

УДК 552.13

DOI: 10.24930/1681-9004-2018-18-6-859-869

ПЕТРОГРАФИЯ ГРАНАТСОДЕРЖАЩИХ ПОРОД УФАЛЕЙСКОГО БЛОКА, ЮЖНЫЙ УРАЛ

© 2018 г. Л. Я. Кабанова^{1,2}, В. Н. Анфилов^{1,2}, М. А. Игуменцева¹, В. А. Котляров¹

¹Институт минералогии УрО РАН, 456317, Миасс, Ильменский заповедник, e-mail: kablar@mineralogy.ru

²Южно-Уральский государственный университет, филиал в г. Миассе, 456304, Миасс, ул. 8 Июля, 10

Поступила в редакцию 31.08.2017 г., принята к печати 07.10.2017 г.

Объект исследования. В статье приведены данные результатов петрографического изучения гранатосодержащих пород Уфалейского комплекса, залегающего на границе Уфалейского метаморфического гнейсово-амфиболитового блока с Главным Уральским разломом (ГУР). **Методы.** Петрографические исследования проводились с помощью поляризационных микроскопов Axiolab ZS и Olympus BX 51 с цифровыми приставками. Химический состав гранатов выполнен на растровом электронном микроскопе РЭММА-202М с энергодисперсионным спектрометром LZ-5 (SiLi детектор, разрешение 140 eV). Ускоряющие напряжения 20 или 30 кВ при токах зонда 4–6 нА, диаметр пучка 1–2 мкм. **Результаты.** Исследования позволили выделить два типа пород. Один, в которых гранат образовался по амфиболу (амфиболиты и горнблендиты), и второй, в которых гранат является первичным минералом (метаморфические сланцы). В породах первого типа вместе с гранатом образуются цоизит и хлорит. СаО, MgO, FeO и Al₂O₃ извлекались из амфибола, в процессе кристаллизации граната, часть этих компонентов пошла на формирование цоизита и хлорита, а освободившийся кремнезем образовал кварц. Зерна граната в этих породах на 64–68% состоят из альмандина. Остальные 32–36% представлены кальциевым миналом, с некоторым преобладанием grosularовой составляющей (22%). На долю пиропового минала приходится 10% и всего 5% – на спессартиновый минал. В породах второго типа, представленных биотит-роговообманковыми, биотит-хлорит-кварцевыми и двуслюдяными сланцами, гранат является первичным минералом, образованным по исходным породам в процессе прогрессивного метаморфизма. Состав граната в этих породах коррелирует с составом исходной породы. В зернах граната появляется микрозональность, которая фиксируется увеличением содержания кальциевого минала от центра зерна к периферии. В зернах граната из биотит-роговообманковых сланцев в центре фиксируется повышенное содержание марганцевого минала. **Выводы.** Комплекс гранатосодержащих пород с высоким содержанием гранулированного кварца может представлять интерес как сырье для получения чистых кварцевых концентратов. В работе приведены результаты детального петрографического изучения всех типов пород комплекса и рассмотрены возможные варианты их генезиса.

Ключевые слова: гранатосодержащие породы, амфиболит, горнблендит, сланец, минал

PETROGRAPHY OF GARNET-CONTAINING ROCKS OF THE UFALEI BLOCK, THE SOUTHERN URALS

Larisa Ya. Kabanova^{1,2}, Vsevolod N. Anfilogov^{1,2}, Mariya A. Igumentseva¹, Vasilii A. Kotlyarov¹

¹Institute of Mineralogy, Urals Branch of the Russian Academy of Sciences, Ilmensky Reserve, Miass 456317, Russia, e-mail: kablar@mineralogy.ru

²South-Ural State University, a branch in Miass, 10 July 8, Miass 456304, Russia

Received 31.08.2017, accepted 07.10.2017

Object of study. The article presents of the petrographic study results of the garnet-containing rocks from the Ufaleiskii complex, located on the border of the Ufaleyskii metamorphic gneiss-amphibolite block with the Main Ural Fault (GUR). **Methods.** Petrographic studies were conducted using a polarizing microscope Axiolab ZS and Olympus BX 51. Chemical composition of garnets is performed on the raster electron microscope of the РЭММА-202М with an energy dispersive spectrometer LZ-5. **Results.** Investigations made it possible to distinguish two types of garnet-containing rocks. One type, in which garnet was formed after amphibole (amphibolites and gornbendites), and the second one, in which garnet is the primary mineral (metamorphic schists). Zoisite and chlorite are formed in rocks of the first type together with granate. СаО, MgO, FeO and Al₂O₃ were extracted from amphibole, in the process of crystallization of garnet, some of these components went to form zoisite and chlorite, and the released silica formed quartz. Garnet grains in these rocks are 64–68% composed of almandine. In the rocks of the second type, represented by biotite-hornblende, biotite-chlorite-quartz and double-mica schists, garnet is the primary mineral formed from the original rocks in the process of progressive metamorphism.

Для цитирования: Кабанова Л.Я., Анфилов В.Н., Игуменцева М.А., Котляров В.А. (2018) Петрография гранатосодержащих пород Уфалейского блока, Южный Урал. *Литосфера*, **18**(6), 859–869. DOI: 10.24930/1681-9004-2018-18-6-859-869

For citation: Kabanova L.Ya., Anfilogov V.N., Igumentseva M.A., Kotlyarov V.A. (2018) Petrography of garnet-containing rocks of the Ufalei block, the Southern Urals. *Litosfera*, **18**(6), 859–869. DOI: 10.24930/1681-9004-2018-18-6-859-869

The composition of the garnet in these rocks correlates with the composition of the original rock. *Conclusion.* A complex of garnet-containing rocks with a high content of granulated quartz may be of interest as a raw material for obtaining pure quartz concentrates. The paper presents the results of a detailed petrographic study of all types of rocks of the complex and discusses possible options for their genesis.

Keywords: garnet-containing rocks, amphibolite, hornblendite, shists, minal

ВВЕДЕНИЕ

На границе с ГУР на территории Уфалейского метаморфического гнейсово-амфиболитового блока существует комплекс гранат-содержащих пород, представленных амфиболитами, горнблендитами, биотитовыми, биотит-мусковитовыми, биотит-

хлорит-кварцевыми и биотит-роговообманковыми сланцами, в разной степени измененными и часто содержащими прослои и линзы кварца. Наиболее полно этот комплекс пород наблюдается на участке между пос. Слюдорудник на севере и ручьем Дурашкин на юге. Гранат присутствует практически во всех разновидностях пород (рис. 1) и являет-

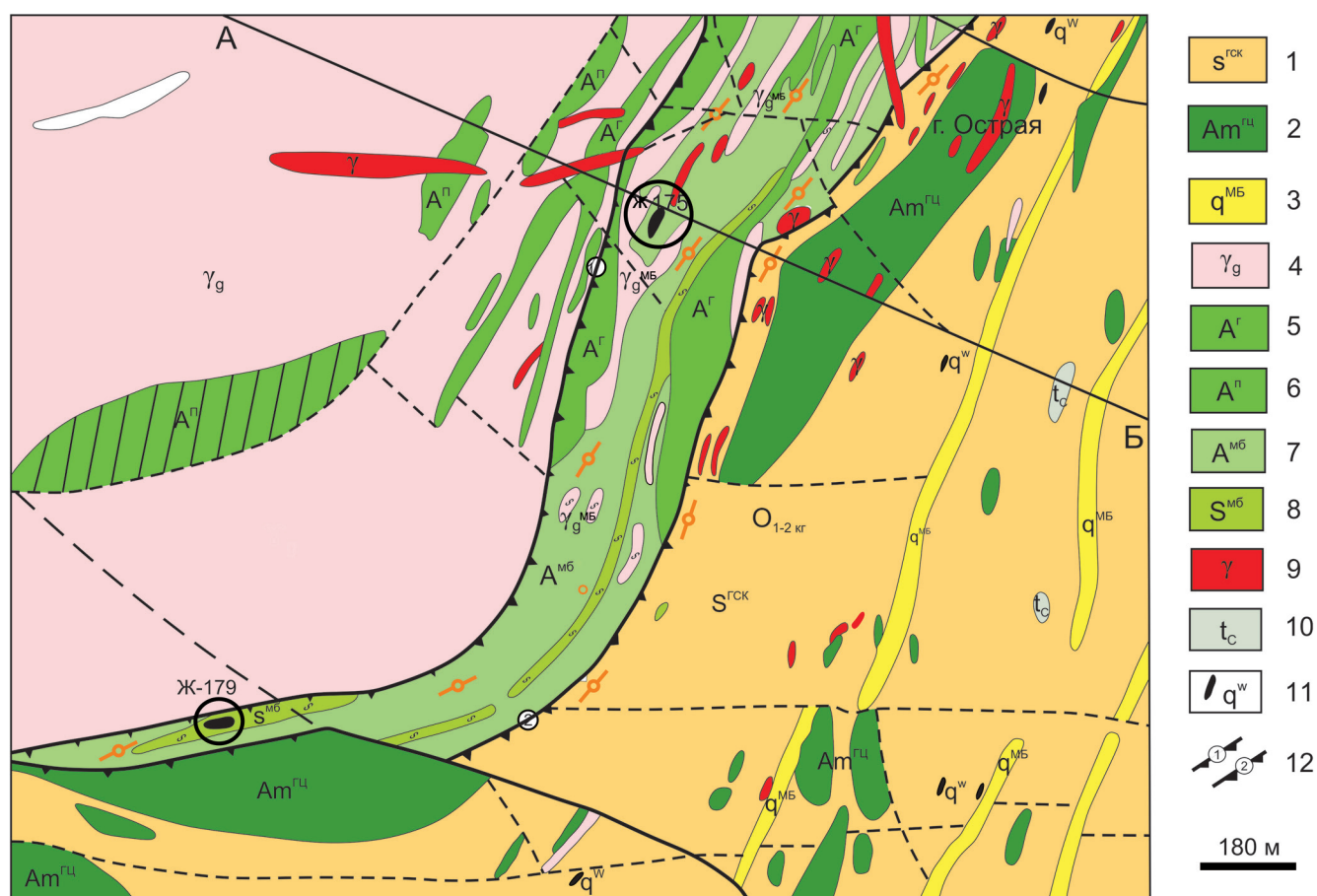


Рис. 1. Схематическая геологическая карта южной части Кыштымского месторождения гранулированного кварца. Масштаб 1 : 18 000 [Мельников, 1988].

1 – сланцы гранат-слюдяно-кварцевые, бластомилониты; 2 – амфиболиты гранат-цоизитовые, апогаббровые; 3 – кварциты слюдистые, сланцы графито-слюдяно-кварцевые; 4 – гранито-гнейсы; 5 – амфиболиты гранатовые; 6 – амфиболиты плагиоклазовые; 7 – амфиболиты двуслюдяные; 8 – сланцы мусковит-биотитовые; 9 – граниты биотит-мусковитовые; 10 – тальк-карбонатные породы; 11 – кварцевые жилы; 12 – тектонические разломы.

Fig. 1. Schematic geologic map of the southern part of Kyshtimskoe deposits of granulated quartz. Scale 1 : 18 000 [Mel'nikov, 1988].

1 – garnet-mica-quartz schists, blastomylonite; 2 – garnet-zoisite amphibolite, appogabbro; 3 – mica quartzite, graphite-mica-quartz schists; 4 – granite-gneisses; 5 – amphibolites garnet; 6 – plagioclase amphibolites; 7 – two mica amphibolites; 8 – muscovit-biotite schists; 9 – biotite-muscovite granite; 10 – talc-carbonate rocks; 11 – quartz veins; 12 – tectonic faults.

ся индикаторным минералом. Его содержание варьирует в пределах от 5 до 25–40%. Минералогия и петрохимия этих пород подробно описаны в работе А.И. Белковского [2011]. По содержанию SiO_2 породы комплекса делятся на три группы: 52–60, 60–70 и более 70 мас. %. А.И. Белковский отмечает, что породы с высоким содержанием SiO_2 могут представлять интерес как нетрадиционный источник кварцевого сырья.

В данной статье приводятся результаты петрохимического изучения гранатов и минералогическо-петрографические особенности вмещающих пород. По содержанию граната и минералогическому составу породы комплекса можно разделить на два типа.

1. Породы, в которых гранат образуется по амфиболу в процессе ретроградного метаморфизма. Они представлены гранатосодержащими горнблендитами и амфиболитами.

2. Породы, в которых гранат является породообразующим минералом, возникшим в процессе метаморфизма исходных, скорее всего осадочных, пород с повышенным содержанием FeO и Al_2O_3 .

Комплекс гранатосодержащих пород интересен тем, что в его составе присутствуют породы с высоким содержанием гранулированного кварца и они могут служить сырьем для получения чистых кварцевых концентратов. В работе приведены результаты детального петрографического изучения всех перечисленных выше типов пород комплекса и рассмотрены возможные варианты их генезиса.

На рисунках приняты следующие обозначения минералов: *Gr* – гранат, *Mus* – мусковит, *Chl* – хлорит, *Pl* – плагиоклаз, *Q* – кварц, *Ep* – эпидот, *Mt* – магнетит, *Rt* – рутил, *Amf* – амфибол, *Zo* – цоизит, *cZo* – клиноцоизит.

Гранатовые горнблендиты

Небольшие выходы интрузивных пород представлены интенсивно измененными горнблендитами и габброидами, содержащими разное количество граната. Гранатовые горнблендиты в шлифах характеризуются гипидиоморфнозернистой, неравномерно зернистой, местами порфировидной структурой. Порфировидные выделения представлены гранатом, иногда в ассоциации с цоизитом или эпидотом (рис. 2а).

Минералогический состав породы следующий, об. %: амфибол – 60–63, эпидот + цоизит – 15–20, кварц – 10–15, гранат – 5–7, акцессорные – 2–3. Зерна граната деформированы, по трещинкам гематитизированы (см. рис. 2а), содержат мелкие включения кварца, амфибола и рутила. Состав гранатов стабильный, о чем свидетельствует распределение компонентов по профилю а–1 (рис. 3). На долю альмандинового минала приходится 64%.

Амфибол представлен чермакитом, образует зерна удлиненно-призматической формы размером до 5 мм, окрашенные в синевато-зеленый цвет, часто содержат включения кварца (см. рис. 2б). Рутил наблюдается в скоплениях из нескольких мелких зерен размером менее 0.01 мм. Эпидот, цоизит

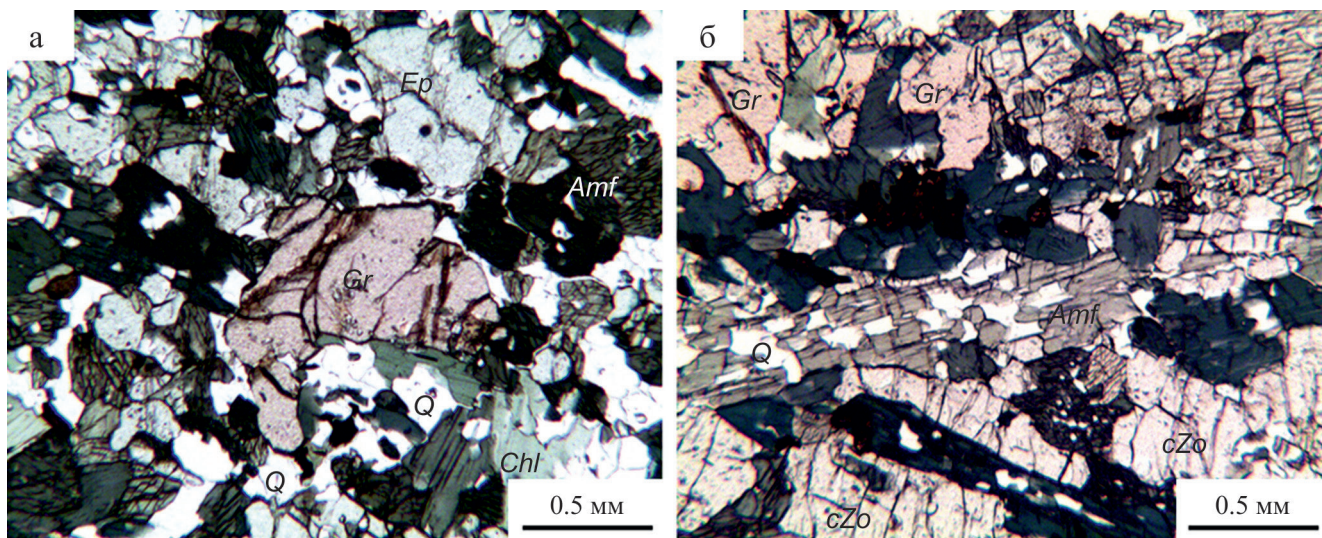


Рис. 2. Зерна граната в горнблендите.

а – гранат с эпидотом, б – удлиненные зерна амфибола (чермакита) с включениями кварца. Шлиф М 8-2/16. Без анализатора.

Fig. 2. Garnet grains in hornblendite.

а – garnet with epidote, б – elongated grains of amphibole with inclusions of quartz. Thin section M 8-2/16. Without analyser.

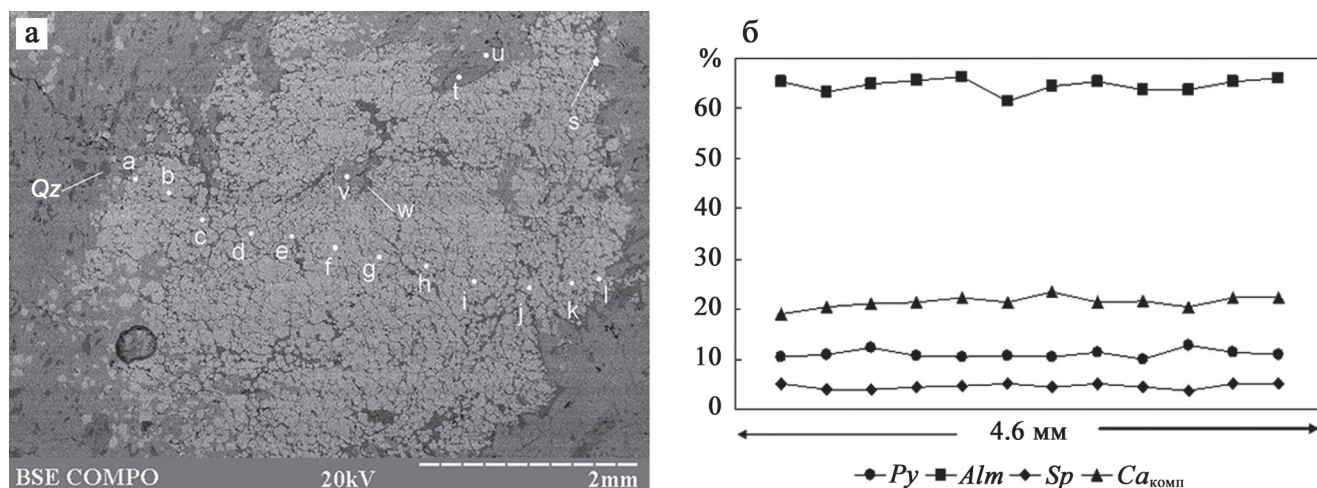


Рис. 3. Электронная фотография зерна граната в отраженных электронах (а) и распределение компонентов в данном зерне по профилю а-л (б).

Py – пироп, *Alm* – альмандин, *Sp* – спессартин, *Ca_{комп}* – Ca-компонент.

Fig. 3. Electronic photography of garnet grain (a) and distribution of components in the garnet grain on the profile a-l (б).

Py – pyrope, *Alm* – almandine, *Sp* – spessartine, *Ca_{комп}* – Ca component.

и клиноцоизит встречаются в зернах неправильной формы размером от 0.1 до 1.0 мм в ассоциации с гранатом и кварцем. В клиноцоизите содержатся включения амфибола, кварца и альбита.

Гранатовые амфиболиты

Гранатовые амфиболиты слагают вытянутые по склону гряды выходы мощностью от 2–3 до 10 м и прослеживаются по простираанию на протяжении до 100 м. Простираание пород 320–330°. Породы темно-серые, почти черные, с зеленоватым оттенком, часто полосчатые с порфиробластами граната, с кварцевыми и кварц-полевошпатовыми прослоями и линзами. Гранат образует зерна размером от 2–3 мм до 1.0 см. В шлифах амфиболиты характеризуются линзовидно-полосчатой текстурой, порфиробластовой структурой и нематогранобластовой структурой основной ткани.

Порфиробласты граната преимущественно находятся в меланократовых слоях, реже в лейкократовых, в ассоциации с кварцем, плагиоклазом и эпидотом, где составляют до 5 об. % (рис. 4).

Гранат в порфиробластах представлен идиоморфными зернами размером 0.5–4.0 мм, окрашенными в шлифе в розоватый цвет. Зерна интенсивно деформированы, внутризерновые трещины залечены тонким агрегатом хлорит-слюдистого материала. Гранат содержит многочисленные включения кварца, эпидота и цоизита, более крупные в краевых частях (0.01–0.1 мм) и мелкие (менее 0.01 мм), хаотично расположенные в центре. Все зерна граната содержат тонкую вкрапленность рутила, от-

дельные – рутила и титаномагнетита размером 0.01–0.03 мм. В лейкократовых прослоях и линзах, сложенных кварц-альбитовым агрегатом, обычны зерна амфибола, эпидота и клиноцоизита.

На отдельных участках наблюдаются амфиболиты, содержащие до 15–20% граната. Макроскопически это породы темно-зеленого цвета с прослоями и линзами кварцевого и слюдисто-кварцевого агрегата мощностью от 2–3 мм до 1.0 см. Структура неравномернотекстурированная, текстура линзовидно-полосчатая. В шлифах отчетливо проявлена порфиробластовая структура породы и лепидонематогранобластовая структура основной ткани. Минералогический состав породы, об. %: амфибол – 44–50, кварц – 25–30, гранат – 15–20, акцессорные – 1–3 (рутил, апатит, титанит).

Порфиробласты граната представлены кристаллами альмандина округлой формы размером до 4–5 мм в диаметре. Зерна граната содержат включения кварца, хлорита, мусковита, рутила и магнетита. Кварц и хлорит обычно обрамляют порфиробласты граната и встречаются во включениях в краевых частях зерен. В окружающей гранат кайме преобладает хлорит, местами с пластинками и чешуйками биотита и мусковита, иногда в ассоциации с амфиболом (рис. 5а, б). В хлорите встречаются включения цоизита и мусковита. Состав каймы переменный: местами преобладает хлорит с незначительной примесью слюды (биотит и парагонит) и кварца, вокруг других зерен резко преобладает кварц. Кварцевые линзы и обособления иногда содержат реликты граната, почти полностью замещенного кварцем, местами со-

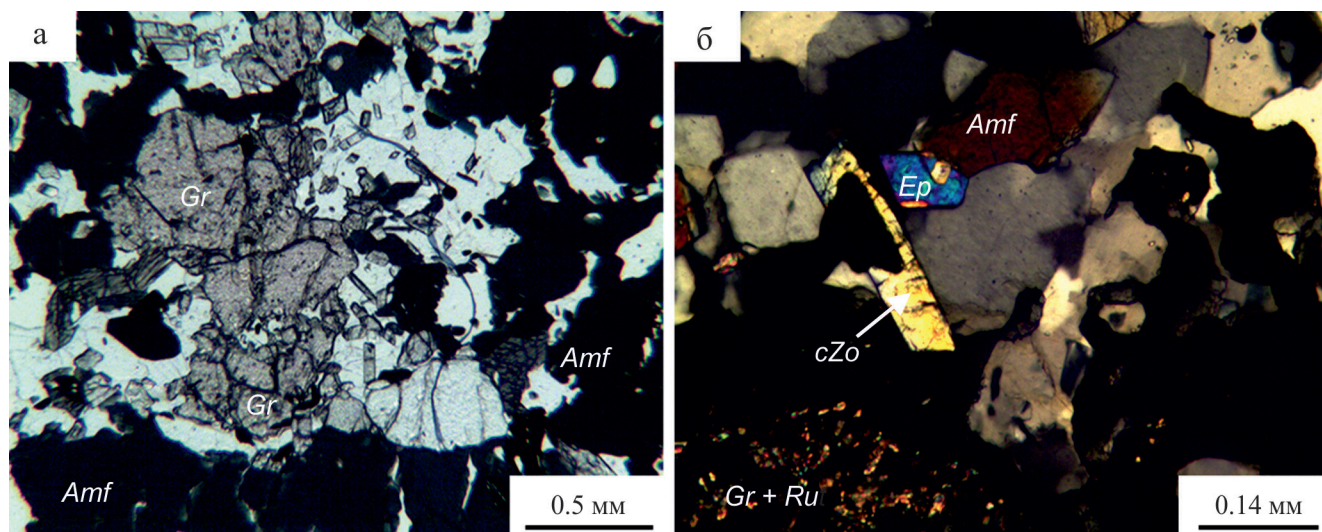


Рис. 4. Порфиробласты граната в амфиболите.

а – в меланократовом прослое среди зерен амфибола, б – в кварц-плагиоклазовой линзе с эпидотом. Шлиф М-1/16. а – без анализатора, б – с анализатором.

Fig. 4. Porphyroblast of garnet in the amphibolite.

а – between of amphibole grains, б – in quartz-plagioclase lens. Thin section M-1/16. а – without analyser, б – with analyser.

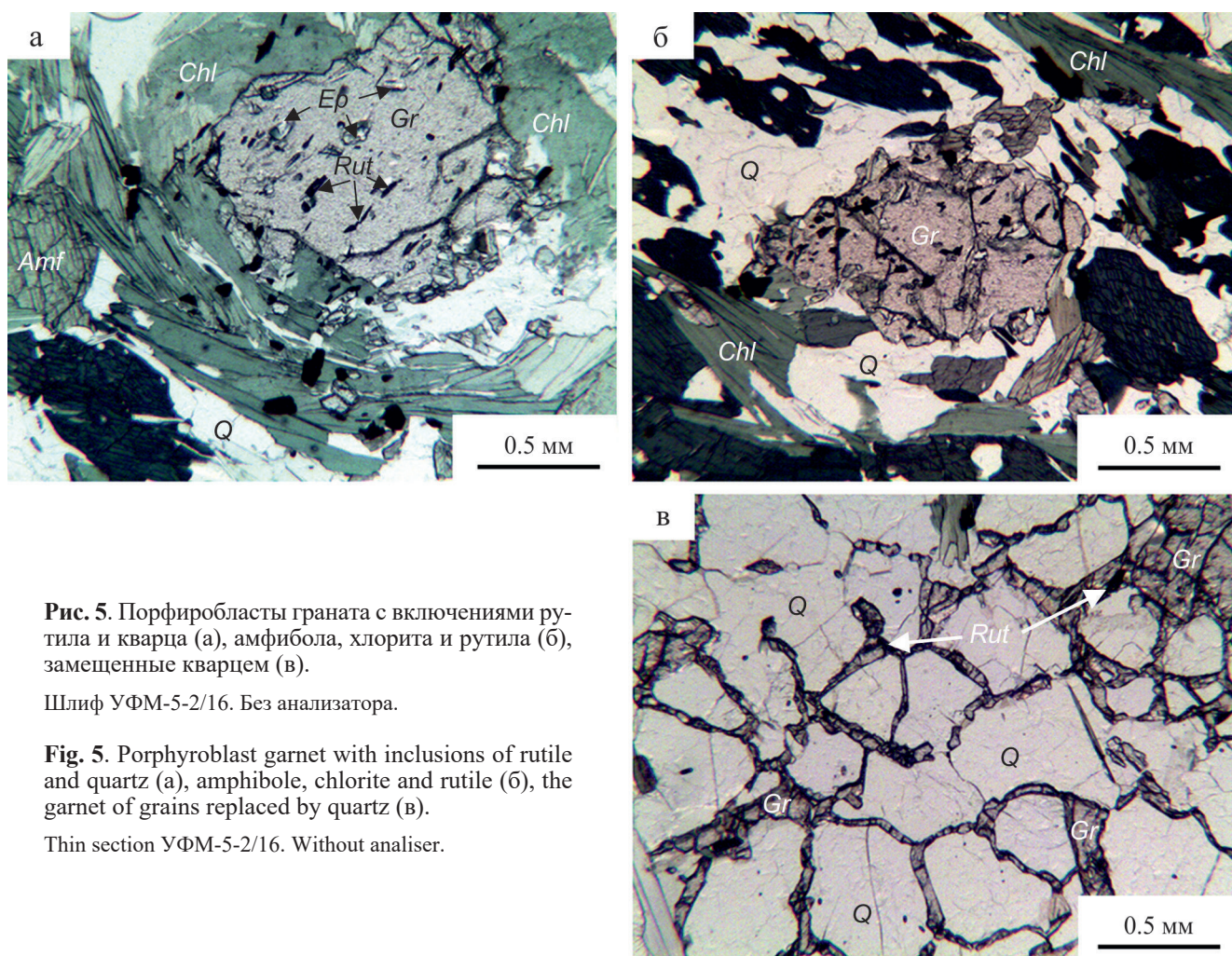


Рис. 5. Порфиробласты граната с включениями рутила и кварца (а), амфибола, хлорита и рутила (б), замещенные кварцем (в).

Шлиф УФМ-5-2/16. Без анализатора.

Fig. 5. Porphyroblast garnet with inclusions of rutile and quartz (a), amphibole, chlorite and rutile (б), the garnet of grains replaced by quartz (в).

Thin section УФМ-5-2/16. Without analyser.

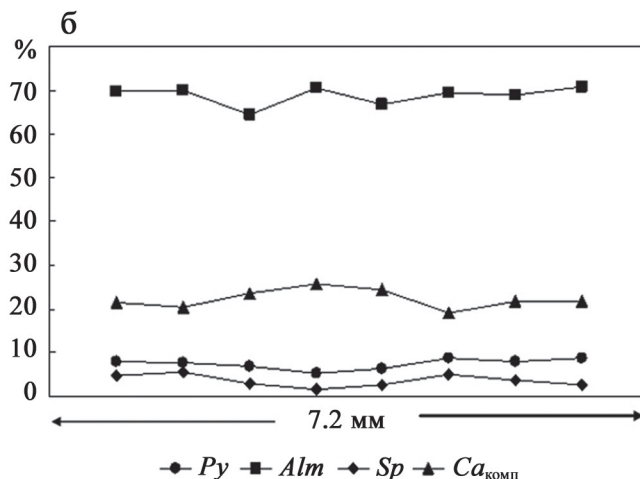
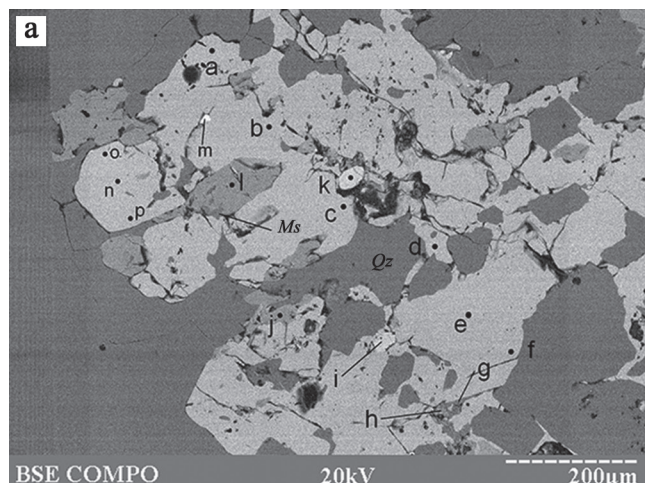


Рис. 6. Электронная фотография зерна граната, снятая в отраженных электронах (а), и распределение компонентов в данном зерне по профилю а–р (б).

Условные обозначения – см. рис. 3.

Fig. 6. Electronic photography of garnet grains (a) in BSE image and distribution of components in the grain on the profile a–p (б).

Designations see Fig. 3.

храняются только перегородки из остатков граната (рис. 5в).

На электронной фотографии на профиле а–р показано распределение компонентов в гранатовом зерне. Слабо проявлена ритмическая зональность с повышением альмандинового минала к центру зерна. Среднее содержание альмандинового минала составляет 68%. В центре профиля наблюдается повышение кальциевого минала и слабое уменьшение пиропового и спессартинового миналов (рис. 6).

Роговообманковые и биотит-роговообманковые сланцы

Породы имеют широкое распространение в разрезе и наблюдаются в ассоциации с амфиболитами. Характеризуются полосчатой или линзовидно-полосчатой и сланцеватой текстурой и порфиروبластовой структурой. Отмечаются цоизит-роговообманковые разновидности, в которых наряду с порфиробластами граната имеются крупные выделения цоизита и клиноцоизита.

Редкие порфиробласты граната размером 1–2 мм располагаются среди зерен амфибола, в кварц-полевошпатовом агрегате, содержащем чешуйки и пластинки мусковита и хлорита. Вмещающая гранат порода сложена кварцем, содержит удлиненные зерна чермакита, местами пластинки биотита, часто хлоритизированные (рис. 7а). В отдельных линзах и очках вокруг зерен граната наблюдается кварц-плагноклазовый или кварц-ортоклазовый агрегат, местами с клиноцоизитом (рис. 7б).

Чермакит в сланцах часто замещается обыкновенной роговой обманкой, представленной удлиненно-призматическими и игольчатыми бледно окрашенными зернами, которые, в свою очередь, замещаются хлоритом и слюдой (биотитом или мусковитом). Биотит и мусковит местами тоже замещаются хлоритом (клинохлором).

Электронная фотография зерна граната в биотит-роговообманковом сланце отражает распределение компонентов по профилю а–j (рис. 8а). В отличие от гранатов, содержащихся в горнблендитах, альмандиновый минал в этих гранатах составляет 68.3%, что роднит их с гранатами амфиболитов, но отличает от последних содержанием MnO (табл. 1). В центре зерна наблюдается увеличение содержания спессартинового минала при одновременном уменьшении содержаний кальциевого и пиропового миналов (рис. 8б). Содержание главного альмандинового компонента постоянно.

Гранатовые биотит-хлорит-кварцевые сланцы

Гранатовые хлорит-кварцевые сланцы – зеленовато-серые полосчатые породы со сланцеватой, линзовидно-очковой текстурой и порфиروبластовой структурой с зернами граната размером до 5.0–6.0 мм. В шлифе порфиробласты граната представлены округлыми выделениями, окруженными хлоритом, местами с реликтами пластинок слюды (биотита, парагонита или мусковита). Гранат содержит включения игольчатых куриталлов рутила размером от 0.01 до 0.1 мм, образующих цепочечные скопления в центральных или краевых

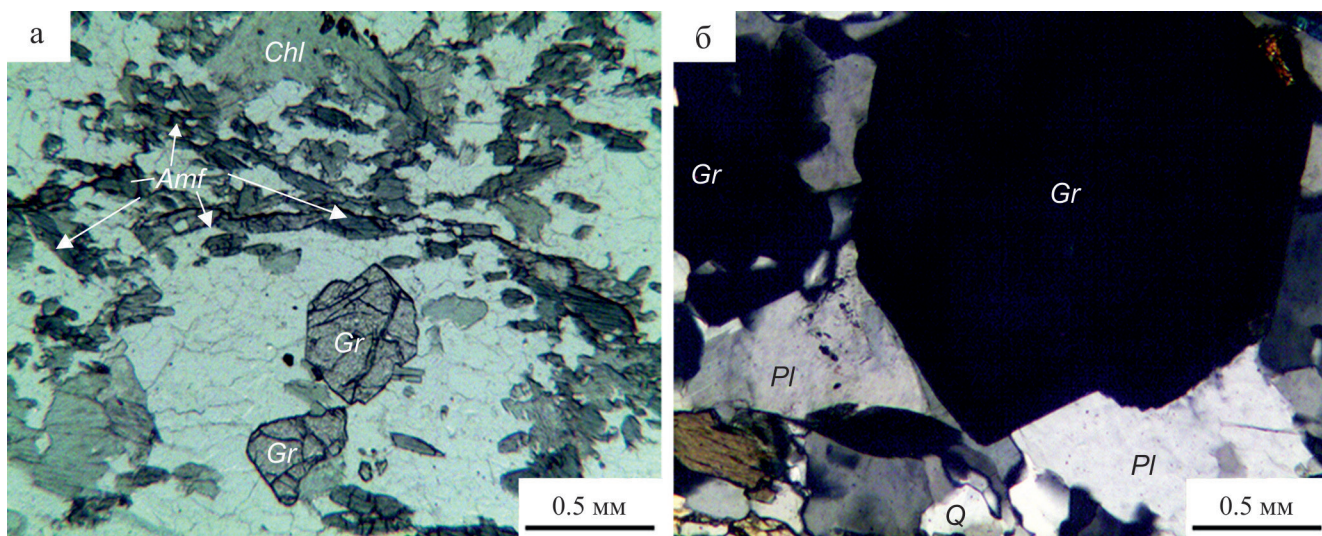


Рис. 7. Порфиробласты граната в биотит-роговообманковых сланцах с линзами кварц-полевошпатового состава. Шлиф УФМ-4/16.

а – гранат в кварц-полевошпатовой линзе, без анализатора; б – плагиоклаз и кварц вокруг зерен граната, с анализатором.

Fig. 7. Porphyroblastic garnet in biotite-hornblende schists with lenses of quartz-feldspar composition. Thin section УФМ-4/16.

а – garnet in the quartz-feldspar lens, without analyser; б – plagioclase and quartz around grains of garnet of grains. With analyser.

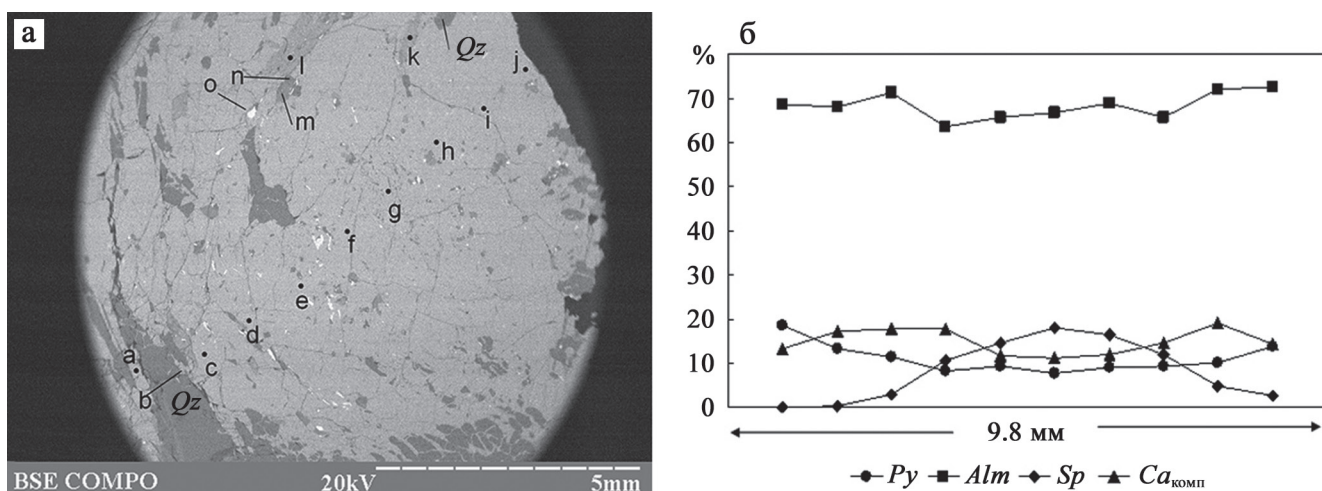


Рис. 8. Электронная фотография зерна граната в отраженных электронах (а) и распределение компонентов в данном зерне по профилю а–j (б).

Условные обозначения – см. рис. 3.

Fig. 8. Electronic photography of garnet grains (a) and distribution of components in the grain on the profile a–j (б).

Designations see Fig. 3.

вых частях зерен (рис. 9). Некоторые зерна граната в периферических частях содержат включения кварца.

Слюда представлена биотитом и мусковитом в виде пластинок и чешуек, бесцветных в случае мусковита, бледно окрашенных в парагонит-

те и коричневых, резко плеохроирующих в биотите. Слюда часто замещается хлоритом, частично или полностью. Акцессорные минералы представлены рутилом, апатитом, цирконом, реже магнетитом, пиритом. В апатите встречаются включения рутила.

Таблица 1. Химический состав гранатов

Table 1. Chemical composition of garnets

№	Размер зерна, мм	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	FeO	MnO	MgO	CaO	Сумма	Py	Alm	Sp	Ca _{комп}
Гранатовые горнблендиты													
1	4.6	38.09	20.61	0.09	29.33	2.20	2.64	6.68	99.65	10.3	65.3	5.0	19.0
3		37.39	20.74	0.03	28.85	1.93	2.60	8.16	99.70	10.3	64.3	4.3	23.3
4		37.99	20.99	0.00	28.69	1.95	2.56	7.68	99.84	10.0	63.7	4.3	21.7
5		37.82	19.94	0.02	29.30	2.19	2.85	7.82	99.92	11.3	65.3	5.0	22.3
7		37.38	20.69	0.00	29.50	1.83	3.02	7.19	99.62	12.0	66.0	4.0	20.7
8		37.63	20.67	0.00	29.00	0.94	3.00	8.69	99.92	12.0	64.3	2.0	24.7
9		36.99	20.87	0.00	28.66	2.83	2.77	7.24	99.36	11.0	64.3	6.3	20.7
Гранатовые амфиболиты													
10	7.2	37.05	20.33	0.00	30.59	1.68	2.35	7.51	99.51	9.3	69.0	3.7	21.7
12		36.52	20.68	0.00	30.96	2.48	1.89	6.99	99.52	7.7	70.0	5.7	20.3
13		37.49	20.44	0.00	30.94	2.21	2.21	6.65	99.93	7.0	64.3	3.0	23.7
14		36.82	20.84	0.00	30.55	1.57	1.96	7.53	99.28	5.3	70.3	1.7	25.7
15		36.98	20.47	0.00	31.43	1.20	2.12	7.48	99.68	6.3	66.7	2.7	24.3
Роговообманковые и биотит-роговообманковые сланцы													
16	9.8	37.98	21.27	0.05	31.15	0.07	4.76	4.68	99.96	18.7	68.7	0.0	13.3
19		37.76	20.66	0.00	28.46	4.73	2.12	6.16	99.90	8.3	63.7	10.7	17.7
20		37.23	20.62	0.00	29.24	6.47	2.34	3.99	99.87	9.3	65.7	14.7	11.7
21		36.83	20.13	0.02	29.35	7.81	1.93	3.82	99.88	7.7	66.7	18.0	11.0
22		36.05	19.86	0.05	30.23	7.09	2.19	4.09	99.57	9.0	69.0	16.3	12.0
24		37.16	19.63	0.00	31.93	1.98	2.46	6.56	99.72	10.0	72.0	4.7	19.0
25		37.34	20.56	0.00	32.46	1.11	3.39	5.00	99.87	13.7	72.7	2.7	14.3
Гранатовые биотит-хлорит-кварцевые сланцы													
26	10.0	35.66	20.72	0.59	34.37	1.83	2.44	4.26	99.88	10.00	78.00	4.33	12.33
28		35.77	20.23	0.04	33.98	2.00	2.57	4.61	99.20	10.33	77.67	4.67	13.67
29		35.59	20.33	0.03	35.20	1.97	2.36	4.07	99.54	9.67	80.67	4.67	12.00
30		35.40	20.37	0.01	35.28	2.00	2.36	4.44	99.85	9.67	80.67	4.67	13.00
31		35.66	20.54	0.00	32.16	1.11	1.82	7.86	99.16	7.33	73.33	2.67	23.00
34		35.97	20.14	0.09	34.21	0.84	2.28	6.16	99.68	9.67	79.00	5.00	28.33
36		35.64	20.42	0.00	33.26	0.72	1.96	7.74	99.74	9.67	78.00	4.67	14.00
Гранатовые двуслюдяные сланцы													
38	3.0	35.47	19.87	0.18	35.56	0.25	1.94	5.95	99.21	8.00	81.67	0.67	17.67
40		35.66	19.82	0.07	33.78	0.39	1.86	8.18	99.77	7.67	77.00	1.00	24.00
42		35.06	19.95	0.16	30.41	4.68	1.36	7.54	99.16	5.67	72.00	0.33	23.00
43		35.19	19.75	0.1	33.17	2.49	1.88	6.98	99.56	7.67	76.33	5.67	20.67
44		35.31	20.01	0.14	32.82	2.18	2.03	7.16	99.65	8.33	75.00	5.00	42.00
46		35.19	20.18	0.22	35.57	0.2	1.58	6.33	99.26	6.33	81.67	0.33	18.67

Примечание. Анализы выполнены на растровом электронном микроскопе РЭММА-202М (напряжение 20 кВ, ток 10⁻¹⁰ А) с энергодисперсионной приставкой с Si-Li детектором, стандарт – ASTIMEX, диаметр пучка 0.5 мкм, разрешающая способность микроскопа 80 Å, аналитик В.А. Котляров.

Note. Analyses are performed on the raster electron microscope РЭММА-202М with an energy dispersive spectrometer LZ-5. Analyser V.A. Kotlyarov.

Электронная фотография зерна граната в биотит-хлорит-кварцевых сланцах отражает распределение компонентов по профилю а–q (рис. 10а). Содержание алмандинового минала в гранате слабо варьирует, составляя в среднем 78.2%, что на 10% выше, чем в гранатах из других пород. От центра к периферии зерна возрастает содержание кальциевого минала, что также отличает его от граната из других пород (рис. 10б).

Гранатовые двуслюдяные сланцы

Гранатовые двуслюдяные сланцы встречаются среди хлоритовых и роговообманково-хлоритовых сланцев в местах проявления локальных разломов. Породы характеризуются полосчатой текстурой, обусловленной присутствием светлых полос слюдисто-кварцевого состава мощностью от долей мм до 1.0 см (рис. 11а).

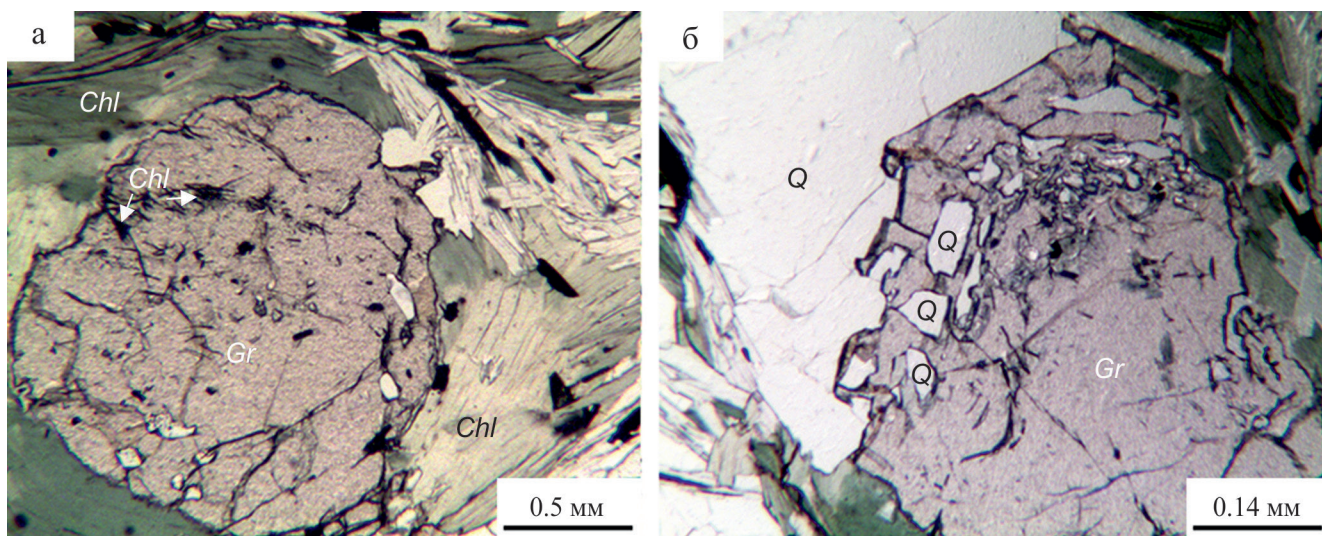


Рис. 9. Порфиробласты граната в биотит-хлорит-кварцевых сланцах. Шлиф М-7/16. Без анализатора.

а – гранат с рутилом, окруженный хлоритовой каймой; б – включения кварца в краевой части зерна граната.

Fig. 9. Porphyroblasts garnet in biotite-chlorite-quartz shales. Thin section M-7/16. Section without analyser.

а – garnet with rutile, surrounded by a chlorite rim; б – inclusions of quartz in the outer part of the garnet grain.

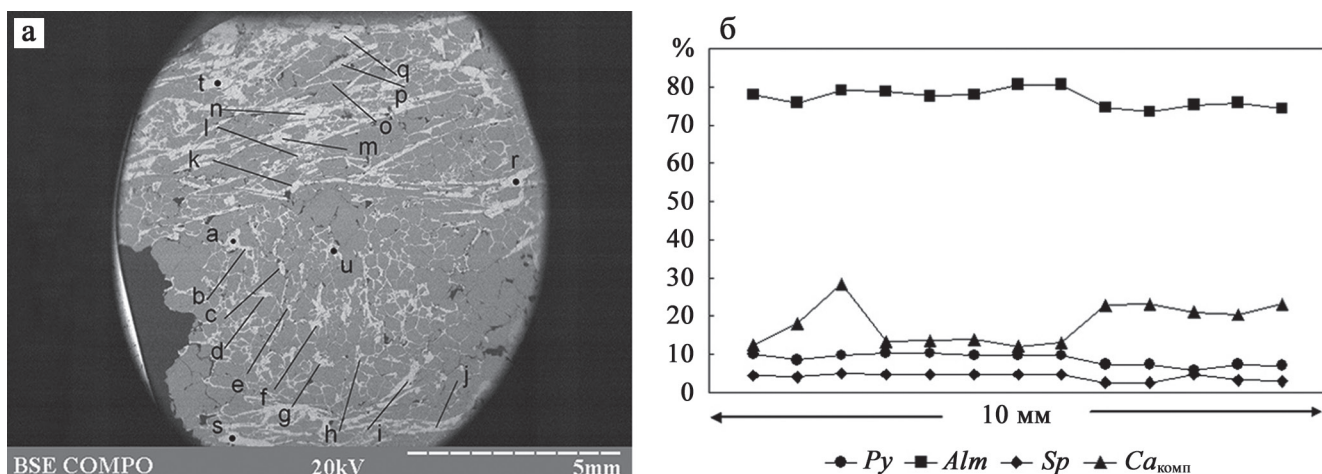


Рис. 10. Электронная фотография зерна граната в отраженных электронах (а) и распределение компонентов в данном зерне по профилю а–г (б).

Условные обозначения – см. рис. 3.

Fig. 10. Electronic photography of garnet grains (a) and distribution of components in the grain on the profile a–g (b).

Designations see Fig. 3.

Светлые полосы представлены агрегатом кварцевых и слюдяных (мусковита и парагонита) зерен размером от 0.01–0.1 до 1.0 мм. Кварц характеризуется изометричной или близкой к ней формой зерен, заметно деформированных. Следы хрупкой деформации представлены внутризерновыми трещинами, обычно залеченными стекловидным кварцем или гематитом. Погасание однородное, встре-

чаются включения мусковита в виде пластинок и чешуек в межзерновом пространстве. Содержание слюды составляет 2–3%, увеличивается до 5% в краевых частях кварцевых жил, где местами обогащается мелкими, точечными зернами магнетита и чешуйками графита.

Гранат приурочен к темным слоям, где он находится в ассоциации со слюдой (мусковит и пара-

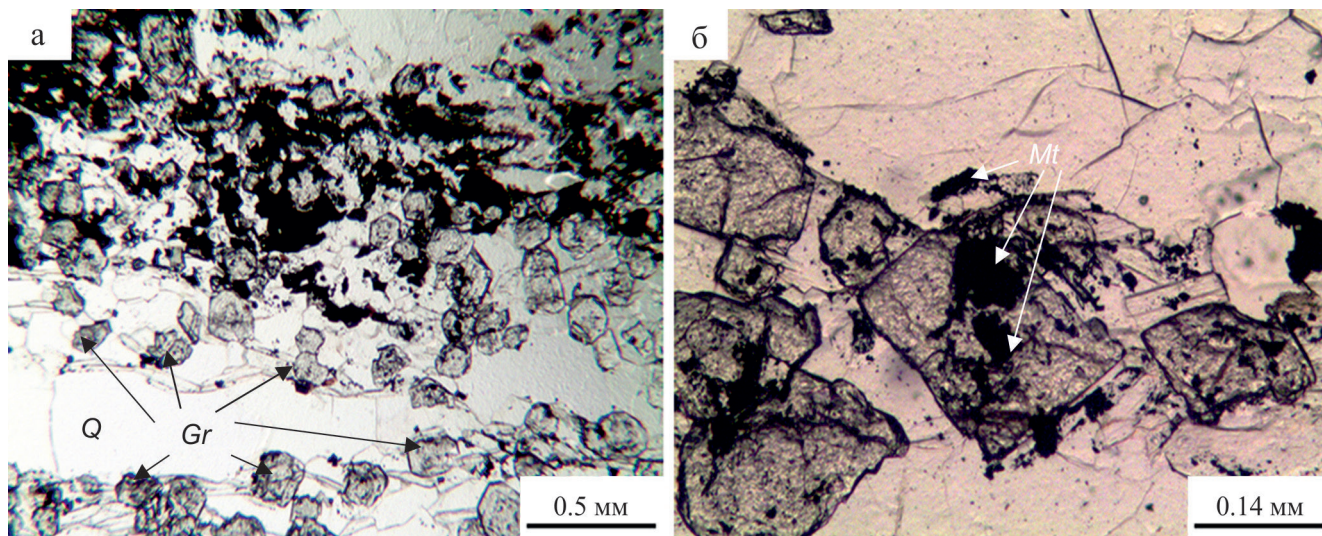


Рис. 11. Зерна граната в двуслюдяном сланце.

а – гранат в мусковит-парагонитовом прослое, б – включения магнетита в гранате. Шлиф М-13/16. Без анализатора.

Fig. 11. Garnet grains in two mica shale.

а – garnet in muscovite-paragonite interlayer, б – magnetite inclusions in garnet. Thin section M-13/16. Without analyser.

гонит), хлоритом и вкрапленностью магнетита, местами гематита. Гранат образует идиоморфные зерна размером 0.1–0.25 мм, иногда зонального строения, часто с включениями магнетита и рутила (рис. 11б). Содержание граната в разных полосах колеблется от 5–10 до 30–40%. Магнетит образует местами скопления из мелких, точечных, иногда скелетных, реже идиоморфных зерен. В этих участках слои более темные, почти черные.

В некоторых разновидностях мусковит-парагонитовых сланцев встречаются крупные, до 3 см, вкрапленники граната, которые облекаются изогнутыми пластинками белой слюды и зеленого хлорита, находящихся в парагенезисе с кварцем.

В шлифе отчетливо видно, что гранат интенсивно деформирован. Содержит включения рутила, образующие разобщенные скопления из нескольких зерен размером 0.01–0.05 мм, расположенные в краевых частях и ориентированные согласно границам кристалла.

Электронная фотография зерна граната в двуслюдяных сланцах демонстрирует распределение компонентов по профилю а–т (рис. 12а), где наблюдается повышенное содержание кальциевого минала и слабое уменьшение содержания пиропового и спессартинового миналов (рис. 12б). Содержание альмандинового минала в гранатах из двуслюдяных сланцев составляет 77.1%, что сопоставимо с таковым в гранатах из биотит-хлорит-кварцевых сланцев.

Результаты петрографического изучения пород комплекса и данные химического анализа гранатов (см. табл. 1), вынесенные на диаграмму (рис. 13),

позволяют разделить гранаты, которые в целом относятся к альмандинам, на две группы по их принадлежности к вмещающим породам.

Гранаты в горнблендитах и амфиболитах характеризуются стабильным содержанием альмандинового минала, который составляет в горнблендитах 64%, а в амфиболитах чуть выше – 68%. В роговообманковых и биотит-роговообманковых сланцах альмандиновый минал такой же, как в амфиболитах (68.3%). В биотит-хлорит-кварцевых и двуслюдяных сланцах альмандиновый минал значительно выше и составляет соответственно 78.2 и 77.1% (см. табл. 1). Содержание MnO во всех породах варьирует, но в горнблендитах составляет 1.83–2.83, в амфиболитах – 1.2–2.48, в роговообманковых сланцах от 0.1 до 7.8%. Такой же широкий предел вариаций отмечается в биотит-хлорит-кварцевых и двуслюдяных сланцах (0.7–2.0 и 0.2–4.68% соответственно).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Детальное петрографическое изучение комплекса гранатсодержащих пород позволяет разделить эти породы на два типа: породы, в которых гранат образовался по амфиболу (амфиболиты и горнблендиты), и породы, в которых гранат является первичным минералом (метаморфические сланцы). В породах первого типа вместе с гранатом образуются цоизит и хлорит. В процессе образования граната CaO, MgO, FeO и Al₂O₃ переходят в него из амфибола, освободившийся при этом кремнезем образует кварц. Зерна граната в этих породах имеют постоянный состав. На 64–68% они состо-

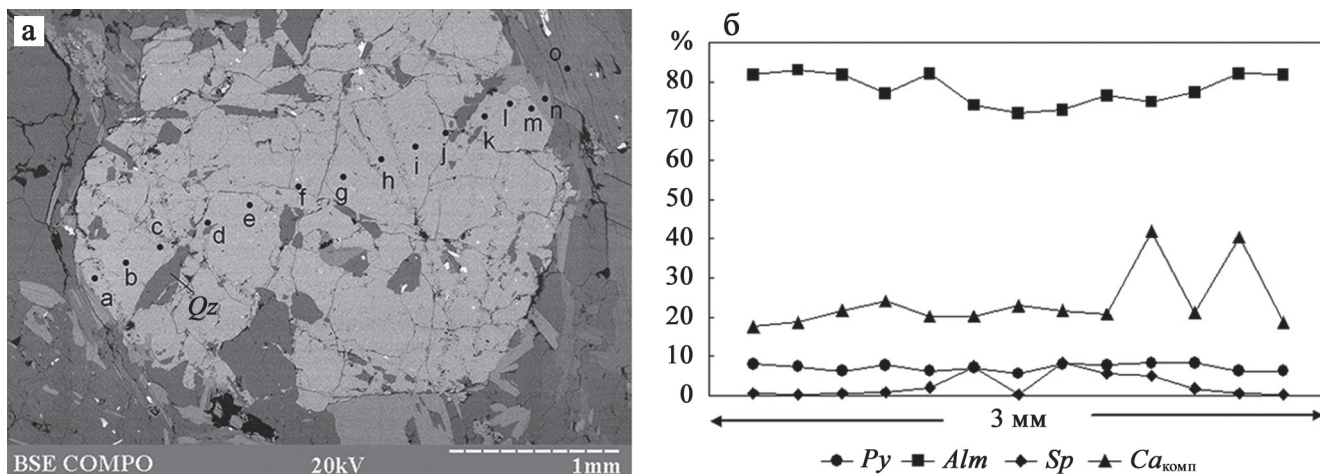


Рис. 12. Электронная фотография зерна граната в отраженных электронах (а) и распределение компонентов в данном зерне по профилю а–м (б).

Условные обозначения – см. рис. 3.

Fig. 12. Electronic photography garnet of grains (a) and distribution of components in the grain on the profile a–m (б).

Designations see Fig. 3.

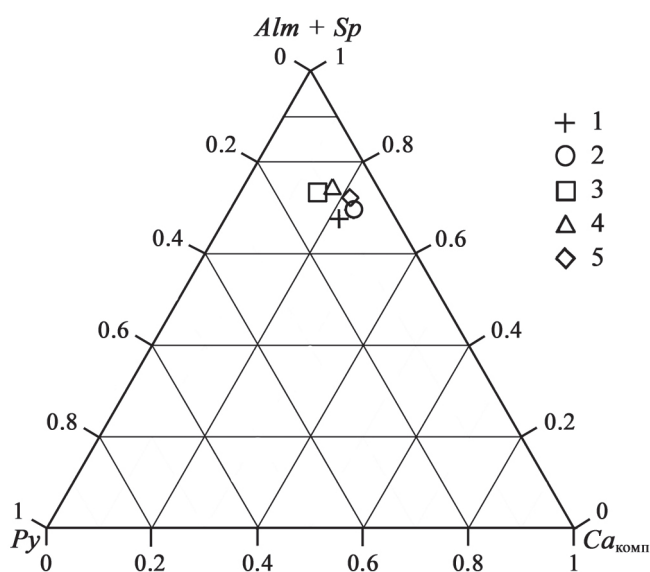


Рис. 13. Поля гранатов из метаморфического комплекса.

1 – гранатовые горнблендиты, 2 – гранатовые амфиболиты, 3 – роговообманковые и биотит-роговообманковые сланцы, 4 – гранатовые биотит-хлорит-кварцевые сланцы, 5 – гранатовые двуслюдяные сланцы.

Fig. 13. Positions of garnets from the metamorphic complex on the diagram.

1 – garnet hornblendite, 2 – garnet amphibolites, 3 – hornblende and biotite-hornblende schist, 4 – garnet biotite-chlorite-quartz schist, 5 – garnet two mica schists.

ят из алмаنديна. Остальные 32–36% представлены кальциевым миналом с некоторым преоблада-

ниемgrossуляровой составляющей (22%). На долю пиропового минала приходится 10% и всего 5% – на спессартиновый минал.

В породах второго типа, представленных биотит роговообманковыми, биотит-хлорит-кварцевыми и двуслюдяными сланцами, гранат является первичным минералом, образованным по исходным породам в процессе прогрессивного метаморфизма. Состав граната в этих породах коррелирует с составом исходной породы. В зернах граната появляется микрозональность, которая фиксируется по увеличению содержания кальциевого минала от центра зерна к периферии. В зернах граната из биотит-роговообманковых сланцев в центре фиксируется повышенное содержание марганцевого минала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Белковский А.И. (2011) Геология и минералогия кварцевых жил Кыштымского месторождения. Миасс; Екатеринбург: ИМин УрО РАН, 234 с.
Мельников Е.П. (1988) Геология, генезис и промышленные типы месторождений кварца. М.: Недра, 215 с.

REFERENCES

- Belkovskii A.I. (2011) *Geologiya i mineralogiya kvartseyvkh zhil Kyshtymского mestorozhdeniya* [Geology and mineralogy of quartz veins of the Kyshtym deposit]. Miass; Ekaterinburg, IMin UrO RAN Publ., 234 p. (In Russian)
Mel'nikov E.P. (1988) *Geologiya, genezis i promyshlennyye tipy mestorozhdenii kvartsa* [Geology, genesis and industrial types of deposits of quartz]. Moscow, Nedra Publ., 215 p. (In Russian)