

Особенности гранитизации метагаббро-норитов (Кандалакшский залив, о. Горелый)

Ходоревская Л.И.

Институт экспериментальной минералогии РАН, Черноголовка Московской обл., e-mail: lilia@iem.ac.ru

При изучении [1] гранитизации метагаббро-норитов (друзитов) из беломорской серии в контакте с *Bt-Hbl-Kfs-Pl-Qtz* гнейсогранитами (о. Горелый, Беломорье) выделены четыре зоны: I – слабо амфиболизированные метагаббро-нориты; II – апогаббровые *Hbl-Pl±Scp±Qtz* плагиоамфиболиты с каймами *Hbl*, *Bt*, *Ath*, *Olg* и *Scp* вокруг магматических и коронарных минералов; III – калишпатизированные *Hbl-Bt-Pl-Kfs±Scp-Qtz* апогаббровые амфиболиты; IV – *Bt±Hbl-Kfs-Pl-Qtz* гнейсограниты со скиалитами осветленных *Bt-Hbl-Pl-Kfs±Scp-Qtz* амфиболитов. Зональное преобразование метагабброидов было вызвано воздействием фильтрующихся кремнещелочных $H_2O-Cl-CO_2$ рассолов [2], ассоциирующих и генетически связанных с гнейсогранитами. Привнос растворами щелочей и кремнезема способствовал трансформации метагаббро-норитов в более лейкократовые породы в тыловой зоне IV, в которой появлялись межгранулярные новообразования кислого плагиоклаза, *Kfs* и *Qtz*. Высокая соленость флюидной фазы ($X_{NaCl}^{флюид} \approx 0.20-0.35$) [2] способствовала растворению мафических минералов [3], т.е. одновременно с привносом K, Na, Si происходил вынос Mg, Fe, Ca из тыловой зоны колонки. Следствием подобного перераспределения элементов, связанного с привносом-выносом, и является амфиболизация, дебазификация, ощелачивание и окварцевание метагаббро, фрагментация породы на отдельные скиалиты, осветление, и, наконец, – окончательное растворение в контактирующей гнейсогранитой магме (или мигме). Подобные преобразования основных пород типичны для процессов гранитизации в условиях амфиболитовой фации [4].

В представленной работе на основе распределения элементов-примесей по зонам I-IV показаны особенности фильтрующегося флюида, вызвавшего зональное преобразование метагабброидов.

На основании химических составов биотитов из обменной реакции:

$(OH)_2-Bt + 2HCl = (Cl)_2-Bt + 2H_2O$, [5] было определено соотношение $f_{H_2O} - f_{HCl}$, во флюиде, которое менялось вдоль направления фильтрации растворов от гнейсогранита к метагаббро-нориту. В зоне IV величина $\lg f_{H_2O}/f_{HCl} \approx 1.2$, т.е. поступающие растворы, содержащие щелочи и кремнезем, обладали относительно пониженной фугитивностью HCl. В этой зоне формировались кислые плагиоклазы, *Kfs*, *Qtz*, происходили перекристаллизация, укрупнение *Bt* и *Hbl*, количество которых резко убывает (до 3-4% в гнейсограните). Далее по разрезу (зоны III-II) соотношение $\lg f_{H_2O}/f_{HCl}$ понижалось. Это связано с тем, что состав флюида обеднялся Na, K, Si, OH^- комплексами, в растворах повышалась a_{Cl^-} , a_{CO_2} , – происходило нарастающее увеличение кислотности растворов. Минимальные значения $\lg f_{H_2O}/f_{HCl} \approx 0.8$, свидетельствующие о максимальных значениях f_{HCl} , получены для зоны II, именно поэтому в этой зоне отмечена наиболее высокая примесь Cl в амфиболах (до 0.44 мас.%) и биотитах (до 0.38 мас.%) [1].

По мере дальнейшей фильтрации растворов и удаления их от гнейсогранита (зона II → зона I) величина $\lg f_{H_2O}/f_{HCl}$ вновь возрастает, однако метасоматические изменения пород, связанные с образованием кварца, полевого шпата, кислого плагиоклаза, прекращаются.

Особенности распределения элементов-примесей в разрезе гнейсогранит-метагаббро-норит

Rb, Cs, Sr, Ba, обладающие щелочными свойствами, легко образуют комплексы с Cl^- , поэтому их распределение по профилю от гнейсогранита до метагаббро-норита (зоны IV–I) будет контролироваться изменением f_{HCl} : при относительно низкой f_{HCl} ($\lg f_{H_2O}/f_{HCl} \approx 1.2$), в зоне IV происходит осаждение рассматриваемых элементов. В этой зоне содержания Ba и Rb приблизительно в два раза выше, чем в метагаббро-норитах [6], т.е., можно полагать, что гранитизация метагаббро-норитов в этой зоне происходила с привносом Ba и Rb растворами. Содержания Cs и Sr приблизительно одинаковы как в зоне I, так и в зоне IV, видимо эти элементы растворами не привносились, осуществлялось лишь их перераспределение вдоль разреза.

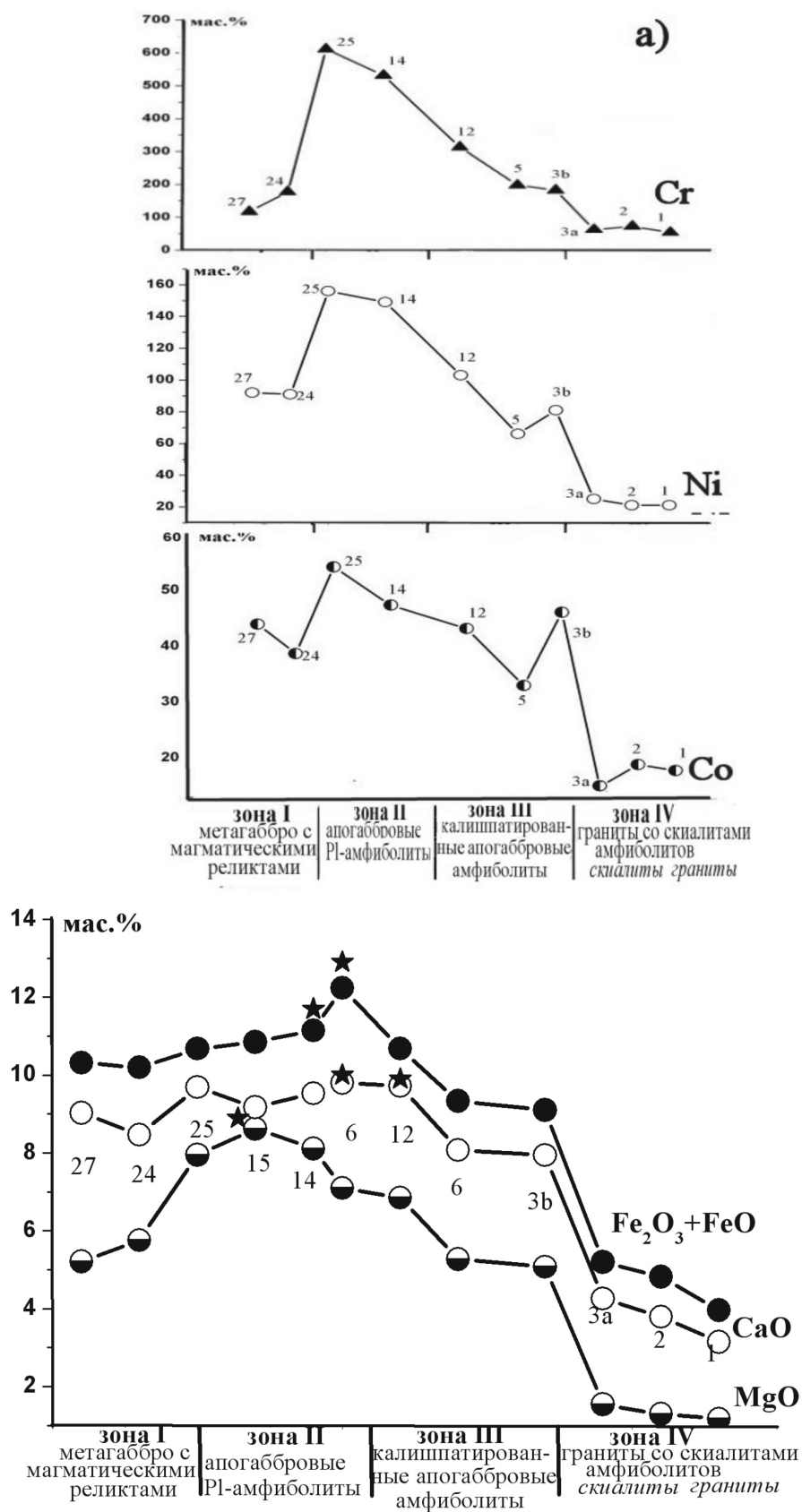


Рис. 1 а-б. Распределение Cr, Ni, Co (г/т) (а) и Ca, Mg, Fe (мас. %) (б) в разрезе метагаббро-норит-гнейсогранит (зоны I-IV)

При увеличении f_{HCl} (вплоть до значений $\lg f_{H_2O}/f_{HCl} \approx 0.8$, зоны III-II) происходит образование хлоридных комплексов Ba, Rb, Cs, Sr и их вынос растворами, поэтому содержание Rb, Sr, Ba и Cs в породах зон фельдшпатизации и амфиболизации минимально. При дальнейшей фильтрации растворов по направлению к метагаббро-нориту вновь происходит некоторое уменьшение f_{HCl} ($\lg f_{H_2O}/f_{HCl} \approx 1$, зона II $\rightarrow$ зона I) вследствие нейтрализации растворов, вызванной растворением оснований Ca, Mg, Fe. Содержания Ba, Rb, Sr, Cs в породах вновь начинают увеличиваться до значений, характерных для неизмененных метагаббро-норитов.

Халькофильные элементы. Содержания Cu в в зоне IV значительно превышают средние значения в кислых породах [6]. Высокие концентрации меди в гранитоидах являются наследуемыми, медь не выносилась растворами при гранитизации вмещающих пород, а осаждалась в виде сульфидов Cu и Fe. Далее по разрезу по направлению к неизмененному метагаббро-нориту Cu из пород выносятся и переотлагается на фронте метасоматических изменений до значений, превышающих средние содержания в сходных мафит-ультрамафитовых (друзитовых) комплексах Беломорья [7].

Наименьшие содержания Zn ≈ 30 г/т, фиксируются в зоне IV. По направлению к зонам фельдшпатизации (III-II) количество Zn в породе постепенно увеличивается до значений 103 г/т, близких к средним [7] в базитах, т.е. фильтрующиеся растворы выносили Zn из зоны IV и переотлагали его по пути следования в неизмененные габбро-нориты.

Концентрации свинца во всех зонах разреза составляют около 60 г/т, что приблизительно в 3 раза превышает его средние значения в гранитоидах, и в 50-60 раз больше, чем в друзитах этого района [7], т.е. Pb явно привносился в породы.

Элементы Cr, Co, V, Ni представляют группу сидерофилов, их распределение в колонке гранитизации определяется прежде всего составом исходного метагаббро-норита. Фильтрующиеся флюиды не привносили эти элементы, происходило лишь их перераспределение вдоль разреза: вынос из IV зоны и переотложение на фронте метасоматических изменений (рис. 1а).

Ca, Mg, Fe, формирующие темноцветные минералы, также как и Cr, Co, V, Ni, выносятся из зоны IV и переотлагаются в зонах амфиболизации. Как видно из рис. 1б, начало переотложения в породе этих элементов не совпадает: первым из растворов осаждается Ca, затем, почти сразу же, Fe, последним переотлагается Mg, как наиболее подвижный элемент (начало максимального содержания в породе каждого компонента показано звездочкой на рис. 1б). В результате выноса и переотложения Ca, Mg, Fe, а также Cr, Co, V, Ni в передовой зоне инфильтрационной колонки (зона II) образуются более меланократовые породы по сравнению с исходными метагаббро-норитами.

Особенности процессов гранитизации, связанные с малым объемом флюидной фазы

Растворение, перенос и переотложение вещества зависит от объема флюида, просачивающегося через породу, интенсивность которого возможно оценить. Согласно [8] значение флюидного потока, фильтрующегося через единицу площади, интегрированного по времени, определяется, как:

$$q_{Ti} = (LV_f M_i) / \Delta X_i + L \phi, \text{ [см}^3 \text{ (флюида) / см}^2 \text{ (породы)]},$$

где M_i - количество молей компонента i , удаленного флюидной фазой из единицы объема породы или привнесенного в нее (моль/см³); ΔX_i - разность мольных долей компонента i в проникающем в породу и равновесном флюиде; ϕ - пористость породы; V_f - молярный объем H₂O при Т-Р параметрах процесса (см³/моль); L - расстояние, на котором изменяется содержание компонента i в породе (см).

В общем случае кремнещелочной метасоматоз, биотитизация, окварцевание, пегматитизация может осуществляться при интенсивности флюидного потока q_{Ti} , интегрированного по времени, меняющегося от 10^2 до 10^8 см³/см² [9].

Согласно [8] региональный метасоматоз на расстоянии 1 – 10 км вызывают флюидные потоки, интегрированные по времени, выше значений $q_{Ti} = 10^4$ см³(флюида)/см²(породы). По предположению [10] системы, в которых $q_{Ti} > 10^4$ см³/см² являются открытыми, при $q_{Ti} < 10^4$ см³/см² – закрытыми.

По нашим оценкам объем флюидов, вызвавших преобразования метагаббро-норитов на о. Горелый, $q \approx 8 \times 10^3 - 1.4 \times 10^4$ см³/см².

Последовательные преобразования краевой части метагаббро-норитов на о-ве Горелый в Pl-амфиболиты, Kfs-Qtz амфиболиты и теневые мигматиты вызваны инфильтрацией глубинного флюида, несущего щелочи, кремнезем, хлор, что определяет несомненную открытость системы по отношению к ряду компонентов. Однако, полученные значения объема флюида $q \approx 8 \times 10^3 - 1.4 \times 10^4 \text{ см}^3/\text{см}^2$, вызвавшего преобразования базитов краевой части метагаббро на о-ве Горелый, отвечают минимальным объемам, характерным для открытых систем. Именно малым объемом флюида, профильтровавшимся через породу, объясняется малая мощность зоны преобразования метагаббро-норита, составляющая всего 15–20 м. В малом объеме флюида происходили заметные изменения соотношений элементов – щелочи и кварц затрачивались на образование полевых шпатов и кварца, до 10% H_2O уходило на формирование биотита и роговой обманки, Cl и CO_2 – на образование скаполита и кальцита, S осаждалась в виде сульфидов меди и железа. Такие элементы как Ca, Mg, Fe, Ni, Co, Cr растворялись, и их большая часть удалялась за пределы зоны взаимодействия вместе с остаточным флюидом. Однако, как видно из рис. 1а-б, часть этих элементов осаждалась в минералы метагаббро-норита на фронте метасоматических изменений, формируя более меланократовые, с большим содержанием Ni, Cr, Co относительно исходных, породы. Вынос из зоны IV и последовательное переотложение сначала Ca, затем Fe и, наконец, Mg, наблюдаемые в разрезе (рис. 1а-б), аналогичны наиболее часто встречающейся внутренней зональности базификатных жил, центральная часть которых представлена Орх, а зальбанды состоят из Grt, Grt+Hbl, Grt+Pl [13, 14]. Таким образом, повышенная меланократовость пород в зоне II и последовательное распределение Ca-Fe-Mg фактически свидетельствуют о начальной стадии образования базификатов [11, 12].

В классических примерах [15, 4 и др.] гранитизация, включающая кремнещелочной метасоматоз, биотитизацию, окварцевание, пегматитизацию, осуществляется на огромной площади, что соответствует $q_{\text{пл}} > 10^4 \text{ см}^3/\text{см}^2$. Именно вследствие больших объемов флюидной фазы, фильтрующейся через породу, большая часть выносимых растворами основных компонентов, таких как Ca, Mg, Fe и др. удаляется за пределы участков гранитообразования и мигматизации и рассеивается, не образуя фронта базификации впереди зон гранитизации.

Исследования были проведены при финансовой поддержке РФФИ, грант № 06-05-64645.

Литература

1. Кориковский С.П., Ходоревская Л.И. Гранитизация палеопротерозойских высокобарических метагаббро-норитов в беломорской серии Балтийского щита (район Кандалакшского залива, о. Горелый) // Петрология. 2006. № 5. С. 453–480.
2. Ходоревская Л.И. Экспериментальное исследование гранитообразования по породам основного состава // Автореф. дис...докт. геол.-мин.наук. М.: МГУ. 2006. 42 с.
3. Shmulovich K.I., Graham G., Yardley B.W.D. Quartz, albite and diopside solubilities in H_2O -NaCl and H_2O - CO_2 fluids at 0.5 - 0.9 GPa // Contrib. Mineral. Petrol. 2001. V. 141. P. 95–108.
4. Щербакова Т.Ф. Амфиболиты беломорского комплекса и их гранитизация. М.: Наука. 1988. 149 с.
5. Munoz J.L. F-OH and Cl-OH exchange in micas with applications to hydrothermal deposits // Mineralogical Society of America Reviews in Mineralogy. 1984. V.13. P. 460–544.
6. Щербаков Ю.Г. Геохимические свойства и распределение элементов в породах // Геология и геофизика. 1995. Т. 36. № 2. С. 80–91.
7. Шарков Е.В., Красивская И.С., Чистяков А.В. Диспергированный мафит-ультрамафитовый интрузивный магматизм подвижных зон раннего палеопротерозоя Балтийского щита на примере друзитового (коронитового) комплекса Беломорья // Петрология. 2004. Т.12. № 6. С. 632–655.
8. Ague J.J. Simple models of coupled fluid infiltration and redox reactions in the crust // Contrib. Mineral. Petrol. 1998. V.132. P. 180–197.
9. Zack T., John T. An evaluation of reactive fluid flow and trace element mobility in subducting slabs // Chem. Geol. (2007), doi: 10.1016/j.chemgeo. 2006.10.020.
10. Oliver N.H.S. Review and classification of structural controls on fluid flow during regional metamorphism // J. of Metamorphic Geol., 1996. V.14. P.477–492.
11. Судовиков Н.Г. Региональный метаморфизм и некоторые проблемы петрологии. Изд-во ЛГУ. 1964. 550 с.

12. Рудник В.А., Жданов В.В., Дядькина И.Я., Беляев Г.М. Проблемы рудообразования в связи с магнетиально-железо-кальциевым метасоматизмом // Железо-магнезиальный метасоматизм и рудообразование. М.: Наука. 1980. С. 5–13.

13. Беляев Г.М., Рудник В.А. О типах магнетиально-железо-кальциевого метасоматизма в связи с гранитообразованием (на примере Алданского щита) // Железо-магнезиальный метасоматизм и рудообразование. М.: Наука. 1980. С. 13–29.

14. Ходоревская Л.И., Кориковский С.П. Метасоматические гранат-клинопироксен-ортопироксен-роговообманковые жилы в метаанортозитах Колвицкого массива, Кольский полуостров: минеральный состав и связь с сингранулитовой гранитизацией // Докл. РАН. 2007. Т. 412. № 3.

15. Коржинский Д. С. Потоки трансмагматических оолитов и процессы гранитизации // Магматизм, формирования кристаллических пород и глубины Земли. М.: Наука. 1972. С. 144–153.

Тоналиты Карелии: к проблеме происхождения архейской коры

Чекулаев В.П., Лобач-Жученко С.Б., Коваленко А.В.

Институт геологии и геохронологии докембрия РАН, г. Санкт-Петербург, e-mail: vpchekulaev@mail.ru

Архейские тоналит-трондьемит-гранодиоритовые (ТТГ) серии составляют более половины объема коры древних щитов [1]. В связи с этим причины и механизмы их образования имеют важнейшее значение для понимания происхождения континентальной коры. Экспериментальные работы свидетельствуют о возможности образования расплавов состава ТТГ путем частичного плавления основных пород. В настоящее время имеют место две интерпретации механизма их возникновения: плавление базальтов нижней коры [2] и плавление базальтов в зонах субдукции [3, 4 и ссылки в ней]. Для достоверного решения этих вопросов необходимы конкретные данные о составе ТТГ, вариациях составов во времени и в пространстве, геологической и петрологической связи с другими породами. Карельский кратон на современном эрозионном срезе более чем на 80% сложен породами тоналит-трондьемитового (ТТ) состава, которые могут быть разделены на две группы: (1) тоналит-трондьемиты, имеющие ареальное развитие и формировавшиеся до или одновременно с зеленокаменными поясами на протяжении длительного интервала времени – от 3.2 до 2.7 млрд лет и (2) небольшие интрузии, дайки и жилы, прорывающие, как правило, уже метаморфизованные и деформированные породы зеленокаменных поясов и более ранние ТТ-серии. Породы этой группы имеют ограниченное распространение и в данном сообщении не рассматриваются. Для характеристики состава ТТГ – пород Карелии использовано более 950 анализов. Вопрос эволюции составов тоналитов решался сравнением наиболее древних (3.2–3.1 млрд лет, около 100 анализов) и наиболее молодых (2.8–2.7 млрд лет, около 150 анализов) пород, имеющих ареальное распространение.

Установлено, что древние тоналиты Карелии по сравнению с молодыми характеризуются большими величинами $mg\#$ (рис.) и отношения Ca/Al (при равном содержании Al_2O_3) и меньшими содержаниями Sr (рис.); первое обстоятельство находится в противоречии с трендом изменения значений $mg\#$, установленным Х.Мартеном [3, 4], что объясняется уменьшением во времени теплового потока и, соответственно, взаимодействием с мантийным клином.

Вариации составов ТТГ в пространстве незначительны для молодой группы, но отчетливы для древней. Так, породы района р.Выг существенно обогащены K , Ba , Rb , Th , отвечая по составу гранодиоритам. Кроме того, породы района р.Выг являются более меланократовыми, т.е. продуктом более высокой степени плавления источника по сравнению с породами Лайручья. Они обогащены Y и $HREE$, что указывает на незначительную роль или отсутствие граната в рестите. Эти различия свидетельствуют о различиях в источнике и условиях образования разновозрастных тоналитов. Изучение включений в цирконах (Е.В.Толмачева, А.Антонов) указывают на сложный состав источника Выгозерских тоналитов [5].

Систематизация данных об изотопном составе Nd разновозрастных тоналитов показывает, что плавление многих, в первую очередь древних тоналитов, оторвано во времени от времени отделения их источника от мантии.