

УДК 552.4

## ПРОИСХОЖДЕНИЕ «ХОЛОДНЫХ» (НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ) ГРАНУЛИТОВ БЕЛОМОРСКОГО ПОДВИЖНОГО ПОЯСА: РОЛЬ УГЛЕКИСЛОТНОГО МЕТАМОРФИЧЕСКОГО ФЛЮИДА

П. Я. Азимов

*Институт геологии и геохронологии докембрия РАН (наб. Макарова, 2, Санкт-Петербург, Россия, 199034)*

В Беломорском подвижном поясе среди метаморфических пород амфиболитовой фации присутствуют отдельные проявления гранулитовых парагенезисов. Термобарометрические расчеты показывают, что в основных породах гранулитовые парагенезисы со скаполитом в некоторых случаях формируются в условиях высокотемпературной амфиболитовой фации повышенных давлений под воздействием богатого углекислотой флюида с низкой  $a_{H_2O}$ , просачивающегося через амфиболиты.

Ключевые слова: основные гранулиты; термобарометрия; метаморфический флюид; Беломорский подвижный пояс

Для цитирования: Азимов П. Я. Происхождение «холодных» (низкотемпературных) гранулитов Беломорского подвижного пояса: роль углекислотного метаморфического флюида // Труды Карельского научного центра РАН. 2022. № 5. С. 10–13. doi: 10.17076/geo1671

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке темы НИР ИГГД РАН FMUW-2022-0002.

### **P. Ya. Azimov. ORIGIN OF THE “COLD” (LOW-TEMPERATURE) GRANULITES IN THE BELOMORIAN MOBILE BELT: THE ROLE OF CARBON DIOXIDE IN METAMORPHIC FLUID**

*Institute of Precambrian Geology and Geochronology, Russian Academy of Sciences (2 Nab. Makarova, 199034 St. Petersburg, Russia)*

In the Belomorian mobile belt, manifestations of granulitic mineral assemblages occur among amphibolite-facies rocks. Thermobarometric calculations display that some granulitic scapolite-bearing assemblages in mafic rocks were formed during high-temperature, high-pressure amphibolite-facies metamorphism. These granulitic assemblages resulted from the infiltration of  $CO_2$ -rich fluid with low  $a_{H_2O}$  through amphibolites.

Keywords: mafic granulites; thermobarometry; metamorphic fluid; the Belomorian Mobile Belt

For citation: Azimov P. Ya. Origin of the “cold” (low-temperature) granulites in the Belomorian Mobile Belt: the role of carbon dioxide in metamorphic fluid. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2022;5:10–13. doi: 10.17076/geo1671

Funding. The study was funded within state-ordered research theme of the Institute of Precambrian Geology and Geochronology RAS FMUW-2022-0002.

В Беломорском подвижном поясе (Северо-Восточная Фенноскандия) интенсивно проявлен палеопротерозойский метаморфизм амфиболитовой фации, сопровождающийся мигматизацией [Слабунов и др., 2016]. Среди пород амфиболитовой фации отмечаются участки и тела, сложенные породами с гранулитовыми парагенезисами, в которых безводные Fe-Mg-минералы преобладают над водосодержащими. В породах основного состава это парагенезис  $Scpx + Grt + Pl \pm Qtz \pm Hbl, Bt, Scp$  (без  $Orx$ ), обычный для высокобарных гранулитов [O'Brien, Rötzler, 2003]. Некоторые

из пород с таким парагенезисом в Беломорье являются метагабброидами и сохраняют реликтовую габбровую структуру, часто с реакционными каймами [Stepanova et al., 2022]. Первичная природа других пород неочевидна. Логичное предположение, что гранат-клинопироксеновые парагенезисы сформированы в условиях гранулитовой фации, не всегда оказывается верным. Термобарометрические расчеты показывают, что некоторые из них образованы в условиях высокотемпературной амфиболитовой фации повышенных давлений.



Прожилки крупнозернистого  $Scp-Grt-Cpx$ -гранулита в черном  $Grt$ -амфиболите. Белые прожилки – скаполит. Окрестности пос. Амбарный; центральная часть Беломорского подвижного пояса

Veins of the large-grained  $Scp-Grt-Cpx$  granulite in black garnetiferous amphibolite. White veinlets are composed of scapolite. Vicinities of the Ambarney village; the central part of the Belomorian Mobile Belt

Такие низкотемпературные гранулиты установлены, в частности, в центральной части Беломорского пояса, в окрестностях поселка Амбарный. Здесь в черных гранатовых амфиболитах хетоламбинской толщи встречаются крупнозернистые зеленоватые прожилки с минеральной ассоциацией  $\text{Cpx} + \text{Grt} + \text{Hbl} + \text{Scp} + \text{Qtz} \pm \text{Pl} \pm \text{Cal} \pm \text{Czo}$ , ориентированные вдоль сланцеватости амфиболита (рис.). Скаполит, в свою очередь, образует белые прожилки в клинопироксеновой породе, которые можно принять за жилки лейкосомы. Этот скаполит содержит только карбонат-анион, без хлора и сульфата. Хлор отсутствует и в амфиболе. Петрографические исследования прожилков показывают, что новообразованная гранулитовая ассоциация замещает обычный амфиболитовый парагенезис  $\text{Hbl} + \text{Pl} + \text{Qtz} + \text{Grt}$ . Реликты раннего парагенезиса сохраняются, в частности, в виде включений в порфиробластах граната.

Термобарометрические расчеты, выполненные методом TWEEQU [Berman, 1991], свидетельствуют, что и амфиболитовый, и гранулитовый парагенезисы образовались в условиях высокотемпературной амфиболитовой фации повышенных давлений (полученные РТ-значения: для амфиболитового парагенезиса – 7–9 кбар и 650–700 °С, для гранулитового – 7–10 кбар и 650–730 °С; эти величины практически совпадают с учетом разброса рассчитанных значений). Очевидно, что в данном случае образование гранулитов вызвано не ростом температуры, а снижением активности воды во флюиде, приводящим к расширению поля устойчивости гранулитового парагенезиса в область более низких температур и к замещению водосодержащего минерала (Hbl) безводными (Cpx и Grt). Падение активности воды, в свою очередь, вызвано ростом содержания  $\text{CO}_2$  во флюиде. Углекислота фиксируется в породе в скаполите и кальците. Прожилковый характер выделений нового парагенезиса подтверждает роль флюидных потоков в его формировании.

Наблюдаемый процесс в целом схож, видимо, с формированием гранулитовых парагенезисов в палеоархейских биотит-роговообманковых гнейсах Сэнд Ривер (пояс Лимпопо, Южная Африка) при дегидратации под действием углекислотно-солевого флюида [Rajesh et al., 2013]. Механизм этого процесса был подтвержден экспериментальными исследованиями О. Г. Сафонова с соавторами [Safonov et al., 2014]. Однако в отличие от гранулитов Сэнд Ривер во время образования беломорских «дегидратационных» гранулитов воздействовавший на породу флюид не содержал солевой

нагрузки, на что указывает отсутствие хлора в роговой обманке и скаполите.

Таким образом, появление и устойчивость высокобарного гранулитового парагенезиса в условиях амфиболитовой фации повышенных давлений может определяться притоком богатого углекислотой метаморфического флюида, просачивающегося через породы в зоне рассланцевания. В то же время в Беломорском подвижном поясе широко распространены и «высокотемпературные» гранулитовые парагенезисы, возникшие при высокобарном гранулитовом метаморфизме.

## Литература

- Слабунов А. И., Азимов П. Я., Глебовицкий В. А., Жанг Л., Кевлич В. И. Архейская и палеопротерозойская мигматизация пород Беломорской провинции Фенноскандинавского щита: петрология, геохронология, геодинамические следствия // ДАН. 2016. Т. 467, № 1. С. 71–74. doi: 10.7868/S0869565216070239
- Berman R. G. Thermobarometry using multiequilibrium calculations: a new technique with petrologic applications // *Can. Mineral.* 1991. Vol. 29. P. 833–855.
- O'Brien P. J., Rötzler J. High-pressure granulites: formation, recovery of peak conditions and implications for tectonics // *J. Metamorphic Geol.* 2003. Vol. 21, no. 1. P. 3–20. doi: 10.1046/j.1525-1314.2003.00420.x
- Rajesh H. M., Belyanin G. A., Safonov O. G., Kovaleva E. I., Golunova M. A., Van Reenen D. D. Fluid-induced dehydration of the Paleoproterozoic Sand River biotite-hornblende gneiss, Central Zone, Limpopo Complex, South Africa // *J. Petrol.* 2013. Vol. 54, no. 1. P. 41–74. doi: 10.1093/petrology/egs062
- Safonov O. G., Kosova S. A., Van Reenen D. D. Interaction of biotite-amphibole gneiss with  $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-(\text{K}, \text{Na})\text{Cl}$  fluids at 550 MPa and 750 and 800 °C: Experimental study and applications to dehydration and partial melting in the middle crust // *J. Petrol.* 2014. Vol. 55, no. 12. P. 2419–2456. doi: 10.1093/petrology/egu062
- Stepanova A. V., Stepanov V. S., Larionov A. N., Kervinen A. V., Maksimov O. A., Larionov A. N., Salnikova E. B., Azimov P., Sukhanova M. A., Samsonov A. V., Babarina I. I., Larionova Y. O. Relicts of Paleoproterozoic LIPs in the Belomorian Province, eastern Fennoscandian Shield: barcode reconstruction for a deeply eroded collisional orogen // *Geol. Soc. London Spec. Publ.* 2022. Vol. 518. P. 101–128. doi: 10.1144/SP518-2021-30
- References**
- Berman R. G. Thermobarometry using multiequilibrium calculations: a new technique with petrologic applications. *Can. Mineral.* 1991;29:833–855.
- O'Brien P. J., Rötzler J. High-pressure granulites: formation, recovery of peak conditions and implications for tectonics. *J. Metamorphic Geol.* 2003;21(1):3–20. doi: 10.1046/j.1525-1314.2003.00420.x
- Rajesh H. M., Belyanin G. A., Safonov O. G., Kovaleva E. I., Golunova M. A., Van Reenen D. D. Fluid-induced

dehydration of the Paleoproterozoic Sand River biotite-hornblende gneiss, Central Zone, Limpopo Complex, South Africa. *J. Petrol.* 2013;54(1):41–74. doi: 10.1093/ptrology/egs062

Safonov O. G., Kosova S. A., Van Reenen D. D. Interaction of biotite-amphibole gneiss with H<sub>2</sub>O–CO<sub>2</sub>–(K, Na)Cl fluids at 550 MPa and 750 and 800°C: Experimental study and applications to dehydration and partial melting in the middle crust. *J. Petrol.* 2014;55(12):2419–2456. doi: 10.1093/ptrology/egu062

Slabunov A. I., Azimov P. Ya., Glebovitskii V. A., Zhang L., Kevlich V. I. Archean and Paleoproterozoic

migmatization in the Belomorian Province, Fennoscandian Shield: petrology, geochronology and geodynamic setting. *Doklady Earth Sciences.* 2016;467(1):259–263. doi: 10.1134/S1028334X16030077

Stepanova A. V., Stepanov V. S., Larionov A. N., Kervinen A. V., Maksimov O. A., Larionov A. N., Salnikova E. B., Azimov P., Sukhanova M. A., Samsonov A. V., Babarina I. I., Larionova Y. O. Relicts of Paleoproterozoic LIPs in the Belomorian Province, eastern Fennoscandian Shield: barcode reconstruction for a deeply eroded collisional orogen. *Geol. Soc. London Spec. Publ.* 2022;518:101–128. doi: 10.1144/SP518-2021-30

Поступила в редакцию / received: 22.08.2022; принята к публикации / accepted: 24.08.2022.  
Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов / The author declares no conflict of interest.

#### **СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:**

**Азимов Павел Яковлевич**

канд. геол.-мин. наук, старший научный сотрудник

e-mail: pavel.azimov@mail.ru

#### **CONTRIBUTOR:**

**Azimov, Pavel**

Cand. Sci. (Geol.-Miner.), Senior Researcher