
**ДИСКУССИИ, КРИТИКА,
БИБЛИОГРАФИЯ**

**ПОЛИМИНЕРАЛЬНЫЕ ПСЕВДОМОРФОЗЫ ПО ГРАНАТУ
В АМФИБОЛИТАХ ИЛЬМЕНСКИХ ГОР¹**

© 2022 г. Почетн. чл. В. А. Попов*

*Институт минералогии УрО РАН,
тер. Ильменский заповедник, Миасс, Челябинская область, 456317 Россия
e-mail: popov@mineralogy.ru

Поступила в редакцию 30.04.2022 г.
После доработки 25.05.2022 г.
Принята к публикации 14.06.2022 г.

Онтогенический анализ гранатового амфиболита ильменской толщи ильменогорского комплекса показывает, что горная порода состоит из трех последовательно образовавшихся минеральных агрегатов, как бы вставленных друг в друга. Ранний минеральный агрегат соответствует магматической горной породе, состоящей из плагиоклаза (An_{31}), амфибола, кварца, хлорита, титанита, ильменита, эпидота, апатита и циркона (амфиболовое габбро или диорит). Следующий по времени минеральный агрегат представлен метакристаллами альмандина. Поздний минеральный агрегат сложен плагиоклазом (An_{50}), амфиболом, магнетитом и биотитом (метасоматит, развившийся избирательно по гранату).

Ключевые слова: метакристаллы альмандина, полиминеральные псевдоморфозы, амфиболиты, онтогенический анализ, Ильменские горы

DOI: 10.31857/S0869605522040062

ВВЕДЕНИЕ

Гранатсодержащие амфиболиты в Ильменских горах известны давно и петрографически подробно описаны (Заварицкий, 1939; Левин, 1974; Никандров, Никандров, 2017). Петрология ильменогорских амфиболитов освещена в работе Л.Л. Перчука и Г.Г. Доминиковского (1969). Типохимизму гранатов ильменогорского комплекса также уделено внимание в обширном исследовании А.Г. Баженова с соавторами (1978). Онтогенез граната и самих амфиболитов не рассматривался. Плагиоклазовые оторочки вокруг гранатовых индивидов в амфиболитах наблюдались неоднократно, но в моделировании онтогенеза горных пород они не учитывались. Метакристаллы граната в ильменской амфиболит-гнейсовой толще (район копи № 50) описаны ранее (Попов и др., 1986). В указанной работе описаны крупные метакристаллы граната с блестящими гранями ромбододекаэдров, не подверженные последующим изменениям.

В данной работе рассмотрен один из ярких примеров возникновения полиминеральных псевдоморфоз по одному минералу – альмандину. Исследования проведены

¹ Выводы о магматической природе “раннего минерального парагенезиса”, равно как и предположение о метасоматическом происхождении граната, изложенные в статье, не представляются убедительными, поскольку достоверной аргументации в пользу этого не приведено, и вступают в противоречие с традиционными представлениями о гранатсодержащих амфиболитах, как метаморфических породах, возникших в условиях амфиболитовой фации. Вокруг кристаллов граната в таких породах, если они в ходе метаморфизма испытали декомпрессию, развиваются келифитовые оторочки, в состав которых входят плагиоклаз (более основной, чем в матриксе), биотит и рудные минералы. *Прим. редколлегии.*

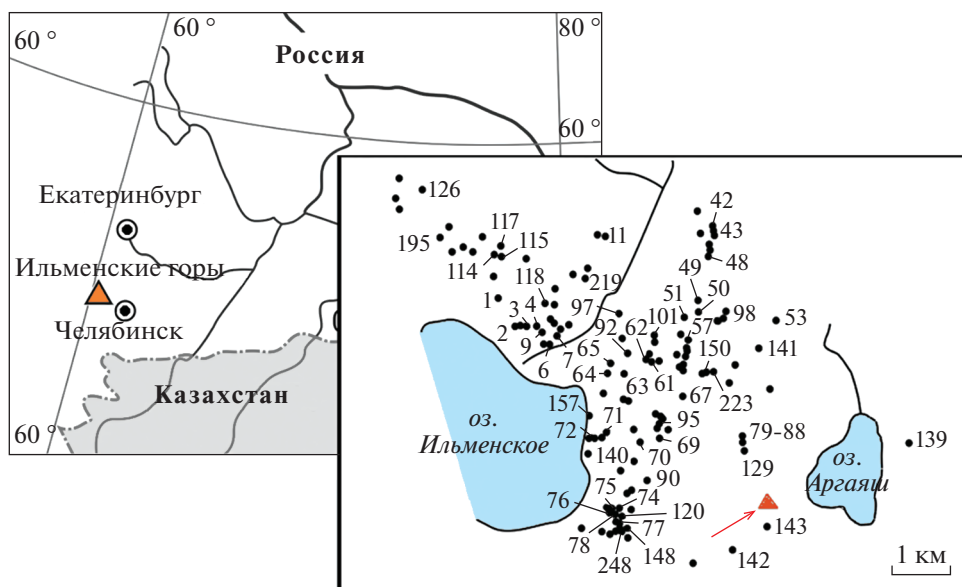


Рис. 1. Местоположение изученного образца амфиболита на южной части схемы размещения копей Ильменского заповедника (показан стрелкой).

Fig. 1. The location of the studied amphibolite sample on the southern part of the mine placement scheme of the Ilimen Reserve (shown by an arrow).

оптическим и микрондовым (сканирующий электронный микроскоп Tescan Vega 3 с ЭДС, аналитик И.А. Блинов) методами в одном представительном образце амфиболитов из района копи № 143 (ильменская толща) на западном берегу озера Аргаяш (рис. 1).

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ МИНЕРАЛЬНЫХ ПАРАГЕНЕЗИСОВ В АМФИБОЛИТАХ

В изученном образце не наблюдается ростовых поверхностей у индивидов граната, нет крупных включений, дающих информацию об его относительном возрасте. Можно предполагать метасоматическое происхождение граната по аналогии с другими частями ильменской толщи (Попов и др., 1986). Фактически в описываемой породе имеют место два вида полиминеральных псевдоморфоз (метасоматитов): по гранату (плагноклаз + амфибол + магнетит + биотит) и по редким мелким кристаллам ильменита (магнетит + рутил). Первый тип заметен без увеличения (рис. 2), второй — только при сильном увеличении (рис. 3). Нет морфологических признаков, но возможно синхронное развитие этих существенно разных метасоматитов в одной породе по разным минералам.

По внешнему виду описываемый амфиболит является полосчатой породой с хорошо выраженной линейной ориентировкой удлиненных индивидов амфибола. Контраст полосчатости придают тонкие параллельные жилки плагноклазового состава с редкими зернами кварца (рис. 2). Эти жилки заполнения плагноклазом (лабрадором) щелей наследуют в породе ранний кливаж, трещиноватость по которому ранее способствовала развитию метакристаллов граната. Относительный возраст плагноклазовых (лабрадоровых) жилок заполнения соответствует плагноклазовым (по преобладанию) метасома-

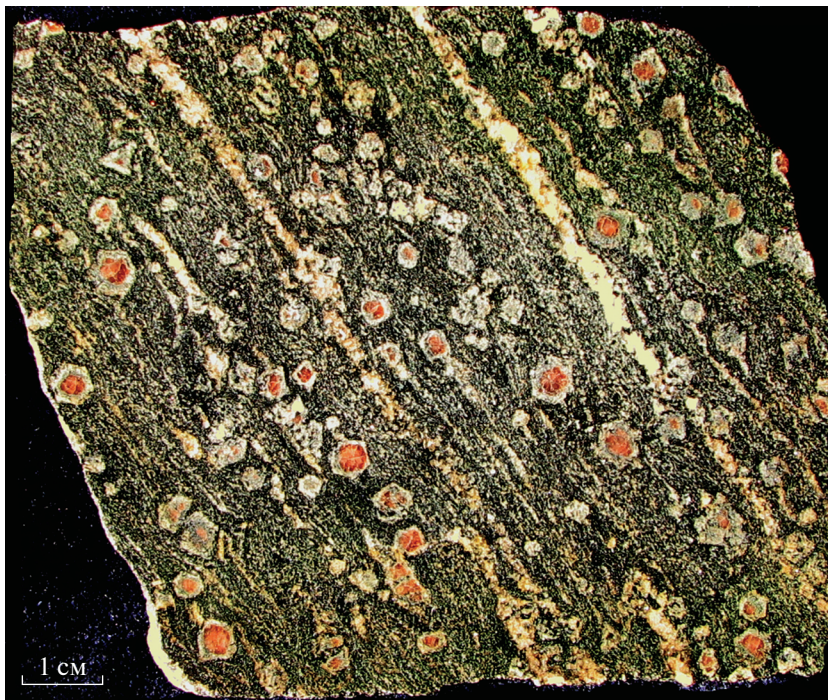


Рис. 2. Гранатсодержащий амфиболит из района копи № 143 Ильменского заповедника. Полированный образец.

Fig. 2. Garnet-containing amphibolite from the mine district No. 143 of the Ilmen Reserve. Polished sample.

тическим зонам, развитым по гранату. Более поздние хрупко-пластические деформации привели к облеканию кристаллов граната амфибол-плагиоклазовым агрегатом с изгибом и раздавливанием части удлинённых индивидов амфибола (рис. 4).

Самый ранний парагенезис, установленный в образце, представлен среднезернистым амфибол-плагиоклазовым агрегатом с небольшим количеством кварца, хлорита, мелкозернистого титанита, акцессорных апатита, циркона и эпидота (рис. 5). Между всеми названными минералами наблюдаются поверхности одновременного роста и включения их друг в друга. Кажущееся дискуссионным нахождение в этом парагенезисе хлорита и эпидота, не обнаружило никаких признаков позднего наложения. Среди агрегатов раннего парагенезиса встречены небольшие плагиоклазовые обособления (типа остаточных миарол) со скоплениями зерен апатита и ильменита (рис. 5). По химическому составу амфибол раннего парагенезиса можно отнести к серии паргасита—гастингсита. Синхронный с ним плагиоклаз является андезином (точка d на рис. 5, a). Хлорит является второстепенным минералом этого парагенезиса (рис. 5, в, точка n). Ильменит образовал редкие и мелкие субизометричные зерна либо скопления более крупных толстотаблитчатых кристаллов (рис. 5, a, б). Титанит представлен “сыпью” очень мелких таблитчатых зерен, включённых преимущественно в амфиболах.

Среди сравнительно однородных индивидов амфибола, плагиоклаза и хлорита резко выделяются зонально-секториальные таблитчатые зерна редкоземельного эпидота, и алланита-(Ce) (рис. 5, точки m, n).

Акцессорный циркон образует мелкие изометричные кристаллы, имеющие индукционные поверхности одновременного роста со всеми минералами раннего парагенезиса.

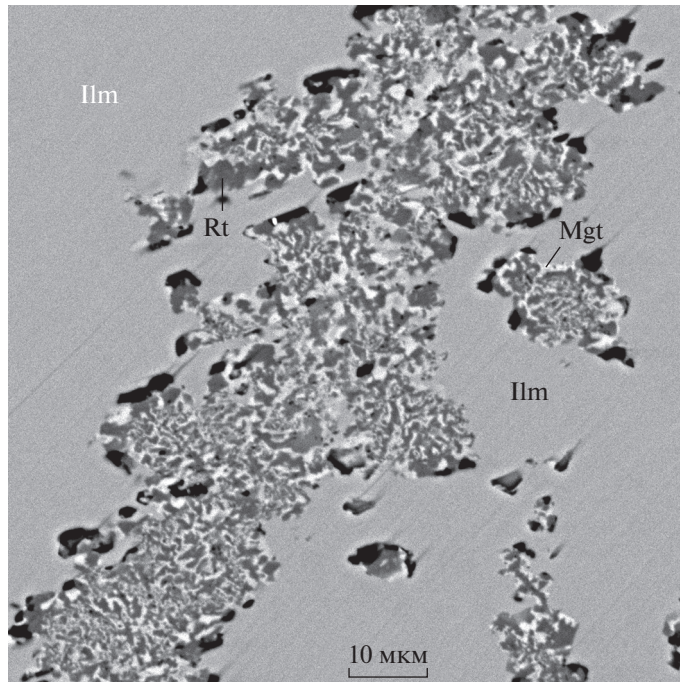


Рис. 3. Рутил-магнетитовый метасоматит вдоль трещины в кристалле ильменита из амфиболита. Черное – поры. Изображение в отраженных электронах.

Fig. 3. Rutile-magnetite metasomatite along a crack in an amphibolite ilmenite crystal. Black is the pores. BSE image.

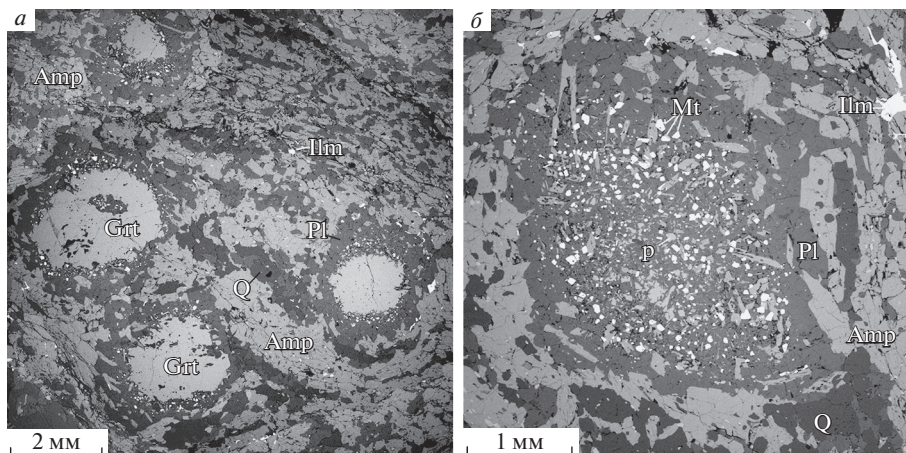


Рис. 4. Зональность псевдоморфоз по гранату (а) и облегающее расположение индивидов амфибола раннего парагенезиса вокруг псевдоморфоз (б). Изображения в отраженных электронах.

Fig. 4. Zonality of pseudomorphosis by garnet (a) and the enveloping arrangement of amphibole individuals of early paragenesis around pseudomorphoses (b). BSE images.

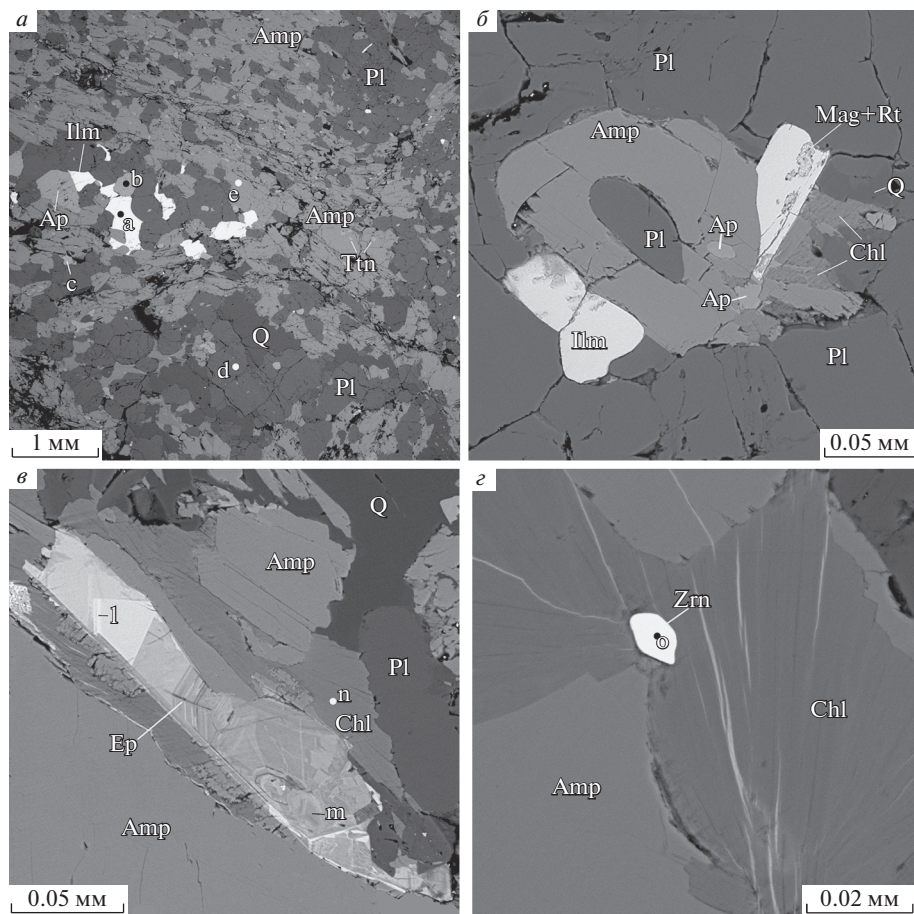


Рис. 5. Минералы раннего парагенезиса амфиболита (см. текст). Pl – плагиоклаз, Amp – амфибол, Q – кварц, Ilm – ильменит, Ap – апатит, Mag – магнетит, Rt – рутил, Chl – хлорит (клинохлор), Ep – эпидот, Zrn – циркон. Изображения в отраженных электронах.

Fig. 5. Minerals of the early paragenesis of amphibolite (see text). Pl – plagioclase, Amp – amphibole, Q – quartz. Ilm – ilmenite, Ap – apatite, Mag – magnetite, Rt – rutile, Chl – chlorite (clinochlore), Ep – epidote, Zrn – zircon. BSE images.

зиса (например, рис. 5, точка о). Акцессорный апатит встречается в виде короткопризматических зерен (рис. 5, б) среди минералов раннего парагенезиса.

В течение следующего промежутка времени онтогенеза изученного амфиболита произошло образование метакристаллов граната – высококальциевого альмандина. Это предположение о генезисе граната вытекает из того, что его индивиды не несут признаков ранней (магматической) кристаллизации, в них нет востков ранних минералов, поверхность ромбододекаэдров, судя по некоторым четким сечениям (рис. 2), была идиоморфной, явной асимметрии кристаллов не наблюдается. Микронзондовый анализ состава в разных зернах изученного образца дает близкие результаты.

По данным изучения развалов, распределение граната в амфиболитовом теле неоднородное, местами гранат не фиксируется.

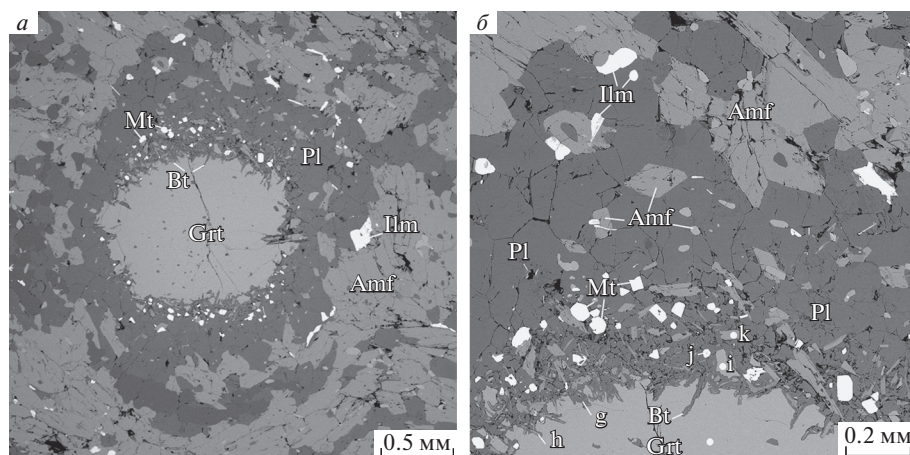


Рис. 6. Анатомическое устройство полиминеральных псевдоморфоз по гранату (поздний парагенезис). Изображения в отраженных электронах.

Fig. 6. Anatomical structure of polymineral pseudomorphoses according to garnet (late paragenesis). BSE-images.

После граната в породе по активированной системе кливажа возникло множество мелких трещин, вдоль которых прошли процессы метасоматоза по гранату и заполнения открытых щелей преимущественно плагиоклазовым агрегатом, иногда с кварцем (см. рис. 2). В процессе избирательного метасоматоза по гранату возникли зональные полиминеральные псевдоморфозы (рис. 6).

От периферии к центру псевдоморфоз намечаются следующие зоны: амфибол-плагиоклазовая → магнетит-амфибол-плагиоклазовая → биотит-магнетит-амфибол-плагиоклазовая. Минералы в псевдоморфозах имеют по составу и форме свои характеристики, отличающиеся от минералов раннего парагенезиса. Плагиоклаз по составу отвечает лабрадору, амфибол имеет длиннопризматический габитус и состав магнезиогастингсита. Внутренняя зона псевдоморфозы имеет более мелкозернистую структуру по сравнению с периферической зоной (рис. 6). При большом увеличении во всех псевдоморфозах заметна микропористость (рис. 6, б), которая отсутствует в агрегате раннего парагенезиса.

В большинстве индивидов ильменита встречаются участки рутил-магнетитового замещения с развитием микропор (рис. 3). Здесь псевдоморфизация (изредка полная) развилась около секущих трещин в ильмените, т.е. морфологически резко отличается от концентрически-зональных псевдоморфоз по гранату (рис. 4, 6). По-видимому, это связано с закономерностями развития (раскрытия) трещин в полиминеральном разномзернистом агрегате. Наличие магнетита в метасоматите по ильмениту, возможно, указывает на синхронность его с магнетит-биотит-амфибол-плагиоклазовым метасоматитом по гранату.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Онтогенез изученной горной породы (амфиболита) представлен тремя последовательно возникшими минеральными агрегатами (парагенезисами): (1) плагиоклаз + амфибол + кварц + хлорит + ильменит + эпидот + апатит + титанит + циркон → (2) гранат → (3) плагиоклаз + амфибол + магнетит + биотит. Тонкие плагиоклазовые жилки заполнения щелей комплементарны метасоматозу по гранату и относятся к

позднему времени формирования амфиболита. К позднему времени относится и рutil-магнетитовый парагенезис в ильмените, который почти не заметен в породе из-за небольшого количества мелких зерен исходного ильменита.

В агрегате раннего (1) парагенезиса нет признаков развития по какому-либо предшествующему агрегату (метасоматоза или перекристаллизации). Структура его мелко-среднезернистая, близкая к равнозернистой. Между всеми минералами наблюдаются индукционные поверхности одновременного роста. Минеральный состав и структура соответствуют магматической горной породе — кварцсодержащему амфиболовому габбро. Сначала это габбро (или диорит) превратилось в амфиболит вследствие слабой пластической деформации с возникновением кливажа и субплоскостной ориентировки удлиненных индивидов амфибола. В большей части породы пластическая деформация не сказалась на форме индукционных поверхностей, нет растрескивания кристаллов, нет явлений рекристаллизации зерен кварца и плагиоклаза, которые обычно бывают первыми подвержены этим явлениям.

Образованию метакристаллов граната, по-видимому, предшествует развитие тонкой трещиноватости по кливажной системе. Синхронных с гранатом минералов не обнаружено. В кристаллах граната не видно зональности по составу, и нет “теней” от предшествующих минералов. Пластических деформаций породы во время роста гранатовых кристаллов не наблюдалось: нет признаков их “ростового” вращения или отрывов от других минералов с образованием “рубашек” (“двориков”). Возможно, это говорит об отсутствии сильных сжимающих усилий (стресса) во время роста граната.

После образования метакристаллов граната возобновились пластические деформации, проявленные в сдавливании индивидов граната плагиоклаз-амфиболовым агрегатом с появлением “очковых” текстур. Активировались кливажные трещины, вдоль которых прослеживаются тонкие плагиоклазовые жилки, по гранату стали развиваться полиминеральные псевдоморфозы, а по трещинам в зернах ильменита — рutil-магнетитовые метасоматиты. Замещению избирательно подверглись лишь гранат и ильменит. В других минералах изменений не наблюдалось. При большом увеличении можно заметить появление микропористости в пределах метасоматических агрегатов. Поскольку возникли неполные псевдоморфозы по гранату и ильмениту, можно предполагать, что процесс замещения был резко прерван.

В моделировании онтогенеза изученного амфиболита могут быть важны некоторые особенности минерального и химического состава. Так, практически все минералы раннего (магматического) парагенезиса не имеют яркой (контрастной) неоднородности, но синхронный с ними эпидот представлен резко зонально-секториальным анатомическим устройством по распределению редких земель. Отсутствие синхронных с гранатом минералов и наличие его только в отдельных участках геологического тела указывают на его метасоматическое происхождение. В процессе образования псевдоморфоз по гранату заметно изменение состава “сквозных” минералов горной породы: андезин в раннем парагенезисе → лабрадор в псевдоморфозе, паргасит-гастингсит (призматический) → ферримагнезиотарамит (длиннопризматический и мелкий). Ильменит есть только в раннем магматическом парагенезисе, а магнетит — только в позднем. Биотит появился в горной породе только в конце формирования псевдоморфоз. Кварц, циркон, апатит и титанит есть только в раннем (магматическом) парагенезисе.

Модель онтогенеза гранатсодержащего амфиболита ильменской толщи из района копи № 143 Ильменского заповедника показывает, что горная порода представлена тремя последовательно образовавшимися минеральными агрегатами (парагенезиса-

ми). Эти агрегаты как бы вложены друг в друга и занимают единый объем, но их минералы образовались при разных физико-химических условиях, судя по минеральному и химическому составу последовательных парагенезисов. Отсюда следует, что этому “амфиболиту” нельзя приписывать единые условия образования, единые петрохимические характеристики, единый “абсолютный возраст”, нельзя подходить с единой меркой при подсчете “запасов” минерального сырья какого-либо качества (например, граната, редкоземельного эпидота). Следует ожидать, что в разных частях геологического тела – дайки, слоя, толщи – количественные соотношения разных по относительному возрасту агрегатов (парагенезисов) могут быть различны в зависимости от развития трещинных структур во времени и в пространстве геологического блока.

По-видимому, имеет смысл обратить внимание на то, что в единой горной породе – амфиболите – могут одновременно развиваться разные минеральные типы метасоматитов при избирательном метасоматозе. В нашем случае, по гранату развился зональный метасоматит, состоящий из плагиоклаза, амфибола, магнетита и биотита, а по редкому и мелкому ильмениту – из магнетита и рутила. В обоих случаях в метасоматитах заметно возросла микропористость по сравнению с исходным минеральным агрегатом.

Автор благодарит И.А. Блинова за микронзондовые исследования составов минералов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Баженов А.Г., Звонарёва Г.К., Иванов Б.Н., Кутепова Л.А., Попов В.А. Типохимизм гранатов Ильменогорского комплекса. В кн.: Минералогия и петрография Южного Урала. Свердловск, 1978. С. 3–17.

Заварицкий А.Н. Геологический и петрографический очерк Ильменского минералогического заповедника и его копей. М.: Главное управление по заповедникам, 1939. 318 с.

Левин В.Я. Щелочная провинция Ильменских-Вишнёвых гор. М.: Наука, 1974. 223 с.

Никандров А.С., Никандров С.Н. Особенности состава основных породообразующих минералов амфиболитов ильменской серии Ильменогорского комплекса (Южный Урал). Вестник геонаук. 2017. № 4. С. 3–11.

Перчук Л.Л., Доминиковский Г.Г. Закономерности минеральных парагенезисов ильменогорских амфиболитов, кристаллических сланцев и мигматитов / Магматические формации, метаморфизм, металлогения Урала. Тр. Второго Уральского петрографического совещания, 1969. С. 53–61.

Попов В.А., Макагонов Е.П., Никандров С.Н. Ретроспективная модель становления фенито-вой минеральной формации в Ильменогорско-Вишневогорском комплексе щелочных пород. В кн.: Материалы к топоминералогии Урала. Свердловск, 1986. С. 25–45.

Polymineral Pseudomorphoses after Garnet in Amphibolite from Ilmeny Mountains

V. A. Popov*

^aInstitute of Mineralogy, Ural Branch RAS, Ilmen Nature Reserve, Miass, Chelyabinsk Oblast, Russia

**e-mail: popov@mineralogy.ru*

The ontogenic analysis of garnet amphibolite from the Ilmeny strata of the Ilmenogorsky alkaline complex shows that the rock consists of three successively formed mineral aggregates, as if inserted into each other. The early mineral aggregate corresponds to an igneous rock consisting of plagioclase, amphibole, quartz, chlorite, titanite, ilmenite, epidote, apatite, and zircon (amphibole gabbro). The next mineral aggregate is represented by almandine metacrystals. The late mineral aggregate is composed of plagioclase, amphibole, magnetite, and biotite as metasomate, developed selectively after garnet, and rutile with magnetite, developed selectively after ilmenite.

Keywords: almandine metacrystals, polymineral pseudomorphoses, amphibolites, ontogenic analysis, Ilmen Mountains

REFERENCES

Bazhenov A.G., Zvonareva G.K., Ivanov B.N., Kutepova L.A., Popov V.A. Typochemistry of pomegranates of the Ilmenogorsky complex. In: *Mineralogy and petrography of the Southern Urals*. Sverdlovsk, **1978**. P. 3–17 (*in Russian*).

Levin V.Ya. Alkaline province of Ilmen-Cherry mountains. Moscow: Nauka, **1974**. 223 p. (*in Russian*).

Nikandrov A.S., Nikandrov S.N. Features of the composition of the main rock-forming minerals of amphibolites of the Ilmen series of the Ilmenogorsky complex (Southern Urals). *Bull. Geosci.* **2017**. N 4. P. 3–11 (*in Russian*).

Perchuk L.L., Dominikovskiy G.G. Regularities of mineral paragenesis of Ilmenogorsky amphibolites, crystalline shales and migmatites. Igneous formations, metamorphism, metallogeny of the Urals. In: *Proc. Second Ural Petrographic Conf.* **1969**. P. 53–61 (*in Russian*).

Popov V.A., Makagonov E.P., Nikandrov S.N. A retrospective model of the phenite mineral formation in the Ilmenogorsk-Vishnevogorsk complex of alkaline rocks. In: *Materials for the topomineralogy of the Urals*. Sverdlovsk, **1986**. P. 25–45 (*in Russian*).

Zavaritsky A.N. Geological and petrographic sketch of the Ilmen Mineralogical Reserve and its mines. Moscow: Directorate General for Nature Reserves, **1939**. 318 p. (*in Russian*).