

УДК 549.0 (470.55)

DOI: 10.35597/2313-545X-2023-9-1-2

## ПАРАГЕНЕЗИСЫ МИНЕРАЛОВ В СКАРНАХ ШИШИМСКОЙ КОПИ НА ЮЖНОМ УРАЛЕ

**В.А. Попов, М.А. Рассомахин**

*Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии УрО РАН, г. Миасс,  
Челябинская обл., 456317 Россия; popov@mineralogy.ru*

Статья поступила в редакцию 09.01. 2023 г., принята к печати 16.02.2023 г.

## MINERAL ASSEMBLAGES OF THE SHISHIM MINE IN THE SOUTHERN URALS

**V.A. Popov, M.A. Rassomakhin**

*South Urals Federal Research Center of Mineralogy and Geoecology,  
UB RAS, Miass, Chelyabinsk Region, 456317 Russia; popov@mineralogy.ru*

Received 09.01.2023, accepted 16.02.2023

**Аннотация.** Сложный комплекс горных пород в районе Шишимской копи на Южном Урале изучен в минералого-петрографическом аспекте. Разные скарновые парагенезисы с преобладанием пироксена, граната, везувиана, монтичеллита, хлорита и эпидота развиты по габброидам и гранитоидам. Параллельно со скарнами образовались дайки карбонатитов и хлоритолитов, а также тела карбонатит-пегматитов и хлоритолит-пегматитов. Уточнена диагностика породообразующих минералов, изучены второстепенные и аксессуарные минералы горных пород, среди которых привлекают внимание алланит, ангидрит, апатит, бадделеит, барит, валлериит, кальцитит, перовскит, цирконолит, циркон.

**Ключевые слова:** скарны, карбонатиты, хлоритолиты, Южный Урал.

**Abstract.** Mineralogy and petrography of complex rocks in area of the Shishim mine in the South Urals is studied. Various skarn assemblages with dominant pyroxene, garnet, vesuvianite, monticellite, chlorite and epidote are developed after gabbroids and granitoids. The formation of skarns was accompanied by the formation of carbonatite and chloritole dikes, as well as the bodies of carbonatite-pegmatites and chloritole-pegmatites. The rock-forming minerals are refined and secondary and accessory minerals of rocks are studied including allanite, anhydrite, apatite, baddeleyite, barite, calcitrite, perovskite, valleriite, zircon, and zirconolite.

**Keywords:** skarns, carbonatites, chloritolites, Southern Urals.

**Для цитирования:** Попов В.А., Рассомахин М.А. Парагенезисы минералов в скарнах Шишимской копи на Южном Урал. Минералогия, 9(1), 23–44. DOI: 10.35597/2313-545X-2023-9-1-2

**For citation:** Popov V.A., Rassomakhin M.A. Mineral assemblages of the Shishim mine in the Southern Urals. Mineralogy, 9(1), 23–44. DOI: 10.35597/2313-545X-2023-9-1-2.

### Введение

Минералам знаменитой Шишимской копи на Южном Урале посвящено много публикаций (Мушкетов, 1877; Кухаренко, 1943; Мясников, 1954; Попов, 2001, 2011; Ненашева, Агаханов, 2016). Количество минералов и их разнообразие в районе копи

постепенно растут, увеличивается число парагенезисов, слагающих геологические тела – жилы, линзы, дайки, метасоматические и брекчиевые зоны. По ним можно предположить, что копь находится в тектоническом узле со сложной геологической историей, но небольшое число горных выработок и слабое вскрытие мелких геологических тел не по-

звонят создать представительную модель (карту) этого замечательного объекта. На базе имеющихся горных выработок мы расширили представления о генезисе объекта по новым минералогическим данным, полученным при пересмотре каменного материала в отвалах копи. Исследования проведены визуально и с использованием микроскопических и электронно-микроскопических данных, полученных на сканирующем электронном микроскопе Tescan Vega 3 sbu (Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии УрО РАН, аналитик М.А. Рассомахин). Химические анализы минералов представлены в таблицах 1–4.

На рисунках использованы следующие аббревиатуры: Aln – алланит-(Ce), Amf – амфибол, And – андрадит, Ap – апатит, Bdy – бадделейт, Brc – брусит, Brt – барит, Ca, Cal – кальцит, Chl – хлорит, Chu – клиногумит, Clg – гидроксилклиногумит, Czt, Clz – кальцитрит, Di – диопсид, Ep – эпидот, Gk – гейкилит, Gr – гроссуляр, Ilm – ильменит, Mag, Mgt – магнетит, Mon – монтичеллит, Prv – перовскит, Rt – рутил, Srp – серпентин, Tau – таумасит, Thm – томсонит-Ca, Ti-Mgt – титаномагнетит, Tr –

тремолит, Ttn, Tnt – титанит, Val – валлериит, Vez – везувиан, Zr – циркон, Zrl, Zrn – цирконолит.

Шишимская копь находится на Южном Урале в Шишимских горах в 8 км западнее города Златоуста и в 5 км к югу от деревни Медведевка. Копь представляет собой небольшой карьер на северном крутом берегу речки Бравиловки приблизительно в 700 м на восток от впадения ее в реку Ай (рис. 1).

### История исследований и краткие геологические данные по району копи

Скарновые минеральные ассоциации Шишимской копи известны давно (Мушкетов, 1877). Копь заложил П. Барбот-де-Марни в 1833 г. для добычи друз крупнокристаллического хлорита (рис. 2). В разное время разработки копи здесь находили синий и розовый апатит, шпинель, эпидот, пирит, клинтонаит (ксантофиллит), монтичеллит, голубой кальцит и другие минералы. Дискуссионная находка П.В. Еремеевым включений алмаза в ксантофиллите также относится к Шишимской копи. Несмотря на

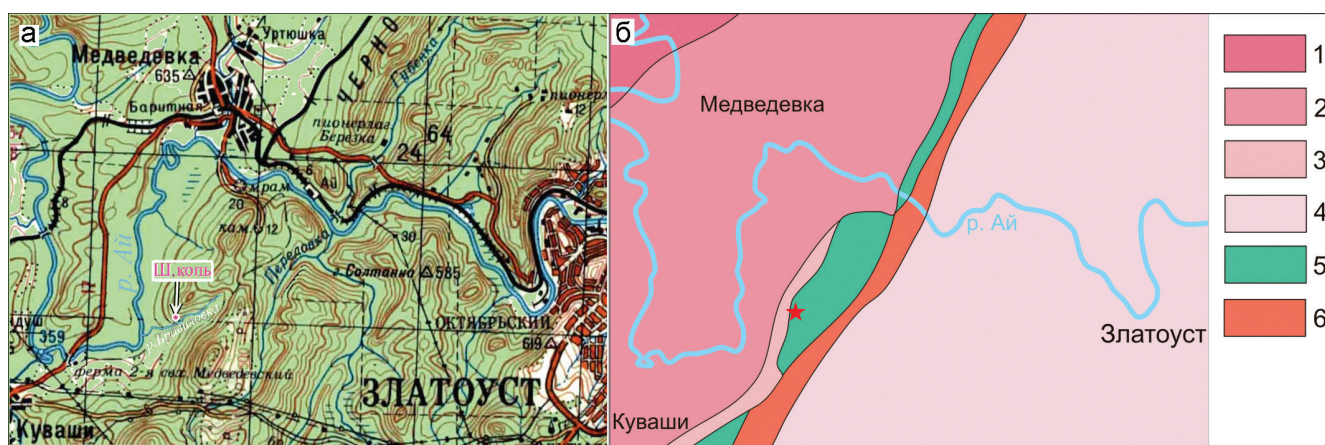


Рис. 1. Географическое положение Шишимской копи в районе города Златоуста (указано стрелкой) (а) и геологическая схема строения района копи (б).

1 – Айская свита, углисто-глинистые кварцевые сланцы; 2 – саткинская свита, доломиты, известняки, углисто-глинистые, кремнисто-глинистые сланцы, кремни; 3 – бакальская свита, малобакальская подсвита, аргиллиты, алевролиты, кварцитовидные песчаники; 4 – кувашская свита, метаморфизованные кислые вулканиды и их туфы, кристаллические двуслюдяные кварцевые сланцы, кварциты, конгломераты, доломитовые мрамора, кварцито-песчаники; 5, 6 – кусинско-копанский клинопироксенит-габбро-гранитовый комплекс: 5 – первая фаза: габбро, габбронориты, горнблендиты, клинопироксениты; 6 – вторая фаза: граниты.

Fig. 1. Geographical location of the Shishim mine in area of the town of Zlatoust (indicated by arrow) (a) and geological scheme of the area of the mine (b).

1 – Ai Formation, carbonaceous-clayey quartz shale; 2 – Satka Formation, dolomite, limestone, carbonaceous-clayey and siliceous-clayey shale, chert; 3 – Bakal Formation, Maly Bakal Subformation, claystone, siltstone, quartzite sandstone; 4 – Kuvash Formation, metamorphosed felsic volcanic rocks and their tuff, crystal two-mica quartz schist, quartzite, conglomerate, dolomite marble, quartzite sandstone; 5, 6 – Kusa-Kopansky clinopyroxenite-gabbro-granite complex: 5 – first phase: gabbro, gabbronorite, hornblende, clinopyroxenite; 6 – second phase: granite.



Рис. 2. Друза хлорита. Шишимская копь, выработка Егорова.

Fig. 2. Chlorite druse. Shishimskaya mine, Egorov mine.

сомнения А.А. Кухаренко (1943), алмаз в этой копи достаточно вероятен в карбонатитовой ассоциации.

По данным разных исследователей возникли различные модели геологического строения района Шишимской копи. Первое обширное описание находится в работе И.В. Мушкетова (1877, с. 147): «...мои наблюдения несколько отличаются от наблюдений Гофмана, который говорит, что Шишимская копь заложена в тальковом сланце, залегающем в слюдяном. Описанный мною состав копи может служить указанием на весьма энергичный метаморфизм диоритовых пород, которые, изменя-

ясь, дали начало образованию этих разнообразных **сланцеватых полос**, в которых выделялись отдельные минералы» (рис. 3). Схема И.В. Мушкетова немасштабная, р. Ай находится почти в километре на запад от копи.

Полосчатое расположение разных минеральных тел через 77 лет более подробно описал В.С. Мясников (1954), не приведя собственной схемы. С востока на запад в обнажениях вдоль крутого северного берега р. Бравилковки он перечислил следующие образования: кварцевая жила мощностью 2.5 м в хлоритовой мелкозернистой породе; крупнозернистое габбро (А – на схеме Мушкетова); эпидотизированное габбро с участками амфиболовой породы (Б? – на схеме); пласт плотной магнетит-хлоритовой породы (дайка?); зеленый хлоритовый сланец; выветрелая хлорит-диопсидовая порода с клиногумитом; лейхтенбергитовый сланец с разнообразными минералами (Е? – по Мушкетову) – «талк-апатит», лейхтенбергит, хлорошпинель, гематит, магнетит, магнезиоферрит, андрадит, перовскит, ксантофиллит, пятна и скопления граната с лейхтенбергитом и перовскитом (в миаролах?); гранат-везувиановые породы в ядре линзы; амфиболит с дайкой мелкозернистого габбро, эпидотизированного и местами рассеченного прожилками аплита по ряду поперечных трещин; вместе с этими прожилками наблюдаются турмалин, альбит, пирит и актинолит; микрогаббро подверглось местами

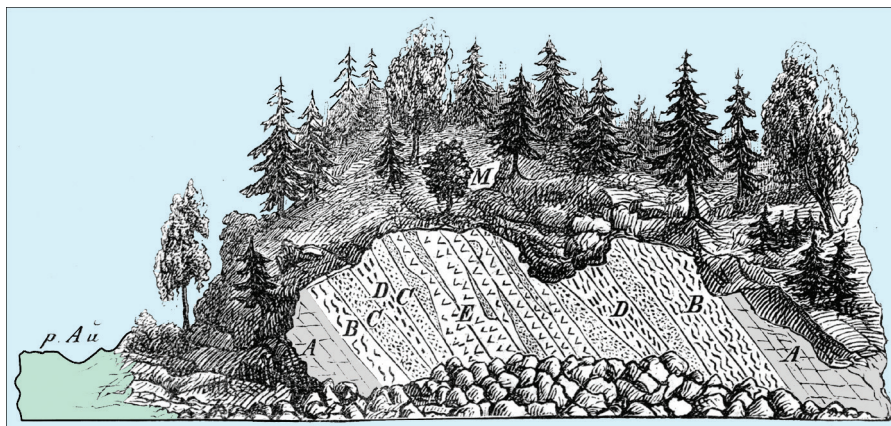


Рис. 3. Шишимская копь. Зарисовка И.В. Мушкетова (1877).

А – диорит (= габбро – В.П.); В – роговообманковая порода; С – желтый эпидозит; D – хлоритовый сланец; E – тальк-хлоритовый сланец с гематитом и жилами эпидозита, на границе которого встречаются мороксит (синий мелкозернистый апатит?), «талкапатит», шпинель, гидраргиллит, эпидот, фелькнерит (гидротальцит), ксантофиллит (клинтонит) с алмазом; М – Барботовская яма.

Fig. 3. The Shishim mine. Sketch by I.V. Musketov (1877).

А – diorite (= gabbro – V.P.); В – hornblende rock; С – yellow epidosite; D – chlorite shale; E – talc-chlorite shale with hematite and epidosite veins, with moroxite (blue fine-grained apatite?), «talcapatite», spinel, hydrargillite, epidote, felknerite (hydrotalcite), xanthophyllite (clintonite) with diamond at the contact; М – Barbot pit.



Рис. 4. Геологический план района Шишимской копи по Л.И. Кравцовой (1954 г.).

1 – пироксениты; 2 – габбро; 3 –скарнированное габбро; 4 – граниты; 5 – магнетитовые тела; 6 – доломитовые мраморы; 7 – змеевики; 8 – скарны; 9 – канавы; 10 – шурфы; 11 – карьер; 12 – обнажения.

Fig. 4. Geological plan of the Shishim mine area after L.I. Kravtsova (1954).

1 – pyroxenite; 2 – gabbro; 3 – skarn gabbro; 4 – granite; 5 – magnetite bodies; 6 – dolomite marble; 7 – serpentine; 8 – skarn; 9 – trenches; 10 – mines; 11 – quarry; 12 – outcrops.

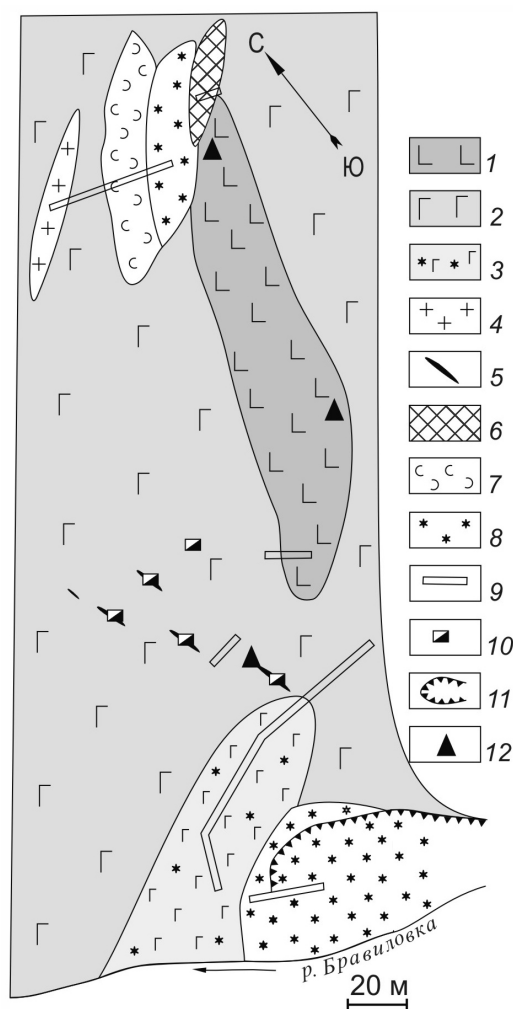
гранатизации (!); несколько метров к западу в выработке Егорова добывался лейхтенбергит (друзы) и здесь же отмечен прослой мощностью 0.5 м амфибол-хлоритовой породы (дайка? – В.П.); серпентин-хлоритовая сильно выветрелая порода с миаролами граната, перовскита и кальцита; хлорит-гранат-диопсидовая порода; темно-зеленый хлоритовый сланец с пустотами и «талк-апатитом»; пласт гранатовой породы мощностью 0.3 м; габбро. Итого 13 тел разных горных пород.

К северу от Шишимской копи В.С. Мясниковым упомянуты тела мраморов, но без карты трудно определить с их местоположением. В настоящее время нами здесь установлены небольшие тела кальцитовых карбонатитов, аналогичных некоторым карбонатитам в Медведёвском мраморном карьере (в 4 км севернее) (Попов, 2011).

Крупномасштабный план района копи (рис. 4) составила в 1954 г. Л.И. Кравцова из Свердловского горного института. Тело «мраморов» на ее плане не выглядит «ксенолитом известняков», прореагировавших с габбро с образованием скарнов со всех сторон. Все тела карбонатных пород в этом участке оказались карбонатитами.

Полосчатое сложение блока разнообразных пород и наличие даек мелкозернистых габбро и гранитов указывают на существование разломной структуры в массиве габбро, где происходило формирование скарновой и карбонатитовой минерализации. Обратим внимание на то, что дайки мелкозернистых габбро и гранитов, секущие неоднородное габбро, также скарнированы. Нами в нескольких участках наблюдались тела хлоритолитов, амфибол-хлоритовых пород, магнетит-хлоритовых пород с четкими (магматическими<sup>1</sup>) границами с те-

<sup>1</sup> – Прим. ред. Терминология в статье представлена в авторской редакции.



лами вмещающих пород. Практически во всех хлоритовых породах есть кубические, кубооктаэдрические или ромбододекаэдрические кристаллы перовскита с фрагментами индукционных поверхностей с хлоритом. В крупнозернистых друзовых агрегатах карбонатит-пегматитов встречаются срастания хлорита, диоксида, шпинели, перовскита и кальцита.

Особый интерес представляют миаролы и жилы с голубоватым крупнозернистым кальцитом, с которым частично одновременно выросли мелкие ромбододекаэдры перовскита и крупные кристаллы апатита, шпинели и монтичеллита (рис. 5). Миаролы находятся в сложном скарновом агрегате, состоящем из мелкозернистого желтого андрадита, сероватого и коричневого монтичеллита, форстерита, таблитчатого бесцветного диоксида, зеленого и бесцветного клинохлора, кальцита и мелких кристаллов перовскита.

Тела магматических и метасоматических пород находятся в сложном переплетении в длительно живущей трещинной тектонической структуре,



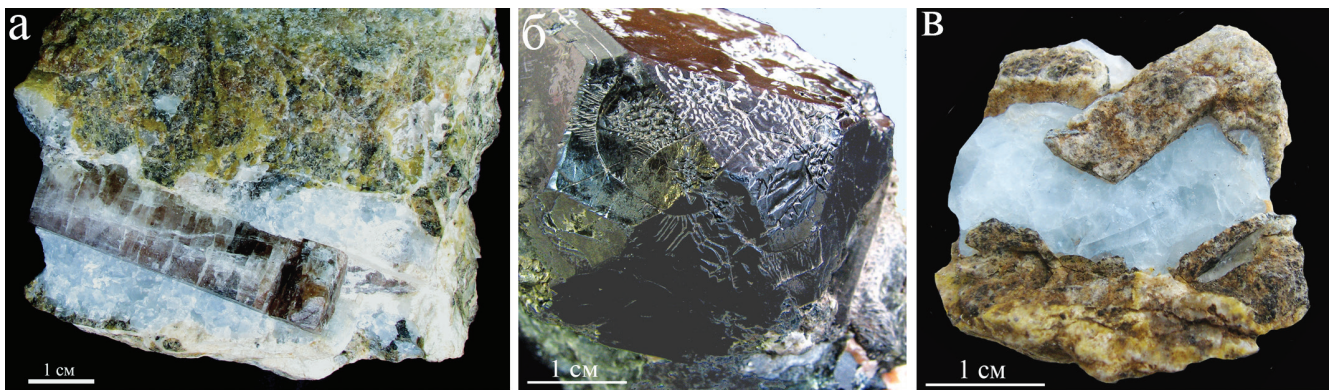


Рис. 5. Крупные кристаллы апатита (а), шпинели (б) и монтичеллита (в) в кальцитовых карбонатит-пегматитах Шишимской копи.

На поверхности кристалла шпинели видны желобки растворения вдоль основных и оперяющих трещин. Кальцит имеет голубой оттенок. Косое освещение.

Fig. 5. Coarse crystals of apatite (a), spinel (b) and monticellite (c) in calcite carbonatite-pegmatites of the Shishim mine.

The surface of the spinel crystal exhibit dissolution grooves along the main and splay fractures. Calcite has a blue tint. Oblique light.

в которой видны следы многократного брекчирования и сдавливания с образованием зон расщепления, магматических брекчий, зеркал скольжения, многообразного метасоматоза. Некоторые часто встречающиеся магматиты и метасоматиты охарактеризованы ниже.

### Минералы и парагенезисы распространенных пород

Самыми древними породами на участке по относительному возрасту являются амфиболовые габбро, участками с пегматоидными миаролами и более крупными пегматитовыми телами (рис. 6). Дайки долеритов и гранитоидов, жилы магнетита являются секущими по отношению к габбро.

После становления габбрового массива развился масштабный полифазальный процесс скарнирования с комплементарным (пространственно взаимодополняющим) образованием карбонатитов. В тектонической трещинной структуре скарнированию подвергнуты все наблюдаемые разновременные магматические тела. Масштабность скарнирования определялась развитием трещиноватости в пространстве и во времени. Минеральные фации скарнов различаются количественными соотношениями минералов и парагенезисов: эпидота, пироксена, граната, амфибола, монтичеллита, хлорита, магнетита, пирита и др. (рис. 6 и 7). Перечисленные минералы скарнов могут быть как синхронными (парагенезисы), так и последовательными (ассоциации).

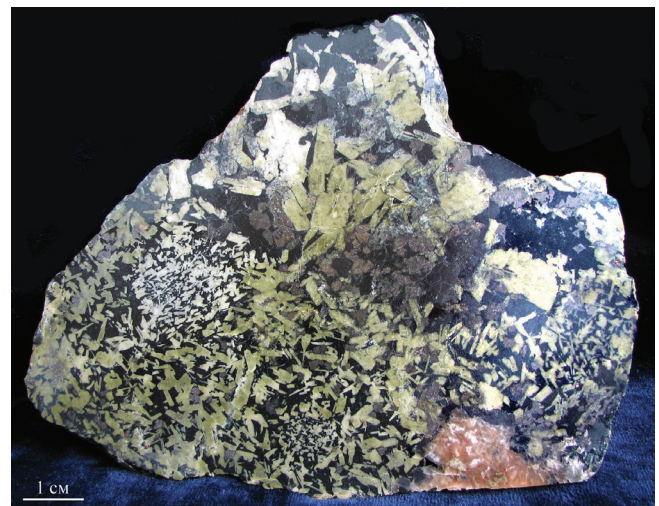


Рис. 6. Неоднородно скарнированное амфиболовое габбро в контакте с габбро-пегматитом.

Видны участки с гранатом (красновато-коричневые), эпидотом (желтовато-зелёные), альбита с клиноцоизитом (белые), магнетита с рутилом (коричнево-серые псевдоморфозы по титаниту). Косое освещение полированного образца.

Fig. 6. Amphibole gabbro variously replaced by skarn assemblages at the contact with gabbropegmatite.

There are areas with garnet (reddish brown), epidote (yellowish green), albite with clinocoisite (white), magnetite with rutile (brown-gray pseudomorphoses after titanite). Oblique light of polished sample.

Скарнированное габбро (рис. 6) под бинокляром обнаруживает на сколе большое количество мелких (0.1 мм) октаэдрических метакристаллов магнетита с блестящими гранями. По плагиоклазу

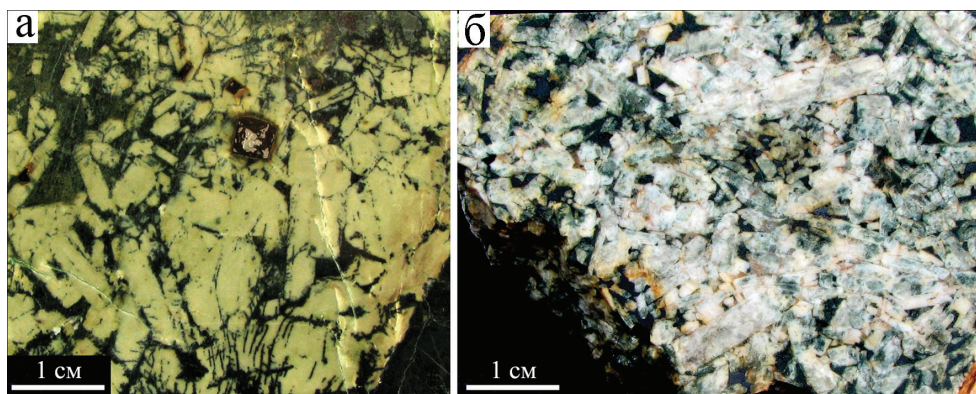


Рис. 7. Скарнированное крупнозернистое габбро: а – эпидотизированное с метакристаллами пирита (лимонитовые псевдоморфозы); б – неоднородно хлоритизированное.

Косое освещение полированных образцов.

Fig. 7. Coarse-grained gabbro with skarn assemblages: a – epidotized with pyrite metacrystals (limonite pseudomorphoses); б – variously chloritized.

Oblique light of polished samples.

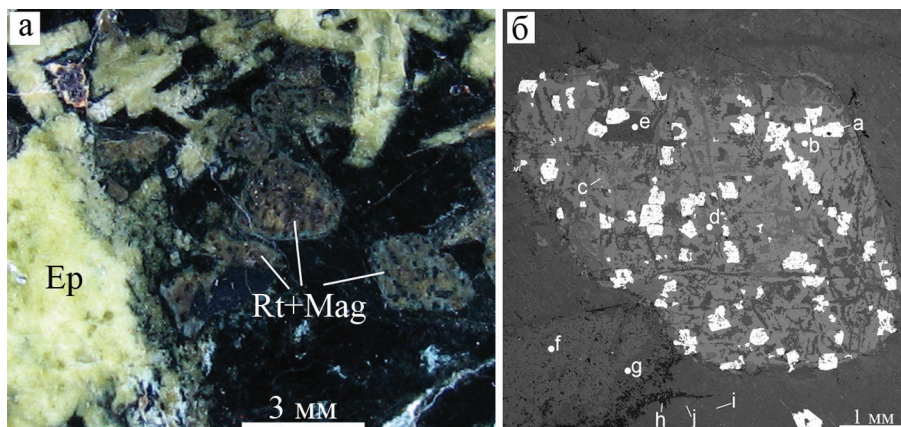


Рис. 8. Полиминеральные псевдоморфозы по первичному титаниту в габбро: а – общий вид псевдоморфоз в полировке при косом освещении; б – BSE-фото: а – магнетит, б – титанит, с – андрадит, d – эпидот, e – винцит с Cr и V, f – ванадистый эпидот, i – винцит, h – альбит, j – диопсид-геденбергит.

Здесь и далее буквами обозначены точки анализов.

Fig. 8. Polymineral pseudomorphoses after primary titanite in gabbro: a – general view of pseudomorphoses in polished sample under oblique light; б – BSE image: a – magnetite, b – titanite, c – andradite, d – epidote, e – wincite with Cr and V, f – V-bearing epidote, i – wincite, h – albite, j – diopside-hedenbergite.

Hereinafter, letters indicate the analytical points.

развились агрегаты эпидота (иногда с альбитом), хлорита, местами есть метакристаллы пирита. По амфиболу развиты тонкозернистые агрегаты пироксена с титанитом и пылевидным магнетитом, а иногда струйчато проявлен мелкий барит. По первичному титаниту местами возникли псевдоморфозы, состоящие из магнетита, андрадита, эпидота, рутила и реликтов титанита (рис. 8). По первичному ильмениту в ориентированном сростании с магнетитом возникли магнетит-рутиловые синтаксические псевдоморфозы (рис. 9). Фактически осталась лишь тень структуры крупнозернистого габбро, а все ее

минералы – новообразованные, и породу можно называть скарном (?). Даже в небольших миароловых пустотах видны поздние минералы: диопсид, томсонит и таблитчатые двойники магнетита (рис. 10). В данном случае по каждому из первичных минералов габбро возникают разные псевдоморфозы (рис. 8–11), которые усложнены метакристаллами пирита, магнетита и барита, развитые независимо от исходных минералов (рис. 7 и 11).

Химические особенности минералов скарнированного габбро изученного образца (рис. 6) проявлены в эмпирических кристаллохимических



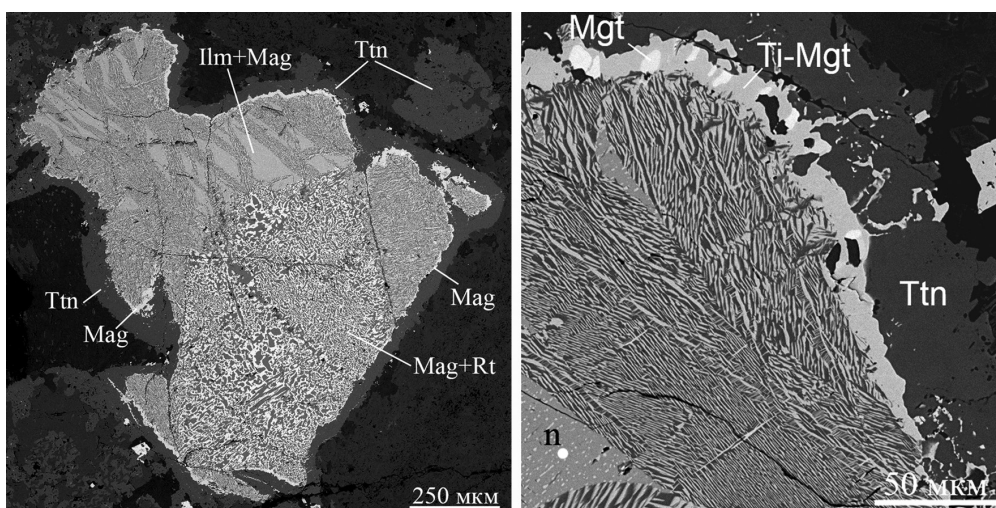


Рис. 9. Замещение ильменит-магнетитового агрегата (n) рутил-магнетитовым синтаксическим агрегатом вдоль трещин: слева – общий вид неполной псевдоморфозы; справа – фрагмент с коркой магнетит-титаномagnetитового агрегата и титанитового агрегата.

Здесь и на рис. 10–12, 13б, 14, 16–18, 20, 21, 23 – BSE-фото.

Fig. 9. Replacement of ilmenite-magnetite aggregate (n) by rutile-magnetite syntactic aggregate along fractures: left – general view of partial pseudomorphosis; right – fragment with a crust of magnetite-titanomagnetite aggregate and titanite aggregate. Here and in Figs. 10–12, 13б, 16–18, 20, 21, 23 – BSE images.

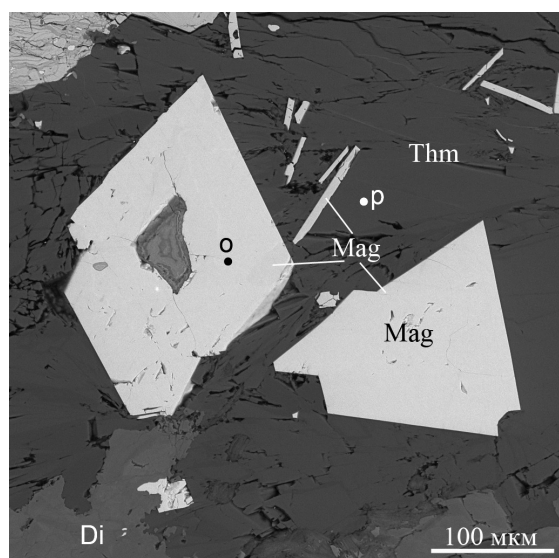


Рис. 10. Диопсид-магнетит-томсонитовый агрегат в миароле скарнированного габбро.

Fig. 10. Diopside-magnetite-thomsonite aggregate in miarole altered gabbro.

формулах<sup>2</sup> магнетита (a)  $(\text{Fe}_{0.99}\text{Mn}_{0.01})(\text{Fe}_{1.95}\text{Cr}_{0.03}\text{V}_{0.01}\text{Ni}_{0.01})\text{O}_4$ , титанита (b, табл. 1, № 17)  $(\text{Ca}_{1.02}\text{Ti}_{0.93}\text{Al}_{0.03}\text{Cr}_{0.01}\text{Fe}_{0.01})\text{SiO}_5$ , андрадита (c, табл. 1,

№ 9)  $(\text{Ca}_{2.97}\text{Mn}_{0.03})(\text{Fe}_{1.41}\text{Al}_{0.50}\text{Ti}_{0.06}\text{V}_{0.03})\text{Si}_3\text{O}_{12}$ , эпидота с V (d, f, табл. 1, № 14, 15)  $(\text{Ca}_2\text{Al}_{2.22}\text{Fe}_{0.67}\text{V}_{0.11})\text{Si}_3\text{O}_{12}(\text{OH})$ , винчита с Cr и V (e, g, табл. 1, № 5, 6)  $\text{Na}_{0.19}\text{Ca}_{1.94}\text{Mg}_{3.41}\text{Fe}_{1.30}\text{Cr}_{0.10}\text{V}_{0.06}\text{Mn}_{0.02}\text{Al}_{0.08}\text{Fe}_{0.01}\text{Al}_{1.10}\text{Si}_{2.89}\text{O}_8$ , диопсида-геденбергита (возможно, в тонком срастании с амфиболом) (j)  $\text{Na}_{0.2}\text{K}_{0.02}\text{Mg}_{0.58}\text{Ca}_{0.44}\text{Fe}_{0.55}\text{Al}_{0.18}\text{V}_{0.01}\text{Cr}_{0.01}\text{Mn}_{0.01}\text{Ti}_{0.01}(\text{Si}_{1.64}\text{Al}_{0.36})\text{O}_6$ , рутила (l)  $\text{Ti}_{0.98}\text{Fe}_{0.02}\text{O}_2$ , барита (m)  $\text{Ba}_{0.91}\text{Ca}_{0.06}\text{Sr}_{0.01}\text{Fe}_{0.02}\text{SO}_4$ , ильменита (n)  $\text{Fe}_{0.72}\text{Mn}_{0.27}\text{Mg}_{0.04}\text{Ti}_{0.97}\text{O}_3$ , томсонита-Ca (p, табл. 1, № 19)  $(\text{Na}_{1.05}\text{Ca}_{1.61})(\text{Al}_{4.88}\text{Si}_{5.43})\text{O}_{20} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . Примеси V, Ni, Cr и Mn установлены во многих минералах, а также разный состав одного минерала в разных частях агрегата или пирамидах нарастания одного индивида (например, магнетита – рис. 9). Мелкие метакристаллы магнетита имеют вид блестящих октаэдров, а в агрегате с томсонитом это таблитчатые двойники по  $\{111\}$ . Метакристаллы пирита имеют форму куба с грубыми штрихами от пересечений  $\{210\}$ . Мелкая «сыпь» метакристаллов барита развита в виде локальных «струй» (рис. 11б).

В небольшом более деформированном участке габбро рассмотренного выше образца обнаружена другая ассоциация минералов, где преобладают диопсид и серпентин (рис. 12), нет псевдоморфоз по плагиоклазу и амфиболу. Здесь аксессуарными

<sup>2</sup> – Прим. ред. Формулы минералов в статье представлены в авторской редакции.



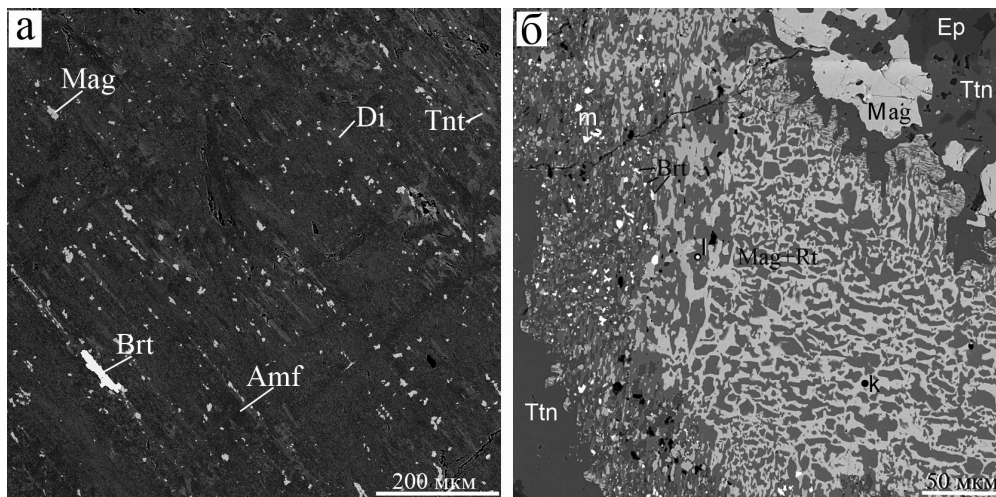


Рис. 11. Структура метасоматических агрегатов при замещении амфибола (а) и ильменит-магнетитового агрегата (б) в исходном габбро (рис. 6).

Слева от ильменит-магнетитового агрегата видны мелкие кристаллы барита (m).

Fig. 11. Structure of metasomatic aggregates after replacement of amphibole (a) and ilmenite-magnetite aggregate (б) in primary gabbro (Fig. 6).

To the left of ilmenite-magnetite aggregate, there are small barite crystals (m).

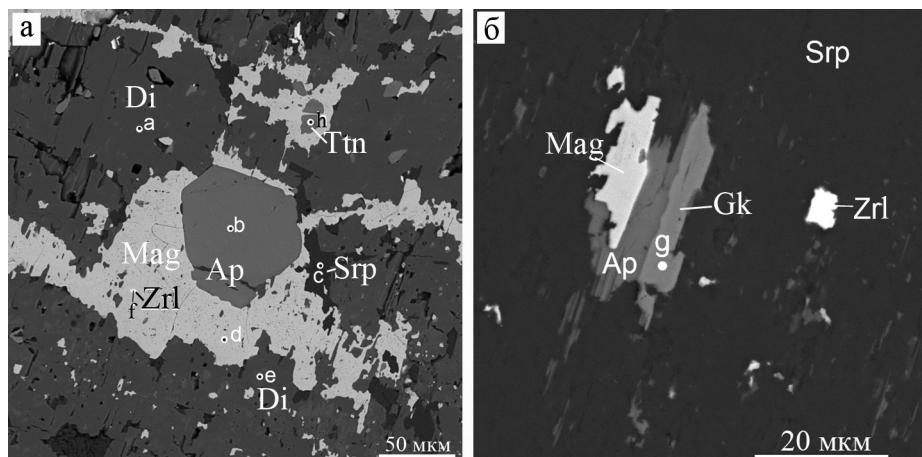


Рис. 12. Гидроксилапатит и магнетит в диопсиде (а); гейкилит с магнетитом, гидроксилапатитом и цирконолит в серпентиновом агрегате (б).

Fig. 12. Hydroxylapatite and magnetite in diopside (a); geikylite with magnetite, hydroxylapatite and zirconolite in serpentine aggregate (b).

являются гидроксилапатит, гейкилит и цирконолит. Состав минералов в формулах: диопсид (а, табл. 1, № 4)  $\text{Ca}_{0.98}\text{Mg}_{0.99}\text{Fe}_{0.03}(\text{Si}_2\text{O}_6)$  и (е)  $\text{Na}_{0.12}\text{Ca}_{0.87}\text{Mg}_{0.76}\text{Fe}_{0.23}\text{Mn}_{0.04}\text{Si}_2\text{O}_6$ , серпентин (с, табл. 1, № 34)  $(\text{Mg}_{2.89}\text{Fe}_{0.07}\text{Al}_{0.04})\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ , магнетит d)  $(\text{Fe}_{0.86}\text{Mg}_{0.14})\text{Fe}_2\text{O}_4$ , цирконолит (f, табл. 2, № 1)  $(\text{Ca}_{0.73}\text{Ce}_{0.11}\text{Nd}_{0.07}\text{Fe}_{0.19})\text{Zr}_{0.90}(\text{Ti}_{1.62}\text{Fe}_{0.38})\text{O}_7$ , гидроксилапатит (b, табл. 3, № 1)  $(\text{Ca}_{4.91}\text{Sr}_{0.04}\text{Fe}_{0.02}\text{Ce}_{0.02}\text{Nd}_{0.01})(\text{P}_{2.95}\text{Si}_{0.05})\text{O}_{12}(\text{OH}_{0.72}\text{Cl}_{0.28})$ , титанит (h)  $\text{Ca}_{0.99}\text{Mg}_{0.02}\text{Ti}_{0.92}\text{Fe}_{0.08}(\text{SiO}_4)\text{O}$ , гейкилит (g)  $(\text{Mg}_{0.75}\text{Fe}_{0.21}\text{Mn}_{0.05}\text{Ca}_{0.02})(\text{Ti}_{0.93}\text{Ta}_{0.01}\text{W}_{0.01})\text{O}_3$ .

Еще один фрагмент изученного образца (рис. 6, справа внизу) представлен везувиан-гранатовой породой (рис. 13 и 14) с резкими границами. Здесь также нет псевдоморфоз по плагиоклазу и амфиболу. Везувиан и гранат зональны и секториальны. Состав граната меняется от гроссуляра до андрадита, что можно увидеть в приведенных кристаллохимических формулах: гроссуляр (d)  $\text{Ca}_{2.99}\text{Al}_{1.75}\text{Fe}_{0.23}\text{Mn}_{0.03}(\text{SiO}_4)_3$ , андрадит (к, табл. 1, 10–12 № 15)  $\text{Ca}_{2.81}\text{Fe}_{1.49}\text{Al}_{0.44}\text{Ti}_{0.09}\text{Mn}_{0.08}(\text{SiO}_4)_3$ , титанит (f)  $\text{CaTi}_{0.95}\text{Al}_{0.03}\text{Fe}_{0.02}(\text{SiO}_4)\text{O}$ , везувиан (с, табл. 1, № 16)

Таблица 1

Химический состав (мас. %) силикатов Шишимской копи

Table 1

Chemical composition (wt. %) of silicates of the Shishim mine

№ ан.	№ обр.	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cl	Сумма
Хлориты (клинохлор)														
1	221j	31.23	–	13.73	–	–	28.44	0.61	0.33	0.19	–	–	–	74.55
2	238a	29.79	–	16.86	14.24	–	26.18	–	–	–	–	–	–	87.08
3	239a	31.40	–	16.19	–	–	27.68	–	–	–	–	–	–	87.16
Пироксены (диопсид)														
4	220a	55.19	–	–	1.04	–	18.35	25.37	–	–	–	–	–	99.96
Амфиболы														
5	219e	54.71	–	2.94	10.97	0.20	16.45	13.02	0.69	–	0.24	0.62	–	99.85
6	219g	54.20	–	2.81	11.00	0.23	16.13	11.84	0.95	0.11	0.21	–	0.05	97.54
7	238b	57.74	–	0.60	2.89	–	23.32	13.47	–	–	–	–	–	98.03
8	238c	56.86	–	0.75	6.76	–	20.89	12.69	–	–	–	–	–	97.95
Гранаты и монтицеллит (13)														
9	219c	37.22	1.01	5.19	20.65	0.44	–	33.61	–	–	0.60	–	–	98.71
10	221k	37.11	1.51	4.65	21.93	1.19	–	31.95	–	–	–	–	–	98.35
11	221l	38.37	1.67	9.16	15.16	0.57	–	34.41	–	–	–	–	–	99.33
12	221b	39.29	–	13.71	10.42	0.42	–	34.91	–	–	–	–	–	98.74
13	242f	37.84	–	–	3.40	0.16	23.81	34.59	–	–	–	–	–	99.80
Эпидот														
14	219d	38.74	0.11	21.18	14.37	–	–	23.82	–	–	0.50	0.95	–	99.67
15	219f	38.55	–	23.63	10.12	–	–	23.02	–	–	2.10	–	–	97.41
Везувиан														
16	221a	38.21	–	17.38	3.62	–	2.57	35.33	–	–	–	–	–	97.11
Титанит (17), гидроксилклиногумит (18)														
17	219б	31.42	37.21	0.87	0.51	–	–	29.29	–	–	–	0.36	–	99.66
18	227g	39.61	0.85	–	0.82	0.48	56.28	–	–	–	–	–	–	99.11
Томсонит (19), серпентин (20)														
19	219p	39.50	0.26	30.13	–	–	–	10.91	3.95	–	–	–	–	84.75
20	220c	42.40	–	1.11	1.76	–	41.50	–	–	–	–	–	–	86.78

Примечание. 1–3 – клинохлор; 4 – диопсид, 5, 6 – винцит; 7 – тремолит (центр); 8 – тремолит (краевая зона кристалла 7); 9 – андрадит; 10 – андрадит (центр); 11 – гроссуляр (краевая зона кристалла 10); 12 – андрадит; 13 – монтицеллит; 14, 15 – эпидот; 16 – везувиан; 17 – титанит; 18 – гидроксилклиногумит (F 1.08 мас. %); 19 – томсонит; 20 – серпентин.

Note. 1–4 – clinocllore; 4 – diopside; 5, 6 – wincite; 7 – tremolite (center); 8 – tremolite (rim of crystal 7); 9 – andradite; 10 – andradite (center); 11 – grossular (rim of crystal 10); 12 – andradite; 13 – monticellite; 14, 15 – epidote; 16 – vesuvianite; 17 – titanite; 18 – hydroxylclinohumite (F 1.08 wt. %); 19 – thomsonite; 20 – serpentine.

Ca<sub>18.06</sub>Al<sub>9.41</sub>(Mg<sub>2.02</sub>Fe<sub>1.19</sub>Ti<sub>0.23</sub>)(SiO<sub>4</sub>)<sub>10</sub>(Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>)<sub>4</sub>(OH)<sub>10</sub>, диопсид (m) CaMg<sub>0.98</sub>Fe<sub>0.02</sub>(Si<sub>1.98</sub>Al<sub>0.02</sub>)O<sub>6</sub>, бадделеит (h, табл. 2, № 11) Zr<sub>0.86</sub>Ca<sub>0.05</sub>Si<sub>0.04</sub>Al<sub>0.02</sub>Fe<sub>0.01</sub>Hf<sub>0.01</sub>O<sub>2</sub>, перовскит (g) CaTiO<sub>3</sub>, доломит (i) CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, клинохлор (j, табл. 1, № 1) Mg<sub>4.64</sub>Ca<sub>0.07</sub>Na<sub>0.07</sub>K<sub>0.03</sub>Al<sub>1.19</sub>(Si<sub>3.42</sub>Al<sub>0.58</sub>)O<sub>10</sub>(OH)<sub>8</sub>. Дополнительными минерала-

ми парагенезиса являются титанит, перовскит, доломит и бадделеит.

Таким образом, даже в пределах одного образца вмещающей скарновой комплекс горной породы, которую в полевых условиях мы называли «сосюритизированным габбро», наблюдается

Таблица 2

Химический состав (мас. %) цирконолита (1–5), кальцитрита (6–8), циркона (9, 10), бадделейта (11, 12) и алланита-(Ce) (13)

Table 2

Chemical composition (wt. %) of zirconolite (1–5), calcitrite (6–8), zircon (9, 10), baddeleyite (11–12) and allanite-(Ce) (13)

№ ан.	№ обр.	CaO	TiO <sub>2</sub>	FeO	MgO	MnO	ZrO <sub>2</sub>	HfO <sub>2</sub>	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ThO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Сумма	
Цирконолит																		
1	238i	10.84	34.02	9.52	–	–	31.63	–	4.79	–	3.03	0.63	–	4.03	–	–	98.47	
2	238j	10.66	34.92	9.20	–	–	32.36	–	3.20	–	3.07	0.39	2.76	1.57	–	–	98.15	
3	220f	11.61	36.67	11.71	–	–	31.65	–	5.21	–	3.15	–	–	–	–	–	100.00	
4	316i	14.23	42.70	4.37	–	–	35.34	0.20	1.04	–	–	–	1.64	–	–	–	99.54	
5	320g	13.88	41.75	4.79	–	–	34.54	0.06	0.84	–	0.80	–	2.51	–	–	–	99.18	
Кальцитрит																		
6	242i	14.08	18.33	–	–	–	66.16	1.16	–	–	–	–	–	–	–	–	99.73	
7	314j	12.77	18.19	0.45	–	–	66.86	1.10	–	–	–	–	–	–	–	–	100.00	
8	320i	12.52	18.47	0.39	–	–	66.65	1.25	–	–	–	–	–	–	–	–	99.28	
Циркон																		
9	238e	0.31	–	1.44	–	–	61.57	2.96	–	–	–	–	–	–	33.46	–	99.75	
10	239g	–	–	1.16	–	–	63.56	2.20	–	–	–	–	–	–	33.07	–	100.00	
Бадделейт																		
11	221h	2.56	–	0.69	–	–	91.41	1.84	–	–	–	–	–	–	2.01	0.99	99.51	
12	227e	0.16	–	–	–	–	98.00	1.68	–	–	–	–	–	–	–	–	99.83	
Алланит-(Ce)																		
13	238k	11.64	–	12.22	1.18	–	–	–	10.54	1.18	5.93	–	–	–	32.16	17.68	95.55	

Примечание. Минералы также содержат (мас. %): ан. 7 – SrO 0.64, ан. 13 – La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 3.02.Note. The minerals also contain (wt. %): an. 7 – SrO 0.64, an. 13 – La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 3.02.



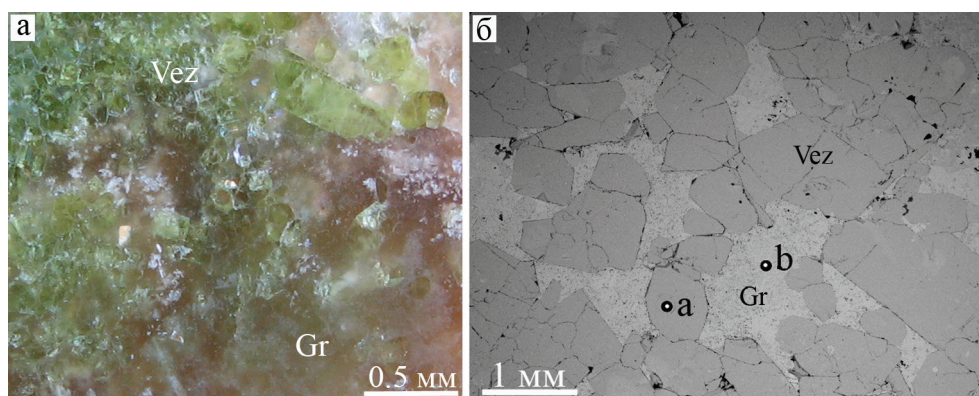


Рис. 13. Везувиан-гранатовый скарн: а – полированный образец, косое освещение; б – структура агрегата (а – везувиан, б – гроссуляр).

Fig. 13. Vesuvian-garnet skarn: a – polished sample, oblique light; б – structure of aggregate (a – vesuvian, b – grossular).

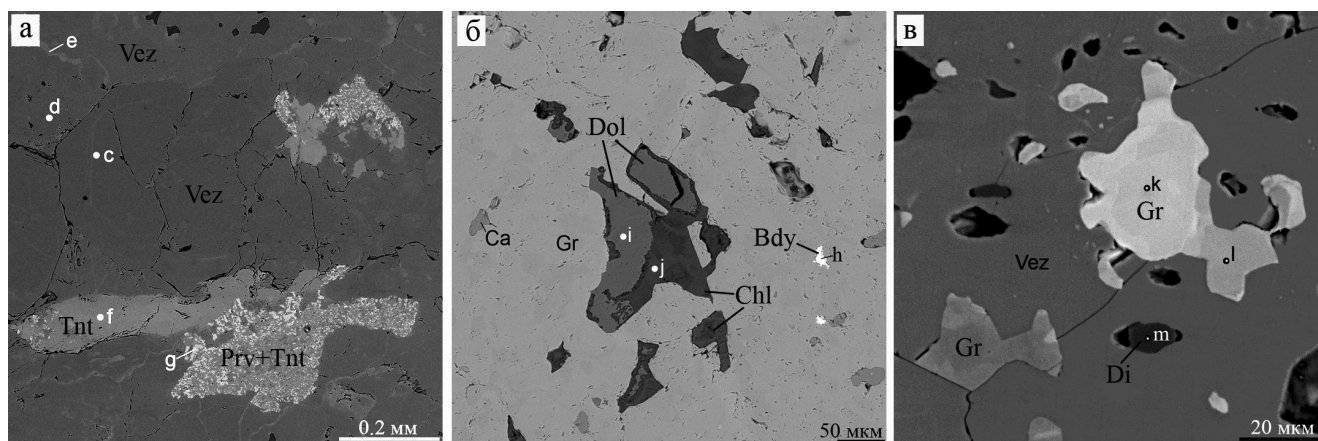


Рис. 14. Детали структуры везувиан-гранатового скарна: а – титанит и перовскит-титанитовые сростания (псевдоморфозы?) в везувиановом агрегате; б – доломит-хлоритовые вростки и бадделейит в гранате; в – зональные вростки граната и диопсид в везувиане.

Fig. 14. Details of structure of vesuvian-garnet skarn: а – titanite and perovskite-titanite aggregates (pseudomorphoses?) in vesuvian aggregate; б – dolomite-chlorite ingrowths and baddeleyite in garnet; в – zonal garnet ingrowths and diopside in vesuvian.

несколько парагенезисов, возникших частью синхронно (псевдоморфозы по плагиоклазу и по амфиболу) и частью – последовательно («струи» с баритом и магнетит-томсонитовые мелкие «миаролы»).

Далее рассмотрим три горных породы, упомянутых ранее среди тел, вскрытых копью, – это «мраморы» и «прослой хлоритовой породы». В районе копи есть участки слабого рассланцевания, где названные тела имеют четкие контакты, однородную текстуру и порфировую структуру. В разных местах порфиоровыми вкрапленниками (фенокристаллами) в темно-зеленой мелкозернистой массе хлорита являются либо тремолит, либо доломит, либо магнетит (рис. 15). Эти тела обладают морфологическими признаками магматических

горных пород – хлоритолитов, часто сопровождающих уральские карбонатиты наряду со слюдитами.

**Кальцитовые карбонатиты** (рис. 15а) имеют среднезернистую структуру с мелкими редкими вкраплениями второстепенных минералов – магнетита (почти магнезиоферрита), гидроксилклиногумита, клинохлора, бадделейита (часты двойники), брусита, валлериита и уранового минерала (рис. 16). Особенности состава минералов карбонатитов видны в эмпирических кристаллохимических формулах: магнетит (а)  $(\text{Fe}_{0.52}\text{Mg}_{0.43}\text{Mn}_{0.05})(\text{Fe}_{1.98}\text{Al}_{0.01}\text{Si}_{0.01})\text{O}_4$ , кальцит (b)  $\text{Ca}_{0.99}\text{Mg}_{0.01}\text{Fe}_{0.004}(\text{CO}_3)$ , клинохлор (c)  $\text{Mg}_{4.7}\text{Fe}_{0.11}\text{Al}_{1.16}\text{Ca}_{0.02}(\text{Si}_{2.82}\text{Al}_{1.18})\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ , брусит (d)  $\text{Mg}_{0.99}\text{Fe}_{0.01}(\text{OH}_{1.97}\text{F}_{0.03})$ , бадделейит (e, табл. 2, № 12)  $\text{Zr}_{0.99}\text{Hf}_{0.01}\text{O}_2$ , гидроксилклиногумит (g, табл.

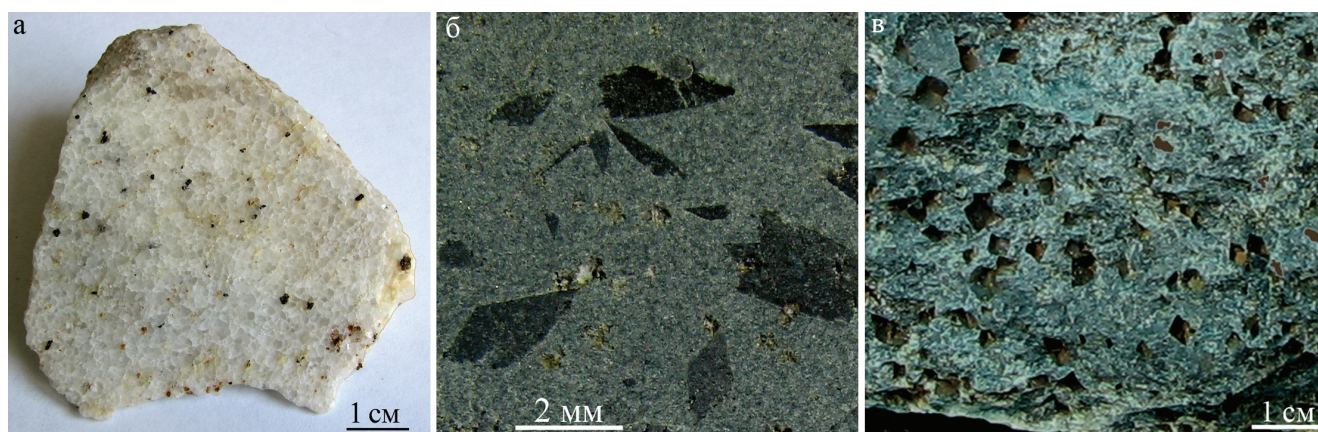


Рис. 15. Магматические горные породы в районе Шишимской копи: а – кальцитовый карбонатит; б – амфиболовый хлоритолит; в – доломитовый (ромбоэдрические полости) хлоритолит.

Косое освещение.

Fig. 15. Igneous rocks in area of the Shishim mine: а – calcite carbonatite; б – amphibole chloritolite; в – dolomite (rhombohedral cavities) chloritolite.

Oblique light.

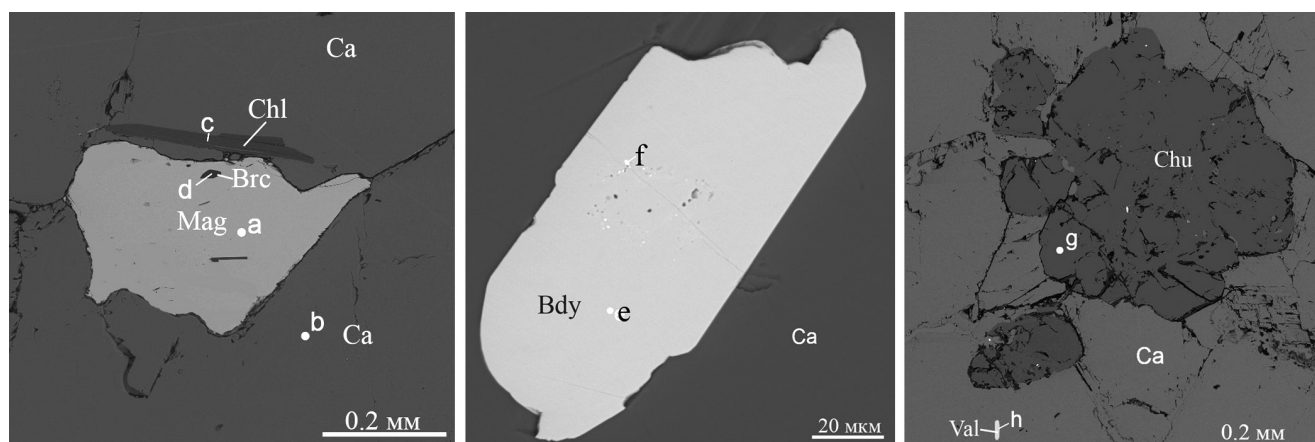


Рис. 16. Второстепенные и акцессорные минералы кальцитовых карбонатитов в районе Шишимской копи.

Fig. 16. Secondary and accessory minerals of calcite carbonatites in the Shishim mine area.

1, № 18)  $Mg_{8.83}Fe_{0.07}Ti_{0.06}Mn_{0.04}(SiO_4)_4(OH_{1.66}F_{0.34})$ , валлериит (h)  $(Cu_{2.21}Fe_{1.79})(Mg_{2.37}Al_{0.63})S_4(OH, O)_6$ .

**Амфиболовые хлоритолиты** (рис. 15б) имеют массивную текстуру и мелкозернистую структуру плотного агрегата клинохлора с порфиrowыми вкраплениями призматического тремолита. Второстепенными минералами являются кальцит, ильменит и рутил, акцессорными – циркон, цирконолит, торит, алланит (рис. 17): клинохлор (а, табл. 1, № 2)  $Mg_{3.88}Fe_{1.18}Al_{0.94}(Si_{2.96}Al_{1.04})(OH)_8$ , тремолит (b, табл. 1, № 7)  $Ca_2Mg_{4.67}Fe_{0.33}(Si_{7.87}Al_{0.13})O_{22}(OH)_2$ , тремолит (с, табл. 1, № 8, более железистый)  $Ca_{1.9}Mg_{4.32}Fe_{0.78}(Si_{7.88}Al_{0.12})O_{22}(OH)_2$ , ильменит  $Fe_{0.95}Mn_{0.03}Mg_{0.02}TiO_3$ , циркон (е, табл. 2, № 9)  $Zr_{0.94}Hf_{0.03}Fe_{0.03}SiO_4$ , рутил (f)  $Ti_{0.99}Fe_{0.01}O_2$ ,

кальцит (h)  $Ca_{0.99}Fe_{0.01}CO_3$ , цирконолит (i, табл. 2, № 1, 2)  $Ca_{0.72}Zr_{0.96}Ti_{1.59}Fe_{0.49}Ce_{0.11}Nd_{0.07}Th_{0.06}Sm_{0.01}O_7$ , алланит-(Ce) (к, табл. 2, № 13)  $(Ca_{1.16}Ce_{0.36}Nd_{0.20}La_{0.10}Pr_{0.04}Mg_{0.14})(Al_{1.98}Fe_{0.99})(SiO_4)(Si_2O_7)O(OH)$ . Все минералы имеют индукционные границы одновременного роста, тремолит и клинохлор зональны с более железистой периферией. Рутил с ильменитом нередко образуют синтаксические срастания. В алланите видна зональность и секториальность состава, встречаются участки ферроалланита.

**Доломитовые хлоритолиты** (рис. 15в) внешне сходны с амфиболовыми или магнетитовыми хлоритолитами. Основной объем породы сложен клинохлором. Вкрапления ромбоэдров доломита на поверхности образцов растворены с образова-



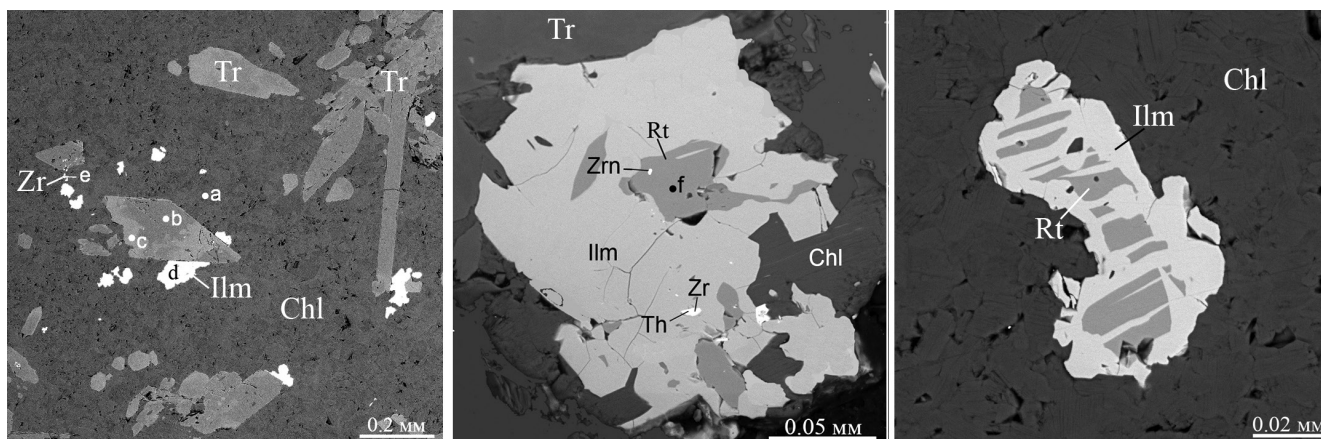


Рис. 17. Минералы амфиболового хлоритолита.  
 Fig. 17. Minerals of amphibole chloritilite.

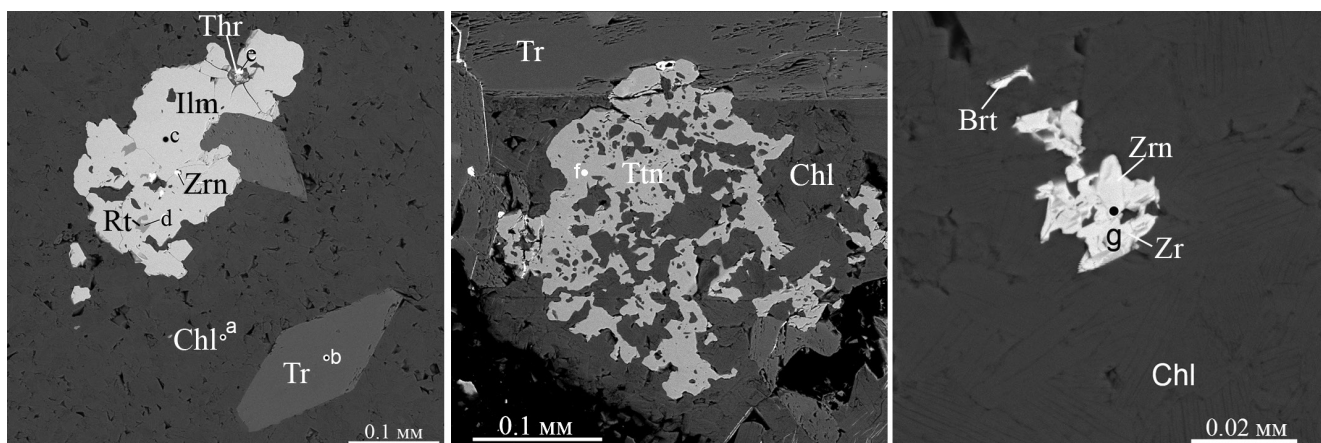


Рис. 18. Минералы амфибол-доломитового хлоритолита.  
 Fig. 18. Minerals of amphibole-dolomite chloritilite.

нием полостей, стенки которых покрыты лимонитовыми корками. Второстепенным минералом является тремолит, а акцессорными – ильменит, циркон, рутил, торит, титанит и барит (рис. 18): клинохлор (а, табл. 1, № 3)  $Mg_{4.09}Fe_{0.9}Al(Si_{3.11}Al_{0.89})O_{10}(OH)_8$ , тремолит (b)  $Ca_{1.92}Mg_{4.84}Fe_{0.24}(Si_{7.87}Al_{0.13})O_{10}(OH)_2$ , ильменит (c)  $Fe_{0.95}Mn_{0.04}Mg_{0.01}TiO_3$ , рутил (d)  $Ti_{0.98}Fe_{0.01}Nb_{0.004}W_{0.005}O_2$ , титанит (f)  $CaTi_{0.96}Al_{0.02}Fe_{0.02}SiO_5$ , циркон (g, табл. 2, № 10)  $Zr_{0.94}Hf_{0.02}Fe_{0.04}SiO_4$ , барит (i)  $Ba_{0.93}Ca_{0.04}Sr_{0.01}Fe_{0.02}(SO_4)$ .

Среди образцов в отвалах копи часто встречаются скарнированные породы, теневая структура которых напоминает некоторые структуры габбро различного состава (рис. 19). Первичный минеральный состав габбро не сохранился, плагиооклазов нет совсем, светлая часть агрегата пред-

ставлена бесцветным диопсидом, зеленая – клинохлором. На BSE-снимке породы (рис. 19a, 20a) видно, что диопсид  $Ca_{1.01}Mg_{0.97}Fe_{0.02}Si_2O_6$  образовал псевдоморфозы по плагиоклазу, клинохлор  $Mg_{4.8}Al_{0.98}Fe_{0.22}(Si_{2.98}Al_{1.02})O_{10}(OH)_8$  развился преимущественно по амфиболу, скелетовидные и блочные зерна магнетита  $Fe_{0.91}Mg_{0.06}Mn_{0.01}V_{0.01}Fe_2O_4$  ассоциируют с хлоритом. Эти три минерала составляют более 90 % объема породы. Преимущественно в клинохлоровой массе местами с мелким андрадитом  $Ca_{2.9}Fe_{1.63}Ti_{0.27}Al_{0.12}Mg_{0.08}(SiO_4)_3$  встречаются кальцит  $CaCO_3$ , титанит  $Ca_{0.99}Ti_{0.97}Al_{0.02}Fe_{0.02}SiO_5$  и акцессорные перовскит и цирконолит (рис. 20б, в, табл. 2, № 4). В перовските видны ядро (е, табл. 4, № 8, 9)  $Ca_{0.92}Ce_{0.03}La_{0.01}Nd_{0.01}Y_{0.01}Nb_{0.01}Ta_{0.002}Fe_{0.03}Al_{0.02}W_{0.01}Th_{0.01}Ti_{0.96}O_3$  и периферия (f)  $Ca_{0.99}Fe_{0.01}Ta_{0.001}TiO_3$ . Цирконолит образует либо единичные мелкие



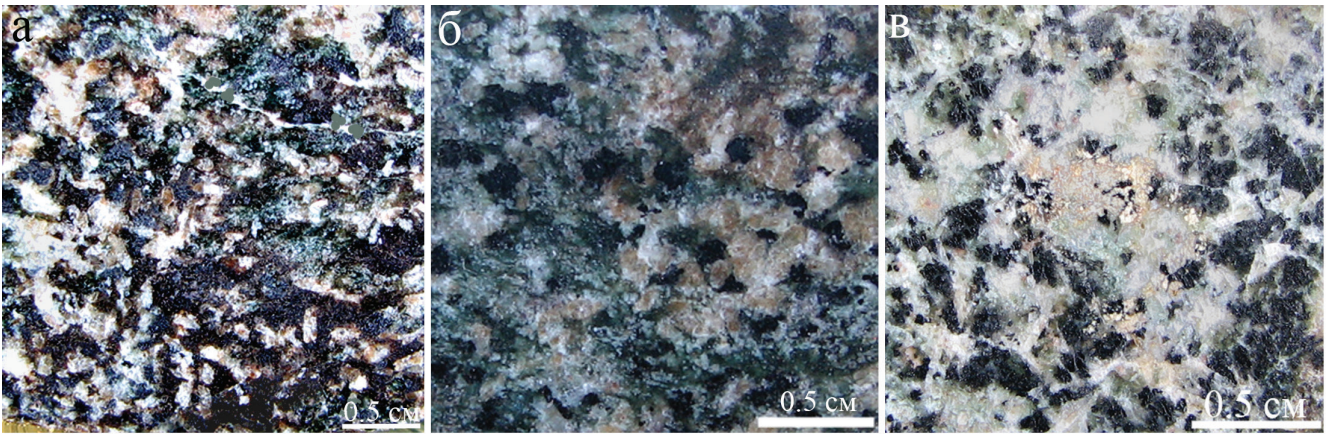


Рис. 19. Скарнированные габбро разной исходной структуры и состава: а – амфибол-плаггиоклазового; б – магнетит-пироксен-плаггиоклазового; в – магнетит-плаггиоклаз-пироксенового?

Полированные образцы, косое освещение.

Fig. 19. Gabbro altered to skarn of different initial structure and composition: a – amphibole-plagioclase; b – magnetite-pyroxene-plagioclase; c – magnetite-plagioclase-pyroxene?

Polished samples, oblique light.

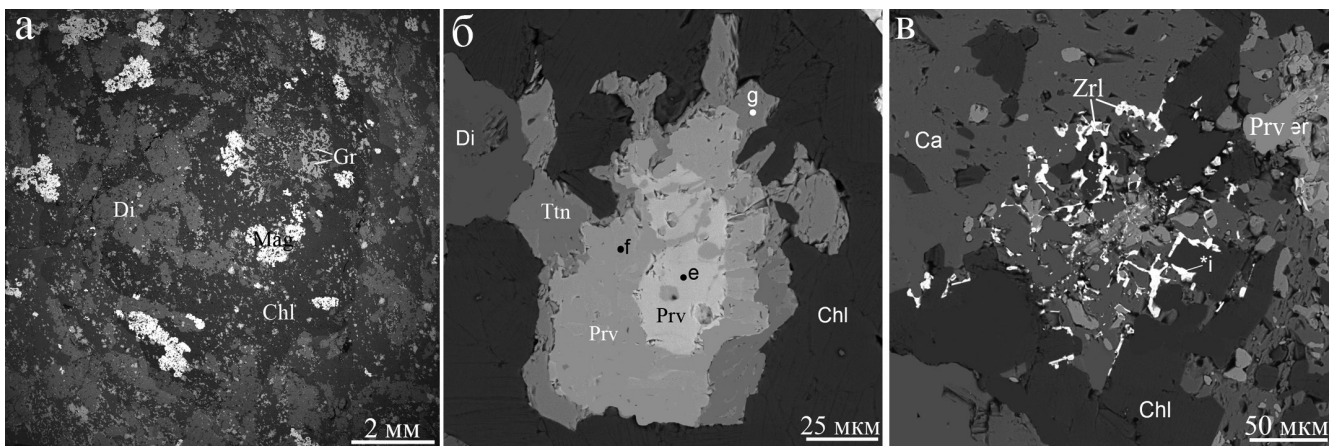


Рис. 20. Минералы метасоматического магнетит-хлорит-диопсидового скарна, развитого по амфибол-плаггиоклазовому габбро.

Fig. 20. Minerals of metasomatic magnetite-chlorite-diopside skarn after amphibole-plagioclase gabbro.

включения в клинохлоре, либо сложные псевдоморфозы с перовскитом, титанитом и кальцитом по неизвестному минералу (рис. 20в). Форма индивидов цирконолита близка к скелетной. Под микроскопом видна характерная черта структуры: породообразующие хлорит и пироксен содержат множество мелких и мельчайших включений граната. Между всеми минералами скарна наблюдались индукционные границы одновременного роста.

**Скарн** (рис. 19б) имеет много общего с предшествующей породой (рис. 19а). Преобладающими по объему минералами являются диопсид, клинохлор и магнетит (рис. 21а), в которых неравномерно вкраплен мелкий андрадит (рис. 21б).

Акцессорными минералами являются перовскит, титанит, гидроксилapatит, цирконолит и кальцитрит (рис. 21в–е): магнетит (а)  $(\text{Fe}_{0.93}\text{Mg}_{0.05}\text{Mn}_{0.02})\text{Fe}_2\text{O}_4$ , андрадит (b)  $\text{Ca}_{2.88}\text{Fe}_{1.48}\text{Ti}_{0.32}\text{Al}_{0.19}\text{Mg}_{0.13}(\text{SiO}_4)_3$ , клинохлор (c)  $\text{Mg}_{4.84}\text{Al}_{0.9}\text{Fe}_{0.26}(\text{Si}_{3.07}\text{Al}_{0.93})\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ , диопсид (d)  $\text{CaMg}_{0.96}\text{Fe}_{0.03}\text{Al}_{0.01}\text{Si}_2\text{O}_6$ , перовскит (e, табл. 4, № 10)  $\text{CaTi}_{0.99}\text{Fe}_{0.01}\text{Y}_{0.006}\text{Ta}_{0.002}\text{O}_3$ , титанит (f)  $\text{CaTi}_{0.96}\text{Fe}_{0.02}\text{Al}_{0.02}\text{SiO}_5$ , цирконолит (g, табл. 2, № 5)  $(\text{Ca}_{0.86}\text{Y}_{0.08}\text{Ce}_{0.02}\text{Nd}_{0.02})\text{Zr}_{0.98}\text{Hf}_{0.001}(\text{Ti}_{1.82}\text{Fe}_{0.23})\text{O}_7$ , гидроксилapatит (h, табл. 3, № 6)  $\text{Ca}_{4.97}\text{Sr}_{0.03}(\text{P}_{2.9}\text{Si}_{0.08}\text{S}_{0.03})\text{O}_{12}(\text{OH}_{0.78}\text{F}_{0.15}\text{Cl}_{0.07})$ , кальцитрит (i, табл. 2, № 8)  $\text{Ca}_2\text{Zr}_{4.84}\text{Ti}_{2.06}\text{Fe}_{0.05}\text{Hf}_{0.05}\text{O}_{16}$ . Все минералы имеют индукционные границы друг с другом. Кальцитрит и цирконолит скелетовидны и встречаются в клинохлоре.



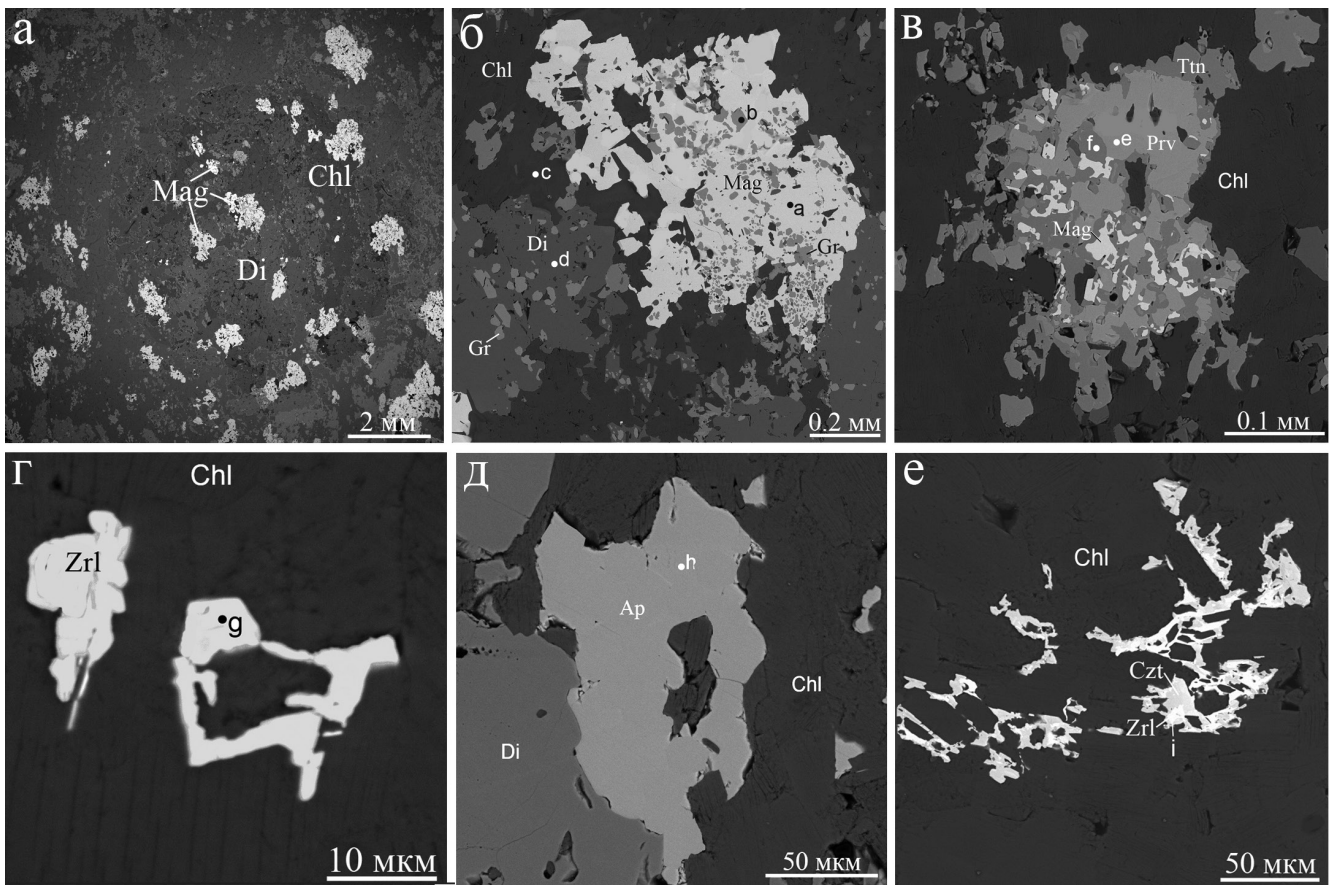


Рис. 21. Минералы и структуры скарна, заместившего габбро.  
 Fig. 21. Minerals and structures of skarn after gabbro.

лоре. Иногда они образуют срастания друг с другом (синхронны! – рис. 21е). Явных псевдоморфоз в скарновом агрегате не видно, но кучное размещение некоторых минералов (например, магнетита) подчеркивают «тени» предшествующей структуры породы (габбро).

Третья разновидность габброподобного **скарна** (рис. 19в) под микроскопом аналогична двум предыдущим породам по структуре и минеральному составу. Диопсид образовал псевдоморфозы по плагиоклазу, клинохлором замещен амфибол, магнетитом – ильменит. Местами сохранились псевдоморфозы серпентина по оливину? (нет реликтов). Не встречены минералы циркония и апатит. Андрадит и перовскит образуют редкие мелкие включения. Все минералы скарна имеют друг с другом индукционные границы одновременного роста.

В отвалах Шишимской копи особую привлекательность для минералогов и любителей имеют образцы из зон тектонитов с жилами и миаролами карбонатит-пегматитов и крупнозернистых скарнов заполнения полостей (рис. 5 и 22).

Крупнозернистый гидроксилклиногумит-монтичеллитовый агрегат **скарна** (рис. 22а) претерпел деформацию, метасоматоз и цементирование кальцитом. Возникла сложная текстура разновременных агрегатов минералов (рис. 23): кальцит (а)  $\text{CaCO}_3$ , клинохлор (b)  $\text{Mg}_{4.69}\text{Fe}_{0.09}\text{Al}_{1.22}(\text{Si}_{2.81}\text{Al}_{1.19})\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ , перовскит (с, табл. 4, № 1)  $\text{Ca}_{0.99}\text{Fe}_{0.02}\text{Zr}_{0.01}\text{Ti}_{0.99}\text{O}_3$ , гидроксилapatит (d, табл. 3, № 5)  $\text{Ca}_5(\text{P}_{1.64}\text{Si}_{0.68}\text{S}_{0.64}\text{V}_{0.04})\text{O}_{12}(\text{OH}_{0.93}\text{Cl}_{0.07})$ , андрадит (e)  $\text{Ca}_3\text{Fe}_{1.77}\text{Al}_{0.23}(\text{SiO}_4)_3$ , монтичеллит (f, табл. 1, № 13)  $\text{Ca}_{0.98}\text{Mg}_{0.94}\text{Fe}_{0.08}\text{SiO}_4$ , гидроксилклиногумит (g)  $\text{Mg}_{8.83}\text{Ti}_{0.08}\text{Fe}_{0.07}\text{Mn}_{0.02}(\text{SiO}_4)_4(\text{OH}_{1.7}\text{F}_{0.3})$ , серпентин (h)  $\text{Mg}_{2.9}\text{Fe}_{0.07}\text{Ca}_{0.02}\text{Mn}_{0.01}(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$ , таумасит (i)  $\text{Ca}_{3.07}(\text{S}_{0.96}\text{O}_4)[\text{Si}_{0.98}(\text{OH})_6](\text{CO}_3) \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ , диопсид (k)  $\text{Ca}_{0.98}\text{Mg}_{1.02}\text{Si}_2\text{O}_6$ , кальцитрит (l, табл. 2, № 6)  $\text{Ca}_{2.21}\text{Zr}_{4.72}\text{Hf}_{0.05}\text{Ti}_{2.02}\text{O}_{16}$ . Крупные монтичеллитовые индивиды насыщены мелким гранатом и редкими более крупными вростками клинохлора. На монтичеллит наросла корка хлорит-гранатового агрегата с хлоритовым завершением (рис. 23а). В клинохлоре видна вкрапленность перовскита и гидроксилapatита с необычно высоким содержанием

Таблица 3

## Химический состав апатита (мас. %)

Table 3

## Chemical composition of apatite (wt. %)

№ ан.	№ обр.	CaO	SrO	FeO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	F	Cl	Сумма
1	220b	49.84	0.79	0.32	39.26	–	–	0.59	–	0.50	92.06
2	242d	54.40	–	–	22.67	0.63	9.96	7.98	–	0.60	96.24
3	297f	53.38	–	–	40.24	–	0.19	0.17	0.71	0.31	94.99
4	313n	54.06	–	–	32.54	–	4.03	3.32	0.83	0.71	95.49
5	314f	57.30	–	–	40.03	0.57	1.60	1.23	0.58	0.29	101.6
6	320h	53.98	0.67	–	39.88	–	0.41	0.88	0.56	0.63	97.02

*Примечание.* Апатит также содержит (мас. %) Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0.46 и Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0.31.

*Note.* Apatite also contains (wt. %) Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0.46 and Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0.31.

Таблица 4

## Химический состав перовскита (мас. %)

Table 4

## Chemical composition of perovskite (wt. %)

№ ан.	№ обр.	CaO	FeO	TiO <sub>2</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	WO <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Σ
1	242c	40.63	0.83	57.82	–	–	–	–	–	–	–	99.63
2	297a	41.51	–	58.49	–	–	–	–	–	–	–	100.00
3	312k	41.04	0.51	58.43	–	–	–	–	–	–	–	99.98
4	313e	39.94	1.59	56.80	–	0.16	–	1.22	–	–	–	99.70
5	313j	40.02	1.45	57.04	–	0.08	–	1.40	–	–	–	99.99
6	314d	40.53	1.50	57.33	–	0.29	–	–	–	–	0.35	100.00
7	314h	40.75	0.81	58.22	–	–	–	–	–	–	0.22	100.00
8	316e	36.65	1.36	54.22	1.03	0.28	1.38	3.16	1.29	0.71	0.60	101.83
9	316f	40.62	0.44	58.49	–	0.17	–	–	–	–	–	99.73
10	320e	41.63	0.33	59.07	–	0.23	–	–	–	–	–	101.63

*Примечание.* Перовскит также содержит (мас. %): ан. 1 – ZrO<sub>2</sub> 0.34, ан. 8 – Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0.56 и ThO<sub>2</sub> 0.59, ан. 10 – Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0.36.

*Note.* Perovskite also contains (wt. %): an. 1 – ZrO<sub>2</sub> 0.34, an. 8 – Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0.56 and ThO<sub>2</sub> 0.59, an. 10 – Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0.36.

ем S и Si в анионной группировке. Около трещин в гидроксилклиногумите развит метасоматический клинохлор с кальцитом по центру трещины (рис. 23б). В диопсид-монтчеллитовом агрегате с мелким кальцитом по трещине наблюдается таумасит-клинохлоровый агрегат (рис. 23в). В хлорит-монтчеллитовом агрегате встречаются миаролы с хлорит-андрадитовым агрегатом по периферии и перовскит-кальцит-хлоритовым агрегатом в центре (рис. 23г, д). Местами в хлоритовом агрегате наблюдаются таумасит-кальцитовые срастания (рис. 23е).

Брекчированный крупнозернистый хлорит-гидроксилклиногумитовый агрегат, сцементированный хлорит-кальцитовым **карбонатитом** (рис. 22б), представлен породообразующими гидроксилклиногумитом (g), клинохлором (b) Mg<sub>5.12</sub>Fe<sub>0.17</sub>Al<sub>0.71</sub>(Si<sub>3.25</sub>Al<sub>0.75</sub>)O<sub>10</sub>(OH)<sub>8</sub> и кальцитом (a) Ca<sub>0.98</sub>Mg<sub>0.01</sub>Fe<sub>0.01</sub>CO<sub>3</sub>, второстепенными диопсидом (k) Ca<sub>0.99</sub>Mg<sub>0.98</sub>Fe<sub>0.03</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>6</sub>, перовскитом (c) Ca<sub>0.99</sub>Fe<sub>0.02</sub>Ti<sub>0.99</sub>O<sub>3</sub>, гидроксилapatитом Ca<sub>5</sub>(P<sub>2.94</sub>Si<sub>0.04</sub>S<sub>0.02</sub>)O<sub>12</sub>(OH<sub>0.7</sub>F<sub>0.21</sub>Cl<sub>0.09</sub>) и акцессорными цирконолитом (l) (Ca<sub>0.49</sub>Y<sub>0.23</sub>Ce<sub>0.10</sub>Nd<sub>0.08</sub>Pr<sub>0.01</sub>Mg<sub>0.05</sub>Mn<sub>0.04</sub>)Zr(Ti<sub>1.63</sub>Fe<sub>0.37</sub>)O<sub>7</sub> и магнетитом (Fe<sub>0.85</sub>Mg<sub>0.13</sub>Mn<sub>0.02</sub>)Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>.



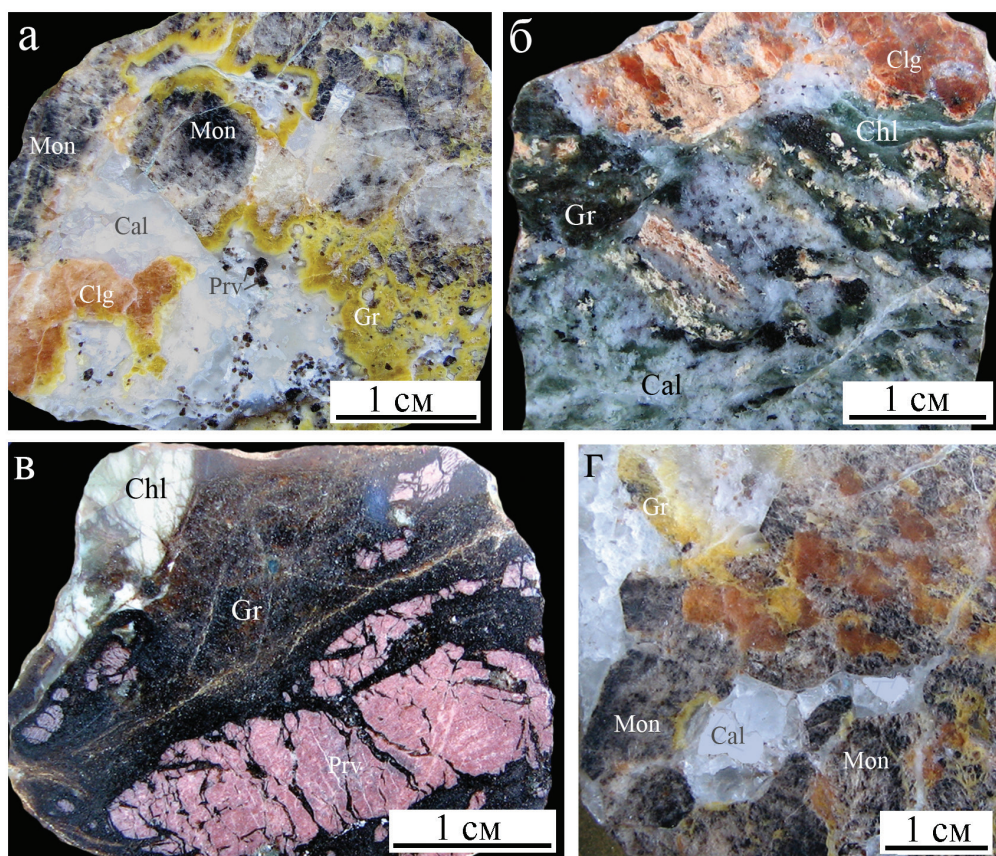


Рис. 22. Минералы и структуры в деформированных «гнездах» и миаролах скарнового тела Шишимской копи.  
 Fig. 22. Minerals and structures in deformed «pockets» and miaroles of a skarn body of the Shishim mine.

Необычный декоративный скарн, состоящий из розового плотного перовскита и замещающего его мелкозернистого темно-коричневого андрадита представлен на рисунке 22в. Среди минералов этого скарна установлены перовскит (табл. 4, № 2)  $\text{CaTiO}_3$ , андрадит, минерал группы везувиана (?)  $\text{Ca}_{18.69}\text{Al}_{6.17}\text{Mg}_{2.73}\text{Fe}_{2.61}\text{Ti}_{1.24}[\text{Si}_2\text{O}_7]_4[(\text{SiO}_4)_{10}]\text{O}(\text{OH})_9$ ,  $\text{Ca}_{2.96}\text{Fe}_{1.28}\text{Ti}_{0.39}\text{Al}_{0.27}\text{Mg}_{0.1}(\text{Si}_{2.75}\text{Fe}_{0.25})\text{O}_{12}$ , титанит  $\text{CaTi}_{0.95}\text{Al}_{0.04}\text{Fe}_{0.01}\text{TiO}_5$ , клинохлор  $\text{Mg}_{4.59}\text{Al}_{1.19}\text{Fe}_{0.20}\text{Ca}_{0.01}(\text{Si}_{2.88}\text{Al}_{1.12})\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ , гидроксилпатит (табл. 3, № 3)  $\text{Ca}_5(\text{P}_{2.98}\text{S}_{0.01}\text{Si}_{0.01})\text{O}_{12}(\text{OH}_{0.76}\text{F}_{0.2}\text{Cl}_{0.04})$ . Везувиан с клинохлором находятся в мелких секущих жилках, титанит и гидроксилпатит образуют редкие мелкие вкрапления в андрадитовом агрегате. Плотный белый агрегат тонкозернистого хлорита в верхней левой части образца (рис. 22в) тектонически совмещён с перовскит-гранатовой частью.

Фрагмент гидроксилклиногумит-монтichelлит-кальцитового **карбонатит-пегматита** представлен на рисунке 22г. Все крупные индивиды породообразующих минералов насыщены мелкими вростками клинохлора и пластинками бесцветного диопсида. По трещи-

нам видна россыпь желтого метасоматического андрадита. В поздних миаролах встречаются агрегаты серпентина и таумасит-хлоритовых сростаний. Для кальцита характерна мелкая сыпь кристаллов перовскита. Химические особенности минералов видны в эмпирических формулах: монтichelлит (а)  $\text{CaMg}_{0.93}\text{Fe}_{0.07}\text{SiO}_4$ , андрадит (б)  $\text{Ca}_3\text{Fe}_{1.8}\text{Al}_{0.13}\text{Ti}_{0.04}\text{Mg}_{0.03}(\text{SiO}_4)_3$ , клинохлор (с)  $\text{Mg}_{5.02}\text{Al}_{0.91}\text{Fe}_{0.06}\text{Ca}_{0.02}(\text{Si}_{3.28}\text{Al}_{0.72})\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ , гидроксилклиногумит (д)  $\text{Mg}_{8.87}\text{Ti}_{0.07}\text{Mn}_{0.05}(\text{SiO}_4)_4(\text{OH}_{1.74}\text{F}_{0.26})$ , диопсид (е)  $\text{Ca}_{1.03}\text{Mg}_{0.97}\text{Si}_2\text{O}_6$ , таумасит (г)  $\text{Ca}_3(\text{SO}_4)\text{Si}(\text{OH})_6(\text{CO}_3) \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ , кальцит (h)  $\text{CaCO}_3$ , перовскит (k) (табл. 4, № 3)  $\text{CaFe}_{0.01}\text{Ti}_{0.99}\text{O}_3$ , серпентин (j)  $\text{Mg}_{5.82}\text{Fe}_{0.13}\text{Ca}_{0.05}(\text{Si}_{3.91}\text{Fe}_{0.09})\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ . Часть минералов имеют эмпирические формулы, близкие к идеальным (кальцит, таумасит).

В некоторых образцах **скарнов** наблюдается полосчатость (зональность?), образованная различными количественными соотношениями одних и тех же минералов (рис. 24а). Слой с преобладанием диопсида выглядит буроватым из-за большого количества мелких включений в диопсиде коричневого граната андрадита (рис. 24а, в). Светлый слой представлен



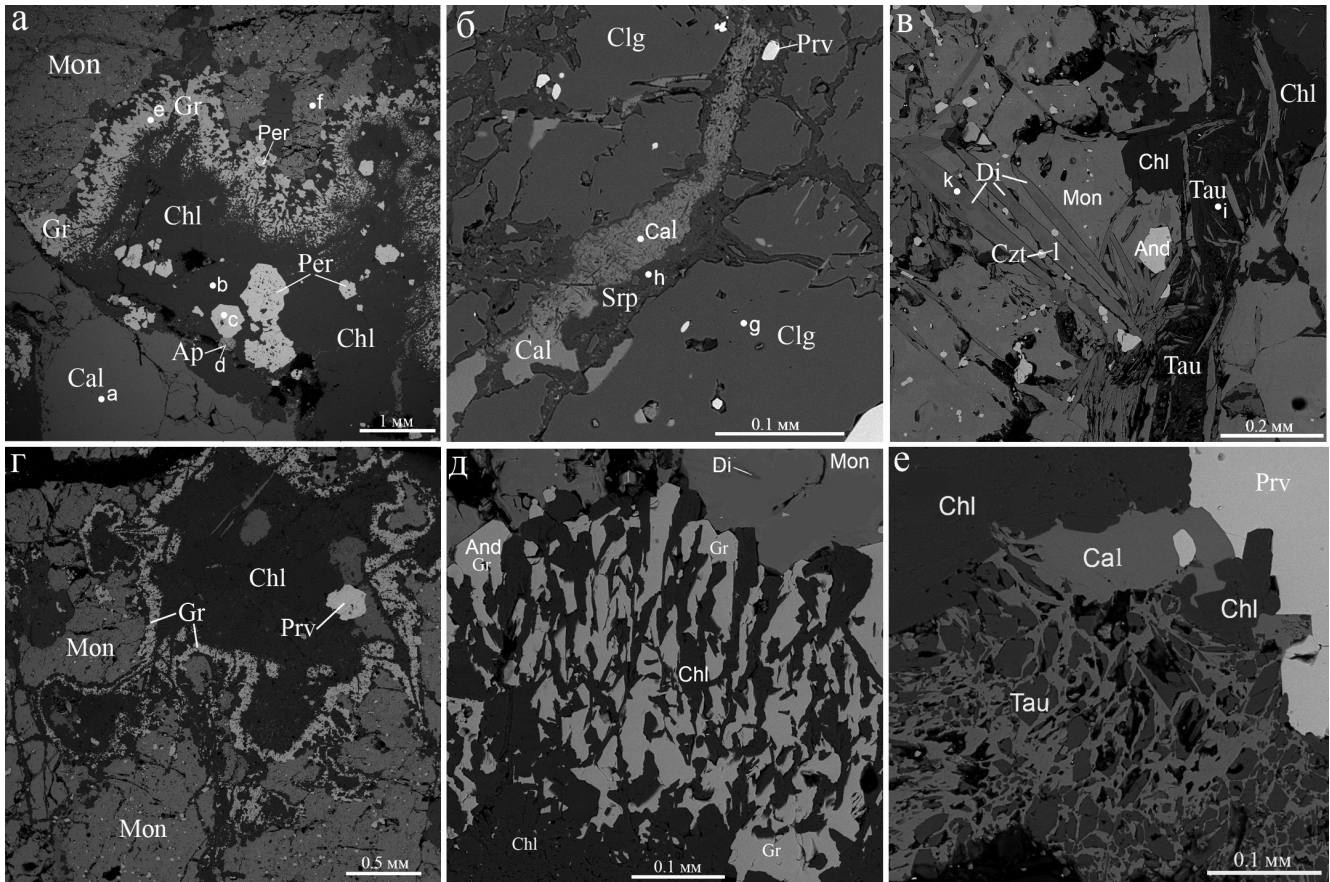


Рис. 23. Минералы и структуры гидроксильноклиногумит-монтцеллитовых скарнов.  
 Fig. 23. Minerals and structures of hydroxylclinohumite-monticellite skarns.

массой мелкозернистого бесцветного (белого) клинохлора с редкими вкраплениями более крупного андрадита (рис. 24а, б, правая часть). Акцессорными минералами в этих агрегатах являются гидроксилapatит, кальцит и перовскит. Химические особенности минералов отражены в эмпирических формулах: андрадит (а)  $\text{Ca}_3\text{Fe}_{1.83}\text{Al}_{0.04}\text{Mg}_{0.05}\text{Ti}_{0.08}(\text{SiO}_4)_3$ , клинохлор (б)  $\text{Mg}_{4.9}\text{Al}_{0.92}\text{Fe}_{0.18}(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ , перовскит (е) (табл. 4, № 4, 5)  $\text{Ca}_{0.96}\text{Ce}_{0.01}\text{Fe}_{0.03}\text{Ta}_{0.002}\text{TiO}_3$ , кальцит (f)  $\text{Ca}_{0.92}\text{Mg}_{0.04}\text{Mn}_{0.03}\text{Fe}_{0.01}\text{CO}_3$ , диопсид (i)  $\text{Ca}_{0.98}\text{Mg}_{0.96}\text{Fe}_{0.06}\text{Al}_{0.06}\text{Ti}_{0.02}\text{Si}_{1.91}\text{O}_6$ , гидроксилapatит (n) (табл. 3, № 4)  $\text{Ca}_5(\text{P}_{2.45}\text{S}_{0.26}\text{Si}_{0.29})\text{O}_{12}(\text{OH}_{0.69}\text{F}_{0.08}\text{Cl}_{0.23})$ . Между всеми минералами есть индукционные поверхности одновременного роста. В диопсиде синхронные включения клинохлора имеют пластинчатую форму с кажущимся идиоморфизмом (рис. 24в).

**Гранат-хлоритовую породу** (рис. 25) хочется отнести к метасоматическим скарнам, но в ней не найдены псевдоморфозы и отсутствуют «тени» первичных структур. Гранат-андрадит местами имеет фрагменты граней ромбододекаэдров, но чаще – индукционную поверхность с клинохлором

(рис. 25а, г). Мелкие вросстки ангидрита приурочены к поздним зонам роста индивидов граната (рис. 25г). Мелкие индивиды перовскита, магнезиоферрита, ангидрита и кальцитита имеют индукционные границы друг с другом и с андрадитом, клинохлором (рис. 25а–е). Химические особенности минералов зафиксированы в эмпирических формулах: андрадит (а)  $\text{Ca}_3\text{Fe}_{1.72}\text{Al}_{0.11}\text{Ti}_{0.15}\text{Mg}_{0.02}(\text{SiO}_4)_3$ , клинохлор (с)  $\text{Mg}_{4.74}\text{Al}_{1.04}\text{Fe}_{0.22}(\text{Si}_{2.85}\text{Al}_{1.15})\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ , магнезиоферрит (е)  $(\text{Mg}_{0.46}\text{Fe}_{0.27}\text{Mn}_{0.24}\text{Zn}_{0.03})\text{Fe}_2\text{O}_4$ , гидроксилapatит (f, табл. 3, № 5)  $\text{Ca}_5(\text{P}_{2.76}\text{S}_{0.10}\text{Si}_{0.10}\text{V}_{0.03})\text{O}_{12}(\text{OH}_{0.82}\text{F}_{0.15}\text{Cl}_{0.03})$ , перовскит (h, табл. 4, № 6, 7)  $\text{Ca}_{0.99}\text{Fe}_{0.02}\text{Ti}_{0.99}\text{O}_3$ , кальцитит (j, табл. 2, № 7)  $\text{Ca}_2\text{Zr}_{4.84}\text{Hf}_{0.05}\text{Fe}_{0.06}\text{Sr}_{0.05}\text{Ti}_2\text{O}_{16}$ , ангидрит (k)  $\text{Ca}_{0.99}\text{Fe}_{0.01}\text{SO}_4$ . Не имея данных о геологической позиции тела гранат-хлоритовой породы, ее сложно отнести к метасоматической по структурной характеристике. Скорее, она сходна по истории кристаллизации минералов с известными в районе Шишимской копи амфиболовыми, магнетитовыми и доломитовыми **магматическими хлоритолитами**.



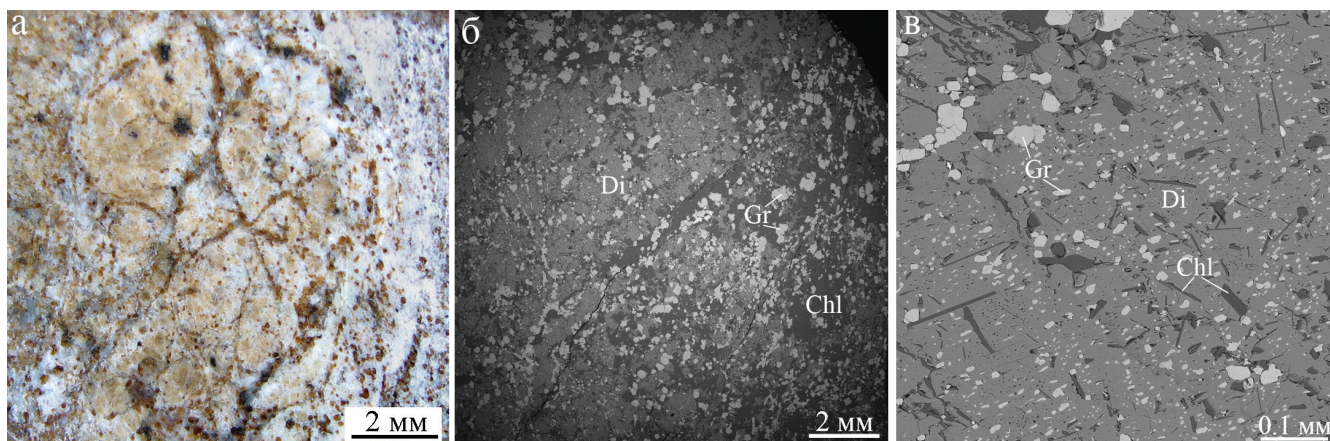


Рис. 24. Полосчатая текстура гранат-хлорит-пироксенового скарна (а) и структурные детали (б, в). Косое освещение (а), BSE фото (б, в).

Fig. 24. Banded texture of garnet-chlorite-pyroxene skarn (a) and structural details (б, в). Oblique light (а), BSE images (б, в).

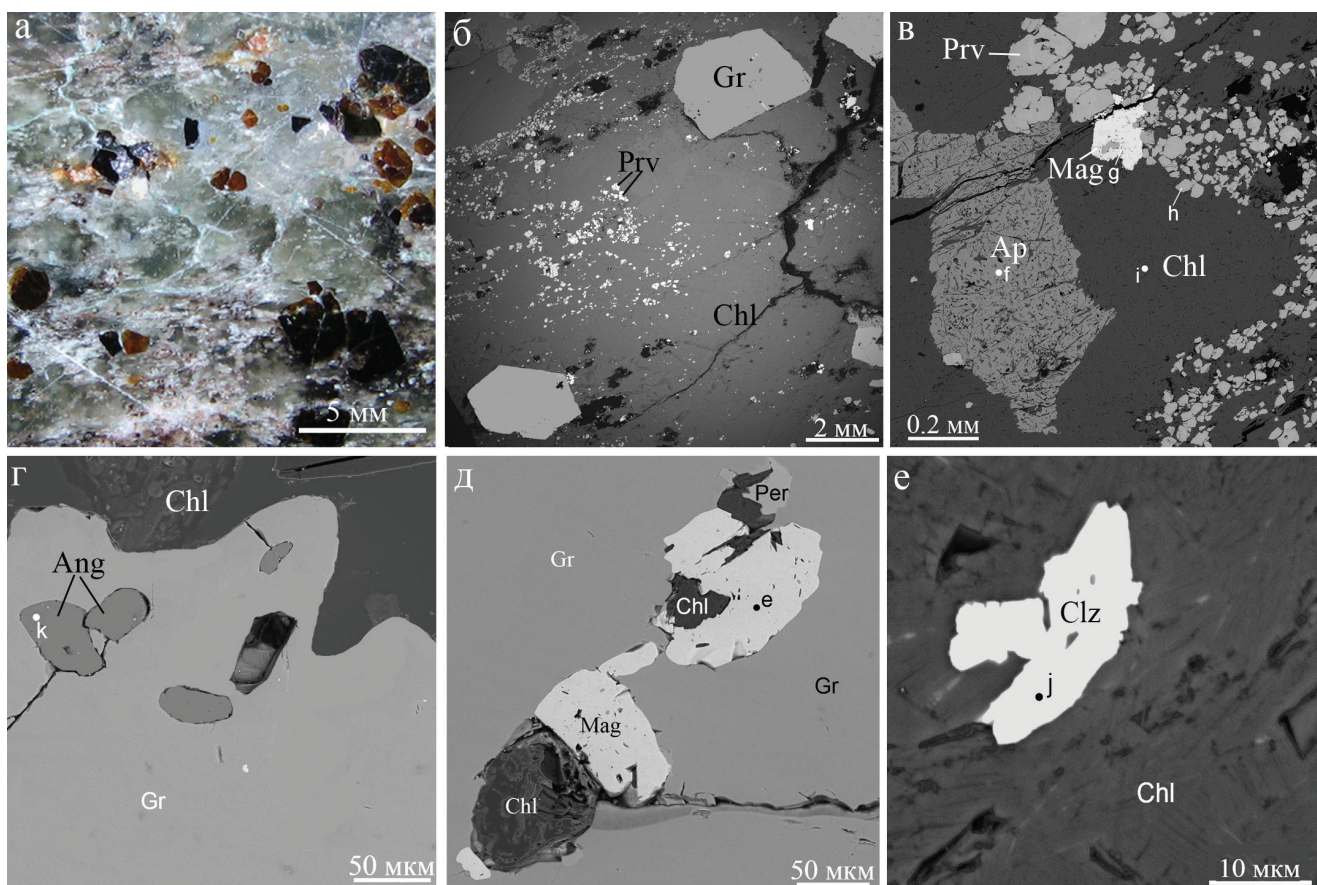


Рис. 25. Минералы и структуры гранат-хлоритовой породы Шишимской копи: а – косое освещение; б–е – BSE фото.

Fig. 25. Minerals and structures of the garnet-chlorite rock of the Shishim mine: а – oblique light, б–е – BSE images.

### Обсуждение результатов

В предшествующих работах по Шишимской копи отмечено 36 минералов: алмаз (?), актинолит, альбит, андрадит, апатит, везувиан, кальцит, ганит, гематит, гетит (лимонит), гидраргиллит (гиббсит), гидроталькит (фелькнерит), диопсид, известь, кварц, клинохлор, клинтолит (ксантофиллит), кордиерит, лабрадор, магнетит, магнезиоферрит, монтичеллит, перовскит, пирит, роговая обманка, серпентин (антигорит), тальк, таумасит, турмалин, фаза А (= серпентину?), фаза Х (= гидроксилпатит?), ферроакерманит, флогопит, форстерит, хондрит, шпинель, элестадит, эпидот. В этой статье добавлено 22 минерала: алланит, ангидрит, бадделеит, барит, брусит, валлериит, винчит, гейкилит, геденбергит, гидроксилпатит, гидроксилклиногумит, гроссуляр, доломит, ильменит, кальциртит, рутил, томсонит, титанит, тремолит, циркон, цирконолит, минерал U. В парагенезисе с таумаситом установлены кальцит и клинохлор.

Все перечисленные выше минералы (кроме гётита) принадлежат скарново-карбонатитовой минеральной формации, парагенезисы которой образуются при повышенной и высокой температуре (ориентировочно выше 500 °С). Часто считается, что минерал хлорит характерен для средних и низких температур минералообразования. Поэтому его обычно не относят к скарновым парагенезисам. Но это не всегда так. **Хлорит** во многих фациях (парагенезисах) скарнов и карбонатитов является породообразующим (или второстепенным) минералом, кристаллизовавшимся одновременно с монтичеллитом, гранатом, форстеритом, флогопитом, пироксеном, амфиболом, магнетитом, кальцитом, алланитом и другими минералами. С индивидами перечисленных минералов индивиды хлорита имеют индукционные поверхности совместного одновременного роста. Как у любого минерала, у хлорита может быть несколько генераций, он может быть первичным и вторичным. Важно заведомо не относить все парагенезисы и ассоциации с хлоритом к среднетемпературным и низкотемпературным образованиям.

В Шишимской копи и ее окрестностях хлорит не только участвует в метасоматических скарновых парагенезисах, но образовал основную ткань магматических дайковых пород – хлоритолитов с фенокристами магнетита, андрадита, доломита или тремолита и аксессуарными – перовскитом, цирконом, бадделеитом, цирконолитом и кальциртитом.

Встречаются также хлоритолит-пегматиты с друзами крупно-гигантозернистого хлорита, на которые была заложена П. Барбот-де-Марни Шишимская копь в 1833 г.

Среди скарновых **гранатов** преимущественно встречались андрадиты, реже – гроссуляры.

**Перовскиты** в разных парагенезисах имеют разную форму с габитусным развитием {100}, {110}, {111} и разный состав: от  $\text{CaTiO}_3$  до  $(\text{Ca}_{0.92}\text{Fe}_{0.03}\text{Ce}_{0.03}\text{V}_{0.02}\text{Ta}_{0.002})\text{TiO}_3$ . Цвет перовскита обычно желто-коричневый, но в некоторых декоративных образцах встречается розовый.

**Пироксены** скарнов представлены преимущественно диопсидом почти стехиометричным, но иногда есть составы, переходные к геденбергиту и авгиту. Облик кристаллов диопсида обычно таблитчатый по {100}, цвет от светло-зеленого до бесцветного (белого). В большинстве скарновых пород Шишимской копи диопсид сокристаллизовался с хлоритом и гранатом.

**Монтичеллит** в виде крупных толстотаблитчатых кристаллов встречается в карбонатит-пегматитовых «гнездах» вместе с голубым грубозернистым кальцитом и крупными индивидами гидроксилпатита. Собственный цвет монтичеллита коричневато-серый из-за примесей хромофоров – Fe, Ti, Mn. Светло-серый цвет он приобретает вследствие развития трещиноватости и замещения мелкозернистыми гранатом и хлоритом.

**Апатит** развит во многих скарнах и в карбонатитах. В большинстве случаев это гидроксилпатит, анионная группировка которого содержит значительное количество S и Si на месте P. В карбонатит-пегматитах розовато-коричневые кристаллы гидроксилпатита достигают величины 7 см. На них наблюдались индукционные поверхности одновременного роста с голубым кальцитом и монтичеллитом, т. е. среда кристаллизации соответствовала силикатно-фосфатно-карбонатной системе.

Из группы **шпинели** отмечены магнетит, магнезиоферрит, шпинель, ганит. Из них только магнетит встречался в «чистом» составе в нескольких парагенезисах, остальные имеют переходные составы в изоморфных сериях. Обычно эти минералы мелкие (менее 1 мм), но бывают исключения, когда шпинель достигает величины нескольких сантиметров в карбонатит-пегматитах, или магнезиоферрит – до 1 см в хлоритолите. В одном случае встречен резко секториальный магнетит (магнетит + титаномагнетит, рис. 9, справа).



Самые крупные индивиды **клинтонита** (до 4 см) и **гидроксилклиногумита** (до 3 см) встречаются в хлорит-карбонатных выделениях (карбонатитах?). Шишимскую копи можно считать удобной для создания коллекции клинтона, образцы с которым встречаются в русловых отвалах р. Бравиловки напротив копи. Здесь же можно найти коллекционные образцы монтichelлит в голубом кальците.

**Везувиан** местами в районе копи образовал плотные прозрачные зеленые везувианиты или гроссуляр-везувиановые агрегаты, хорошо принимающие полировку и пригодные для поделок.

Обращает на себя внимание группа акцессорных минералов – **алланит, циркон, цирконолит, кальцитрит, бадделейт**. Они определены почти во всех изученных породах Шишимской копи. Срастания цирконолита с кальцитритом встречаются, по-видимому, впервые. В нескольких скарновых парагенезисах отмечены мелкие вростки **барита** и **ангидрита** в гранате и хлорите. В карбонатитах есть **валлерит**.

Обобщая наблюдения предшественников и наши данные, можно констатировать следующее. Копь находится внутри тела протяженного массива габбро, далеко от контактов с саткинской доломитовой толщей (более 300 м). Вся минерализация сосредоточена в тектоническом узле трещинной структуры, где совмещены разновременные магматические тела габбро, пироксенитов, микрогаббро, долеритов, даек гранитов, карбонатитов, хлоритолитов, разнообразных скарнов, магнетитовых жил, кварцевых жил. Все перечисленные разновременные магматические тела в разной мере подверглись разнофациальному (разновременному?) скарнированию. Ни парагенезисы, ни химический состав минералов скарнов не дали ярких генетических отличий принадлежности их к разным магматическим комплексам. Нельзя не обратить внимание на парагенезис тел скарнов, карбонатитов и хлоритолитов, причем этим горным породам сопутствуют их пегматитовые аналоги. Набор минеральных тел и минералов Шишимской копи аналогичен таковому в Прасковье-Евгеньевской, Ахматовской, Николае-Максимилиановской, Зеленцовской и Еремеевской копиях, в районе которых присутствуют проявления железных и медных руд.

Фации скарнов формально можно выделить по преобладающему минералу – пироксену, гранату, хлориту, эпидоту, магнетиту. На некотором удалении от центрального узла трещинной структуры в габбро наблюдаются хлоритизация и эпидотизация

(соссюритизация), интенсивность которых тоже связана с трещиноватостью пород. Отрывать эти явления от подобных в центре трещинной структуры нет оснований.

### Заключение

Из теоретических соображений следует, что скарновые системы земной коры должны содержать карбонатитовые подсистемы (по Р-Т условиям и наличию тел карбонатных пород в колонне тепло-массопереноса). В районе Шишимской копи, действительно, имеются выходы карбонатитов (кальцитовых и доломитовых). Наблюдавшиеся кальцитовые миаролы в скарнах, как представляется, есть отражение карбонатного завершения кристаллизации высокотемпературной фосфатно-карбонатно-силикатной магмы (гидроксилапатит + кальцит + монтichelлит). Величина зерен минералов в таких миаролах позволяет назвать их карбонатит-пегматитами. Кроме названных главных компонентов, в магме были существенные концентрации F, Cl, S (в апатите), H<sub>2</sub>O (в хлорите), некоторое обогащение Ti и V (перовскит и другие минералы). Представляется реалистичным, что часть скарновых (по минеральному составу) тел может оказаться телами заполнения полостей (особенно – крупно-гигантозернистых) и образоваться из расплава-раствора. Перечень пород («полос») в Шишимской копи, приведенный В.С. Мясниковым (1954), в целом, подтвердился. Нами уточнена диагностика пороодообразующих минералов, приведены второстепенные и акцессорные минералы горных пород. В магматический комплекс пород Шишимской копи наряду с габброидами и гранитоидами добавлены карбонатиты и хлоритолиты.

Генезис скарновой (карбонатито-скарновой?) минеральной формации в районе Шишимской копи не укладывается в русло «классического» определения скарнов; она не находится в контактовой зоне интрузива с осадочными или метаморфическими карбонатными телами и представлена множеством фаций (парагенезисов) с пороодообразующим хлоритом. В минеральных агрегатах некоторых скарновых фаций нет признаков метасоматоза, что позволяет предполагать для них магматический генезис. По-видимому, в скарновой минеральной формации можно объединить комплементарные метасоматические и магматические фации, и тогда следует дать другое определение «скарнам», отличное от «классического».

## Литература

**Кухаренко А.А.** (1943) К вопросу о «вростках алмаза» в ксантофиллите из Шишимских гор. *Записки ВМО*, (3–4), 174–176.

**Мушкетов И.В.** (1877) Материалы для изучения геологического строения и рудных богатств Златоустовского горного округа в Южном Урале. Санкт-Петербург, Типография Императорской Академии наук, 231 с.

**Мясников В.С.** (1954) Минеральные копи Шишимских и Назямских гор / Минералогия Урала. Т. 1. М.-Л., АН СССР, с. 250–268.

**Ненашева С.Н., Агаханов А.А.** (2016) Новые данные о минералах Шишимской копи, Шишимские горы, Южный Урал, Россия. *Новые данные о минералах*, **51**, 45–51.

**Попов В.А.** (2001) Кристаллы монтичеллита из Шишимской копи на Южном Урале. *Уральский геологический журнал*, 5(23), 140–143.

**Попов В.А.** (2011) Апатит-монтичеллитовые карбонатит-пегматиты Шишимской копи на Южном Урале. *Минералогия Урала-2011. Материалы VI Всероссийского совещания*. Миасс: УрО РАН, 82–85.

## References

**Kukhareenko A.A.** (1943) [On the problem of «diamond ingrowths» in xanthophyllite from the Shishim Mountains]. *Zapiski VMO [Proceeding of the Russian Mineralogical Society]*, (3–4), 174–176. (in Russian)

**Mushketov I.V.** (1877) [Materials for study of geological structure and ore treasures of the Zlatoust mining district in the Southern Urals]. St. Petersburg, Tipografiya Imperatorskoy Akademii Nauk, 231 p. (in Russian)

**Myasnikov V.S.** (1954) [Mineral mines of the Shishim and Nazyam mountains]. In: *Mineralogiya Urala [Mineralogy of the Urals]*. Vol. 1. Moscow–Leningrad, AN SSSR, 250–268. (in Russian)

**Nenasheva S.N., Agakhanov A.A.** (2016) [New data on minerals of the Shishim mine, Shishim Mountains, Southern Urals, Russia]. *Novye dannye o mineralakh [New data on minerals]*. **51**, 45–51. (in Russian)

**Popov V.A.** (2001) [Monticellite crystals from the Shishim mine in the Southern Urals]. *Uralskiy geologicheskii zhurnal [Urals Geological Journal]*, 5(23), 140–143. (in Russian)

**Popov V.A.** (2011) [Apatite-monticellite carbonatite-pegmatites of the Shishim mine in the Southern Urals]. *Mineralogiya Urala-2011. Materialy VI Vserossiiskogo soveshchaniya [Mineralogy of the Urals-2011. Materials of VI All-Russian Meeting]*. Miass, UrO RAN, 82–85. (in Russian)