Амфиболы высокобарических метабазитов района Слюдяной горки (Полярный Урал, хребет Марун-Кей) из коллекции Геологического музея им. А. А. Чернова

И. С. Астахова, К. С. Попвасев

Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар
astakhova@geo.komisc.ru

Приводятся результаты исследований амфиболов высокобарических метабазитов района Слюдяной горки (Полярный Урал) из коллекции музея. Присутствие в названиях пород устаревших названий амфиболов (каринтин) делает актуальным изучение данной группы минералов. В соответствии с новой номенклатурой минералов уточнена видовая принадлежность амфиболов. Аналитические исследования проводились с помощью оптического и сканирующего электронного микроскопа, рентгеновским и спектроскопическими методами.

В результате проведения детального минералого-петрографического исследования были отмечены амфиболовый апоэклогитовый бластомилонит, эклогитоподобные породы кварц-омфацит-амфибол-кианитового и амфибол-кварц-гранатового состава. В матрице амфиболитового апоэклогитового бластомилонита обнаружен железосодержащий чермакит, в порфиробластах встречены магнезиогорнблендит и барруазит. В кварц-омфацит-амфибол-кианитсодержащей эклогитоподобной породе обнаружен магнезиогорнблендит, в прожилках установлен магнезиотарамит. В амфибол-кварц-гранатовых эклогитоподобных породах обнаружен барруазит и крупнокристаллический магнезиотарамит. Выявленные амфиболы свидетельствуют, что в высокобарических метабазитах могут присутствовать амфиболы разных химических групп.

Ключевые слова: высокобарические метабазиты, минералогия, амфиболы, музей, Слюдяная горка, Полярный Урал.

Amphiboles of high-pressure metabasites of the Mica hill region (Polar Urals, Marun-Keu range) from the collection of A. A. Chernov Geological museum

I. S. Astakhova, K. S. Popvasev

Institute of Geology FRC Komi SC UB RAS, Syktyvkar

The results of studies of amphiboles of high-pressure metabasites of the Mica hill region (Polar Urals) from the museum collection have been presented. The presence of obsolete names of amphiboles (carinthine) in the names of rocks makes the study of this group of minerals relevant. The specific identity of amphiboles was confirmed according to the new nomenclature. The analytical studies were based on optical and scanning electron microscopy, X-ray and spectroscopic methods.

The detailed mineralogical-petrographic researches were resulted in discovery of amphibole apoeclomite blastomylonite, quartz-omphacite-amphibole-kyanite and amphibole-quartz-garnet eclogitoids. Iron-containing tschermakite was found in the matrix of amphibole apoeclomite blastomylonites, magnesiohornblende and barroisite were found in porphyroblasts. Magnesiohornblende was found in quartz-omphacite-amphibole-kyanite-containing eclogitoids, magnesiotaaramite was determined in veinlets. Barroisite and large-crystalline magnesiotaaramite were found in amphibole-quartz-garnet eclogitoids. The identified amphiboles testify to the fact that amphiboles of different chemical groups may be present in one type of high-pressure metabasites.

Keywords: high-pressure metabasites, mineralogy, amphiboles, museum, Mica hill, Polar Urals.

Введение

Одним из основных центров хранения геологической информации на Европейском Северо-Востоке России является Геологический музей им. А. А. Чернова. В музейных фондах собран минералогический и петрографический материал, характеризующий региональные и локальные закономерности, геодинамические обстановки формирования Полярного Урала. При проведении инвентаризации объектов с петро-

графической информацией были обнаружены образцы с минералом, название которого не значится в общепринятом списке минеральных видов (ИМА, 2014). В образцах, характеризующих эклогитовый комплекс докембрийских толщ марункеуской структуры, Д. Н. Литовко и А. Б. Макеев указали каринтин. На Полярном Урале каринтин был впервые обнаружен и описан Н. Г. Удовкиной в породах Слюдяной горки [5; 11]. Впервые в минералогии каринтин был

Для цитирования: Астахова И. С., Попвасев К. С. Амфиболы высокобарических метабазитов района Слюдяной горки (Полярный Урал, хребет Марун-Кей) из коллекции Геологического музея им. А. А. Чернова // Вестник геонаук. 2021. 8(320). С. 46–54. DOI: 10.19110/geov.2021.8.4.

For citation: Astakhova I. S., Popvasev K. S. Amphiboles of high-pressure metabasites of the Mica hill region (Polar Urals, Marun-Keu range) from the collection of A. A. Chernov Geological museum, 2021, 8(320), pp. 46–54, doi: 10.19110/geov.2021.8.4.

описан С. Коритнигом в экогитах Австралии (1940) и по химизму соответствовал специфической роговой обманке, устойчивой к минералам экогитового парагенезиса.

Группа амфиболов и сегодня является одной из самых сложных в системе минералогии. Четыре катионные и одна анионная видообразующие позиции реализуются в изо- и гетеровалентном изоморфизме, что создает довольно длинный комбинаторный ряд. В 1987 г. была разработана первая номенклатура амфиболов, основанная на кристаллических принципах, в которой задавались граничные условия для разделения минеральных видов [7, 16]. Минерал каринтин не был признан одним из членов изоморфного ряда роговых обманок, однако данный термин закрепился. Накопление новых данных по амфиболам позволило подкомитету по амфиболам КНМНМ ММА разработать классификацию IMA-97, основанную на кристаллохимии амфиболов, и разделить амфиболы на четыре группы: Mg-Fe-Mn-Li-амфиболы с подгруппами — ромбические и моноклинные, а их, в свою очередь, на серии: ромбические — антофиллит, жедрит и холмквистит; моноклинные — кумигтонит-грюнерит и клинохолмквистит. В группах кальциевых, натриево-кальциевых и натриевых амфиболов детальное деление не приводится. В 2003 г. были незначительно пересмотрены параметры, используемые для разделения натриевых амфиболов [14, 17]. Позднее были открыты богатые литием амфиболы, что неизбежно привело к возникновению пятой группы [17]. В настоящее время в группе амфиболов известно более 100 минеральных видов.

В 2004 г. проведена работа по номенклатурному анализу амфиболов Урала и предложена матричная модель, опирающаяся на распределение зарядов и их баланс в соответствии со структурными позициями [2]. В результате на Урале было установлено 54 конечных вида амфиболов. Выявлено, что наиболее распространенными являются амфиболы кальциевой серии, другая часть — менее распространенная, которая обнаруживается в определенных комплексах. В их число вошел и каринтин, который не был достаточно хорошо изучен, а ранее полученные результаты химического анализа Н. Г. Удовкиной позволили исследователям отнести каринтин и к алюмомагнезиотарамиту, и к магнезиогорнблендиту [2]. Широкая вариация состава амфибола в изученных нами образцах объясняется разнообразием пород и условиями формирования марункеуского комплекса.

Краткая характеристика геологического строения района Слюдяной горки

Экогит-перидотит-гнейсовый комплекс хребта Марун-Кеу достаточно детально изучен, однако и сегодня остается много вопросов по геодинамическим обстановкам и условиям формирования, возрасту и времени метаморфических преобразований пород. Он представляет собой тектонический блок, вытянутый в субмеридиональном направлении в зоне Главного Уральского разлома и ограниченный тектоническими контактами с вулканогенно-осадочными образованиями няровейской серии [4, 6, 8, 12]. В геологическом строении марункеуского комплекса участвуют пироповые

и альмандиновые экогиты, гранатовые и плагиоклазовые перидотиты, гранатовые амфиболиты, глаукофановые сланцы, плагиогнейсы и слюдяные сланцы, граниты, разнообразные по составу бластомилониты и мигматиты [10]. В результате проведенных исследований было установлено, что возвышенности представлены многочисленными разрозненными телами перидотитов (горы Перидотитовая, Рыжая) (рис. 1).

Экогиты и апоэкогитовые амфиболиты залегают в виде пластообразных и линзовидных тел, ориентированных согласно с простиранием вмещающих их гнейсов [9]. Экогиты характеризуются полосчатой, гнейсовидной, сланцеватой текстурами. Петрографические исследования экогитсодержащих толщ позволили установить следующую стадийность в смене минеральных парагенезисов [9]. Для пород, претерпевших метаморфизм экогитовой фации, характерен

Рис. 1. Схема геологического строения района Слюдяной горки [9]: 1 — метаультрабазиты нерасчлененные, 2 — массивные экогиты с реликтами габбро, 3 — экогиты полосчатые, 4 — амфиболизированные экогиты, апоэкогитовые амфиболиты, 5 — плагиогнейсы, 6 — кварцевые и кварц-полевошпатовые жилы, 7 — гранитизированные породы, 8 — кянитизированные породы, 9 — разрывные нарушения, 10 — элементы залегания, 11 — оси складок

Fig.1. Scheme of the geological structure of the Mica Hill [9]: 1 — undifferentiated metaultrabasic rocks, 2 — massive eclogites with gabbro relics, 3 — banded eclogites, 4 — amphibolized eclogites, apoeclotitic amphibolites, 5 — plagiogneisses, 6 — quartz and quartz-feldspar veins, 7 — granitized rocks, 8 — kyanitized rocks, 9 — discontinuous faults, 10 — bedding elements, 11 — fold axes

парагенезис омфацита и граната. В связи с процессами плагиигранитизации и кислотного выщелачивания и вследствие высокобарической метаморфической дифференциации наряду с гранатом и омфацитом в парагенезисе установлены плагиоклаз и фенгит. С диафторезом амфиболитовой фации связано появление в породах амфибола, граната и плагиоклаза. Ассоциация актинолита, хлорита и альбита характеризует процесс диафтореза зеленосланцевой фации [9].

Некоторые исследователи подчеркивают, что состав минеральных парагенезисов, характеризующих термодинамическую эволюцию образования и преобразования пород, значительно различаются в пределах геологического тела, блока, структуры и устанавливаются лишь в локальных зонах [1]. Так, Н. Г. Удовкина выделила амфиболитовые разности в эклогитовых породах, которые образуются в зонах разлома с гипербазитами и габброидами. В них отмечены жилы двуминеральных мелкозернистых эклогитов с амфиболитовыми оторочками мощностью 1–50 см, по составу отнесенных к каринтину [11].

Таким образом, неоднородность строения комплекса, присутствие переходных разновидностей пород и отсутствие четких границ между ними затрудняют диагностику амфиболов и не дают возможности диагностировать минерал по одному типу пород.

Объекты исследования и методы

Для повторного изучения из коллекций Д. Н. Литовко и А. Б. Макеева были отобраны образцы пород эклогитовой фации района Слюдяной горки. В образцах цоизитового бластомилонита* (672/38) и кварццоизит-амфиболового эклогита (672/35) обнаружен амфибол, диагностированный как каринтин, от темно-зеленого до черного цвета, размер кристаллов достигает 2 см (рис. 2, а). Мелкокристаллические разности амфибола (каринтина?) ранее установлены в эклогите лейкократового омфацит-гранат-амфибол-цоизитового состава (672/1), в амфиболитовом благите по аподиабазовому эклогиту (672/4), жильном амфибол-гранатовом эклогите (672/10).

Минералого-петрографические исследования проводились в ЦКП «Геонаука» ИГ Коми НЦ УрО РАН (Сыктывкар). Рентгеновские исследования велись с применением порошковой дифракции на дифрактометре Shimadzu XRD-6000. Условия съемки: Cu-анод, ток — 30 mA, напряжение — 30 kV, фильтр Ni, шаг сканирования 2θ — 0.05, скорость съемки — 1 гр/мин (аналитик Б. А. Макеев). Регистрация спектров комбинационного рассеяния света (КР) проводилась на спектрометре LabRam HR 800 (Horiba Jobin Yvon) (аналитик С. И. Исаенко). Условия регистрации спектров: решетка монохроматора — 600 ш/мм, конфокальное отверстие — 300 мкм, щель — 100 мкм, время экспозиции — 10 с, количество циклов накопления сигнала — 3, мощность возбуждающего излучения Ar-лазера (488 нм) — 1.2 мВт. Микрозондовые исследования произведены на сканирующем электронном микроскопе

Tescan Vega 3 LMN с энергодисперсионной приставкой X-Max (аналитик Е. М. Тропников).

Результаты исследования. Минералого-петрографические особенности пород

По определению Международной субкомиссии по систематике метаморфических пород, к эклогитам относится метаморфическая горная порода, состоящая из граната и омфацита ($Grt + Omp \geq 75\%$) [18]. Наличие и доля других минералов устанавливают разновидности эклогита. В Петрографическом кодексе (2009) выделен гранат-каринтин-омфацитовый эклогит, содержащий омфацит 30–40 %, каринтин 25–28 %, гранат 10–20 %, глаукофан 10–15 %. В связи с широкими вариациями процентного содержания основных минералов, разнообразием номенклатур эклогитов было повторно проведено минералого-петрографическое изучение амфиболсодержащих пород.

В ранее изученном жильном амфибол-гранатовом эклогите (672/10) отмечается линзовидная текстура, обусловленная выделениями амфибола от 0.1 до 0.5 см и крупными кристаллами кварца (до 0.4 мм). При петрографическом изучении породы установлено, что основная ткань породы имеет преимущественно кварц-гранатовый состав: гранат (50 %), кварц (40 %), амфибол (8 %). В качестве акцессорных минералов выделяются рутил (< 2 %), мусковит (ед. зн.) (рис. 2, а). Структура породы — гранопорфиروبластовая, гломеробластовая, структура основной ткани — гипидиобластовая. Гранат отмечен в виде изометричных идиоморфных и субидиоморфных порфиروبластов (рис. 2, с). Зерна граната расположены кучно, образуя мономинеральные агрегаты, подчеркивающие гломеробластовую структуру. По химическому составу гранат однороден, средний состав минерала ($n = 5$) — $Al_{0.45}Pir_{0.35}Grs_{0.20}Sp_1$ — имеет формулу $(Fe^{2+}_{1.34}Mg_{0.89}Ca_{0.72}Mn_{0.04}Al_{2.99}Si_{2.98}Al_{0.02}O_{12})$. В составе линз и прослоев обнаружены зерна кварца размером до 2–3 мм, более мелкозернистый кварц встречается в матрице. Амфиболы выделяются в виде порфиробласт неправильной удлиненной формы, содержащие включения кварца, граната, рутила. Из акцессорных минералов в породе можно отметить рутил. Минеральный состав основной ткани ранее описанного кварц-цоизит-амфиболового эклогита (672/35) схож с вышеописанной породой (рис. 2, а). Отличительной особенностью являются жилы гранат-кианит-кварцевого состава с кристаллами амфибола размером до 2 см. В ходе проведения минералого-петрографических исследований цоизит, который присутствует в названии породы (по Д. Н. Литовко, А. Б. Макеева), не был установлен.

В связи с этим согласно систематике метаморфических пород обе породы можно отнести к амфибол-кварц-гранатовым эклогитоподобным породам.

Образец № 672/1, диагностированный Д. Н. Литовко и А. Б. Макеевым как лейкократовый омфацит-гранат-цоизитовый эклогит, представляет собой грязно-белую породу с неравномерно распределенными обособлениями амфибол-пироксен-кианитового состава от темно-зеленого до черного цвета (рис. 3, а). Порода сложена амфиболом (40 %), моноклинным пироксеном (25 %), кварцем (15 %), гранатом (около 12 %), киани-

* Здесь и далее названия пород приведены из описи монографической коллекции № 672 (авторы Д. Н. Литовко, А. Б. Макеев) из фондов Геологического музея им. А. А. Чернова

Рис. 2. Минеральная ассоциация амфибол-кварц-гранатовой эклогитоподобной породы: а — обр. 672/35, б — обр. 672/10 (николи X), с — обр. 672/10 (СЭМ-снимок). Обозначения минералов [21]: Qz — кварц, Amp — амфибол, Grt — гранат, Ky — кианит

Fig. 2. Mineral association of the amphibole-quartz-garnet eclogitoids: a — sample 672/35, b — sample 672/10 (Nicoli X), c — sample 672/10 (SEM-foto). Mineral designation [21]: Qz — quartz, Amp — amphibole, Grt — garnet, Ky — kyanite

Рис. 3. Минеральная ассоциация кварц-омфацил-амфибол-кианитсодержащей эклогитоподобной породы (обр. 672/1): а, б — николи X, с — СЭМ-снимок. Обозначения минералов [21]: Qz — кварц, Amp — амфибол, Grt — гранат, Ky — кианит, Zo — цоизит, Ab — альбит, Omp — омфацил

Fig. 3. Mineral association of quartz-omphacite-amphibole-kyanite-containing eclogitoids (sample 672/1): a, b — Nicoli X, c — SEM-image. Mineral designation [21]: Qz — quartz, Amp — amphibole, Grt — garnet, Ky — kyanite, Zo — zoisite, Ab — albite, Omp — omphacite

том (5 %), цоизитом (3 %), плагиоклазом (ед. зн.). Отмечается порфирогранобластовая структура с элементами гетеробластовой структуры основной ткани (рис. 3, б). Амфиболы представлены в виде таблитчатых и листоватых выделений, реже гипидиоморфными призматическими кристаллами. В некоторых зернах проявляется ситовидная структура вследствие многочисленных включений кварца. Гранат образует идиоморфные зерна размером от 0.5 мм до 1 мм. По химическому составу отвечает $\text{Prp}_{44}\text{Alm}_{35}\text{Grs}_{20}\text{Sp}_{15}$ с общей формулой $(\text{Mg}_{1.33}\text{Fe}^{2+}_{1.04}\text{Ca}_{0.61}\text{Mn}_{0.03})_{3.01}\text{Al}_{2.01}\text{Si}_{2.99}\text{O}_{12}$. Состав граната однороден, зональность не проявлена. В интерстициях между кристаллами граната установлены уплощенные кристаллы кианита с неровными контурами. Микронзондовыми исследованиями в составе кианита $\text{Al}_{1.99}\text{O}(\text{Si}_{0.99}\text{O}_4)$ обнаружены примеси железа (до 0.24 мас. %) и хрома (до 0.4 мас. %). В ассоциации с гранатом, кианитом и амфиболом обнаружены удлиненные кристаллы цоизита с общей формулой $\text{Ca}_{1.92}\text{Fe}_{0.07}(\text{Al}_{2.96}\text{Cr}_{0.01})_{2.97}(\text{Si}_{3.03}\text{O}_{11})(\text{OH})$ (рис. 3, с). Установлены отдельные участки породы, обогащенные короткопризматическими кристаллами моноклинных пироксенов. Согласно номенклатуре [20], результаты микронзондовых исследований позволяют отнести данный минерал к Na-Ca-группе пироксенов,

а по химическому составу — к омфациту с общей формулой $(\text{Ca}_{0.66}\text{Na}_{0.26})_{0.92}(\text{Mg}_{0.66}\text{Al}_{0.29}\text{Fe}^{2+}_{0.06})_{1.01}(\text{Si}_{1.96}\text{Al}_{0.04})_{2.00}\text{O}_6$ с содержанием $\text{Aug}_{63.9}\text{Id}_{33.8}\text{Aeg}_{2.3}$. Таким образом, в соответствии с минералого-петрографическим исследованием и современной классификацией корректнее данную породу отнести к **кварц-омфацил-амфибол-кианитсодержащей эклогитоподобной породе**. Амфиболитовый апоэклогитовый бластомилонит, ранее определенный как амфиболитовый бластит по аподиабазовому эклогиту (672/4), представляет собой темно-зеленую породу с черными обособлениями овальной формы, размер которых достигает 0.7–1.5 см (рис. 4). Структура породы бластомилолитовая. Порода характеризуется мелкозернистым гранобластовым матриксом и отдельными крупными порфиро-бластами, сложенными амфиболом. Состав породы: амфибол (60 %), кварц (20 %), мусковит (15 %), моноклинный пироксен (10 %). Второстепенную роль играют плагиоклаз (альбит), цоизит и биотит. Акцессорные минералы представлены гранатом, цирконом, рутилом, рудным минералом.

По трещинам амфибола в порфиро-бластах и на границах с основной тканью обнаружены амёбовидные выделения кварца, единичные ксеноморфные зерна альбита $(\text{Na}_{0.91}\text{Ca}_{0.02}\text{K}_{0.01})_{2.90}\text{Al}_{1.01}(\text{Si}_{2.96}\text{Al}_{0.04})_{3.00}\text{O}_{8.00}$,

Рис. 4. Минеральные ассоциации апоэклогитового амфиболита (обр. 672/4): а, б — николи X; с, д — СЭМ-снимок. Обозначения минералов [21]: Qz — кварц, Amp — амфибол, Grt — гранат, Bt — биотит, Ms — мусковит, Zrn — циркон, Ttn — титанит, Ab — альбит, Aug — авгит

Fig. 4. Mineral associations of amphibole apoclogite blastomylonite (sample 672/4): а, б — Nicol X; с, д — SEM-image. Mineral designation [21]: Qz — quartz, Amp — amphibole, Grt — garnet, Bt — biotite, Ms — muscovite, Zrn — zircon, Ttn — titanite, Ab — albite, Aug — augite

единичные зерна циркона размером менее 2 мкм. Помимо вышеуказанных минералов встречаются округлые, реже изометричные, с кристаллографическими очертаниями кристаллы граната. По химическому составу минерал отвечает $\text{Alm}_{41}\text{Prp}_{34}\text{Grs}_{25}\text{Sps}_1$ с общей формулой $(\text{Fe}^{2+}_{1.18}\text{Mg}_{0.98}\text{Ca}_{0.72}\text{Mn}_{0.02})_{2.90}\text{Al}_{2.01}\text{Si}_{3.02}\text{O}_{12.00}$. В виде включений в амфиболе установлены чешуйки биотита с промежуточным антит-флогопитовым составом $\text{K}_{0.87}(\text{Mg}_{1.47}\text{Fe}^{3+}_{0.86}\text{Al}_{0.35}\text{Fe}^{2+}_{0.10}\text{Ti}_{0.02})_{2.80}(\text{Si}_{2.88}\text{Al}_{1.12})_{4.00}\text{O}_{10.00}(\text{OH})_{2.00}$, размером до 200 мкм [19].

Матрикс имеет кварц-пироксен-амфиболовый состав, образуя гомеобластовую структуру. В нем амфибол более мелкозернистый, с размером кристаллов до 200 мкм. Более широко в матриксе распространены ксеноморфные кристаллы размером до 170 мкм слюды мусковит-алюминоседадонитового ряда (фенгит) с общей формулой $(\text{K}_{0.78}\text{Na}_{0.06})_{0.84}(\text{Al}_{1.72}\text{Mg}_{0.32}\text{Fe}^{2+}_{0.13}\text{Ti}_{0.04})_{2.21}(\text{Si}_{2.97}\text{Al}_{1.03})_{4.00}\text{O}_{10.00}(\text{OH})_{2.00}$. Обнаружены ксеноморфные выделения кварца и альбита, единичные зерна циркона размером менее 2 мкм, выделения титанита размером до 200 мкм. Отличительной особенностью минерального состава матрикса является наличие короткопризматических кристаллов клинопироксена. По результатам микрозондового анализа данный минерал относится к Ca-группе и соответствует авгиту с общей формулой $(\text{Ca}_{0.84}\text{Na}_{0.13})_{0.97}(\text{Mg}_{0.64}\text{Al}_{0.14}\text{Fe}^{2+}_{0.22})_{1.00}(\text{Si}_{1.99}\text{Al}_{0.01})_{2.00}\text{O}_{6.00}$, с содержанием $\text{Wo}_{72.0}\text{En}_{15.8}\text{Fs}_{12.2}$ (рис. 4, д) [20].

Амфиболы

Структурно-химические особенности амфиболов были изучены с помощью рамановской спектроскопии, рентгеновского и микрозондового анализов. Предыдущие исследования показывают, что рентгеновский анализ может быть успешно применен для диагностики амфиболов, с его помощью удастся выделять не только изоморфные серии амфиболов, но и отдельные члены этих серий [3]. Однако в изоморфной серии роговых обманок на а- и b-параметрах не отражаются гетеровалентные замещения катионов в восьмерной и шестерной координациях. Проведенные

исследования позволили установить, что во всех видах пород амфиболы представлены моноклинными разностями со структурным типом, близким к магнезиальным роговым обманкам с параметрами (Å): $a = 9.8158 \pm 0.0006$; $b = 17.9879 \pm 0.0013$; $c = 5.2857 \pm 0.0004$; $\beta = 104.894 \pm 0.007$; $\text{cell vol} = 901.92 \pm 0.08$.

Для амфиболов из различных пород установлен общий характер КР-спектров (рис. 5). Для проведения сравнительного анализа из базы данных RRUFF (<http://rruff.info>) были взяты КР-спектры актинолита и паргасита. Появление полос в спектральной области 200–300 cm^{-1} связывают с вибрацией решетки [13]. В исследуемых образцах в области спектра 300–450 cm^{-1} появляются три полосы, которые обусловлены катионами Ca, Mg и Fe^{2+} . В области 500–600 cm^{-1} установлены две полосы. Во всех исследованных образцах максимум фиксируется в области 667–672 cm^{-1} . В отличие от амфиболов из других пород в амфиболитовом апоэклогитовом blastomylonite в области 744–761 cm^{-1} полосы отсутствуют. Интерпретация спектров в области 850–1200 cm^{-1} обычно основана на связях O–Si–O [13]. Таким образом, в КР-спектрах исследуемых амфиболов наблюдаются схожие черты спектров как актинолита, так и паргасита.

Микрозондовые исследования уточнили состав амфиболов. В них не установлена зональность или изменение химического состава по профилю «край — центр — край». По Н. Г. Удовкиной (1985), каринтин отнесен к магнезиальным роговым обманкам со следующими параметрами (ф. ед.): $\text{Al}^{\text{IV}} = 0.88\text{--}1.5$; $\text{Fe}^{2+} = 0.32\text{--}0.91$; $\text{Mg} = 3.47\text{--}3.91$; $\text{Ca} = 1.34\text{--}1.63$. Вариация химического состава амфиболов и разные способы пересчета химических анализов не позволяют провести прямое сопоставление результатов. В связи с этим полученные нами и предыдущие результаты микрозондового исследования были пересчитаны согласно методике расчета кристаллохимических формул амфиболов на 13 зарядов с расчетом количества трехвалентного железа по методу баланса заряда [15, 17] (см. таблицу).

При классификации амфиболов доминирующим критерием является соотношение кальция и натрия в позиции В [15]. В группу кальциевых амфиболов вош-

Рис. 5. Рамановские спектры амфиболов

Fig. 5. Raman spectra of amphiboles

ли минералы, где данный показатель варьирует в пределах 0.75–0.92 ф.ед. (рис. 6, а). В данной группе амфиболов установлены магнезиогорнблендит и чермакит. В основной ткани амфиболитового апоэклогитового бластомилонита обнаружен чермакит. Химизм данного амфибола отличается низким содержанием кремнезема (до 6.4 ф. ед.) и более высоким содержанием кальция и железа. В магнезиогорнблендите содержание кремнезема варьирует в пределах 6.7–7.0 ф. ед., в свою очередь, содержание Al в четверной координации колеблется от 1.0 до 1.3 ф. ед. Магнезиальность данных амфиболов варьирует. Наиболее обогащенные магнием разновидности встречаются в кварц-омфациит-амфибол-кианитсодержащих эклогитоподобных породах (672/1, 672/38), где содержание Mg+2 в позиции С достигает 3.66 ф. ед. К магнезиогорнблендиту отнесены каринтины из эклогитов (66/10), химический состав которых был получен Н. Г. Удовкиной (1985). Суммарное количество железа в магнезиогорнблендите из разных пород колеблется от 0.52 до 1.63 ф. ед., наибольшее содержание данного элемента обнаружено в амфиболе из порфиробласт амфиболитового апоэклогитового бластомилонита (672/4). Это позволяет отнести минерал к железистой разновидности магнезиогорнблендита. Только в магнезиогорнблендите из кварц-омфациит-амфибол-кианитсодержащей эклогитоподобной поро-

ды (672/1) были обнаружены незначительные примеси хрома (0.06 мас. %) и хлора (0.16 мас. %).

Остальные исследуемые амфиболы по составу отвечают натрий-кальциевым разновидностям, в которых параметр BCa/B(Ca+Na) варьирует от 0.65 до 0.73 (рис. 6, б). В соответствии с содержанием кремния в пределах 6.62–6.71 ф.ед. и количеством Na и K в позиции А от 0.1 до 0.33 ф.ед. химический состав минералов соответствует барруазиту. Данный минерал встречается в порфиробластах амфиболитового апоэклогитового бластомилонита (672/4) и в амфибол-кварц-гранатовая эклогитоподобной породе (672/10, 35).

К более магнезиальной разновидности барруазита можно отнести амфиболы с содержанием магния до 0.94 ф. ед. из амфибол-кварц-гранатовых эклогитоподобных пород. К магнезиальному барруазиту относится каринтин из эклогитов, химический состав которого был получен Н. Г. Удовкиной (1985). Более железистый барруазит встречается в эклогитовом бластомилоните с суммарным содержанием железа 1.80 ф. ед.

В группе натриево-кальциевых амфиболов выделен магнезиотарамит, который характеризуется низким содержанием кремния 6.46–6.48 ф. ед., высокой магнезиальностью 0.80–0.83 ф. ед. и количеством Na + K в позиции А от 0.52 до 0.55. Данная разновидность амфибола обнаружена в прожилках амфибол-кварц-гранатовая эклогитоподобной породы (672/35) и в оторочках кварц-омфациит-амфибол-кианитсодержащей эклогитоподобной породы (672/38). Аналогичный по составу амфибол отметила Н. Г. Удовкина в кварц-мусковитовой жиле в эклогитах.

Заклучение

В пределах района Слюдяной горки в эклогитоподобных породах отмечаются породы с различным соотношением породообразующих минералов. В результате номенклатурного анализа для ранее диагностированных каринтинсодержащих пород данного района Слюдяной горки Полярного Урала установлен определенный набор амфиболов:

- в матриксе амфиболитового апоэклогитового бластомилонита обнаружен железосодержащий чермакит. По химизму сопоставим с амфиболами гранулитовых комплексов, но отличается более высоким содержанием натрия и меньшим — кальция и калия. В порфиробластах породы установлены обогащенные железом магнезиогорнблендит и барруазит.

- в матриксе кварц-омфациит-амфибол-кианитсодержащей эклогитоподобной породы установлен магнезиогорнблендит, для которого характерно низкое содержание кремнезема и кальция, высокое — октаэдрического алюминия и натрия. В амфиболитовых прожилках установлен магнезиотарамит с высоким содержанием кремнезема, алюминия и магния и с низкой железистостью.

- в матриксе амфибол-кварц-гранатовая эклогитоподобной породы обнаружена магнезиальная разновидность барруазита. В прожилках установлен магнезиотарамит, для которого характерно высокое содержание кремнезема, алюминия и низкая железистость.

Таким образом, в высокобарических метакомплексах марункеуского комплекса наблюдаются кальциевые железосодержащие минеральные виды амфиболов

Химический состав (мас. %) амфиболов из пород Слюдяной горки

Chemical composition (wt. %) of amphiboles from the Mica Hill rocks

Оксиды Oxides	672/4 (n = 3)	672/1 (n = 4)	672/4 (n = 4)	672/38 (n = 6)	672/35 (n = 3)	66/10	672/10 (n = 4)	672/4 (n = 4)	672/35 (n = 4)	183	672/35 (n = 4)	672/38 (n = 2)	288
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
SiO ₂	43.32	48.96	45.45	47.34	45.27	48.6	47.91	46.53	46.20	48.13	45.1	45.2	45.72
TiO ₂	0.53	0.42	0.58	0.37	0.55	0.3	0.50	0.77	0.50	0.54	0.67	0.79	0.45
Al ₂ O ₃	14.11	12.61	12.48	10.73	13.07	11.92	14.21	13.61	14.79	13.17	15.09	15.08	15.18
Cr ₂ O ₃	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00	0.00	0.18	0.00	0.00	0.05
FeO	14.06	4.69	13.49	4.66	7.74	4.17	7.68	14.30	7.56	4.63	7.85	7.96	5.21
Fe ₂ O ₃	-	-	-	-	-	0.55	-	-	-	2.34	-	-	1.68
MnO	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00	0.07	0.00	0.31	0.00	0.06	0.00	0.00	0.04
MgO	10.10	17.11	10.89	16.77	13.6	17.61	14.86	9.90	13.44	16.33	13.46	13.71	15.03
CaO	11.49	10.53	10.60	10.04	9.52	10.8	9.44	8.41	9.11	9.73	9.43	9.38	9.39
Na ₂ O	1.66	2.49	1.96	2.14	2.75	2.55	3.03	3.03	2.77	2.74	3.36	3.35	3.41
K ₂ O	1.38	0.62	0.84	0.43	0.4	0.6	0.60	0.78	0.51	0.73	0.82	0.78	0.88
Сумма Total	96.65	97.47	96.39	70.09	92.89	97.34	98.24	97.62	94.90	98.58	96.18	96.38	97.04
Коэффициенты в формуле / Coefficients in formula													
Si	6.40	6.80	6.70	6.90	6.70	6.78	6.65	6.71	6.65	6.64	6.49	6.48	6.46
Ti	0.06	0.04	0.06	0.04	0.06	0.03	0.05	0.08	0.05	0.06	0.07	0.09	0.05
Al ^{IV}	1.60	1.20	1.30	1.10	1.30	1.22	1.35	1.29	1.35	1.36	1.47	1.52	1.54
Al ^{VI}	0.88	0.86	0.87	0.75	0.98	0.74	0.98	1.03	1.16	0.78	1.09	1.03	0.98
Cr	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01
Fe ⁺²	1.69	0.22	1.42	0.15	0.65	0.49	0.36	1.22	0.49	0.53	0.71	0.59	0.62
Mn	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
Mg	2.25	3.54	2.39	3.64	3.00	3.66	3.08	2.13	2.88	3.36	2.89	2.93	3.16
Ca	1.84	1.57	1.67	1.57	1.51	1.61	1.41	1.30	1.40	1.44	1.46	1.44	1.42
Na ₂	0.16	0.43	0.33	0.43	0.49	0.39	0.59	0.70	0.55	0.56	0.54	0.56	0.57
Na ₁	0.32	0.24	0.23	0.17	0.30	0.30	0.22	0.15	0.22	0.17	0.39	0.37	0.36
K	0.26	0.11	0.16	0.08	0.08	0.11	0.11	0.14	0.09	0.13	0.15	0.14	0.16
Fe ⁺³	0.60	0.33	0.25	0.45	0.31	0.06	0.53	0.58	0.41	0.24	0.23	0.36	0.18
T	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
C ₁	1.00	1.24	1.18	1.24	1.35	0.85	1.56	1.69	1.62	1.10	1.39	1.48	1.22
C ₂	3.94	3.76	3.81	3.79	3.65	4.15	3.44	3.35	3.37	3.89	3.60	3.52	3.78
C	4.94	5.00	4.99	5.03	5.00	4.99	5.00	5.04	5.00	4.99	5.00	5.00	5.00
B	2.00	2.00	2.01	2.00	2.00	2.01	2.00	2.04	1.96	2.01	2.00	2.00	2.00
A	0.58	0.35	0.39	0.25	0.37	0.41	0.33	0.29	0.31	0.30	0.55	0.52	0.52
^B Ca/ ^B (Ca+Na)	0.92	0.78	0.84	0.78	0.75	0.81	0.70	0.65	0.72	0.72	0.73	0.72	0.71
Mg/(Mg+Fe ⁺²)	0.57	0.94	0.63	0.96	0.82	0.88	0.89	0.64	0.86	0.86	0.80	0.83	0.84
Кальциевые амфиболы Calcium amphiboles							Натриево-кальциевые амфиболы Sodium-calcium amphiboles						
Черма- кит Tscher- makite		Магнезиогорнблендит Magnesiohornblendite					Барроазит Barroisite			Магнезиотарамит Magnesiotaramite			

Примечание: 1, 3, 8 — амфиболитовый апоэклогитовый бластомилонит; 2, 4, 12 — кварц-омфацил-амфибол-кианитсодержащая эклогитоподобная порода; 5, 7, 9, 11 — амфибол-кварц-гранатовая эклогитоподобная порода; 6 — зеленовато-бурый каринтин из эклогита (по Удовкиной, 1985; ан. 1); 10 — коричневат-зеленый каринтин из каринтинового эклогита (по Удовкиной, 1985; ан. 3); 13 — каринтин из кварц-мусковитовых жил в эклогитах (по Удовкиной, 1985; ан. 7).

Note: 1, 3, 8 — amphibolite apoeclomite blastomylonite; 2, 4, 12 — quartz-omphacite-amphibole-kyanite-containing eclogitoid; 5, 7, 9, 11 — amphibole-quartz-garnet eclogitoid; 6 — greenish-brown carinthine from eclogite (according to Udovkina, 1985; an. 1); 10 — brownish-green carinthine from carinthine eclogite (according to Udovkina, 1985; an. 3); 13 — carinthine from quartz-muscovite veins in eclogites (according to Udovkina, 1985; an. 7).

Рис. 6. Классификационные схемы кальциевых (а) и натрий-кальциевых (b, c) амфиболов [17]. Условные обозначения: 672/4 — амфиболитовый апоэклогитовый бластомилонит; 672/1, 672/38 — кварц-омфациит-амфибол-кианитсодержащая эклогитоподобная порода; 672/10, 672/35 — амфибол-кварц-гранатовая эклогитоподобная порода; 66/10 — зеленовато-бурый каринтин из эклогита (по Удовкиной, 1985; ан. 1); 183 — коричневатозеленый каринтин из каринтинового эклогита (по Удовкиной, 1985; ан. 3); 66/11 — каринтин из кварц-мусковитовых жил в эклогитах (по Удовкиной, 1985; ан. 4); 289, 288 — роговая обманка из реакционной оторочки вокруг биметасоматического эклогита в ультраосновных породах (по Удовкиной, 1985; ан. 6)

Fig. 6. Classification schemes of calcium (a) and sodium-calcium (b, c) amphiboles [17]. Legend: 672/4 — amphibolite apoeclotite blastomylonite; 672/1, 672/38 — quartz-omphacite-amphibole-kyanite-containing eclogitoid; 672/10, 672/35 — amphibole-quartz-garnet eclogitoid; 66/10 — greenish-brown carinthine from eclogite (according to Udovkina, 1985; an. 1); 183 — brownish-green carinthine from carinthine eclogite (according to Udovkina, 1985; an. 3); 66/11 — carinthine from quartz-muscovite veins in eclogites (according to Udovkina, 1985; an. 4); 289, 288 — hornblende from the reaction rim around the bimetasomatic eclogite in ultrabasic rocks (according to Udovkina, 1985; an. 6)

(чермакит-магнезиогорнблендит) и магнезиальные натрий-кальциевые (барруазит-тарамит).

С учетом современных данных и изложенных выше результатов для установления связи изменения состава амфиболов со стадиями метаморфизма можно рекомендовать дальнейшие исследования этого вопроса с привлечением более представительного геологического материала. При проведении минералогического петрографического исследования и в классификации пород эклогитовой фации не рекомендуется использовать в наименовании амфиболов название «каринтин».

Авторы выражают благодарность д. г.-м. н. А. М. Пыстину, к. г.-м. н. А. Б. Макееву, к. г.-м. н. С. И. Исаенко, Е. М. Тропникову за помощь и консультации, а также рецензентам за критические замечания.

Литература

1. Вализер П. М., Дубинина Е. В. Апоамфиболитовые эклогиты Марункеуского эклогит-гнейсового комплекса (Полярный Урал) // ЗРМО. 2006. № 2. С. 98—105.
2. Вализер П. М., Кобяшев Ю. С., Никандров С. Н. Амфиболы Урала. Миасс: ИГЗ УрО РАН, 2004. 139 с.
3. Гинзбург И. В., Сидоренко Г. А., Рогачев Д. Л. О зависимости между главными изоморфными замещениями и некоторыми параметрами кристаллической структуры амфиболов // Труды Минералогического музея имени А. Е. Ферсмана. 1961. Вып. 12. С. 3—36.
4. Куликова К. В., Варламов Д. А. Эклогит-гнейсовый комплекс хребта Марун-Кеу (Полярный Урал) // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту). Иркутск: Институт земной коры СО РАН. 2014. С. 177—180.
5. Литовско Д. Н. Минералогическая изученность Полярного Урала. Сыктывкар: Геопринт, 1996. 39 с.
6. Лю И., Перчук А. Л., Арискин А. А. Высокобарный ме-

таморфизм в перидотитовом кумулате комплекса Марун-Кеу, Полярный Урал // Петрология. 2019. Т. 27. № 2. С. 138—160.

7. Номенклатура амфиболов: доклад подкомитета по амфиболом комиссии по новым минералам и названиям минералов Международной минералогической ассоциации (КНМНМ ММА) // ЗВМО. 1997. № 6. С. 82—102.

8. Пыстин А. М. Полиметаморфические комплексы западного склона Урала. СПб.: Наука, 1994. 208 с.

9. Пыстин А. М., Пыстина Ю. и., Потапов И. Л. и др. Раннедокембрийская история метаморфизма пород гранулитовых и эклогитовых комплексов палеоконтинентальной зоны Урала. Сыктывкар: Геопринт, 2012. 46 с.

10. Селяцкий А. Ю., Куликова К. В. Эволюция химического состава граната при метаморфизме УНР-комплекса Марун-Кеу (Полярный Урал) // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2017. № 8. С. 26—43.

11. Удовкина Н. Г. Эклогиты СССР. М.: Наука, 1985. 257 с.

12. Уляшева Н. С., Пыстин А. М., Панфилов А. В., Потапов И. Л. Две серии первично-магматических пород в марункеуском эклогит-гнейсовом комплексе (Полярный Урал) //

Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. Сыктывкар, 2015. № 11. С. 3–12.

13. Apopei A. I., Buzgar N. The raman study of amphiboles // *Analele științifice ale universității «Al. I. Cuza» Iași. Geologie*. T. LVI. № 1. 2010. P. 57–83.

14. Hawthorne F. C., Oberti R. Amphiboles: Crystal Chemistry // *Reviews in Mineralogy & Geochemistry*. 2007. Vol. 67. P. 1–88.

15. Hawthorne F. C., Oberti R., Harlow G. E., Maresch W. V., Martin R. F., Schumacher J. C., Welch M. D. IMA report: Nomenclature of the amphibole supergroup. *American Mineralogist*. 2012. Vol. 97. P. 2031–2048.

16. Leake B. E., Woolley A. R., Arps C. E. S. et al. Nomenclature of amphiboles: report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on New Minerals and Mineral Names, *The Canadian Mineralogist*, 1997. Vol. 35. P. 219–246.

17. Leake B. E. Nomenclature of amphiboles: additions and revisions to the International Mineralogical Association's 1997 recommendations // *The Canadian Mineralogist*. 2003. Vol. 41. P. 1355–1362.

18. *Metamorphic Rocks: A Classification and Glossary of Terms*, Recommendation of the International Union of Geological Sciences // Eds. D. Fettes, J. Desmons. Cambridge: University Press, UK. 2007. 244 p.

19. Milan R., Cavazzini G., D'yakonov Y. S. et al. Nomenclature of the micas // *The Canadian Mineralogist*. 1998. Vol. 36(3). P. 905–912.

20. Morimoto N. et al. Nomenclature of pyroxenes // *The Canadian Mineralogist*. 1989. Vol. 27. P. 143–156.

21. Whitney D. L., Bernard W. Abbreviations for names of rock-forming minerals // *American Mineralogist*. Vol. 95. P. 185–187.

References

1. Valizer P. M., Dubinina E. V. Apoamfibolitovye eklogity Marunkeuskogo eklogit-gnejsovogo kompleksa (Polyarnyj Ural) (Apoamfibolite eclogites of the Marun-Keu eclogite-gneiss complex (Polar Urals)). *Proceedings of RMS*, 2006, No. 2, pp. 98–105.

2. Valizer P. M., Kobayashv Yu. S., Nikandrov S. N. Amfiboly Urala (Amfiboles of the Urals). Miass: IGZ UB RAS, 2004, 139 p.

3. Ginzburg I. V., Sidorenko G. A., Rogachev D. L. O zavisimosti mezhdu glavnymi izomorfnyimi zameshcheniyami i nekotoryimi parametrami kristallicheskoj struktury amfibolov (Relationship between main isomorphic substitutions and some parameters of the crystal structure of amphiboles). *Proceedings of Mineralogical museum named after A. E. Fersman*, 1961, V. 12, pp. 3–36.

4. Kulikova K. V., Varlamov D. A. Eklogit-gnejsovyj kompleks hrebta Marun-Keu (Polyarnyj Ural) (Eclogite-gneiss complex of the Marun-Keu ridge (Polar Urals)). *Geodinamicheskaya evolyuciya litosfery Centralno-Aziatskogo podvizhnogo poyasa (ot okeana k kontinentu) (Geodynamic evolution of lithosphere of Central Asia mobile belt)*. Irkutsk: Institute of Earth crust SB RAS, 2014, pp. 177–180.

5. Litoschko D. N. Mineralogicheskaya izuchennost Polyarnogo Urala (Mineralogical studies of the Polar Urals). Syktывkar: Geoprint, 1996, 39 p.

6. Lyu I., Perchuk A. L., Ariskin A. A. Vysokobarnyj metamorfizm v peridotitovom kumulate kompleksa Marun-Keu, Polyarnyj Ural (High-impact metamorphism in the

peridotite cumulate of the Marun-Keu complex, Polar Urals). *Petrologiya*, 2019, V. 27, No. 2, pp. 138–160.

7. Nomenklatura amfibolov: doklad podkomiteta po amfibolam komissii po novym mineralam i nazvaniyam mineralov mezhdunarodnoj mineralogicheskoy asociacii (KNMNM MMA) (Amphibole Nomenclature: Report of the Amphibole Subcommittee of the Commission on New Minerals and Mineral Names of the International Mineralogical Association (KNMNM MMA)). *Proceedings of RMS*, 1997, No. 6, pp. 82–102.

8. Pystin A. M. Polimetamorficheskie komplekсы zapadnogo sklona Urala (Polymetamorphic complexes of the western slope of the Urals). St. Petersburg: Nauka, 1994, 208 p.

9. Pystin A. M., Pystina Yu. I., Potapov I. L. et al. Rannedokembrijskaya istoriya metamorfizma porod granulitovyh i eklogitovyh kompleksov paleokontinental'noj zony Urala (Early Precambrian history of metamorphism of rocks of granulite and eclogite complexes of the paleocontinental zone of the Urals). Syktывkar: Geoprint, 2012, 46 p.

10. Selyatickij A. Yu., Kulikova K. V. Evolyuciya himicheskogo sostava granata pri metamorfizme UHP-kompleksa Marun-Keu (Polyarnyj Ural) (Evolution of the chemical composition of garnet in the metamorphism of the Marun-Key UHP complex (Polar Urals)). *Vestnik of Institute of geology Komi SC UB RAS, Syktывkar*, 2017, No. 8, pp. 26–43.

11. Udovkina N. G. Eklogity SSSR (Eclogites of the USSR). Moscow: Nauka, 1985, 257 p.

12. Ulyasheva N. S., Pystin A. M., Panfilov A. V., Potapov I. L. Dve serii pervichno-magmaticheskikh porod v Marun-Keuskom eklogit-gnejsovom komplekse (Polyarnyj Ural) (Two series of primary igneous rocks in the Marun-Keu eclogite-gneiss complex (Polar Urals)). *Vestnik of Institute of geology Komi SC UB RAS, Syktывkar*, 2015, No. 11, pp.

13. Apopei A. I., Buzgar N. The raman study of amphiboles. *Analele științifice ale universității «Al. I. Cuza» Iași. Geologie*, V. LVI, No. 1, 2010, pp. 57–83.

14. Hawthorne F. C., Oberti R. Amphiboles: Crystal Chemistry. *Reviews in Mineralogy & Geochemistry*, 2007, V. 67, pp. 1–88.

15. Hawthorne F. C., Oberti R., Harlow G. E., Maresch W. V., Martin R. F., Schumacher J. C., Welch M. D. IMA report: Nomenclature of the amphibole supergroup. *American Mineralogist*, 2012, V. 97, pp. 2031–2048.

16. Leake B. E., Woolley A. R., Arps C. E. S. et al. Nomenclature of amphiboles: report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on New Minerals and Mineral Names, *The Canadian Mineralogist*, 1997, V. 35, pp. 219–246.

17. Leake B. E. Nomenclature of amphiboles: additions and revisions to the International Mineralogical Association's 1997 recommendations. *The Canadian Mineralogist*, 2003, V. 41, pp. 1355–1362.

18. *Metamorphic Rocks: A Classification and Glossary of Terms*, Recommendation of the International Union of Geological Sciences. Eds. D. Fettes, J. Desmons. Cambridge: University Press, UK, 2007, 244 p.

19. Milan R., Cavazzini G., D'yakonov Y. S. et al. Nomenclature of the micas. *The Canadian Mineralogist*, 1998, V. 36(3), pp. 905–912.

20. Morimoto N. et al. Nomenclature of pyroxenes. *The Canadian Mineralogist*, 1989, V. 27, pp. 143–156.

21. Whitney D. L., Bernard W. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*. V. 95, pp. 185–187.