



На обложке использованы фотографии породных литотипов вулканогенно-осадочного разреза
Суйсарского комплекса Центральной Карелии © ИГ КарНЦ РАН 2015

ПЕТРОГРАФИЯ МАГМАТИЧЕСКИХ
И МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ГОРНЫХ ПОРОД



Институт геологии
Карельского научного центра РАН



XII ВСЕРОССИЙСКОЕ ПЕТРОГРАФИЧЕСКОЕ СОВЕЩАНИЕ

**ПЕТРОГРАФИЯ МАГМАТИЧЕСКИХ
И МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ГОРНЫХ ПОРОД**

15–20 сентября 2015 года

ПЕТРОЗАВОДСК



РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ОТДЕЛЕНИЕ НАУК О ЗЕМЛЕ РАН
МЕЖВЕДОМСТВЕННЫЙ ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЙ КОМИТЕТ
КАРЕЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РАН
ФГБУН ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ КАРЕЛЬСКОГО НЦ РАН
РЕГИОНАЛЬНЫЙ ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЙ СОВЕТ ПО СЕВЕРО-ЗАПАДУ РОССИИ
РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ



ПЕТРОГРАФИЯ МАГМАТИЧЕСКИХ И МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ГОРНЫХ ПОРОД

**Материалы XII Всероссийского Петрографического совещания
с участием зарубежных ученых**

ПЕТРОЗАВОДСК
2015

УДК 552.3/.4(0.63)
ББК 26.51
ПЗ0

Редакционная коллегия: Голубев А.И., Щипцов В.В. (научные редакторы),
Курчапов А.М., Кондрашова Н.И., Мясникова О.В., Первунина А.В. (ученый секретарь)

ПЗ0 **Петрография магматических и метаморфических горных пород. Материалы XII Всероссийского Петрографического совещания с участием зарубежных ученых.** Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2015. 590 с.

ISBN 978-5-9274-0669-2

В сборнике представлены материалы XII Всероссийского Петрографического совещания с участием зарубежных ученых. Они охватывают актуальные вопросы петрографии магматических и метаморфических пород в связи с проблемами глубинной дифференциации и эволюции магматизма и метаморфизма в геологической истории. Значительное внимание уделено магматизму и геодинамике с акцентом на петрографические индикаторы геотектонических обстановок, а также роли магматогенного рудообразования при формировании крупных эндогенных месторождений.

Материалы сборника представляют интерес для широкого круга геологов различных направлений, преподавателей, аспирантов и студентов геологических факультетов высших учебных заведений.

УДК 552.3/.4(0.63)
ББК 26.51

Материалы изданы при финансовой поддержке РФФИ – грант № 15-05-20600-г

ISBN 978-5-9274-0669-2

© Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Карельский научный центр Российской академии наук, 2015
© Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт геологии Карельского НЦ РАН, 2015

Литература

1. Белинская Г.А. Флюидное направление литологии: состояние, объекты, задачи // Уч. Зап. Казанского ун-та. Ест. науки. 2011. Т. 153. Кн. 4. С. 97–113.
2. Горлов В.И., Калинин Ю.К., Иванова И.Е. Разработка технологии и геологическое изучение шунгитовых пород как комплексного сырья. Петрозаводск. 1967. Фонды КарНЦ РАН. 243 с.
3. Филиппов М.М., Дейнес Ю.Е. Традиционные и эвристические подходы к интерпретации геолого-геофизических материалов на перспективном для открытия месторождения маковитов участке Толвуйской синклинали // Уч. Зап. ПетрГУ. Сер.: Ест. технич. науки. 2012. № 2. С. 49–56.
4. Филиппов М.М., Увакина М.В., Лохов К.И. Источники вещества инъекций метасапелитов участка Тетюгино // Мат. IV Российского совещания «Органическая минералогия». Черноголовка. 2013. С. 169–171.
5. Юдович Я.Э. Флюидное минералообразование – альтернатива литогенезу? Обзор // Уральский геологический журнал. 2009. № 4 (70). С. 31–80.
6. Melezhik V.A., Fallick A.E., Filippov M.M. et al. Karelian shungite – an indication of 2.0-Ga-old metamorphosed oil-shale and generation of petroleum: geology, lithology and geochemistry // Earth Science Reviews. 1999. V. 47. P. 1–40.
7. Qu Y., Črne A.E., Lepand A. et al. Methanotrophy in a Paleoproterozoic oil field ecosystem, Zaonega Formation, Karelia, Russia // Geobiology. 2012. V. 10. P. 467–478.

ОСОБЕННОСТИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО МЕТАСОМАТОЗА В КИЙОСТРОВСКОМ РАССЛОЕННОМ МАССИВЕ БЕЛОМОРСКОГО ПОДВИЖНОГО ПОЯСА

Ходоревская Л.И., Варламов Д.А.

Институт экспериментальной минералогии Российской академии наук,
г. Черноголовка, Московская область, Россия; khodorevskaya@mail.ru; dima@iem.ac.ru

Расслоенный перидотит-габброанортозитовый массив на о. Кий в южной части Онежской губы Белого моря является самым южным среди многочисленных мафит-ультрамафитовых комплексов в Беломорском докембрийском подвижном поясе (БПП) [1]. Возраст массива – 2437 млн лет [2]. Мафит-ультрамафиты представлены в различной степени метаморфизованными коронитовыми метагаббро, ультрабазитами, амфиболитами. К наименее измененным образцам можно отнести амфиболитизированное габбро. По петрографии и химизму они определяются как меланобазиты (железистость $f = \text{FeO} / (\text{FeO} + \text{MgO}) = 0.23–0.27$) с пониженными относительно средних [3] содержаниями Fe и Ti. В породе сохраняются крупные ортопироксены, размерами порой превышающие 1 мм, ($f = 0.23–0.24$, $\text{Al} = 0.06–0.08$ ф.ед.), ламели не наблюдаются. Редкие клинопироксены представлены авгитом с $f = 0.06–0.12$ и с низким содержанием жадеитового минала ($X_{\text{Jd}} = 0.5–2.0$). Цепочки кристаллов гранатов располагаются по краям плагиоклазов, формируя типичные коронарные структуры. Гранаты зональные: от центра к краям происходит изменение состава от $\text{Gr}_{15}\text{Alm}_{30}\text{Prp}_{44}$ до $\text{Gr}_{16}\text{Alm}_{33}\text{Prp}_{39}$. Состав плагиоклаза меняется от An_{77} до An_{50} . Появление более кислого плагиоклаза, чем исходный $\text{An}_{75–85}$, свидетельствует об образовании *Grt* и *Cpx* за счет участия анортитовой составляющей.

Крупные кристаллы амфибола *Hbl*, представленные магниевой роговой обманкой (*Mg-Hbl*) с $f = 0.05–0.10$, как правило, располагаются между пироксенами с одной стороны и гранатами с другой, т. е., на первый взгляд кажется, что амфиболы участвуют в формировании корон согласно реакции: $\text{Opx} + \text{An}_{75–85} \pm \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Grt} + \text{Cpx} + \text{Hbl} + \text{An}_{50–60}$.

Р-Т параметры начала процесса друзитизации габбро (центральные зоны *Grt* + *Opx* + *Pl*), определенные по *Grt-Opx-Pl-Qtz* термобарометру [4, 5] составляют 8–9 кбар и 770–800 °С. *Grt-Hbl* термометр [6] не дает столь высоких температур, что, возможно связано с нарастающей амфиболитизацией пород на ретроградной стадии, затушевывающей состава минералов на пике метаморфизма. Поэтому, несмотря на то, что амфибол занимает закономерное положение в каймах корон, он, вероятнее всего, образовывался не при друзитизации, а является все же более поздним. Р-Т параметры заключительного этапа друзитизации, определенные по составам минералов в непосредственном контакте *Grt-Hbl-Pl*, составляют 600–650 °С и 6–7 кбар [6, 7]. Гранаты и пироксены разбиты многочисленными трещинами, содержат огромное количество включений, среди которых также встречается амфибол, по составу не отличающийся от амфибола в составе корон. Помимо амфибола во включениях отмечены кварц, силлиманит/кианит (только в гранате), очень редко – апатит, в котором содержание хлора достигает 0,8 мас.% при формуле $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{Cl}_{0.1}\text{OH}_{0.9})$.

Более измененные породы по сравнению с амфиболитизированными габбро представлены амфиболитами. В них не сохраняется ортопироксен и гранат, иногда встречаются отдельные редкие зерна авгита ($X_{\text{Jd}} = 2–3$ мол.%, $f = 0.15–0.20$). Несколько более железистый, нежели чем в друзитах, *Mg-Hbl* ($f = 0.20–0.25$) также яв-

ляется основным минералом. В породах отмечен плагиоклаз An_{60-80} , редкий кварц. Температура, оцененная по $Hbl-Pl-Qtz$ [7], составляет 730–760 °C и является одинаковой как для включений плагиоклаза в амфиболе, так и для этих минералов в матрице.

В мафит-ультрамафитах Кийостровского массива отмечается огромное количество метасоматитов. В южной и северной части острова это протяженные мигматиты переменной мощности, развитые по простиранию массива (рис.1). Появление данных мигматитов скорее всего связано с разгрузкой поступающих флюид-расплавов по плоскостям расслоенности массива. Это утверждение доказывается достаточно резкими контактами мигматитов и вмещающих пород без следов частичного плавления последних. Мощность мигматитовых прослоев достигает 5–10 м. В северной части острова изредка в амфиболитах отмечены проявления процессов корундизации (кристаллы рубина до $2 \times 2 \times 0,3$ см), плоские кристаллы корунда прорастаются зернами кианита, отмечены небольшие линзы зеленого клиноцоизита.

Вдоль северо-западных зон сланцеватости в амфиболизированных метагаббро залегают послойные меланократовые жилы, ширина которых достигает 2 м (рис. 2). Центральная часть жил представлена гранатом, зальбанды выполнены амфиболом. Зональное строение и минеральный состав позволяют с большой долей уверенности отнести данные меланократовые жилы к встречающимся в Беломорском поясе базификатам, образование которых связано с выносом Fe-Mg-Ca из зон гранитизации.



Рис.1. Мигматитовые прослои в метагаббро

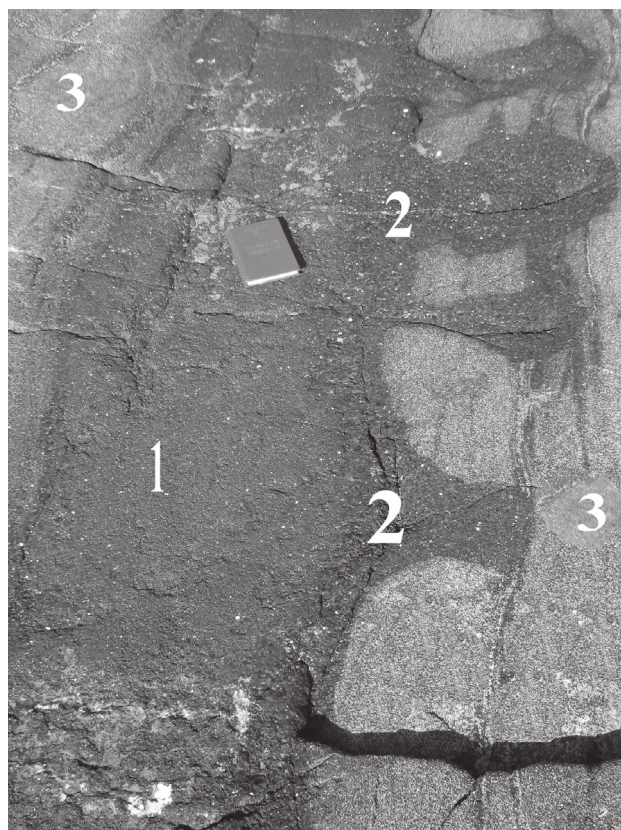


Рис.2. Меланократовые жилы в метагаббро: зона граната (1); горнблендита (2); вмещающие породы (3).

1. Соотношение $(Na+K)a - \text{железистость } (f)$ в амфиболах:
1 – из вмещающих пород; 2 – из меланократовых жил

Составы гранатов из жил отличаются от коронарных гранатов вмещающих пород более высоким содержанием алмандинового и гроссулярового миналов, что является типичным для базификатных жил [8, 9]. От центра к краям их состав меняется от $Grs_{29}Alm_{48}Prp_{14}$ до $Grs_{26}Alm_{51}Prp_{16}$, т. е. несколько обедняется кальцием. Это связано с образованием сфена на ретроградном этапе в условиях увеличения a_{H_2O} за счет реакции: $3Ca_3Al_2Si_3O_{12} + 5TiO_2 + 2SiO_2 + H_2O = 2Ca_2Al_3Si_3O_{12}(OH) + 5CaTiSiO_5$. Многочисленные кристаллы сфена фиксируются в виде включений как в гранатах, так и в амфиболах, иногда сфен формирует целые цепочки зерен в матрице породы. Помимо сфена в жилах отмечается большое количество ильменита, рутила, встречается кварц, кианит.

Крупные кристаллы бурого амфибола замещают гранаты. Кроме того, *Hbl* отмечен в виде включений в гранатах, от очень мелких до крупных, до 500 мкм, по составу амфиболы не отличаются – это в основном чермакиты, т. е. $(\text{Na}+\text{K})_{\text{A}} < 0.50$, $f = 0.4-0.5$, без хлора. Апатит, также как и сфен, отмечен как на краях *Grt*, так и в виде включений в него, все зерна апатита содержат переменное количество хлора, максимальное его содержание фиксируется во включениях *Ap* в *Grt* и достигает 0.72 мас. %.

Grt-Hbl термометрия жил с использованием включений *Hbl* в центральных частях гранатов [6] дала температуры 750–770 °С. По составам ретроградных краевых частей гранатовых зерен и контактирующих амфиболов, получены значения *T* около 640 °С.

Таким образом, максимальная температура (750–770 °С) формирования меланократовых жил на о-ве Кий совпадает с температурой начала метаморфизма вмещающих пород 780–800 °С. Практически полное отсутствие плагиоклаза в жилах не позволяет корректно оценить давление, однако можно предполагать, что формирование жил проходило при давлениях, не сильно отличающихся от $P = 8-9$ кбар, т. е. тех же давлений, которые определяли начало метаморфических преобразований мафит-ультрамафитов. Эти параметры близки к параметрам пика свекофеннского гранулитового метаморфизма Беломорского пояса.

Петрографическое изучение показало, что и минералы вмещающих пород, в частности гранаты, и гранаты из меланократовых жил разбиты трещинами и содержат многочисленные включения *Hbl*, *Zo*, *Ap*, *Chl*, *Qtz*, т.е. эксгумация массива проходила в условиях активного взаимодействия флюидной фазы с вмещающими породами на всем протяжении ретроградной стадии.

Обычно вынос элементов, формирующих меланократовые жилы в амфиболитах и метагаббро, происходит в непосредственном контакте с областями их гранитизации или чарнокитизации. Однако в данном случае, меланократовые жилы удалены от зон мигматизации пород и пегматитообразования, т.е. являются «автономными». Их появление могло быть связано с флюидной фазой, из которой произошло осаждение алюмосиликатной составляющей в областях расслоенности массива (рис. 1). Во всяком случае, флюид, участвующий в формировании жил, не содержал значимых концентраций (активностей) хлоридов Na и K. Об этом свидетельствует практически полное отсутствие кислого плагиоклаза в гранатитах и невысокое содержание щелочей в амфиболах. В то же время высокие концентрации хлора в апатите из включений в гранатах свидетельствуют о том, что фугитивность HCl в момент формирования жил была высока [10], т. е., транспорт элементов при формировании жил в значительной степени осуществлялся хлоридными флюидами. Наши экспериментальные исследования показывают, что при взаимодействии амфиболов с растворами, содержащими высокие концентрации HCl, большинство элементов переходит в раствор, а Ti, Al, Si переосаждаются в виде оксидов. Вполне вероятно, что включения TiO_2 , кианита, кварца в гранатах из жил как раз и свидетельствует о присутствии высококислотного флюида в начальный этап высокотемпературного метасоматоза. Ни в одном из минералов ретроградной стадии хлор отмечен не был. Появление водосодержащих минералов, таких как эпидот, хлорит, свидетельствует об увеличении $a_{\text{H}_2\text{O}}$ на ретроградной стадии.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 14-05-00272 А

Литература

1. Куликов В.С., Куликова В.В. К геологии Кийостровского архипелага Белого моря // Вопросы стратиграфии и магматизма докембрия Карелии, Петрозаводск: КНЦ РАН, 1990. С. 3–6.
2. Слабунов А.И., Куликова В.В., Степанов В.С., Куликов В.С., Матуков Д.И., Кевлич В.И. U-Pb геохронология (данные ионного микрозонда SHRIMP-II) цирконов Кийостровского расслоенного массива Беломорского подвижного пояса и корреляция палеопротерозойского магматизма юго-восточной части Фенноскандинавского щита // Изотопное датирование процессов рудообразования, магматизма, осадконакопления и метаморфизма. Материалы III Российской конференции по изотопной геохронологии. М.: ГЕОС, 2006. Т. 2. С. 281–286.
3. Левицкий В.И. Петрология и геохимия метасоматоза при формировании континентальной коры. Новосибирск. Академ. Изд-во «Гео», 2005. 342 с.
4. Fonarev V.I., Grahchikov A.A., Konilov A.N. A consistent system of geothermometers for metamorphic complexes // International Geology Review, 1991. V. 33. N8. P. 743–783.
5. Фонарев В.И., Графчиков А.А., Кониллов А.Н. Экспериментальные исследования равновесий с минералами переменного состава и геологическая термобарометрия // Экспериментальные проблемы геологии. М.: Наука. 1994. С. 323–355.
6. Perchuk L.L., Lavrent'eva I.V. Experimental study of mineral equilibria in the system garnet-orthopyroxene-amphibole Inter. // Geol. Rev. 1990. N 5. P. 486–507.
7. Blundy, J. D., Holland, T. J. B. Calcic amphibole equilibria and a new amphibole-plagioclase geothermometer // Contrib. Mineral. Petrol. 1990. V.104. P. 208–224
8. Ходоревская Л.И. Минеральный состав и P-T условия образования Ca-Mg-Fe метасоматитов в основных гранулитах (Порья губа, Беломорье): доказательства сингенетичности процессов гранитизации и базификации // Докл.РАН. 2010. Т. 432/ № 3. С. 392–395.
9. Ходоревская Л.И. Метаморфизм и метасоматоз гранулитовой фации в габбро-анортозитах Колвицкого массива, Кольский полуостров // Геохимия. 2012. № 1. С. 1–18.
10. Коржинский М.А. Апатитовый твердый раствор как индикатор летучести HCl и HF в гидротермальном флюиде // Геохимия. 1981. № 5. С. 689–706.