

Ковальчук Елена Владимировна

младший научный сотрудник, Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, elena7kovalchuk@gmail.com

Kervinen Anna Valerievna

Graduate Student, Institute of Geology of KarRC RAS, Kervinen@mail.ru

Egorova Svetlana Valerevna

PhD (Geology & Mineralogy), Researcher, Institute of Geology of KarRC RAS, zumlic@mail.ru

Stepanova Alexandra Vladimirovna

PhD (Geology & Mineralogy), Leading Researcher, Institute of Geology of KarRC RAS, sa07sa@mail.ru

Kovalchuk Elena Vladimirovna

Junior Researcher, IGEM RAS, elena7kovalchuk@gmail.com

DOI: 10.25702/KSC.2307-5252.2019.6.018

УДК 552.3 + 552.11 + 551.243

П. А. Кириллова

Институт геологии и геохронологии докембрия РАН, Санкт-Петербург, Россия
Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

**ТЕКТОНИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ РАННЕОРОГЕННЫХ ИНТРУЗИЙ
СЕВЕРНОГО ПРИЛАДОЖЬЯ И ИХ ПЕТРОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ
(НА ПРИМЕРЕ МАССИВОВ ВЕЛИМЯКИ, КААЛАМО, КУРКИЁКИ)****Аннотация**

Проведена оценка петро- и геохимических особенностей трех раннепротерозойских габброидных массивов Северного Приладожья. Изученные разновозрастные интрузии отличаются разной тектонической позицией. Применение классификационных и дискриминационных (тектонических) диаграмм позволило проследить некоторые взаимосвязи между составами пород и их положением в региональных разновозрастных структурах, а также дать оценку палеогеодинамических условий проявления магматизма.

Ключевые слова:

Северное Приладожье, габброиды, петрогеохимия, тектоническая позиция.

P. A. Kirillova

Institute of Precambrian Geology and Geochronology RAS, Saint Petersburg, Russia
Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

**TECTONIC POSITION OF EARLY OROGENIC INTRUSIONS OF THE
NORTHERN LADOGA AREA AND THEIR PETROCHEMICAL FEATURES
(BY THE EXAMPLE OF VELIMÄKI, KAALAMO, KURKIJOKI MASSIFS)****Abstract**

We studied the petro- and geochemical features of the three Early Proterozoic intrusions of gabbro in the Northern Ladoga area. All intrusions have the same ages but are different in their tectonic positions. The classification and discriminatory (tectonic) diagrams allowed us to trace some relationships between rock compositions and their position in regional structures of different ages. An estimation of the paleogeodynamic conditions of magmatism is given.

Keywords:

Northern Ladoga area, gabbroides, petrogeochemistry, tectonic position.

Введение

Магматические комплексы, рассматриваемые в данной работе, находятся на территории Северного Приладожья. Основные черты геологического строения этого региона определяются, главным образом, тем, что он находится в области сочленения двух докембрийских мегаблоков: 1) древнего Карельского архей-протерозойского кратона; 2) протерозойского блока свекофеннид. Эта область сочленения известна как Раахе-Ладожская шовная зона. Она рассматривалась как основная тектоническая единица на границе архейской и протерозойской коры, имеющей важное металлогеническое значение (Simonen et al., 1980). Ранее было показано, строение шовной зоны можно интерпретировать как систему надвигов, что и послужило поводом для выделения здесь региональной структуры — Меерского надвига (Балтыбаев и др., 1996, 2000), по которому проходит граница двух упомянутых выше древних мегаструктур (рис. 1).



Рис. 1. Схема основных тектонических блоков региона Северного Приладожья и положение изучаемых массивов:
1 — Кааламо; 2 — Велимяки; 3 — Куркиёки

Fig. 1. The main tectonic blocks of the Northern Ladoga area and the position of the studied massifs:
1 — Kaalamo; 2 — Velimäki; 3 — Kurkiyoki

В описываемом регионе нами было изучено несколько интрузивных массивов, входящих в состав Кааламского, Велимякского и Куркиёкского комплексов. Данные комплексы имеют ряд факторов, позволяющих рассматривать их совместно: все слагающие их интрузивные тела являются

раннеорогенными и представляют собой преимущественно габброидные интрузии, т. е. они имеют близкие составы и приблизительно одинаковое время становления (1,88–1,89 млрд лет). В то же время изучаемые массивы занимают разную тектоническую позицию и находятся на разном удалении от зоны стыка, прорывая толщи как Карельского, так и Свекофеннского блоков.

Целью настоящей работы является оценка петро- и геохимических особенностей разновозрастных магматических пород, занимающих разную тектоническую позицию. Предполагается проследить взаимосвязи между составами пород и их положением в региональных разновозрастных структурах.

Для сравнительного анализа использовались различные классификационные и дискриминационные (тектонические) диаграммы с акцентом на содержание петрогенных элементов.

Краткая характеристика изученных магматических комплексов

Кааламский клинопироксенит-габбронорит-диоритовый комплекс площадью около 80 км² представляет собой крупное магматическое тело (массив Кааламо) и ряд небольших интрузий-сателлитов. По мнению большинства исследователей, массив Кааламо образовался в несколько фаз внедрения. К ранней фазе принято относить верлиты, оливиновые клинопироксениты, плагиопироксениты и меланократовые габбро; вторая фаза характеризуется внедрением габброноритов и габбро; к породам заключительной фазы относят диориты, кварцевые диориты, гранодиориты, тоналиты и плагиограниты. Все перечисленные породы пересекаются небольшими дайками (до 1 м) габброноритов. На данный момент имеются U–Pb-оценки возраста кварцевых диоритов — 1888 ± 5 млн лет. Интрузия Кааламо рудоносная, сульфиды пироксенитовых тел характеризуются повышенными содержаниями Ni, что определяет сходство массива Кааламо с никеленосным поясом Коталахти в Финляндии (Иващенко, Ручьев, 2019).

Велимякский клинопироксенит-габбро-(монцо)диоритовый комплекс представлен преимущественно массивом Велимяки и небольшими интрузиями габбро и габбро-диоритов. Характерной чертой массива является зональное строение: его слагают приконтактные гибридные диориты, трахитоидные лейко- и меланогаббро и габбро-пироксениты. Возраст диоритов этого массива оценивается в 1874 ± 24 млн лет, а пироксенитов — 1900 ± 6 млн лет (Алексеев, 2019).

К пироксенитовым телам приурочена титаномагнетитовая минерализация, образовавшаяся во время кристаллизации массива. С более поздними наложенными процессами связано благороднометалльное сульфидное оруденение (Балтыбаев и др., 2017).

Куркиёкский норит-эндербитовый комплекс слагают небольшие интрузии, наиболее крупная из которых (Куркиекская) занимает площадь около 45–50 км². Свойственной чертой этого комплекса является наличие гиперстенсодержащих пород. Как и в предыдущих комплексах, некоторые типы пород куркиёкского комплекса рассматриваются как отдельные фазы кристаллизации. К первой фазе принято относить нориты, габбро и гипербазиты. Ко второй — эндербитоиды, образование которых повсеместно сопровождается гранулитовыми минеральными ассоциациями во вмещающих породах. Возраст эндербитоидов по U–Pb-данным составляет 1881 ± 7 млн лет (Балтыбаев и др., 2009).

Особенности петрохимии изученных интрузивных массивов

Была собрана единая база геохимических данных по трем изучаемым объектам на основе опубликованных материалов предыдущих исследователей региона.

На классификационной диаграмме TAS (Middlemost, 1994) показан характерный разброс составов пород всех трех интрузивных комплексов (рис. 2). Диапазон содержания кремнезема варьирует от 40 до 75 %, а сумма щелочей — от 2 до 7,5 %. Наибольшее перекрытие полей наблюдается для габбро, что обусловлено преобладанием основных пород во всех массивах. Выходы за границы полей нескольких точек массива Велимяки определяются нанесенными на диаграмму значениями рудных пироксенитов.

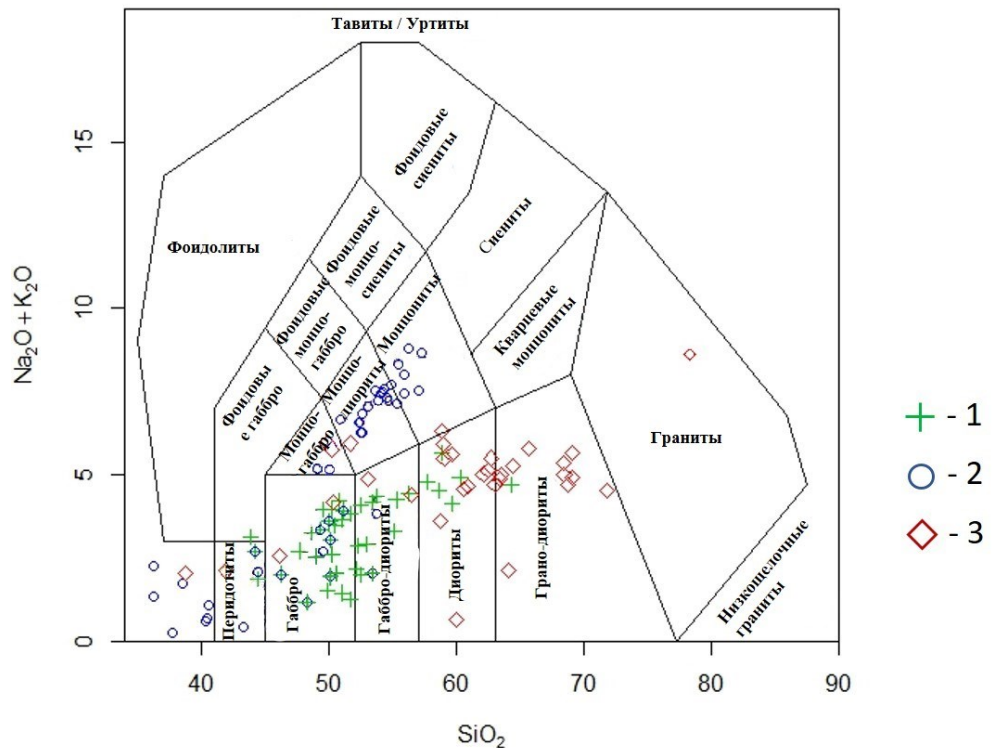


Рис. 2. Классификационная диаграмма ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) — SiO_2 (Middlemost, 1994) для пород Кааламского (1), Велимякского (2) и Куркиёкского (3) массивов с использованием опубликованных данных

Fig. 2. Classification diagram ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) — SiO_2 (Middlemost, 1994) for the rocks of Kaalamo (1), Velimäki (2) and Kurkiyoki (3) massifs using published data

В целом для всех массивов характерен известково-щелочной тренд, что наглядно отображается на диаграммах AFM (Irvine, Baragar, 1971) и SiO_2 — K_2O (Pescerillo, Taylor, 1976). Однако ультрамафиты и некоторые мафиты массива Кааламо соответствуют толеитовой серии, а другая часть пород, насыщенных кремнеземом, попадает в поле известково-щелочной серии (рис. 3).

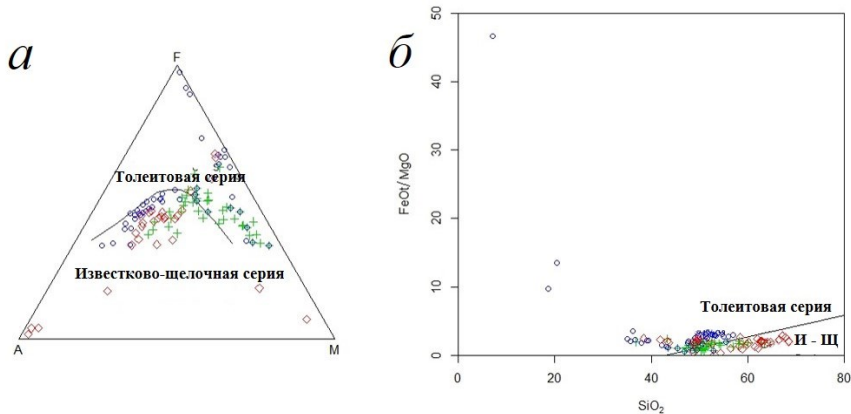


Рис. 3. Классификационные диаграммы A(Na₂O) — F(FeO) — M(MgO) (Irvin, Baragar, 1971) (а); FeO^{*}/SiO₂ (Miyashiro, 1974) (б);

И-Щ — известково-щелочная серия. Условные обозначения: см. рис. 2

Fig. 3. Classification diagrams A(Na₂O) — F(FeO) — M(MgO) (Irvin, Baragar, 1971) (a); FeO^{*}/SiO₂ (Miyashiro, 1974) (b). Legend: see Fig. 2

Для пород Велимякского комплекса отчетливо прослеживается щелочной тренд, что наглядно отображается на диаграмме SiO₂-K₂O (Pecserillo, Taylor, 1976) (рис. 4).

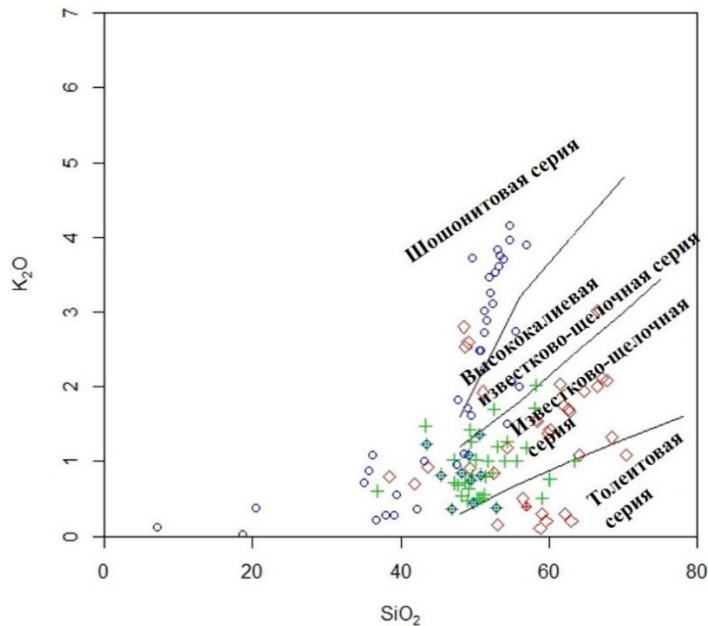


Рис. 4. Классификационная диаграмма K₂O — SiO₂ (Pecserillo, Taylor, 1976).
Условные обозначения: см. рис. 2

Fig. 4. Classification diagram K₂O — SiO₂ (Pecserillo, Taylor, 1976).
Legend: see Fig. 2

Особенностью диаграммы R_1-R_2 (Batchelor, Bowden, 1985) является выявление факта прохождения набора некоторых элементов через орогенный цикл. Геотектоническая диаграмма используется для определения петрогенетических моделей, включающих фракционную кристаллизацию, частичное плавление или смешивание магмы. Также авторами выделяются следующие поля: доколлизийные (надсубдукционные) плутоны активных окраин, плутоны постколлизийных поднятий, синколлизийные и позднеорогенные, а также посторогенные и анорогенные магматиты.

В основном рассматриваемые нами породы попадают в область активной границы, что в целом не противоречит данным о геотектонической позиции объектов (рис. 5). Кроме того, точки дифференцированного массива Кааламо ложатся в область мантийного фракционирования, что, вероятно, подтверждает формирование данного массива в течение нескольких фаз интрузивной деятельности.

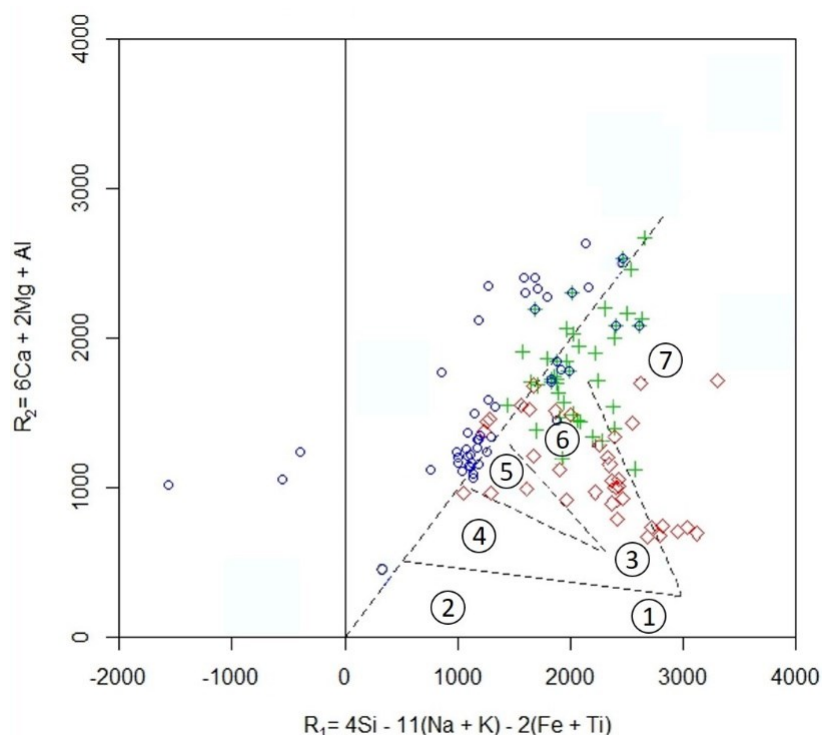


Рис. 5. Геотектоническая диаграмма $6Ca + 2Mg + Al - 4Si - 11(Na + K) - 2(Fe + Ti)$, (Batchelor, Bowden, 1985):

1 — посторогенные гранитоиды; 2 — анорогенные гранитоиды;
3 — синколлизийные гранитоиды; 4 — субщелочные позднеорогенные гранитоиды; 5 — гранитоиды постколлизийных поднятий; 6 — активные границы, доколлизийные (надсубдукционные гранитоиды); 7 — продукты мантийного фракционирования. Условные обозначения: см. рис. 2

Fig. 5. Geotectonic diagram $6Ca + 2Mg + Al - 4Si - 11(Na + K) - 2(Fe + Ti)$, (Batchelor, Bowden, 1985):

1 — postorogenic; 2 — anorogenic; 3 — syn-collision; 4 — late-orogenic; 5 — post-collision uplift; 6 — pre-plate collision; 7 — mantle fractionates. Legend: see Fig. 2

Учитывая, что в основе диаграммы лежит общее и постоянное увеличение катионов К и Na (Batchelor, Bowden, 1985), вполне закономерна основная концентрация точек наиболее щелочного массива Велимяки за пределами выделенных полей.

Предполагая эффузивные аналоги интрузивных комплексов, рассмотрим следующую диаграмму, в основе которой лежит содержание оксидов титана, марганца и фосфора. Mn и Ti — элементы, присутствующие во фракционирующих фазах базальтов. Отличия между магмами вулканических дуг и океанических базальтов могут объясняться различными путями фракционной кристаллизации. Вариации содержаний P_2O_5 авторы диаграммы связывают с особенностями магматических очагов либо со степенью частичного плавления (Mullen, 1983). Исходя из того, что использованные в данной диаграмме катионы малоподвижны и нечувствительны при гидротермальных процессах, допускаем возможность применения этой геотектонической диаграммы к нашей геологической ситуации (рис. 6, а).

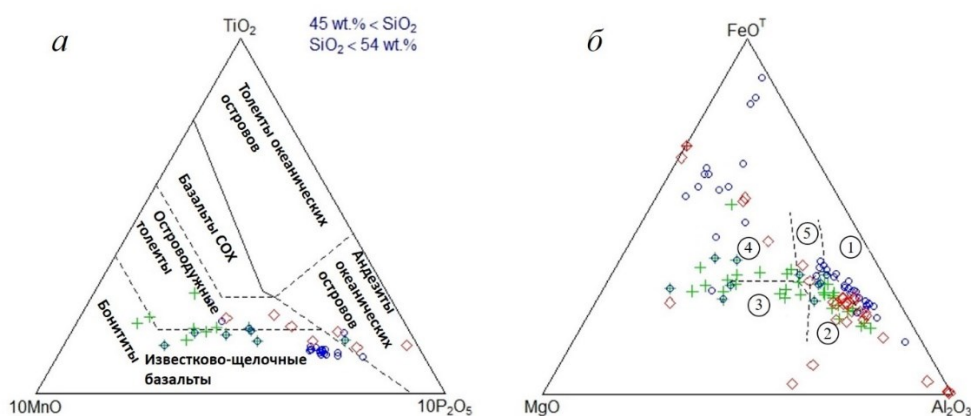


Рис. 6. Геотектоническая диаграмма $MnO - TiO_2 - P_2O_5$ (Mullen, 1983) (а); геотектоническая диаграмма $MgO - FeO^T - Al_2O_3$ (Pearce et al., 1977) (б): 1 — базальты надспрединговых островов; 2 — базальты вулканических дуг и активных континентальных окраин; 3 — базальты срединно-океанических хребтов; 4 — базальты океанических островов; 5 — континентальные базальты. Условные обозначения: см. рис. 2

Fig. 6. Geotectonic diagram $MnO - TiO_2 - P_2O_5$ (Mullen, 1983) (а); geotectonic diagram $MgO - FeO^T - Al_2O_3$ (Pearce et al., 1977) (б): 1 — spreading center island; 2 — orogenic; 3 — ocean ridge and floor; 4 — ocean island; 5 — continental. Legend: see Fig. 2

Породы массивов Кааламо, Велимяки, Куркиёки обеднены титановой компонентой, а также такими элементами, как тантал и ниобий, что характерно для известково-щелочных базальтов, андезитов островных дуг и субдукционных базальтов. В целом на диаграмме (рис. 6, а) отражаются условия активной континентальной окраины и наблюдается известково-щелочная специфика пород.

Следующая геотектоническая диаграмма по петрогенным оксидам MgO — FeO^T — Al_2O_3 (Pearce et al., 1977) не отражает реальной геодинамической обстановки формирования изучаемых магматитов (рис. 6, б). В данном случае это может быть связано с тем, что MgO и Al_2O_3 могут быть подвижными в процессах зеленокаменных метаморфических изменений (Скляров и др., 2001), или же с контаминацией коровым материалом.

Для оценки палеогеодинамических условий проявления магматизма петрогенные оксиды используются редко. Таким образом, рассмотренные группы элементов дают только приближенное решение геотектонической типизации магматитов. Справедливо ожидать, что более аргументированные выводы о тектонических условиях образования пород массивов Кааламо, Велимяки и Куркиёки могут быть получены при использовании малых и редкоземельных элементов. На текущий момент сложности в использовании таких дискриминационных диаграмм связаны с ограниченным набором данных по этим элементам, а также с некоторыми ограничениями, характеризующимися высокой подвижностью малых и редкоземельных элементов в специфических геологических обстановках.

Литература

Алексеев И. А. Велимякский комплекс // Ладожская протерозойская структура (геология, глубинное строение и минерагения) / отв. ред. Н. В. Шаров. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2019. С. 85–89.

Балтыбаев Ш. К., Глебовицкий В. А., Козырева И. В., Шульдинер В. И. Мейерский надвиг — структура сочленения Карельского кратона и Свекофеннского пояса в Приладожье // Докл. РАН. 1996. Т. 348, № 3. С. 353–356.

Балтыбаев Ш. К., Глебовицкий В. А., Козырева И. В. и др. Геология и петрология свекофеннид Приладожья. СПб.: СПбГУ, 2000. 200 с.

Балтыбаев Ш. К., Левченко О. А., Левский Л. К. Свекофеннский пояс Фенноскандии: пространственно-временная корреляция раннепротерозойских эндогенных процессов. СПб.: Наука, 2009. 328 с.

Балтыбаев Ш. К., Овчинникова Г. В., Глебовицкий В. А., Алексеев И. А., Васильева И. М., Ризванова Н. Г. Каледонское время образования золотосодержащих сульфидных руд в раннепротерозойских габброидах Северного Приладожья // Доклады АН. 2017. Т. 476, № 2. С. 181–185.

Иващенко В. И., Ручьев А. М. Кааламский комплекс // Ладожская протерозойская структура (геология, глубинное строение и минерагения) / отв. ред. Н. В. Шаров. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2019. С. 76–84.

Скляров Е. В. Интерпретация геохимических данных: учеб. пособие. М.: Интернет Инжиниринг, 2001. 288 с.

Batchelor R. A., Bowden, P. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters // *Chemical Geology*. 1985. Vol. 48. P. 43–55.

Irvine T. N., Baragar W. R. A. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks // *Canadian Journal of Earth Sciences*. 1971. Vol. 8. P. 523–548.

Middlemost E. A. K. Naming Materials in the Magma / Igneous Rock System // *Earth-Science Reviews*. 1994. Vol. 37. P. 215–244.

Miyashiro A. Volcanic rock series in island arcs and active continental margins // *American Journal of Science*. 1974. Vol. 274. P. 321–355.

Mullen E. D. MnO / TiO₂ / P₂O₅: a minor element discriminant for basaltic rocks of oceanic environments and its implications for petrogenesis // Earth and Planetary Science Letters. 1983. Vol. 62. P. 53–62.

Pearce, T. H., Gorman, B. E., Birkett, T. C. The relationship between major element geochemistry and tectonic environment of basic and intermediate volcanic rocks // Earth and Planetary Science Letters. 1977. Vol. 36. P. 121–132.

Peccerillo, A., Taylor, S. R. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey // Contributions to Mineralogy and Petrology. 1976. Vol. 58. P. 63–81.

Simonen A. The Precambrian in Finland // Geol. Surv. Finland Bull. 1980. No. 304. 58 p.

Сведения об авторе

Кириллова Полина Алексеевна

младший научный сотрудник, Институт геологии и геохронологии докембрия РАН; Санкт-Петербургский государственный университет, polinageo-94@gmail.com

Kirillova Polina Alekseevna

Junior Researcher, Institute of Precambrian Geology and Geochronology RAS; Saint Petersburg State University, polinageo-94@gmail.com

DOI: 10.25702/KSC.2307-5252.2019.6.019

УДК 552.112 + 552.331.1

**А. А. Котов^{1,2}, В. С. Секисова^{1,2}, О. Д. Мокрушина³,
Е. Н. Козлов³, Е. Н. Фомина³**

¹ Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия

² Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

³ Геологический институт ФИЦ КНЦ РАН, Апатиты, Россия

ФЛЮИДНЫЕ ВКЛЮЧЕНИЯ ГРАФИТСОДЕРЖАЩИХ КВАРЦОЛИТОВ РАЙОНА РОВОЗЕРО (КОЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ, РОССИЯ)

Аннотация

Приведены результаты рамановского и микротермометрического исследования флюидных включений в кварце графитсодержащих кварцолитов участка Ровозеро (Западные Кейвы). На основании изучения первичных флюидных включений установлено, что кварц образовывался при участии метансодержащих низкоконцентрированных водно-солевых растворов на наиболее поздних стадиях пегматитового процесса при температурах не ниже 160 °С. Состав вторичных флюидных включений указывает на то, что заполнение трещин и/или изменение кварцолитов происходило при участии богатых метаном и (в меньшей степени) водородом высококонцентрированных водных растворов солей CaCl₂, NaCl и, возможно, KCl. При этом по вторичным включениям прослеживается изменение растворов от средне-низкотемпературных высококонцентрированных до низкотемпературных менее концентрированных.

Ключевые слова:

кварцолиты, флюидные включения, рамановская спектроскопия, микротермометрия, Кейвы.