

Работа выполнялась в рамках бюджетного финансирования плановой темы НИР ИГ КарНЦ РАН «Архейские кратоны Земли: строение, происхождение,

эволюция, рудогенез» и при поддержке Приоритетной программы 5 ОНЗ РАН (проект 122) и регионального гранта РФФИ № 02-05-97507.

1. Carter N. L., Baker D. W., George R. P. Seismic anisotropy, flow, and constitution of the upper mantle // Flow and fracture of rocks. 1972. P. 167–190.
2. Avé Lallemant H. G., Carter N. L. Syntectonic recrystallization of olivine and modes of flow in the upper mantle // Geol. Soc. Amer. Bull. 1970. V. 81, N 8. P. 2203–2220.
3. Carter N. L., Avé Lallemant H. G. High temperature flow of dunite and peridotite // Ibid. P. 2181–2202.
4. Лазарев Ю. И., Кожеевников В. Н. Структурно-петрологическое изучение гранитизации. Л., 1973. 124 с.
5. Кожеевников В. Н. Условия формирования структурно-метаморфических парагенезисов в докембрийских комплексах. Л., 1982. 184 с.
6. Кожеевников В. Н., Белоусов Е. Ф. Некоторые черты гранулитового метаморфизма архейских образований района оз. Тулос // Геология и полезные ископаемые Карелии: Опер.-информ. материалы. Петрозаводск, 1981. С. 7–10.
7. Кожеевников В. Н., Чухонин А. П., Шулешко И. К. Полихронный высокотермальный метаморфизм древнейших пород Западной Карелии // ДАН СССР. 1987. Т. 292, № 6. С. 1441–1445.
8. Щипцов В. В., Кожеевников В. Н., Скорнякова Н. И. Гранитоиды архея юго-восточной части Балтийского щита. Л., 1987. 119 с.
9. Cameron E. M. Archean gold: Relation to granulite formation and redox zoning in the crust // Geology. 1988. V. 16. P. 109–112.
10. Кожеевников В. Н. Архейские зеленокаменные пояса Карельского кратона как аккреционные орогены. Петрозаводск, 2000. 223 с.
11. Кожеевников В. Н., Голубев А. И., Рыбаков С. И. Факторы контроля золотометаллического оруденения в архейских зеленокаменных поясах: сравнительный анализ Сьюпириора и Карельского кратонов // Отечественная геология. 1998. № 3. С. 55–64.
12. Hall G. Autochthonous model for gold metallogenesis and exploration in the Yilgarn // Geodynamics & gold exploration in the Yilgarn. Workshop abstr., 6 August 1998, Perth, Australia. P. 32–35.
13. Lambert D., Frick L., Bateman R., Stone W. Geochemistry and rock-fluid interactions in Archean Lode-Gold Systems: new insights from the Re-Os isotopic system // Ibid. P. 40–44.
14. Ord A., Hobbs B. E., Walshe J. L., Zhao C. Development in the simulation of geodynamic processes with direct application to Yilgarn gold mineralization // Ibid. P. 45–51.
15. Кратц К. О. Геология карелид Карелии. М.; Л., 1963. 210 с.
16. Чернов В. М. Стратиграфия и условия осадконакопления вулканогенных (лептитовых) железисто-кремнистых формаций Карелии. М.; Л., 1964. 123 с.
17. Лазарев Ю. И. Структурная и метаморфическая петрология железистых кварцитов Костомукшского месторождения. Л., 1971. 191 с.
18. Горьковец В. Я., Раевская М. Б., Белоусов Е. Ф. и др. Геология и металлогения Костомукшского железорудного месторождения. Петрозаводск, 1981. 142 с.
19. Опорные разрезы верхнеархейских отложений. Петрозаводск, 1992. 191 с.
20. Кожеевников В. Н. Геология и геохимия архейских северокарельских зеленокаменных структур. Петрозаводск, 1992. 199 с.
21. Лобач-Жученко С. Б., Милькевич Р. И., Арестова Н. А. и др. Стратиграфический разрез Костомукшской структуры Карелии (верхний архей), реконструкции на основе геохронологических, геохимических и изотопных данных // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2000. Т. 8, № 4. С. 3–10.
22. Самсонов А. В. Эволюция магматизма гранит-зеленокаменных областей Восточно-Европейского кратона: Автореф. дис. ... докт. геол.-минер. наук. М., 2004. 48 с.
23. Puchel L. S., Hofmann A. W., Mezger K. et al. Oceanic plateau model continental crustal growth in the Archaean: A case study from Kostomuksha greenstone belt, NW Baltic Shield // Earth Planet. Sci. Lett. 1998. 155. P. 57–74.
24. Samsonov A. V., Bogina M. M., Bibikova E. V. et al. The relationship between adakitic, calc-alkaline volcanic rocks and TTGs: implications for the tectonic setting of the Karelian greenstone belts, Baltic Shield // Lithos. 2005. V. 79. P. 83–106.
25. Минерально-сырьевая база Республики Карелии. Кн. 1: Горючие полезные ископаемые. Металлические полезные ископаемые. Петрозаводск, 2005. 280 с.
26. Сергеев С. А., Бибикина Е. В., Левченков О. А. и др. Изотопная геохронология Волдозерского гнейсового комплекса // Геохимия. 1990. № 1. С. 73–83.
27. Lobach-Zhuchenko S. B., Chukulaev V. P., Sergeev S. A. et al. Archaean rocks from southeastern Karelia (Karelian granite-greenstone terrain) // Precamb. Res. 1993. V. 62. P. 375–398.
28. Кожеевников В. Н., Бережная Н. Г., Пресняков С. Л. и др. Геохронология циркона (SHRIMP-II) из архейских стратотектонических ассоциаций в зеленокаменных поясах Карельского кратона: роль в стратиграфических и геодинамических реконструкциях // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2006. Т. 14, № 3. С. 19–41.

## ОСОБЕННОСТИ ГРАНУЛИТОВОЙ АМФИБОЛИЗАЦИИ В ГРАНУЛИТ-ЭНДЕРБИТ-ЧАРНОКИТОВЫХ КОМПЛЕКСАХ КАРЕЛИИ

Н. Е. Король

Институт геологии Карельского НЦ РАН, Петрозаводск; [korol@krc.karelia.ru](mailto:korol@krc.karelia.ru)

Амфиболизация пород обычно связывается с условиями метаморфизма амфиболитовой фации.

В архейских гранулит-эндербит-чарнокитовых (ГЭЧ) комплексах Карелии [1–6], сформировав-

шихся в условиях высоких температур и умеренных и (или) пониженных давлений, широко развиты процессы гранулитовой амфиболитизации. Данный термин характеризует образование титанистой буровато-зеленой роговой обманки по ромбическому и моноклинному пироксенам и плагиоклазу на гранулитовом этапе метаморфической эволюции пород ГЭЧ комплексов.

Реперными районами [6] развития ГЭЧ комплексов {1–9} в Карелии являются – в Беломорском подвижном поясе (БПП): {1} – оз. Нотозеро – оз. Ковдозеро, {2} – оз. Керчуг, {3} – полуострова Вичаны и Мундиннаволок оз. Кереть – оз. Топозеро, {4} – губа Поньгома Белого моря – п-ов Поньгомнаволок; в Карельской структуре: {5} – водораздел оз. Тикшеозеро – оз. Пяозеро; {6} – пос. Вокнаволок, {7} – оз. Тулос, а также участки – {8} – среднее течение р. Волды и {9} – пос. Шальский – восточное побережье Онежского озера.

Беломорские {1–4} и тикшеозерско-пяозерский {5} ГЭЧ комплексы представлены супракрустальными гранулитами основного, среднего, кислого составов с проявлением признаков их первично-эффузивной природы {3} и породами магматического ряда – ультрабазиты – основные ультрабазиты – меланократовые габброиды; габброанортозиты – анортозиты; интрузивными образованиями серии: габброиды – габбродиориты – гиперстенные (диориты – кварцевые диориты – тоналиты ± плагиограниты); ультраметагенными и интрузивными эндербитами – чарнокитоидами. В ГЭЧ комплексах Карельской структуры {6, 7, 9} состав преимущественно «двухкомпонентный» – супракрустальные основные, реже средние гранулиты и эндербиты ± чарнокитоиды.

ГЭЧ комплексы {1–9} претерпели полиэтапную метаморфическую эволюцию, соответствующую условиям метаморфизма от гранулитовой (I или I–II этапы) до амфиболитовой (II или III–IV этапы) – эпидот-амфиболитовой, реже зеленосланцевой фации [6]. Первый гранулитовый (I) этап содержит от одного до четырех периодов развития и осуществляется во всех комплексах в

режиме умеренных и (или) пониженных давлений и в пределах колебаний температур 750–870 °С. Для него характерны полный (1, 2, 3 периоды) и упрощенный (1, 2 периоды) типы метаморфической эволюции, что соответствует ГЭЧ комплексам {1–5} и {6, 7, 9}. Неотъемлемой обязательной составляющей всех комплексов являются супракрустальные основные гранулиты (двупироксеновые кристаллические сланцы), сформировавшиеся в первом (1) периоде, и эндербиты (гиперстенсодержащие кварцевые диориты – тоналиты – плагиограниты), образующиеся при процессах региональной мигматизации и гранитизации во втором или третьем периоде I гранулитового этапа [6].

Полевые наблюдения свидетельствуют о том, что как при эндербитовой мигматизации, так и в интрузивных массивах эндербитов вмещающие породы преимущественно основного, реже ультраосновного состава, слагающие участки и блоки субстрата или ксенолиты, приобретают неравномерную окраску, варьирующую от темновато-серых к темно-серым и темным тонам. При усилении мигматизации цвет становится практически черным. Петрографическое изучение показало, что в гранулитовых образованиях отмечается частичное, реже полное замещение ромбического и моноклинного пироксенов буровато-зеленой роговой обманкой.

Геологические и петрологические исследования привели к выводу о том, что при эндербитовом образовании во всех ГЭЧ комплексах осуществляется гранулитовая амфиболитизация пород, наиболее полно изученная в районах {1–2}: оз. Нотозеро – оз. Ковдозеро и оз. Керчуг [4, 6].

Этот процесс более характерен для основных, чем для средних и кислых пород, и прежде всего выражается в образовании реакционных кайм буровато-зеленого амфибола по пироксенам на границе их с плагиоклазами. Минеральные замещения определяются реакцией, рассчитанной с учетом парагенезисов железомagneзиальных минералов (табл. 1, 2) при вариациях составов плагиоклазов от 30 до 60% An.

Таблица 1  
Реакции образования буровато-зеленого амфибола

| № п.п. | Номер образца | Реакция                                                                                                                                                |
|--------|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1      | B-2131-2      | $3,5\text{Hyp}_{53} + 1,7\text{Cpx}_{38} + 3\text{Pl}_{30} + 1,3\text{H}_2\text{O} = 1,3\text{Hbl}_{43} + 7,2\text{Qtz} + 0,4\text{Na}_2\text{O}$      |
| 2      | B-1409-4      | $4\text{Hyp}_{40} + 1,6\text{Cpx}_{26} + 3\text{Pl}_{40} + 1,4\text{H}_2\text{O} = 1,4\text{Hbl}_{38} + 6,6\text{Qtz} + 0,2\text{Na}_2\text{O}$        |
| 3      | B-2068-1      | $4,25\text{Hyp}_{42} + 1,55\text{Cpx}_{27} + 3\text{Pl}_{45} + 1,45\text{H}_2\text{O} = 1,45\text{Hbl}_{38} + 6,3\text{Qtz} + 0,1\text{Na}_2\text{O}$  |
| 4      | B-1411-8      | $4,5\text{Hyp}_{43} + 1,5\text{Cpx}_{25} + 3\text{Pl}_{50} + 1,5\text{H}_2\text{O} = 1,5\text{Hbl}_{35} + 6\text{Qtz}$                                 |
| 5      | K-1571        | $4,6\text{Hyp}_{47} + 1,48\text{Cpx}_{31} + 3\text{Pl}_{52} + 1,52\text{H}_2\text{O} + 0,04\text{Na}_2\text{O} = 1,52\text{Hbl}_{45} + 5,88\text{Qtz}$ |
| 6      | K-2250-1      | $4,75\text{Hyp}_{38} + 1,45\text{Cpx}_{21} + 3\text{Pl}_{55} + 1,55\text{H}_2\text{O} + 0,1\text{Na}_2\text{O} = 1,55\text{Hbl}_{33} + 5,7\text{Qtz}$  |
| 7      | B-2132-1      | $5\text{Hyp}_{44} + 1,4\text{Cpx}_{30} + 3\text{Pl}_{60} + 1,6\text{H}_2\text{O} + 0,2\text{Na}_2\text{O} = 1,6\text{Hbl}_{35} + 5,4\text{Qtz}$        |
| 8      | B-2068-10     | $2\text{Br}_{15} + 2\text{Di}_8 + \text{H}_2\text{O} + 0,5\text{Na}_2\text{O} + 1,5\text{Al}_2\text{O}_3 = \text{PHbl}_{13}$                           |
| 9      | BK-927        | $4\text{Hyp}_{38} + 1,6\text{Cpx}_{25} + 3\text{Pl}_{40} + 1,4\text{H}_2\text{O} = 1,4\text{Hbl} + 6,6\text{Qtz} + 0,2\text{Na}_2\text{O}$             |

Примечание. 1 – двупироксеновый плагиогранит, губа Миронова оз. Нотозеро {1}; 2–7 – супракрустальные гранулиты с плагиоклазом от 40 до 60% An: 3 – оз. Верхняя Пажма, 5 – оз. Лопское, 6 – оз. Беличье, 7 – губа Миронова оз. Нотозеро – {1}, 2 и 4 – оз. Керчуг {2}; 8 – основной ультрабазит – шпинелевый пироксенит, оз. Верхняя Пажма {1}; 9 – двупироксеновый диорит пос. Вокнаволок {6}. Символы минералов: An – анортит, Br – бронзит, Nur – гиперстен, Di – диопсид, Qtz – кварц, Cpx – моноклинный пироксен, Hbl – буровато-зеленая обыкновенная роговая обманка, PHbl – паргаситовая роговая обманка, Pl – плагиоклаз. Арабские цифры означают: внизу символов железо-магнезиальных минералов – железистость –  $f(\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{2+} + \text{Mg}) \times 100\%$ , у плагиоклазов – содержание анортита.

Таблица 2  
Химический состав минералов

| № п.п. | Минералы | SiO <sub>2</sub> | TiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO   | MnO  | MgO   | CaO   | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | H <sub>2</sub> O <sup>-</sup> | ппп  | Σ      | f    |
|--------|----------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|-------|-------|-------------------|------------------|-------------------------------|------|--------|------|
| 1      | Нур      | 50,00            | 0,27             | 2,00                           | 1,32                           | 29,56 | 0,61 | 14,53 | 0,70  | 0,06              | 0,07             | 0,19                          | 0,60 | 99,91  | 53,3 |
| 2      | Срх      | 50,50            | 0,30             | 2,65                           | 1,93                           | 12,81 | 0,29 | 11,60 | 17,83 | 0,62              | 0,09             | 0,09                          | 1,34 | 100,05 | 38,3 |
| 3      | Нбл      | 41,14            | 1,90             | 12,23                          | 3,75                           | 14,15 | 0,18 | 10,55 | 10,52 | 1,56              | 1,83             | 0,22                          | 2,00 | 100,03 | 42,9 |
| 4      | Нур      | 50,10            | 0,22             | 2,42                           | 1,21                           | 24,25 | 0,95 | 20,40 | 0,50  | 0,02              | 0,03             | 0,10                          | —    | 100,20 | 40,1 |
| 5      | Срх      | 50,99            | 0,43             | 2,47                           | 2,42                           | 8,08  | 0,44 | 12,57 | 21,83 | 0,69              | 0,02             | 0,10                          | 0,10 | 100,14 | 26,3 |
| 6      | Нбл      | 41,12            | 2,74             | 12,00                          | 4,52                           | 11,53 | 0,24 | 10,50 | 11,74 | 1,54              | 1,60             | 0,12                          | 1,89 | 99,54  | 38,2 |
| 7      | Нур      | 50,18            | 0,28             | 1,52                           | 1,81                           | 24,47 | 0,52 | 19,05 | 0,70  | 0,10              | 0,04             | 0,13                          | 1,53 | 100,33 | 42,0 |
| 8      | Срх      | 50,75            | 0,49             | 3,09                           | 1,84                           | 8,24  | 0,24 | 12,66 | 20,57 | 0,53              | 0,03             | 0,15                          | 1,45 | 100,04 | 26,5 |
| 9      | Нбл      | 42,01            | 1,68             | 13,06                          | 3,36                           | 12,10 | 0,15 | 11,19 | 11,60 | 1,61              | 1,00             | —                             | 2,50 | 100,26 | 37,7 |
| 10     | Нур      | 49,06            | 0,20             | 3,32                           | 1,65                           | 24,43 | 0,62 | 18,62 | 0,84  | 0,15              | 0,04             | 0,12                          | 1,18 | 100,23 | 42,5 |
| 11     | Срх      | 50,52            | 0,40             | 4,24                           | 2,13                           | 7,62  | 0,23 | 13,20 | 20,16 | 0,75              | 0,02             | 0,16                          | 0,81 | 100,24 | 24,5 |
| 12     | Нбл      | 41,56            | 1,56             | 12,86                          | 4,42                           | 11,50 | 0,18 | 12,17 | 11,56 | 1,83              | 0,57             | 0,18                          | 1,60 | 99,99  | 34,6 |
| 13     | Нур      | 48,95            | 0,25             | 2,20                           | 3,28                           | 26,30 | 0,54 | 17,00 | 0,88  | 0,07              | 0,03             | 0,12                          | —    | 99,62  | 46,5 |
| 14     | Срх      | 50,43            | 0,32             | 3,28                           | 1,80                           | 9,88  | 0,23 | 11,98 | 20,33 | 0,61              | 0,03             | 0,17                          | 1,17 | 100,23 | 31,3 |
| 15     | Нбл      | 41,90            | 1,60             | 12,60                          | 4,00                           | 14,00 | 0,18 | 9,50  | 10,86 | 1,56              | 0,93             | 0,11                          | 2,90 | 100,14 | 45,2 |
| 16     | Нур      | 52,00            | 0,23             | 1,29                           | 1,97                           | 21,72 | 0,53 | 20,43 | 0,49  | 0,06              | 0,05             | 0,10                          | 1,21 | 100,08 | 37,5 |
| 17     | Срх      | 52,40            | 0,30             | 2,03                           | 2,05                           | 6,35  | 0,19 | 13,56 | 21,66 | 0,57              | 0,04             | 0,21                          | 0,84 | 100,20 | 20,8 |
| 18     | Нбл      | 43,66            | 1,55             | 13,30                          | 3,15                           | 10,30 | 0,32 | 11,71 | 11,49 | 1,56              | 1,22             | 0,26                          | 1,26 | 99,78  | 33,1 |
| 19     | Нур      | 49,23            | 0,15             | 2,18                           | 1,46                           | 25,68 | 0,70 | 18,10 | 0,70  | 0,12              | 0,05             | 0,14                          | 1,72 | 100,23 | 44,4 |
| 20     | Срх      | 49,90            | 0,23             | 3,50                           | 1,06                           | 9,80  | 0,36 | 13,02 | 20,18 | 0,57              | 0,08             | 0,08                          | 1,34 | 100,12 | 29,5 |
| 21     | Нбл      | 41,36            | 1,68             | 10,32                          | 5,83                           | 11,67 | 0,16 | 12,12 | 11,68 | 2,00              | 0,62             | 0,20                          | 2,30 | 99,94  | 35,1 |

Примечание. Минералы, участвующие в реакциях гранулитовой амфиболизации: 1–3 – обр. В-2131-2, 4–6 – В-1409-4, 7–9 – В-2068-1, 10–12 – В-1411-8, 13–15 – К-1571, 16–18 – К-2250-1, 19–21 – В-2132-1. Остальные условные обозначения соответствуют табл. 1.

Расчеты показывают, что в гранулитах основного состава (табл. 1, реакции № 5–7) с плагиоклазами, превышающими по содержанию анортитовой молекулы лабрадор № 50, амфиболизация требует привноса H<sub>2</sub>O и Na<sub>2</sub>O, т. е. участия водного флюида, обогащенного натрием. Схема реакции: Нур + Срх + Pl<sub>>50</sub> + H<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O → Нбл + Qtz. При основности плагиоклазов <50% An (табл. 1, р. № 1–3) реакция происходит под влиянием только водного флюида. Поскольку плагиоклаз относительно кислый, Na<sub>2</sub>O в этом случае не поглощается, а выделяется: Нур + Срх + Pl<sub><50</sub> + H<sub>2</sub>O → Нбл + Qtz + Na<sub>2</sub>O. При участии лабрадора № 50 (табл. 1, р. № 4) буровато-зеленый амфибол образуется с привносом только воды за счет натрия из плагиоклаза, без выделения свободного Na<sub>2</sub>O: Нур + Срх + Pl<sub>50</sub> + H<sub>2</sub>O → Нбл + Qtz.

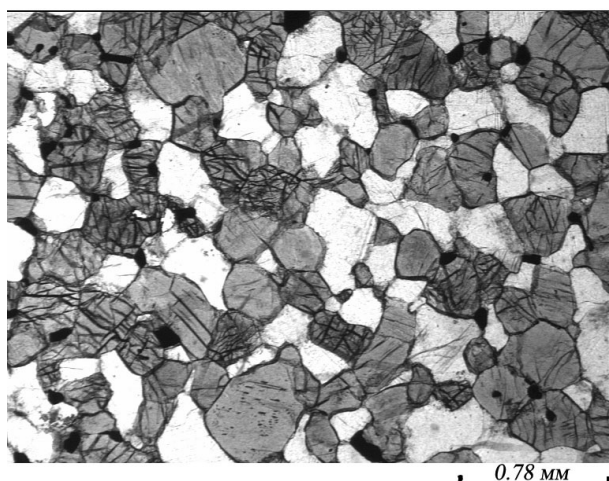
Привнос водно-натриевых флюидов, способствующий реакциям амфиболизации, осуществляется в породах гранулитовых комплексов при эндербитообразовании в ходе процесса региональной мигматизации и гранитизации. В это время формируются реакционные каймы буровато-зеленой роговой обманки по гиперстену и моноклинному пироксену в основных двупироксеновых кристаллических сланцах и происходит преобразование последних в амфиболсодержащие разновидности (рис. 1, а–в).

При усилении мигматизации количество амфибола увеличивается. В основных гранулитах с плагиоклазом, содержащим более 50% анортитовой составляющей, становится возможным переход Нур + Срх + Pl парагенезисов в Нур + Срх + Нбл + Pl. Данный процесс приводит к формированию двупироксен-амфиболовых кристаллических сланцев (рис. 1, г), широко развитых в ГЭЧ комплексах [7].

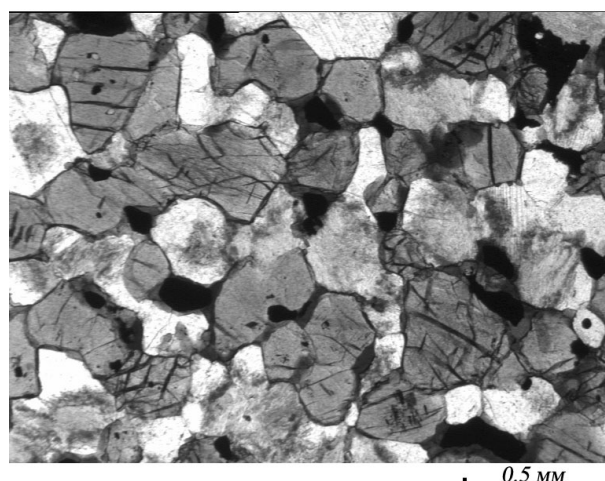
В локальных участках наиболее усиленной мигматизации интенсивность амфиболизации возрастает. При этом постепенно достигается практически полное замещение пироксенов буровато-зеленой роговой обманкой и по двупироксен-амфиболовым кристаллическим сланцам образуются амфиболиты (рис. 2) гранулитовой фации. Иногда в них сохраняются реликтовые зерна ромбического и моноклинного пироксенов.

Участие натрия в ходе реакции амфиболизации способствует понижению анортитовой составляющей в плагиоклазах основных гранулитов. Описанные закономерности подтверждают связь рассмотренного процесса с привносом водных флюидов, обогащенных натрием, без видимого снижения температуры. В ходе реакций амфиболизации в условиях гранулитовой фации отмечается инертное поведение магния и железа [4].

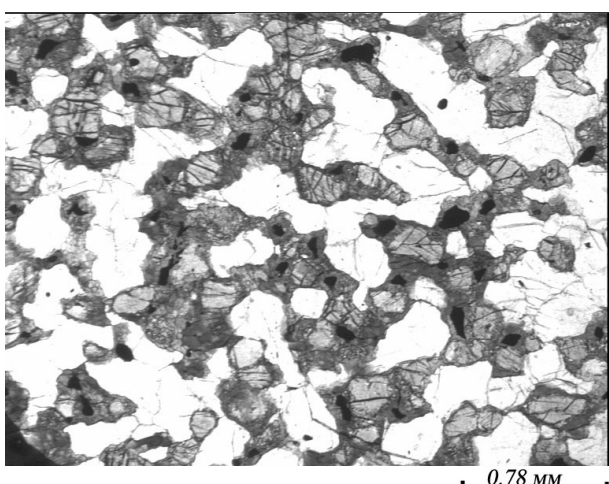
На примере превращения пироксенитов в амфиболсодержащие разновидности был изучен процесс амфиболизации основных ультрабазитов. В шлифах фиксировалось замещение бронзита и диопсида зеленоватой паргаситовой роговой обманкой. Рассчитана реакция (табл. 1, р. № 8) образования данного минерала, протекающая по схеме: Br + Di + Na<sub>2</sub>O + H<sub>2</sub>O + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> → РНбл. Процесс происходил с участием водно-натриевых флюидов и сопоставим по времени с амфиболизацией основных гранулитов. Привнос Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> связан, вероятно, с некоторой ограниченной миграцией алюминия из вмещающих основных кристаллических сланцев. В результате образуется паргаситовая роговая обманка, устойчивая с бронзитом и диопсидом, однако ее количество не превышает 8%, что позволяет назвать породу амфиболсодержащим пироксенитом.



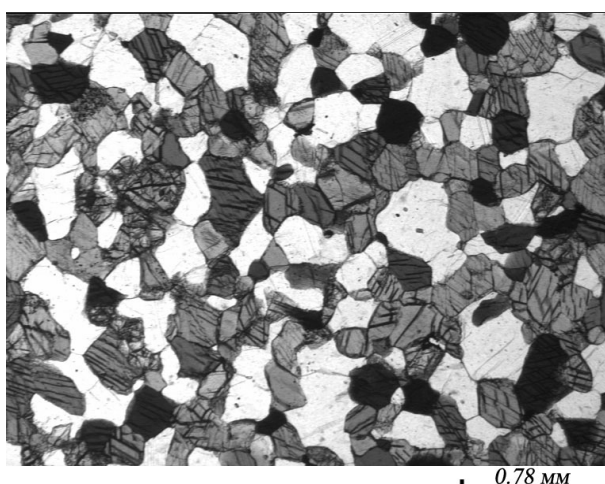
а



б



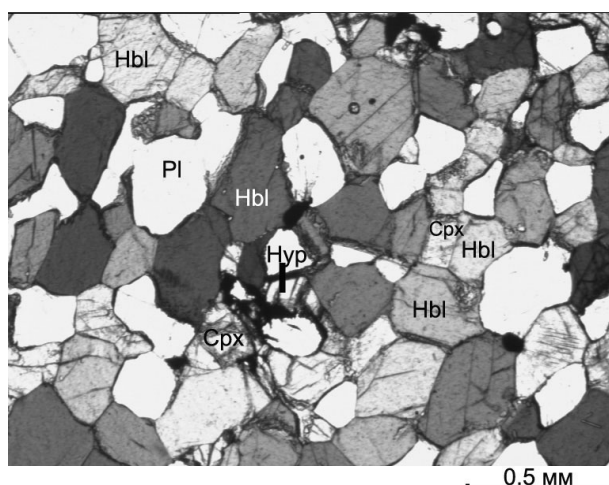
в



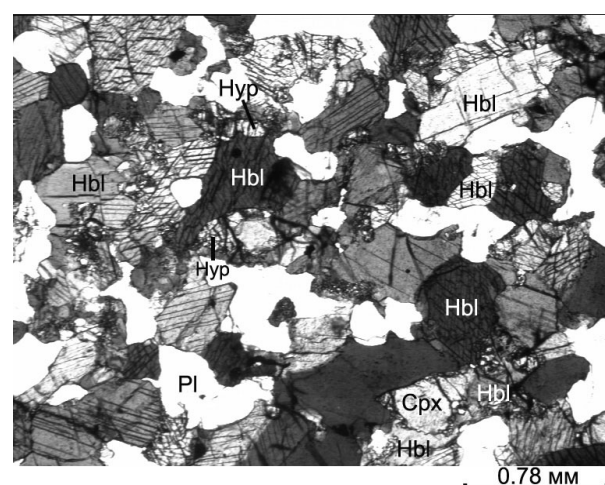
г

**Рис. 1. Гранулитовая амфиболитизация в основных гранулитах**

Двупироксеновые кристаллические сланцы, практически без буровато-зеленой роговой обманки (а), начальная стадия — редкие каймы Hbl по пироксенам, участки (б), амфиболсодержащие двупироксеновые кристаллические сланцы (в), двупироксен-амфиболовые кристаллические сланцы (г). Шлифы: В-2502-1 (а), К-2229 (б), К-2225-1 (в), В-2153а-2 (г) — без анализатора. Озеро Нотозеро



а



б

**Рис. 2. Амфиболиты гранулитовой фации с редкими реликтами гиперстена и моноклинового пироксена**

Заключительная стадия гранулитовой амфиболитизации. Шлифы: В-2153а-2з (а), К-II-6 (б) — без анализатора. Озеро Нотозеро

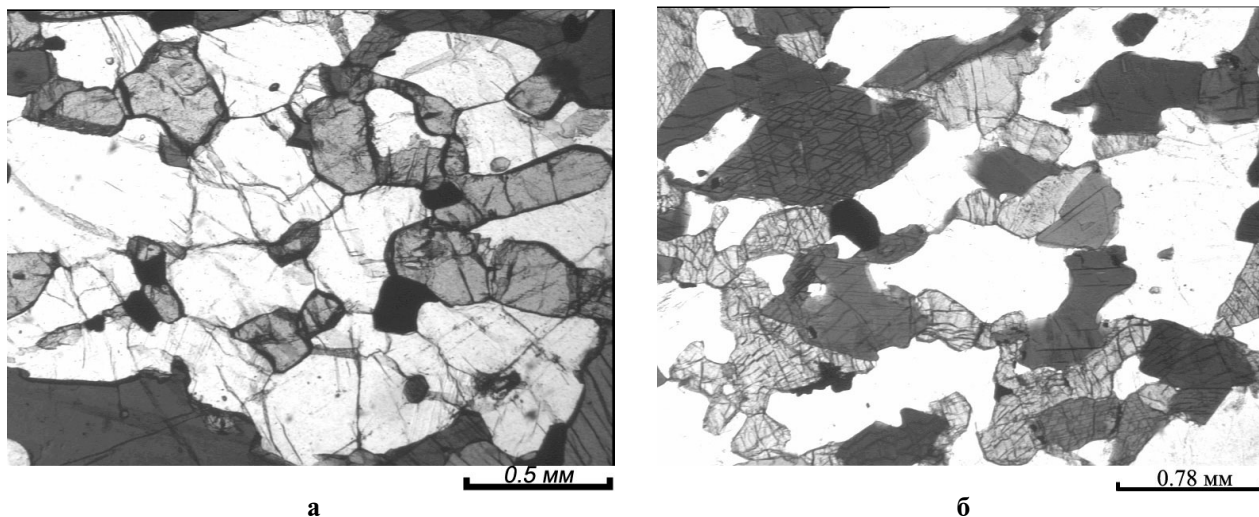
Наблюдаемые в шлифах Нур + Срх + Нbl + Pl парагенезисы габброидов единой толеитовой — известково-щелочной магматической серии: габброиды — габбро-диориты — гиперстеновые (диориты — кварцевые диориты — тоналиты ± плагиограниты) — фактически уже черты метаморфической породы. Их происхождение, вероятно, связано с замещением буровато-зеленым амфиболом магматических пироксенов под воздействием водно-натриевых флюидов, привнесенных при энтербитообразовании. Амфиболизация происходит по схеме для основных гранулитов с покислением плагиоклазов от магматических к метаморфическим.

Формирование Нур + Срх + Pl, Br + Di ± Ol ± Pl парагенезисов в основных гранулитах и метагабброидах, основных ультрабазитах осуществлялось в условиях двупироксеновой, а амфиболсодержащих парагенетических ассоциаций — от двупироксен-роговообманковой до роговообманковой субфации гранулитовой фации [6].

Согласно расчету реакций (табл. 1, р. № 1), для амфиболизации средних и кислых гранулитовых образований необходим чисто водный флюид. Наблюдения в шлифах показали, что в супрактальных средних гранулитах, магматических двупироксеновых (диоритах — кварцевых диоритах — тоналитах), порфировидных чарнокитоидах губы Миронова, сформировавшихся до энтербитов {1}, да и в последних, чаще всего буровато-зеленый амфибол присутствует в небольших количествах и образует реакционные каймы по ромбическому и

моноклинному пироксенам, характеризуя преимущественно начальную, очень редко среднюю стадию амфиболизации двупироксен-плагиоклазовых парагенезисов. Лишь в отдельных случаях при локальном максимальном проявлении процесса достигается равновесие роговой обманки с сосуществующими пироксенами в двупироксеновых диоритах и чарноэнтербитах губы Миронова оз. Нотозеро. В единичных случаях в средних гранулитах губы Тупой оз. Ковдозеро {1} фиксировалось образование амфибол-плагиоклазовых пород по амфиболизированным двупироксен-плагиоклазовым кристаллическим сланцам [6]. Чарнокитоиды Пажминского массива и метасоматические — из энтербитовых полей, сформировавшиеся после энтербитов, не содержат буровато-зеленого амфибола. В целом процесс амфиболизации в средних и кислых гранулитовых образованиях {1} не имел широкого распространения и осуществлялся при региональной мигматизации и гранитизации после формирования энтербитовых парагенезисов под воздействием остаточных водных флюидов и, видимо, в основном до образования чарнокитоидов (Пажминский массив).

Автор тезисов не считает, что особенности гранулитовой амфиболизации, описанные для пород ГЭЧ комплекса оз. Нотозеро — оз. Ковдозеро, можно с легкой уверенностью переносить во все {1–9} исследуемые районы. Однако общая направленность процессов достаточно очевидна и находит прежде всего петрографическое подтверждение (рис. 3).



**Рис. 3. Амфиболсодержащие двупироксеновые (а) и двупироксен-амфиболовые (б) кристаллические сланцы основного состава**  
Каймы буровато-зеленого амфибола по пироксенам — начальная (а) и равновесные соотношения Нур, Срх и Нbl — средняя (б) стадии гранулитовой амфиболизации. Шлифы: К-2322-30 (а) и В-2341-14 (б), без анализатора. Пос. Вокनावолок [6]

В ГЭЧ комплексе {6} района оз. Вокनावолок В. А. Коншиным [8] была рассчитана реакция образования буровато-зеленого амфибола по ромбическому и моноклинному пироксенам в двупироксеновых диоритах — вокनावолокских энтербитах

(табл. 1). Полученный результат (табл. 1, № 9) привел данного автора к выводу о том, что для образования Нbl достаточно поступления в породы воды и это наиболее вероятно в постмагматическую регрессивную стадию преобразований пород. По нашим

наблюдениям в эндебитах пос. Вокнаволоок выделяются двупироксеновые (Нур + Сrx + Pl + Qtz) безамфиболовые парагенезисы и незначительная локальная их амфиболизация [6]. Приведенный В. А. Коншиным расчет подтверждает описанные выше для ГЭЧ комплексов оз. Нотозеро – оз. Ковдозеро и оз. Керчуг закономерности и условия гранулитовой амфиболизации в породах среднего состава (Pl = 40% An). Данные исследований свидетельствуют о формировании Hbl в эндебитах пос. Вокнаволоок действительно после становления их магматических парагенезисов, при завершении процессов изофациальной амфиболизации, и с участием остаточных водных флюидов [6].

Двупироксен-амфиболовые кристаллические сланцы являются главной составной частью основных гранулитов практически всех районов исследований [7]. Амфиболиты гранулитовой фации, образованные по ним, как известно, также наблюдаются в ГЭЧ комплексах: губы Поньгомы – п-ов Поньгомнаволоок Белого моря {4}, пос. Вокнаволоок {6}, оз. Тулос {7}, ЮВ части Онежского озера {9}, где широко распространены эндебиты

мigmatитовых субкомплексов и образующие поля и массивы.

Очень незначительная амфиболизация характерна для двупироксеновых кристаллических сланцев по метабазальтам на п-ове Вичаны оз. Кереть {3}. Жилы и небольшие тела эндебитов развиты только на п-ове Мундиннаволоок этого озера {3}. Здесь, кроме двупироксеновых, наблюдаются двупироксен-амфиболовые кристаллические сланцы. В перекристаллизованных метаандезитах – двупироксен-плаггиоклазовых кристаллических сланцах этого же района наблюдается слабая амфиболизация. Незначительно присутствует наложенная Hbl (каймы по ромбическому и моноклинному пироксенам) в средних гранулитах губы Поньгомы {4}.

Описанная выше гранулитовая амфиболизация в районах оз. Нотозеро – оз. Ковдозеро, оз. Керчуг, пос. Вокнаволоок является определяющим и несомненно очень значимым процессом в метаморфической эволюции ГЭЧ комплексов и требует дополнительного детального изучения в других районах их развития.

1. *Король Н. Е.* Гранулиты и эндебиты района оз. Керчуг // Операт.-информ. материалы «Вопросы геологии и петрологии докембрийских комплексов Карелии». Петрозаводск, 1979. С. 17–26.

2. *Володичев О. И., Коншин В. А., Король Н. Е.* Геология и петрология гранулитовых и интрузивных эндебит-чарнокитовых комплексов архея // Гранулитовые и мигматитовые комплексы Карелии и их роль в формировании земной коры Балтийского щита. Отчет по теме 67. Т. I. Фонды КарНЦ РАН. Петрозаводск, 1985. 206 с.

3. *Володичев О. И.* Беломорский комплекс Карелии (петрология и геология). Л., 1990. 245 с.

4. *Король Н. Е.* Метаморфическая эволюция гранулитового комплекса Северной Карелии: Дис. ... канд. геол.-минер. наук. М., 1990. 346 с.

5. *Володичев О. И., Король Н. Е.* Гранулит-эндебит-чарнокитовые комплексы Карелии // Тез. докл. между-

нар. совещ. «Докембрий Северной Евразии». СПб., 1997. С. 22–23.

6. *Король Н. Е.* Метаморфическая эволюция архейских гранулит-эндебит-чарнокитовых комплексов Карелии и Центральной Финляндии // Автономный раздел отчета по теме 158 «Эндогенные режимы метаморфизма в различных геодинамических обстановках докембрия Карелии». Фонды КарНЦ РАН. Петрозаводск, 2003. 364 с.

7. *Король Н. Е.* Основные гранулиты Карелии и Центральной Финляндии // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 8. Петрозаводск, 2005. С. 18–28.

8. *Коншин В. А.* Геология и метаморфизм района оз. Верхнее Куйто – Тоухтуриньярви (Вокнаволоокский блок, Зап. Карелия) // Ранний докембрий Карелии. Петрозаводск, 1987. С. 70–89.

## ОБ АМФИБОЛАХ ЭКЛОГИТОВЫХ ПОРОД РАЙОНА с. ГРИДИНО

*Т. И. Кузенко*

Институт геологии Карельского НЦ РАН, Петрозаводск; [volod@krc.karelia.ru](mailto:volod@krc.karelia.ru)

Эклогитовые породы включают собственно эклогиты и продукты их ретроградного преобразования.

В районе с. Гридино, охватывающем побережье Белого моря и прилегающие острова, в структуре Беломорского подвижного пояса (БПП) выявлены эклогиты и их преобразованные разновидности трех возрастных групп. Это архейские (AR) эклогиты с установленным U-Pb методом по цирконам из симплектитовых апоэклогитов возрас-

том  $2720 \pm 8$  млн лет [1, 2], эклогиты архей-протерозойского (AR-PR) возраста (2,7–2,45 млрд лет) и палеопротерозойские (PR) – с изотопным возрастом  $2416,1 \pm 1,3$  млн лет [3]. В статье приводится обзор составов амфиболов эклогитовых пород этих возрастных групп по данным 63 микрозондовых определений (табл. 1).

Архейские эклогитовые породы обнаружены в Гридинской тектонической зоне, где являются обломочной составляющей мигматизированного