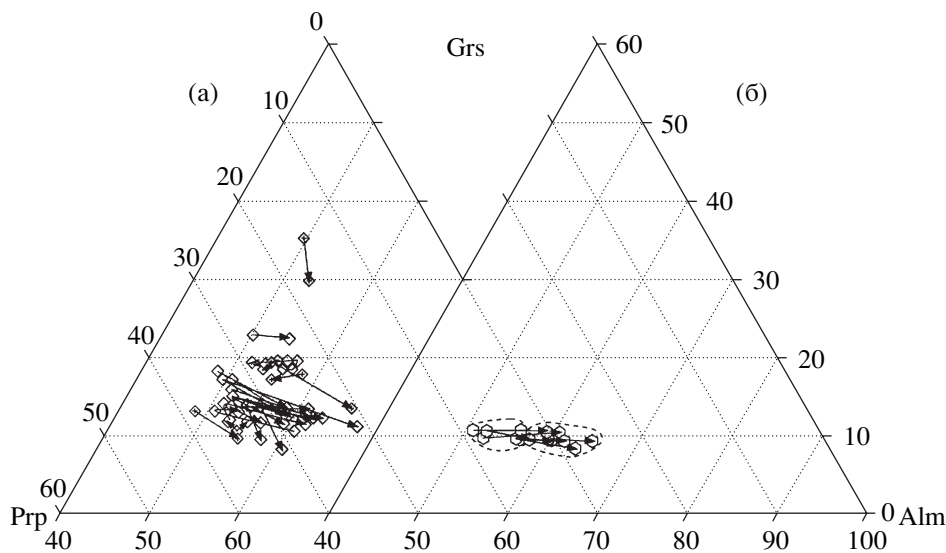


Рис. 4. Зональность граната в разных зонах метасоматической колонки корундсодержащих метасоматитов. а – зона 2; б – зона 3. Стрелками указано направление от центра зерна к краю. Усл. обозначения такие же, как на рис. 1.

метасоматической зональности свидетельствует о том, что метасоматический процесс происходил под действием потока слабощелочных флюидов с повышенной активностью натрия и кальция при доминирующей роли натрия. В связи с этим надо отметить, что чупинская толща пространственно совпадает с осевой частью друзитового пояса Беломорья, к которой приурочены самые крупные массивы наиболее высокомагнезиальных пород комплекса лерцолит-габброноритов (возраст ~2.44 млрд. лет [13]). Этот друзитовый пояс представляет собой след главного разлома раннепротерозойской рифтовой системы восточной части Балтийского щита [14]. Возможно, что процесс кальций-натриевого метасоматизма связан с новым этапом активизации этой тектонической зоны глубинного заложения. Отсутствие в Беломорском поясе магматических образований, одновозрастных с метасоматитами (позднесвекофеннский возраст, ~1.8–1.7 млрд. лет [8]), позволяет отнести последние к результатам восходящей фильтрации глубинного флюида по этой региональной зоне. На это же указывает значительный прогрев пород вдоль сдвиговых нарушений при образовании метасоматитов. Состав флюида в области корундообразования определялся не только глубинным источником, но и его взаимодействием с вмещающими породами, с чем связаны вариации активности кальция, ответственные за различие минеральных парагенезисов в разных исследованных проявлениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Altherr R., Okrusch M., Bank H. // *Lithos*. 1982. V. 15. P. 191–197.
2. Clabaugh S.E., Armstrong F.C. // *Geol. Surv. Bull.* 1950. № 969-B. 51 p.
3. Казанский В.И., Омеляненко Б.И., Прохоров К.В. // *Метасоматизм и рудообразование*. М.: Наука, 1974. С. 92–100.
4. Глаголев А.А. *Метаморфизм докембрийских пород КМА*. М.: Наука, 1966. 158 с.
5. Русинова О.В., Русинов В.Л. // *Геология руд. месторождений*. 2003. Т. 45. № 1. С. 75–96.
6. Омеляненко Б.И. *Околорудные гидротермальные изменения пород*. М.: Недра, 1978. 216 с.
7. Жариков В.А. *Геология и метасоматические явления в скарново-полиметаллических месторождениях Зап. Кармазара* // *Тр. ИГЕМ АН СССР*. 1959. В. 14.
8. Серебряков Н.С., Аристов В.В., Гладышева А.П., Волкова Е.В. // *Геология и геоэкология: исследования молодых*. Материалы XIII молодеж. конф., посвященной памяти К.О.Кратца. Апатиты, 2002. Т. 1. С. 118–121.
9. Глебовицкий В.А., Миллер Ю.В., Другова Г.М. и др. // *Геотектоника*. 1996. № 1. С. 63–75.
10. Gerya T.V., Perchuk L.L. // *XXIX Inter. Geol. Cong. Abstrs. Kyoto, 1992. V. 2. P. 1026.*
11. Holdaway M.J., Mukhopadhyay B. // *Amer. Miner.* 1993. V. 78. № 7/8. P. 681–693.
12. Коржинский Д.С. *Теория метасоматической зональности*. М.: Наука, 1982. 104 с.
13. Слабунов А.И., Ларионов А.Н., Бибикина Е.В. и др. В сб.: *Геология и полезные ископаемые Карелии*. Петрозаводск, 2001. В. 3. С. 3–14.
14. Рыбаков С.И., Голубев А.И., Слюсарев В.Д. и др. В сб.: *Геология и полезные ископаемые Карелии*. Петрозаводск, 2000. В. 2. С. 4–11.