

*Пискунов В. К., Рудько С. В., Барабошкин Е. Ю.* Строение и условия формирования верхнеюрских отложений района плато Демерджи (Горный Крым) // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 2012. Т. 87, вып. 5. С. 7–23.

*Рудько С. В.* Обстановки накопления верхнеюрских отложений байдарской котловины и эволюция крымской карбонатной платформы // Литология и полезные ископаемые. 2018. № 4. С. 337–354.

*Юдин В. В.* Геодинамика Крыма. Симферополь: ДИАЙПИ, 2011. 336 с.

*Embry A. F., Klovan J. E.* A late Devonian reef tracton northeastern Banks Island // N. W. T. — Bull. Canadian Petrol. Geol. 1971. 19. P. 730–781.

*Flügel E.* Microfacies of Carbonate Rocks: Analysis, Interpretation and Application. Second Edition. Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag, 2010. 984 p.

*Tucker M. E., Wright V. P.* Carbonate Sedimentology. Oxford: Blackwell Science, 1990. 482 p.

#### *Сведения об авторах*

**Мазько Евгений Олегович**

студент, МГУ им. М. В. Ломоносова, eomazko@gmail.com

**Барабошкин Евгений Юрьевич**

доктор геолого-минералогических наук, профессор, МГУ им. М. В. Ломоносова, barabosh@geol.msu.ru

**Коптев Егор Витальевич**

студент, МГУ им. М. В. Ломоносова, coptevegor@gmail.com

**Mazko Evgeniy Olegovich**

Student, Lomonosov Moscow State University, eomazko@gmail.com

**Baraboshkin Evgeniy Yurievich**

Doctor of Sciences (Geology & Mineralogy), Full Professor, Lomonosov Moscow State University, barabosh@geol.msu.ru

**Koptev Egor Vitalievich**

Student, Lomonosov Moscow State University, coptevegor@gmail.com

DOI: 10.25702/KSC.2307-5252.2019.6.025

УДК: 552.16 : 550.93 : 551.71 : 551.24(470.22)

**Д. А. Машкин<sup>1,2</sup>, П. Я. Азимов<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Институт геологии и геохронологии докембрия РАН, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

**ДВА ЭТАПА ВЫСОКОГРАДНОГО МЕТАМОРФИЗМА  
В МЕТАГАББРОНОРИТАХ ЧУПИНСКОГО ПОЯСА  
(ВЕРХНЕ-ПУЛОНГСКОЕ ОЗЕРО, БЕЛОМОРСКИЙ ПОДВИЖНЫЙ ПОЯС,  
СЕВЕРО-ВОСТОЧНАЯ ФЕННОСКАНДИЯ)**

**Аннотация**

Изучение метагабброноритов Беломорского подвижного пояса (БПП) северо-востока Фенноскандии методом мультиравновесной термобарометрии (TWEEQU) показывает существование в палеопротерозое БПП двух высокотемпературных гранулитовых метаморфических событий: низкобарического ( $T \approx 800\text{--}960\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $P \approx 0,5\text{--}5$  кбар) и следующего за ним высокобарического (до  $700\text{--}750\text{ }^\circ\text{C}$  и  $20\text{--}25$  кбар).

**Ключевые слова:**

метаморфизм, метагаббронорит, Беломорский подвижный пояс, термобарометрия, TWEEQU, высокобарные гранулиты.

**D. A. Mashkin<sup>1,2</sup>, P. Ya. Azimov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Institute of Precambrian Geology and Geochronology RAS, Saint Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

## **TWO HIGH-GRADE METAMORPHIC EVENTS IN METAGABBROHORITES OF THE CHUPA BELT (VERHNE-PULONGSKOE LAKE, THE BELOMORIAN MOBILE BELT, NORTH-EAST FENNOSCANDIA)**

### **Abstract**

Study of metagabbrohorites of the Belomorian Mobile Belt (BMB) in north-east Fennoscandia using method of multiequilibrium thermobarometry (TWEEQU) reveals two high-temperature metamorphic events in the Paleoproterozoic history of the BMB: low-pressure event ( $T \approx 800\text{--}960\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $P \approx 0,5\text{--}5\text{ kbar}$ ) and then high-pressure event (up to  $700\text{--}750\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $20\text{--}25\text{ kbar}$ ).

### **Keywords:**

*metamorphism, metagabbrohorite, the Belomorian Mobile Belt, thermobarometry, TWEEQU, high pressure granulites.*

### **Введение**

Фенноскандинавский щит и входящий в его состав Беломорский подвижный пояс являются уникальными объектами для изучения раннедокембрийского орогенеза (Ранний..., 2005). Беломорский пояс, сформированный в неоархее в результате регионального покровообразования и высокобарического метаморфизма, отражает орогенные события не только неоархее, но и палеопротерозоя, являясь частью Лапландско-Кольского орогена (Daly et al., 2006). Для реконструкции этой части его истории важное значение имеют интрузии раннепалеопротерозойских габброидов (Ранний..., 2005), не подвергшихся архейским преобразованиям и поэтому являющихся индикаторами позднепалеопротерозойских процессов. Наша работа посвящена исследованию их метаморфической эволюции.

Участок Форелевый расположен к северу от пос. Чупа на границе Чупинской и Хетоламбинской тектонических пластин. Эта граница представляет собой меланж, включающий типичные породы Чупинской (глинозёмистые гнейсы) и Хетоламбинской (амфиболиты и амфиболовые гнейсы) пластин. Среди гранат-кианит-биотитовых гнейсов расположены тектонические фрагменты тел габброидов, относящихся к комплексу лерцолитов-габброноритов (Stepanova, Stepanov, 2010). Размер этих фрагментов не превышает десятков метров.

### **Методика исследований**

Минеральный состав пород был установлен при оптико-микроскопическом изучении шлифов. Составы минералов определены рентгеновским микроспектральным (микронзондовым) анализом на растровом электронном микроскопе JSM-6510LA с энергодисперсионным спектрометром JED-2200 (JEOL) и комплектом эталонных образцов в ИГД РАН (аналитик О. Л. Галанкина). Условия метаморфизма метагабброноритов рассчитаны методом мультиравновесной термобарометрии TWEEQU (Berman, 1991) в программе winTWQ 2.34 (Berman, 2007) с базами данных JUN92 (Berman, 1988) и BA96 (Berman, Aranovich, 1996; Aranovich, Berman, 1996).

### **Результаты и их обсуждение**

Метагаббронориты участка Форелевый представляют собой коричневатую мелкозернистую породу. При петрографическом изучении шлифов отчётливо

видны реликты габбровой структуры, но реликты магматических минералов редки. Сохраняются только редкие крупные зёрна ортопироксена. Породы не содержали первичного оливина и кварца, что ясно по отсутствию не только их реликтов, но и характерных для оливиновых габброноритов Беломорья концентрических корон вокруг оливинов, а также «запылённого» плагиоклаза. Типичным минералом габброноритов Форелевого был пижонит, зёрна которого заместились псевдоморфозами, образованными срастаниями двух пироксенов. При микроскопическом изучении в породах явно выделяются домены: более ранние участки, сложенные агрегатом метаморфических минералов  $Orx + Hbl + Vt \pm Crx$  на месте первично-магматических пироксенов и метаморфическим плагиоклазом на месте магматического плагиоклаза, и поздние участки, образующие неправильные пятна и их скопления и сложенные преимущественно парагенезисом  $Grt + Crx + Orx + Qtz \pm Vt$  (без плагиоклаза). В краевых частях таких гранатсодержащих пятен в них могут присутствовать плагиоклаз и бурая роговая обманка. Размер этих пятен меняется от долей сантиметра до первых сантиметров.

Расчёты в программе winTWQ 2.34 показали резкое отличие условий метаморфизма для ранних безгранатовых и более поздних гранатсодержащих доменов. Для безгранатовых доменов получены значения температур 800–960 °C и давлений 0,5–5 кбар (рис. 1), отвечающие условиям гранулитового метаморфизма низких давлений. По краевым частям гранатсодержащих доменов (в присутствии плагиоклаза) получены значения температур 650–700 °C и давлений 12–17 кбар, а по центральным частям этих доменов, не содержащим плагиоклаза, — 700–750 °C и до 20–25 кбар (рис. 2).

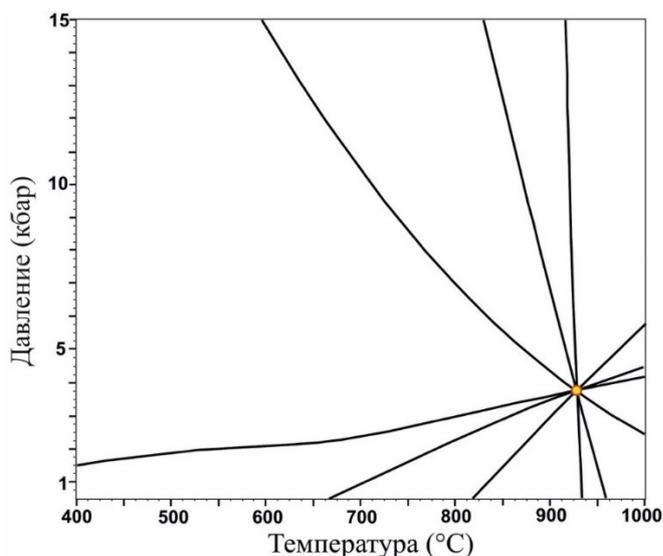


Рис. 1. Диаграмма TWQ с результатами термобарометрии для метагаббронорита с парагенезисом  $Orx + Hbl + Vt + Pl + Q$  ( $T_{cp} = 928$  °C,  $dT = 0,6$  °C,  $P_{cp} = 3,8$  кбар,  $dP = 0,02$  кбар, три независимые реакции)

Fig. 1. TWQ diagram with results of thermobarometry for metagabbro; mineral assemblage  $Orx + Hbl + Vt + Pl + Q$  ( $T_{av} = 928$  °C,  $dT = 0,6$  °C,  $P_{av} = 3,8$  kbar,  $dP = 0,02$  kbar, three independent reactions)

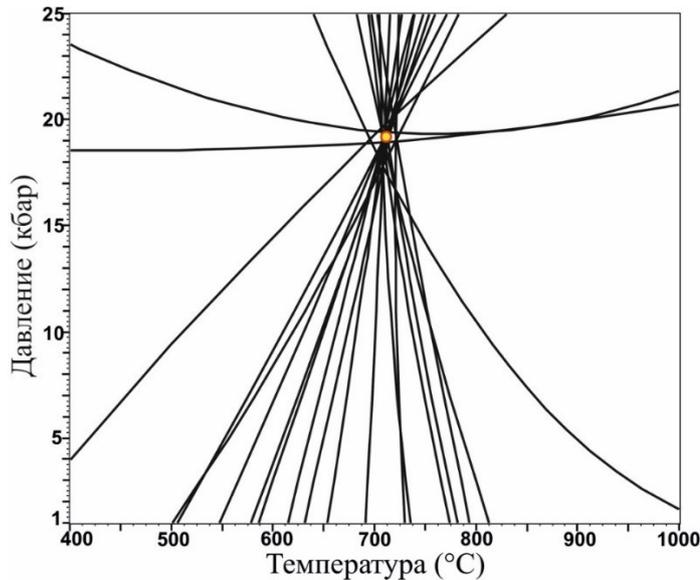


Рис. 2. Диаграмма TWQ с результатами термобарометрии для метагаббронорита с парагенезисом  $Orx + Cpx + Grt + Bt$  ( $T_{cp} = 710$  °C,  $dT = 7$  °C,  $P_{cp} = 19$  кбар,  $dP = 0,9$  кбар, четыре независимые реакции)

Fig. 2. TWQ diagram with results of thermobarometry for metagabbro-norite; mineral assemblage  $Orx + Cpx + Grt + Bt$  ( $T_{av} = 710$  °C,  $dT = 7$  °C,  $P_{av} = 19$  kbar,  $dP = 0,9$  kbar, four independent reactions)

Эти результаты указывают, что палеопротерозойские габбронориты были вначале метаморфизованы в условиях высоких температур (гранулитовая фация, доходящая до уровня сверхвысокотемпературного метаморфизма) и низких давлений, а потом на них наложился высокобарный метаморфизм. Высокие давления во время второго метаморфического события подтверждаются минеральными парагенезисами: для гранулитов высоких давлений запрещено сосуществование плагиоклаза и ортопироксена (Pattison, 2003).

Полученные результаты подтверждают сделанный ранее (Азимов и др., 2017а) вывод о том, что высокобарическому палеопротерозойскому метаморфизму, связанному с развитием Лапландско-Кольского коллизионного орогена, предшествовал низкобарный гранулитовый метаморфизм, реликты которого сохранились в метагабброноритах. Последующее метаморфическое событие, связанное с коллизионными процессами, было также высокоградным (Азимов и др., 2017б) и достигало уровня высокобарных гранулитов.

*Работа поддержана грантом РФФИ № 17-05-00265.*

## Литература

Азимов П. Я., Степанова А. В., Егорова С. В. и др. Ранний позднепалеопротерозойский гранулитовый метаморфизм низких-умеренных давлений в Беломорской провинции Фенноскандии // Геодинамика раннего докембрия: сходство и различия с фанерозоем: тез. науч. конф. Петрозаводск, 2017а. С. 17–21.

Азимов П. Я., Слабунов А. И., Степанова А. В. и др. Палеопротерозойские высокобарные гранулиты Беломорской провинции Фенноскандии: петрологические

свидетельства коллизии “континент — континент” // Геодинамика раннего докембрия: сходство и различия с фанерозоем: тез. науч. конф. Петрозаводск, 2017б. С. 13–17.

Ранний докембрий Балтийского щита / под ред. В. А. Глебовицкого. Л.: Наука, 2005. 711 с.

*Aranovich L. Ya., Berman R. G.* Optimized standard state and solution properties of minerals. II. Comparisons, predictions, and applications // *Contrib. Mineral. Petrol.* 1996. Vol. 126. P. 25–37.

*Berman R. G.* Internally-consistent thermodynamic data for minerals in the system  $\text{Na}_2\text{O} — \text{K}_2\text{O} — \text{CaO} — \text{MgO} — \text{FeO} — \text{Fe}_2\text{O}_3 — \text{Al}_2\text{O}_3 — \text{SiO}_2 — \text{TiO}_2 — \text{H}_2\text{O} — \text{CO}_2$  // *J. Petrol.* 1988. Vol. 29, No. 2. P. 445–522.

*Berman R. G.* Thermobarometry using multiequilibrium calculations: a new technique with petrologic applications // *Can. Mineral.* 1991. Vol. 29, No. 4. P. 833–855.

*Berman R. G.* winTWQ (version 2.3): A software package for performing internally-consistent thermobarometric calculations. Geol. Surv. Canada, Open File 5462 (revised). 2007.

*Berman R. G., Aranovich L. Ya.* Optimized standard state and solution properties of minerals. I. Model calibration for olivine, orthopyroxene, cordierite, garnet, and ilmenite in the system  $\text{FeO} — \text{MgO} — \text{CaO} — \text{Al}_2\text{O}_3 — \text{TiO}_2 — \text{SiO}_2$  // *Contrib. Mineral. Petrol.* 1996. Vol. 126. P. 1–24.

*Daly J. S., Balagansky V. V., Timmerman M. J., Whitehouse M. J.* The Lapland–Kola orogen: Palaeoproterozoic collision and accretion of the northern Fennoscandian lithosphere // *Geol. Soc. London Mem.* 2006. Vol. 32. P. 579–598.

*Pattison D. R. M.* Petrogenetic significance of orthopyroxene-free garnet + clinopyroxene + plagioclase quartz-bearing metabasites with respect to the amphibolite and granulite facies // *J. Metamorphic Geol.* 2003. Vol. 21. P. 21–34.

*Stepanova A., Stepanov V.* Paleoproterozoic mafic dyke swarms of the Belomorian Province, eastern Fennoscandian Shield // *Precambrian Res.* 2010. Vol. 183. P. 602–616.

#### **Сведения об авторах**

##### **Машкин Дмитрий Анатольевич**

младший научный сотрудник, ИГГД РАН; бакалавр, студент-магистрант, СПбГУ, ployer@mail.ru

##### **Азимов Павел Яковлевич**

кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, ИГГД РАН, pavel.azimov@mail.ru

##### **Mashkin Dmitriy Anatolievich**

Junior Researcher, IPGG RAS; Master Student, SPbSU, ployer@mail.ru

##### **Azimov Pavel Yakovlevich**

PhD (Geology & Mineralogy), Senior Researcher, IPGG RAS, pavel.azimov@mail.ru