

УДК 549.74 (470.55)

## КАРБОНАТЫ ВИШНЁВОГОРСКОГО Zr-Nb-МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

В.И. Попова<sup>1</sup>, В.А. Попов<sup>1</sup>, С.Н. Никандров<sup>2</sup>, Е.И. Чуринов<sup>1</sup>, И.А. Блинов<sup>1</sup>, П.В. Хворов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс; [popov@mineralogy.ru](mailto:popov@mineralogy.ru)

<sup>2</sup>Ильменский государственный заповедник, г. Миасс

## CARBONATES FROM THE VISHNEVOGORSKOE Zr-Nb DEPOSIT (SOUTHERN URALS)

V.I. Popova<sup>1</sup>, V.A. Popov<sup>1</sup>, S.N. Nikandrov<sup>2</sup>, E.I. Churin<sup>1</sup>, I.A. Blinov<sup>1</sup>, P.V. Khvorov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Mineralogy UB RAS, Miass; [popov@mineralogy.ru](mailto:popov@mineralogy.ru)

<sup>2</sup>Ilmeny State Reserve, Miass

Обобщены данные о карбонатах в щелочных породах, пегматитах и поздних прожилках Вишнёвогорского месторождения. Среди выявленных минералов (21) преобладает кальцит. Менее распространены доломит, анкерит, сидерит, арагонит, бастнезит-(Ce), стронцианит. Прочие минералы редки, в том числе и содержащие редкоземельные элементы – анкилит-(Ce), бурбанкит, синхизит-(Ce) и доннейит-(Y). Преобладающими пироклоровыми рудами являлись карбонатиты и карбонатсодержащие пегматиты и жилки.

Илл. 10. Библ. 23.

*Ключевые слова:* карбонаты, Вишнёвогорское месторождение, Южный Урал.

Data on carbonates in alkaline rocks, pegmatites, and late veinlets of the Vishnevogorskoe deposit are summarized. Among 21 minerals studied, calcite is the major mineral; dolomite, ankerite, siderite, aragonite, bastnasite-(Ce), and strontianite are less abundant; and other minerals, including REE minerals (ancylite-(Ce), burbankite, synchysite-(Ce), and donnayite-(Y)), are rare. Carbonatites, carbonate-containing pegmatite, and finely veins are the main type of pyrochlore ores.

Figures 10. References 23.

*Key words:* carbonates, Vishnevogorskoe deposit, Southern Urals.

### Введение

Вишнёвогорское месторождение циркон-ниобиевых руд находится в 102 км северо-западнее г. Челябинска, в 18 км к востоку от ст. Маук Южноуральской железной дороги. В Вишнёвых горах вначале добывали циркон (с 1926 г.) и полевой шпат (1932–1944 гг.) (Бонштедт-Куплетская, 1951). Отработка циркон-пироклоровых руд Вишнёвогорского месторождения велась в период 1943–1993 гг. Вишнёвогорским рудником, затем Вишнёвогор-

ским рудоуправлением (ВРУ) и горно-обогатительным комбинатом (ВГОК). С 1968 г. попутно с получением пироклорового концентрата начато производство нефелин-полевошпатового концентрата для стекольной и керамической промышленности. В связи с ликвидацией подземной добычи ниобиевых руд с 1994 г. Вишневгорский ГОК выпускает нефелин-полевошпатовые концентраты. На 1995 г. в недрах месторождения ещё оставались запасы пироклоровых руд в 28-ми пегматитовых жилах и 4-х рудных зонах. Оставшиеся разведанные запа-

сы циркона в россыпях Вишнёвых гор составляют около 75 тыс. тонн (Левин и др., 1997).

Геология и минералогия щелочных пород и пегматитов Вишнёвых гор обобщена в ряде фундаментальных работ (Бонштедт-Куплетская, 1951; Еськова и др., 1964; Левин, 1974; Левин и др., 1997; Недосекова и др., 2009; и др.). Вишнёвогорский миаскитовый массив с телами карбонатитов и пегматитов субмеридионально вытянут на 25 км при ширине 4 км и локализован в метаморфических породах ильменогорской толщи рифея – гнейсах, сланцах, амфиболитах, кварцитах, которые в экзоконтактах массива фенитизированы в разной степе-

ни. Генезис массива объясняется моделью корового анатексиса с образованием фенитов под действием потока мантийных флюидов и внедрения карбонатит-миаскитовых интрузий (Левин и др., 1997; Недосекова и др., 2009).

Наиболее разведаны и частично отработаны СЗ участки Вишнёвых гор – зоны 125, 140, 147, 137 и свиты жил № 5 и 35 (рис. 1).

Карбонаты выявлены в составе разных пород (миаскитов, сиенитов, карбонатитов), в жильных телах пегматитов (миаскитовых, сиенитовых, карбонатитовых и гранитных), а также в поздних гидротермальных жилах разного состава.

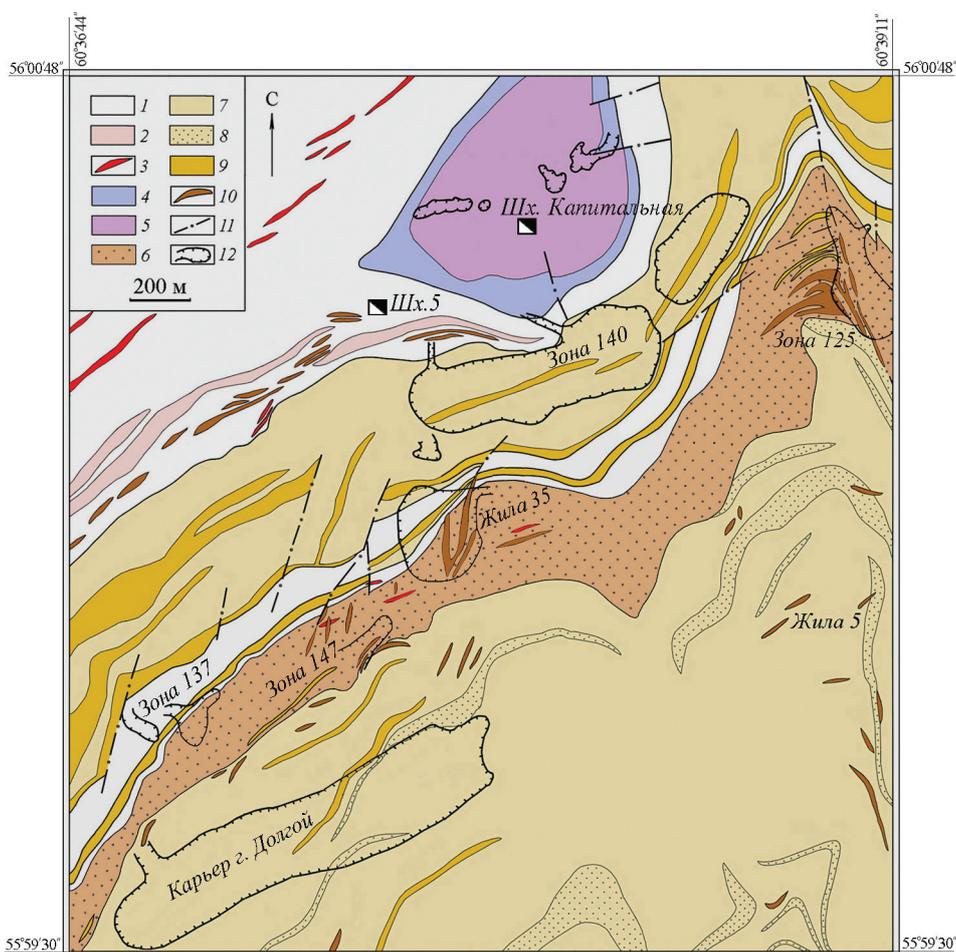


Рис. 1. Геологическая схема северо-западной части Вишнёвых гор (по Б.М. Роненсону, 1966; с изменениями).

1 – гнейсы, амфиболиты и кристаллосланцы ильменогорской свиты (PR<sub>1</sub>); 2 – жильные граниты (Pz<sub>1</sub>?); 3 – пегматиты гранитные (Pz<sub>2,3</sub>?); 4–5 – габброиды (4) и серпентиниты (5) Булдымского массива (PR<sub>1</sub>?); 6 – апогранитные фениты – пироксеновые, амфибол-пироксеновые и биотит-пироксеновые (Pz<sub>1</sub>); 7–9 – миаскиты биотитовые (7), мусковитизированные (8), альбитизированные (9) с зонами карбонатитов (Pz<sub>1,2</sub>); 10 – пегматиты миаскитовые (Pz<sub>2</sub>); 11 – основные нарушения; 12 – контуры карьеров.

Fig. 1. Geological scheme of the northwestern part of the Vishnevye Mountains, modified after B.M. Ronenson (1966).

1 – gneisses, amphibolites, and schists of the Ilmenogorsky Formation (PR<sub>1</sub>); 2 – vein granites (Pz<sub>1</sub>?); 3 – granite pegmatites (Pz<sub>2,3</sub>?); 4–5 – gabbroic rocks (4) and serpentinites (5) of the Buldym massif (PR<sub>1</sub>?); 6 – pyroxene, amphibole-pyroxene and biotite-pyroxene fenites (Pz<sub>1</sub>); 7–9 – biotite (7), micaceous (8), and albitized (9) miaskites with carbonatite zones (Pz<sub>1,2</sub>); 10 – miaskitic pegmatites (Pz<sub>2</sub>); 11 – major faults; 12 – quarries.

Ниже нами приводятся примеры разнообразия выделений карбонатов в миаскитах и сиенитах, парагенезисов карбонатов и смены форм их кристаллов в друзовых полостях жил. Материалом для исследований послужили предоставленная А.В. Донсковым коллекция (из 334-х образцов карбонаты есть в 213-ти), а также наши сборы разных лет в бортах карьеров на г. Долгой и в Курочкином Логе, в отвалах жил № 5, 35, зон 125 и 147, а также в подземных горных выработках шахты «Капитальная» по зоне 140. Частично обобщены и данные о карбонатах в публикациях других исследователей Вишнёвогорского месторождения.

### Методы исследования

Первичное описание образцов проведено с использованием бинокулярных микроскопов с целью характеристики взаимоотношений минералов в жилах и типа вмещающей породы. Карбонаты диагностированы по форме кристаллов и взаимодействию с соляной кислотой HCl, частично – по рентгенограммам (дифрактометр Shimadzu XRD-6000, аналитик П.В. Хворов) и химическому составу (JXA-733, SEM Vega3 TESCAN, M1 MISTRAL; аналитики, соответственно: Е.И. Чурин, И.А. Блинов, М.А. Рассомахин). Содержание кальцита в миаскитах, карбонатитах и переходных к ним породах (карбонатитоидах) г. Долгой определено нами площадным методом после травления HCl среза или скола образцов. Ограничение кристаллов карбонатов определено как визуально (по сходству с известными формами), так и с применением фёдоровского столика СФ-4 в качестве гониометра.

### Карбонаты щелочных пород

В наиболее характерных щелочных породах Вишнёвогорского массива – сиенитах нефелиновых (миаскитах) и безнефелиновых (биотит-полевошпатовых и др.), а также в карбонатитах и фенитах разного состава – выявлены значительные вариации содержаний карбонатов.

**В миаскитах** Вишнёвогорского массива из карбонатов характерным первичным минералом является кальцит (Бонштедт-Куплетская, 1951). Среднее содержание его в разных участках массива составляет (по шлифам) от долей процентов до 1–2 % и более: в северной части Центрального массива – 2.56 %, в средней части массива – 1.03 %, в южной – 0.90 % (Еськова и др., 1964).

В 2001 г. сотрудниками Института минералогии УрО РАН закартирован уступ ССЗ стенки карьера на горе Долгой, где проявлена сложная последовательность локализации разных пород в разнозернистых миаскитах, пересекаемых миаскитовыми пегматитами, карбонатитоидами (породами, по составу переходными от сиенитов к карбонатитам) и кальцит-флогопитовыми жилами (рис. 2); во всех этих породах встречались мелкие зёрна пироклора.

Вариации содержаний разнозернистого кальцита в миаскитах составили 0.9–7.2 % площадей сечений исследованных образцов. Зёрна кальцита величиной не более 5 мм имеют преобладающую субизометричную форму, образуя срастания с другими минералами миаскитов. Микрозондовым анализом в кальцитах миаскитов определены примеси, мас. %: MgO 0.12–0.23; FeO 0.87–0.97; MnO 1.25–1.40 (Попова и др., 2003); более поздние анализы кальцитов из крошки миаскитов скважин шарошечного бурения на г. Долгой близки этим данным.

**Сиениты** биотитовые и, реже, мусковит-биотитовые и пироксен-биотитовые, встречающиеся в эндоконтактах миаскитов и среди миаскитов, почти не содержат нефелина и первичного кальцита (менее 0.1 %) при содержаниях пироклора и циркона 0.0n–0.n %, близких миаскитам (Еськова и др., 1964).

**Карбонатиты** кальцитовые (50–95 % кальцита) и **карбонатитоиды** (15–<50 % кальцита) выявлены в миаскитах, сиенитах и фенитах, где образуют протяжённые тела (зона 147) или жильные штокверки (зона 140). По преобладающему составу карбонатов в щелочных породах Вишнёвогорского массива проявлены кальциокарбонатиты, а в Булдымском массиве – магнезиокарбонатиты и феррокарбонатиты; рассмотрен типохимизм и эволюция состава карбонатов из этих карбонатитов (Недосекова, Мурзин, 2007). Наиболее проявлены пироклорсодержащие биотит-кальцитовые карбонатиты, реже – кальцитовые с эгирин-авгитом; пироклор в них имеет индукционные поверхности сокристаллизации с кальцитом и силикатами (рис. 3). Химическим анализом в составе кальцитов из карбонатитов зон 140 и 147 отмечены примеси, мас. %: MgO 0.3–0.4; FeO 0.87–0.97; MnO 1.2–2.8; SrO 0.7–1.4 (Левин и др., 1997). В кальците из пироклор-биотитового карбонатита зоны 140 примеси нами не обнаружены, но есть вроски пироклора. В кальците из нодулярного карбонатита зоны 147 (с округлыми пироклор-ильменитовыми срастаниями) вариации содержаний примесей по микрозондовым данным

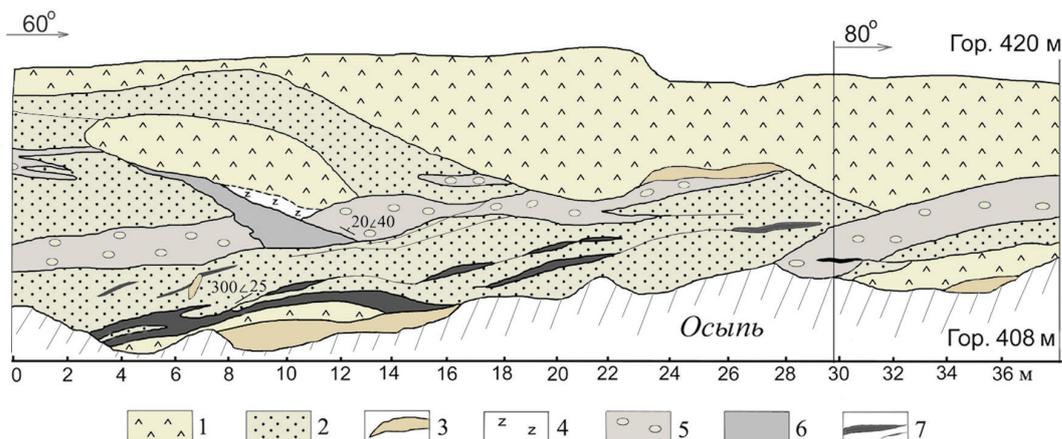


Рис. 2. Взаимоотношения щелочных пород в северной части карьера г. Долгой.

1 – миаскит среднезернистый; 2 – миаскит мелко-среднезернистый катаклазированный, с полосками обогащения биотитом, кальцитом, ильменитом и пирротинном; 3 – пегматит миаскитовый; 4 – цеолитизированный миаскит; 5 – карбонатитоид мезократовый («горошковая брекчия») с округлыми обломками миаскитов и кристаллов микроклина, нефелина, канкринита, фторапатита; 6 – карбонатитоид меланократовый среднезернистый; 7 – кальцит-флогопитовые жилы («слюдиты»).

Fig. 2. Interrelationships of alkaline rocks in the northern part of the Mt. Dolgaya quarry.

1 – medium-grained miaskites; 2 – small- to medium-grained cataclastic miaskites with biotite-, calcite-, ilmenite-, and pyrrhotite-rich bands; 3 – miaskitic pegmatites; 4 – zeolitized miaskites; 5 – mesocratic carbonate rocks with round fragments of miaskites and microcline, nepheline, cancrinite, and fluorapatite crystals; 6 – medium-grained melanocratic carbonate rocks; 7 – calcite-phlogopite veins (glimmerites).

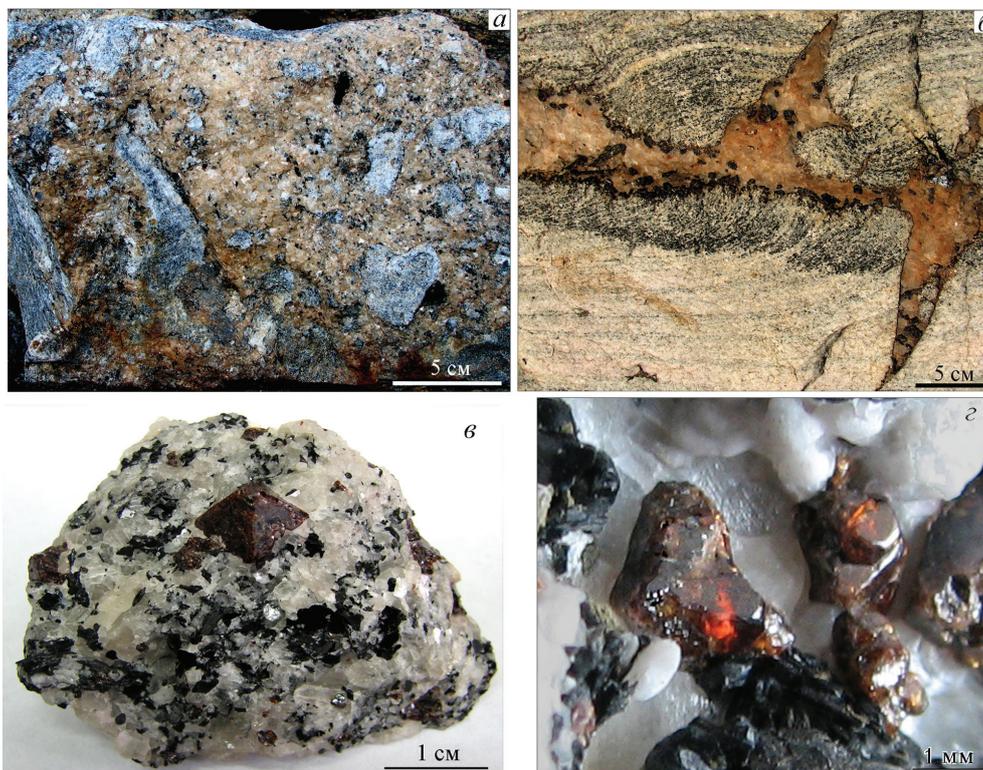


Рис. 3. Виды кальцитовых карбонатитов: а – с биотитом и обломками миаскитов и их пегматитов (в миаскитах, г. Долгая); б – с пироксеном и фторапатитом (в фенитах, зона 125); в – с биотитом, пирохлором и фторапатитом (зона 140); г – с пироксеном и пирохлором (в фените, зона 125).

Fig. 3. Types of calcite carbonatites with: а – biotite and fragments of miaskites and their pegmatites (Mt. Dolgaya quarry); б – pyroxene and fluorapatite (fenites, zone 125); в – biotite, pyrochlore, and fluorapatite (zone 125); г – pyroxene and pyrochlore (fenites, zone 125).

составили, мас. %: MgO 0.45–0.60; FeO 0.99–1.36; MnO 1.09–1.68; не обнаружены SrO и редкие земли (Попов, Нишанбаев, 2008).

Кальцит-доломитовые и доломитовые карбонаты проявлены в породах Булдымского массива серпентинитов (Свяжин, 1966; Левин и др., 1997; Недосекова и др., 2009). По данным химических анализов, вариации содержаний примесей в кальцитах кальцит-доломитовых карбонатитов составляют, мас. %: MgO 1.4–2.5; FeO 0.7–0.9; MnO 1.4–2.2; SrO 0.7–1.7 (Левин и др., 1997). По ИК-спектрам и термограммам ранее в кальцитах карбонатитов указывалось до 10–20 % сидеритовой молекулы (что отвечает 6–12 мас. % FeO), а в доломитах – до 10 % анкеритовой составляющей (Недосекова, 1993). В зёрнах более магнезиального кальцита (с 4–5 мас. % MgO) указывались регулярные (т.е. синтаксические. – П.В.) вростки доломита, а также собственно жилы магнезита с 40 % MgO (Левин и др., 1997). Следует отметить, что при анализе карбонатов стандартным химическим методом «мокрой химии» в материале проб возможны примеси (например, редких и редкоземельных элементов) из других минералов породы и прожилков.

### Карбонаты пегматитов

Пегматиты Вишнёвогорского месторождения подразделяются по преобладающему составу на пегматиты сиенитовые (нефелин-полевошпатовые и полевошпатовые), карбонатитовые и гранитные, – соответственно главным типам магматических пород.

Отмечалось, что пегматиты широко распространены (Амеландов, 1929; и др.), но специально вскрывались только наиболее крупные жилы щелочных пегматитов – система жил № 5 на горе Каравай, рудника «Шпат» в Курочкином Логе, жила Цирконового шурфа на горе Ерёмной и жила 35 на северном склоне горы Долгой (Бонштедт-Куплетская, 1951). В процессе добычи ниобиевых руд карьерами и шахтой в северо-западной части Вишнёвогорского миаскитового массива отрабатывались и пегматиты, но данных о них почти нет, как и о пегматитах, вскрываемых в последние годы карьерами на горах Долгой и Кобелихе. Практически во всех обследованных пегматитовых жилах и миаролах отмечалось то или иное количество первичных карбонатов, преимущественно – кальцита, в виде включений в полевых шпатах, нефелине, биотите, ильмените и других минералах пегмати-

тов, что частично отражено в обобщающих монографиях (Бонштедт-Куплетская, 1951; Еськова и др., 1964), статьях разных исследователей и отмечалось нами при обследовании горных выработок и изучении образцов пород и минералов.

**Кальцит** среди первичных агрегатов минералов в нефелин-полевошпатовых пегматитах образует агрегаты субизометричных зёрен разной величины белого или желтоватого цвета; по форме зёрен можно предполагать, что кристаллы его (при наличии полостей) также были бы субизометричного облика. В пегматитах Курочкина лога химическим анализом в кальците из примесей определены, мас. %: MgO 0.50; FeO 0.49; MnO 0.50 (Бонштедт-Куплетская, 1951).

В зоне № 140, находящейся в Западном пластовом теле миаскитов (в «седловидной залежи»), редкометалльная минерализация представлена множеством субсогласных с полосчатостью субпараллельных прожилков зонального строения с последовательной кристаллизацией сначала биотит-полевошпатового агрегата, постепенно переходящего в пироклор-биотит-полевошпатовый с кальцитом, и завершается кристаллизацией преимущественно кальцита с вростками пироклора (рис. 4).

В отвалах зоны 125 среди пироксен-полевошпатовых фенитов встречены и карбонатит-пегматиты с эгирин-авгитом и пироклором (рис. 5а); в химическом анализе кальцита определены повышенные количества примесного железа и марганца, мас. %: Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1.11; MnO 1.36; MgO 0.18; TR 0.28 (Еськова и др., 1964). Кальцит из миарол нозеансодержащего карбонатит-пегматита (рис. 5б) из керна скважины № 3010 с глубины 110 м в СЗ экзоконтакте миаскитового массива беден примесями (микрозонд, мас. %): MgO 0.28; FeO 0.17; MnO 0.23 (наши данные). Зёрна кальцита имеют поверхности совместного роста с флогопитом, нозеаном и пирротинном (Попов, Нишанбаев, 2010).

### Карбонаты поздних (послерудных) прожилков

В разных породах и пегматитовых жилах Вишнёвых гор более поздние выделения кальцита связаны с трещинными секущими структурами, возникшими после щелочных пегматитов и карбонатитов (Чесноков, 1956; Никандров, 1983; и др.). Там, где поздняя минерализация в полостях трещин наложена на более раннюю (с образованием жил «альпийского типа», по Б.В. Чеснокову, 1963), иногда сложно отнести карбонаты из разобщённых



Рис. 4. Вростки пирохлора в зональных биотит-полевошпат-кальцитовых жилках зоны 140:

*a* – в сечении жилки; *б* – в её плоскости (кальцит подтравлен).

Fig. 4. Inclusions of pyrochlore in biotite-feldspar-calcite veins (zone 140):

*a* – cross-section of the vein; *б* – plan view (calcite is slightly etched).

прожилков к определённой генерации (последовательности минералообразования). В образцах жильных агрегатов нередко наблюдались щёточки кварца и «мономинеральные» хлоритовые зоны («рубашки»), отграничивающие последующую минерализацию с несколькими генерациями жильного кальцита и других карбонатов.

Жилы «альпийского типа» Б.В. Чесноковым (1963) разделены на два главных подтипа: 1 – в пироксеновых сиенитах, 2 – в миаскитах. По конкретным наблюдениям строения прожилков в жильных зонах им показаны модели последовательности кристаллизации минералов в этих жилах. Приведём один из обобщающих примеров (рис. 6), где на стенку трещины в породе выросли кварц, спайные ромбоэдры анкерита, затем тупоромбоэдрический кальцит-1, перекрытые корочкой железистого хлорита. После хлорита выросли более крупный тупоромбоэдрический кальцит-2, пирит и арагонит. На тупоромбоэдрических кристаллах кальцита иногда отмечались ещё очень маленькие грани призмы или острейшего ромбоэдра. Всего в жилах «альпийского типа» Вишнёвогорского месторождения Б.В. Чесноковым указывалось до 20 минералов. Из карбонатов им отмечены только кальцит  $\text{CaCO}_3$ , анкерит  $\text{Ca}(\text{Fe}, \text{Mg}, \text{Mn})(\text{CO}_3)_2$ , арагонит  $\text{CaCO}_3$  и, предположительно, сидерит  $\text{FeCO}_3$ ; данных по составу их в этой статье не приведено.

Кроме преобладающего кальцита, среди карбонатов в жилках из шахтных выработок зоны № 140 после кальцита изредка встречался и сидерит в форме спайных ромбоэдров в сростках с гейландитом и пиритом, а после сидерита снова отло-



Рис. 5. Агрегаты кальцита в карбонатит-пегматитах:

*a* – в сростке с эгирин-авгитом и пирохлором (зона 125); *б* – с голубоватым нозеаном, флогопитом и пирротинном (из керна скважины 3010).

Fig. 5. Calcite aggregates in carbonatite-pegmatites:

*a* – intergrown with aegirine-augite and pyrochlore (zone 125); *б* – with bluish nosean, phlogopite, and pyrrhotite (from a core sample).

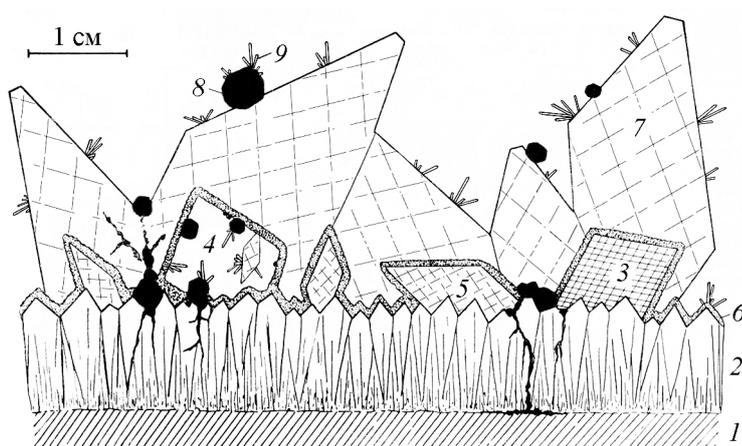


Рис. 6. Схема последовательной кристаллизации поздних минералов жилки в эгирин-полевошпатовом сиените зоны 140 (по Б.В. Чеснокову, 1963).

1 – сиенит; 2 – кварц; 3 – анкерит; 4 – полость растворения внутри анкерита; 5 – кальцит-1; 6 – хлорит; 7 – кальцит-2; 8 – пирит; 9 – арагонит.

Fig. 6. Scheme of consecutive crystallization of late minerals in aegirine-feldspar syenite from zone 140 (after B.V. Chesnokov, 1963).

1 – syenite; 2 – quartz; 3 – ankerite; 4 – dissolution cavity in ankerite; 5 – calcite; 6 – chlorite; 7 – calcite-2; 8 – pyrite; 9 – aragonite.

жился кальцит (Попов, Нишанбаев, 1993). Сидерит отмечен также в виде мелких кристалликов в полостях с поздней редкометалльной минерализацией вместе с редкими анкилитом, доннейитом, бурбанкином и другими минералами (Никандров, 1988).

При изучении образцов из коллекции А.В. Донскова нередко в одном образце жильного агрегата выявляются разнообразие габитусов кристаллов кальцита, смена форм его роста, наросты кристалликов пирита, а также полигенерационное образование кальцита (рис. 7, 8) и некоторых ассоциирующих с ним минералов (наиболее часто – хлорита, кварца, натролита, арагонита, стронцианита и стильбита). Встречались образцы из друзовых полостей с кальцитом, практически не содержащим примесей Sr и REE, но цементирующим обломочки зёрен более ранних минералов – полевых шпатов, ильменита, алланита-(Ce), пироклора.

Кроме приведённых примеров, встречались и другие последовательности образования разных по форме кальцитов в одном и том же образце. Так, в одном из образцов на крупных (до 4 см) скаленоздрах кальцита, частично перекрытых тонкой зеленовато-серой корочкой хлорита, выросли мелкие ромбоэдры кальцита до 1 мм (с мелким пиритом и титанитом), тоже с корочкой хлорита, после чего отложились поздние тупоромбоэдрические кристаллы кальцита (до 1–5 мм). С тонкотаблитчатым кальцитом (папиршпатом) иногда встречаются сростки столбчатых кристалликов то натролита, то стронцианита (с редким пирротинном). В жилке, секущей полосчатость амфибол-полевошпатового фенита с редким пироксеном и кальцитом, на друзовом агрегате магнезиогастингсита с адуляром отложились сначала белые седловидные спайные ромбоэдры доломита, затем – тупоромбоэдрические кристаллы кальцита в ассоциации с табличка-

ми зонально-секториального брукита и агрегатом столбчатых кристаллов стронцианита.

В образцах поздних прожилков из шахтных выработок рудной зоны 140 выделено не менее шести генераций кальцита (Никандров, 1983) и приведена обобщённая последовательность кристаллизации минералов (рис. 9). На схеме отражено неоднократное образование кварца, хлорита, флюорита, пирита и кальцита. Анкерит в жилках отлагался раньше кальцита, и есть повторение одинаковых форм кальцита в разных его генерациях (что отмечал и Б.В. Чесноков).

В кадастр минералов Вишневых и Потаниных гор по состоянию на 1996 год (Кобяшев и др., 1998) включены 23 карбоната, из них 19 – из Вишнёвых гор. Помимо уже кратко охарактеризованных преобладающих кальцита и менее проявленных анкерита, доломита, сидерита и арагонита, в списке приведены ещё 14 минералов, встречающихся преимущественно эпизодически. Указания на их находки приведены ниже в алфавитном порядке.

Азурит  $\text{Cu}^{2+}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$  упомянут Е.М. Еськовой с соавторами (1964); наличие его в зоне гипергенеза вполне вероятно, так как в рудах встречаются сульфиды меди (борнит, ковеллин, кубанит, халькопирит).

Анкилит-(Ce)  $\text{SrCe}(\text{CO}_3)_2(\text{OH}) \times \text{H}_2\text{O}$  под названием «анкилит» описан в прожилках, секущих миаскиты зоны 140 (Никандров, 1988). Образует мелкие псевдооктаэдрические светло-жёлтые кристаллики в ассоциации с редкими бурбанкином и доннейитом. По составу центральная зона анкилита-(Ce) содержит повышенные содержания редких земель и кальция, а периферическая зона – стронция (Пеков и др., 1996).

Бастнезит-(Ce)  $(\text{Ce}, \text{La})(\text{CO}_3)\text{F}$  в таблитчатых зёрнах от светло-жёлтого до желтовато-коричне-

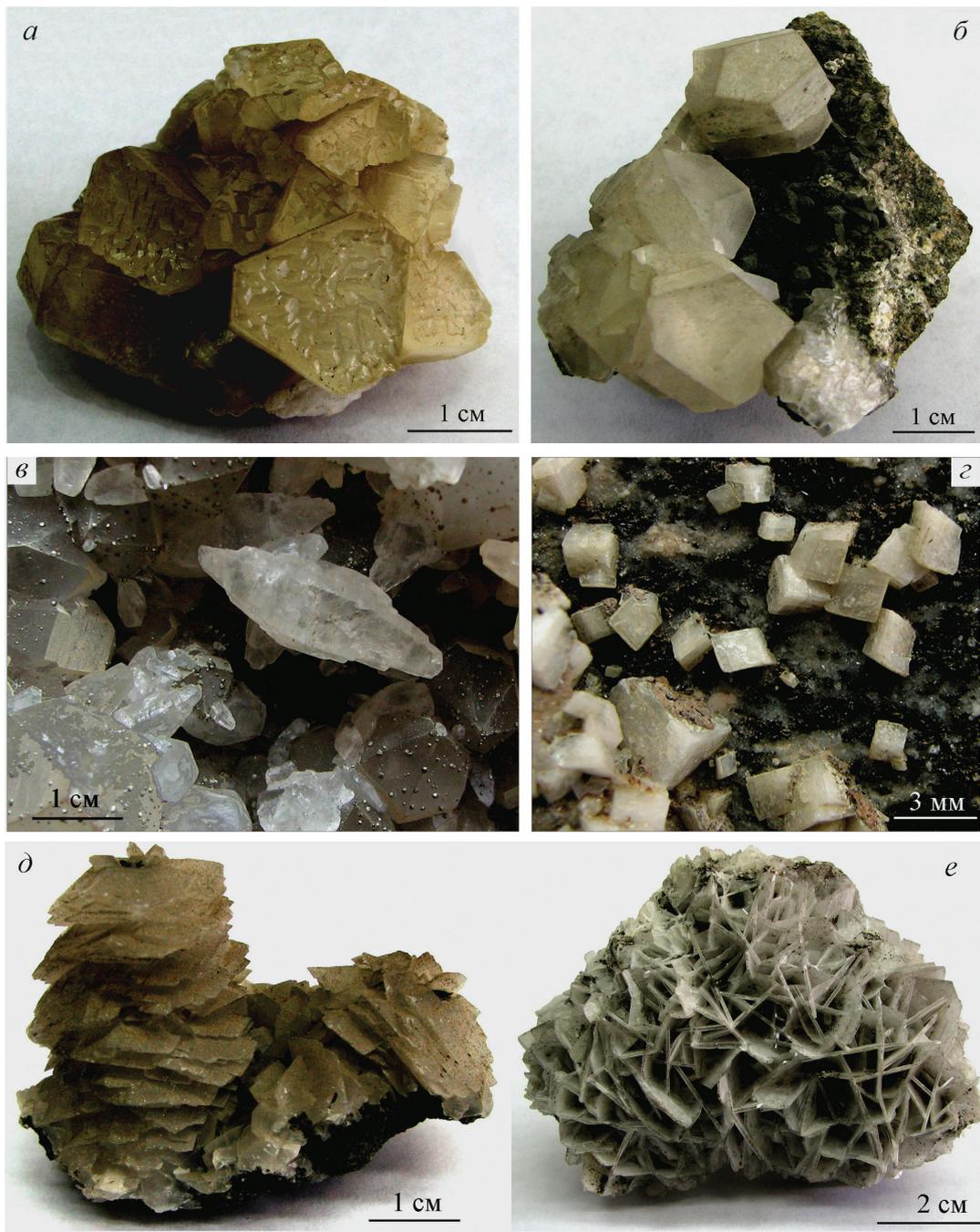


Рис. 7. Габитус кристаллов кальцита в полостях прожилков в сиенитах пироксеновых (а, б, в) и биотитовых (г, е). а – пинакоидально-призматический, с бугорками роста тупого ромбоэдра  $\{01\bar{1}2\}$  на пинакоиде; б – субизометричный, комбинация призмы  $\{10\bar{1}0\}$  и ромбоэдра  $\{01\bar{1}2\}$ ; в – скаленоэдрический  $\{21\bar{3}1\}$ , после кварца с кристалликами пирита; г – спайноромбоэдрический  $\{10\bar{1}1\}$ ; д – тупоромбоэдрический  $\{01\bar{1}2\}$  (с микрорезернами пирита), выросший на ранние скаленоэдры с корочкой хлорита; е – тонкотаблитчатый, с «присыпкой» кубооктаэдров пирита.

Fig. 7. Habit of calcite crystals in cavities of different veins from pyroxene (a, b, c) and biotite (d, e) syenites. a – pinacoidal-prismatic, with obtuse rhombohedron  $\{01\bar{1}2\}$  on pinacoid; b – subisometric, combination of prism  $\{10\bar{1}0\}$  and rhombohedron  $\{01\bar{1}2\}$ ; c – scalenohedral  $\{21\bar{3}1\}$ , after quartz with pyrite crystals; d – rhombohedral  $\{10\bar{1}1\}$ ; e – fine tabular, with pyrite cubooctahedral crystals.

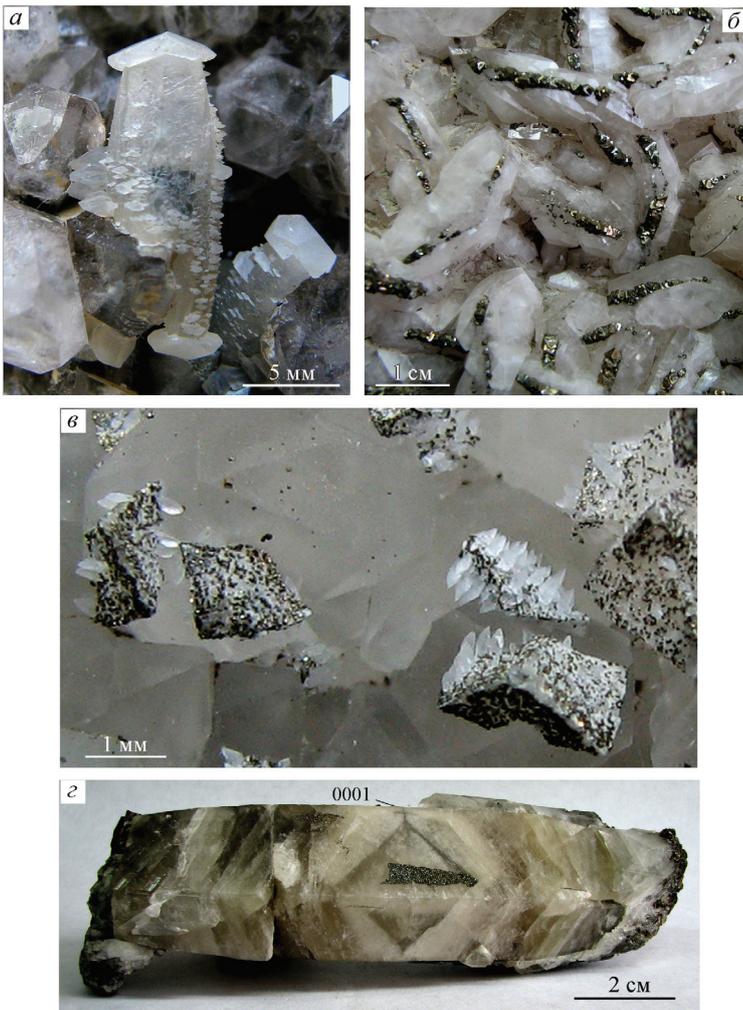


Рис. 8. Примеры форм роста кристаллов кальцита из прожилков в хлоритизированном фените (а, б), миаските (в) и амфибол-полевошпатовом сиените (з):

а – тупые ромбоэдры  $\{01\bar{1}2\}$  → скаленоэдры  $\{21\bar{3}1\}$  кальцита, с кварцем → поздние ромбоэдры  $\{01\bar{1}2\}$  на головках и боковых гранях скаленоэдров; б – комбинация  $\{01\bar{1}2\} + \{10\bar{1}0\}$ , с «гирляндами» кубооктаэдров пирита только на гранях призмы; в – в кварце вроски «седловидных» ромбоэдров кальцита  $\{10\bar{1}1\}$  с пиритом  $\{100\}$  на верхних гранях и, позднее, с ориентированно наросшими скаленоэдрами  $\{21\bar{3}1\}$  белого кальцита; з – двойник прорастания кальцита по  $(0001)$  со сменой зон:  $\{10\bar{1}1\} \rightarrow \{21\bar{3}1\} \rightarrow \{21\bar{3}1\} + \{0001\}$ , с частью корочки пирита  $\{100\}$ .

Fig. 8. Examples of growth forms of calcite crystals from veins in chloritized fenite (a, b), miaskite (v), and amphibole-feldspar syenite (z):

а – obtuse rhombohedra  $\{01\bar{1}2\}$  → scalenohedra  $\{21\bar{3}1\}$  of calcite with quartz → late rhombohedra  $\{01\bar{1}2\}$  on scalenohedra; б – combination of  $\{01\bar{1}2\}$  and  $\{10\bar{1}0\}$  with pyrite cubooctahedral crystals only on prism surface; в – saddle-like rhombohedra  $\{10\bar{1}1\}$  with pyrite  $\{100\}$  and late calcite scalenohedra  $\{21\bar{3}1\}$ ; з – calcite twin by  $(0001)$  with changing zones  $\{10\bar{1}1\} \rightarrow \{21\bar{3}1\} \rightarrow \{21\bar{3}1\} + \{0001\}$ , and pyrite rim.

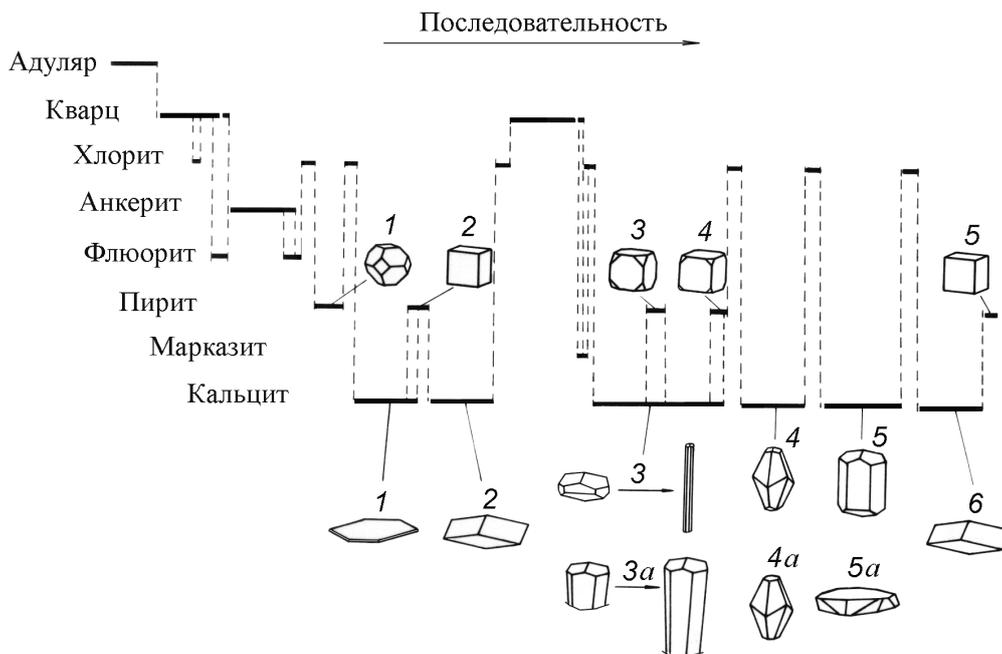


Рис. 9. Схема последовательности минералообразования в поздних прожилках зоны 140 (Никандров, 1983).

Fig. 9. Scheme of consecutive crystallization of minerals in late veins from zone 140.

вого цвета впервые найден в 1955 году Е.Б. Халезовой в кварцевых прожилках горы Долгой под названием «бастнезит» среди пироксеновых фенитов жилы № 35. Встречен он также в щелочных пегматитах и кальцитовых прожилках; сумма редких земель в нём составила 74.65–75.84 мас. % (Еськова и др., 1964). В образцах из коллекции А.В. Донскова бледно-жёлтые зёрна бастнезита-(Ce) до 1 мм встречены нами в виде включений по зоне роста октаэдра флюорита, отложившегося в полости фторапатит-эгирин-полевошпатовой жилы. Коричневые гексагональные таблички бастнезита-(Ce) из кварц-арфведсонитового прожилка в фените из шахты № 5 имеют состав (микрозонд, мас. %): La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 28.03; Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 36.79; Pr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 2.37; Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 5.84; Sm<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0.12; CO<sub>2</sub> 32.72<sub>расч.</sub>; F 9.13 и малые примеси Na, Ca, Sr, Y (Пеков и др., 1996); в нём встречаются тонкие вроски синхизита-(Ce). Бастнезит с преобладанием La в Вишнёвогорском месторождении не встречен (известен южнее, в Мочалином Логе).

Бурбанкит (Na,Ca)<sub>3</sub>(Sr,Ba,Ce)<sub>3</sub>(CO<sub>3</sub>)<sub>5</sub> («бербанкит») – пучки светло-жёлтых тонкоигловчатых индивидов длиной до 2 мм, выросшие на микроклин и альбит, – выявлен в составе поздней редкометалльной минерализации с анкилитом и доннейитом (Никандров, 1988). По данным 2-х микрозондовых анализов (Пеков и др., 1996), средний состав «бербанкита» следующий (мас. %): Na<sub>2</sub>O 10.13; CaO 7.86; SrO 33.77; BaO 4.46; Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0.51; La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 3.08; Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 4.48; Pr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0.19; Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0.82; Sm<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0.09; CO<sub>2</sub> 32.72<sub>расч.</sub>.

Доннейит-(Y) Sr<sub>3</sub>NaCaY(CO<sub>3</sub>)<sub>6</sub>×3H<sub>2</sub>O («доннейит») в виде светло-жёлтых бочёнковидных кристалликов до 2 мм с грубой штриховкой на боковых гранях (Никандров, 1987, 1988) нарастал на друзы кристаллов микроклина и альбита. Микрозондовым анализом (Пеков и др., 1996) в доннейите-(Y) определены, мас. %: Na<sub>2</sub>O 3.75.13; CaO 5.72; SrO 28.71; BaO 3.51; Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 10.00; La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0.93; Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1.10; Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0.10; CO<sub>2</sub> 27.69<sub>расч.</sub>; H<sub>2</sub>O 9.5<sub>расч.</sub>.

Малахит Cu<sup>2+</sup><sub>2</sub>(CO<sub>3</sub>)(OH)<sub>2</sub>, как и азурит, приведён в списке минералов Вишневых гор без описания (Еськова и др., 1964).

Нахколит NaHCO<sub>3</sub>, ниеререйт Na<sub>2</sub>Ca(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> и пирссонит Na<sub>2</sub>Ca(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>×2H<sub>2</sub>O установлены в составе первичных газовой-твёрдофазовых включений в кальците (Таланцев и др., 1987).

Синхизит-(Ce) Ca(Ce,La)(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>F в эпитактическом сростании с бастнезитом-(Ce) из шахты № 5 (см. выше) содержит (микрозонд, мас. %): Na<sub>2</sub>O 0.16; CaO 16.59; SrO 0.34; Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1.51; La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

15.16; Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 24.51.10; Pr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1.97; Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 7.03; Sm<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0.90; CO<sub>2</sub> 27.31<sub>расч.</sub>; F 5.78 (Пеков и др., 1996).

Стронцианит SrCO<sub>3</sub> как «кальциостронцианит» найден в 1957 г. А.Г. Жабиным в фенитах экзоконтакта щелочного массива (Еськова и др., 1964). Пучковидные агрегаты столбчатых кристаллов стронцианита встречены нами в нескольких образцах коллекции А.В. Донскова – в сростках с папиришпатом, наросты на кристаллах желтоватого короткопризматического кальцита и в ассоциации с поздними мелкими кристалликами фторапатита, отложившимися на ромбоэдрах доломита. Ранее отмечен также в виде мелких кристалликов и радиальных «звёздчатых» сростков в полостях с поздней редкометалльной минерализацией вместе с редкими анкилитом, доннейитом, бурбанкитом и другими минералами (Никандров, 1988).

Трона Na<sub>3</sub>(CO<sub>3</sub>)(HCO<sub>3</sub>)×2H<sub>2</sub>O – мелкие вытянутые и уплощённые зёрна в порошковатом тенардите – выявлена в иммерсионных препаратах (Чесноков и др., 1984).

Шортит Na<sub>2</sub>Ca<sub>2</sub>(CO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> в виде таблитчатых и толстотаблитчатых кристаллов до 4 см встречен Б.В. Чесноковым в составе друзовых агрегатов вместе с анальцимом и натролитом, выросших на стенки полостей секущих трещин в миаските; центральная часть этих полостей заполнена мирабилитом и тенардитом. Химическим анализом определён состав крупного монокристалла шортита, мас. %: Na<sub>2</sub>O 20.05; CaO 36.85; MgO 0.16; CO<sub>2</sub> 42.28; H<sub>2</sub>O 0.67 (Чесноков и др., 1984).

Церуссит PbCO<sub>3</sub> как продукт гипергенного разрушения галенита отмечен Б.В. Чесноковым (1960).

При изучении нодулярных карбонатитов из зоны 147 Вишнёвых гор в зерне натролита обнаружены включения давсонита NaAl(CO<sub>3</sub>)(OH)<sub>2</sub> (Попов, Нишанбаев, 2008). В последнее время давсонит обнаружен и в канкринит-содалитовых пегматитах горы Кобелихи (устное сообщение М.А. Рассомахина).

## Заключение

На примере вышеуказанных карбонатитов, входящих в состав разных горных пород и жильных тел Вишнёвогорского месторождения, ярко прослеживается сложность растянутых во времени процессов формирования миаскитов, безнефелиновых сиенитов и карбонатитов и соответствующих этим породам пегматитовых жил, сопровождаемых проявлениями метасоматоза и послерудного жильного

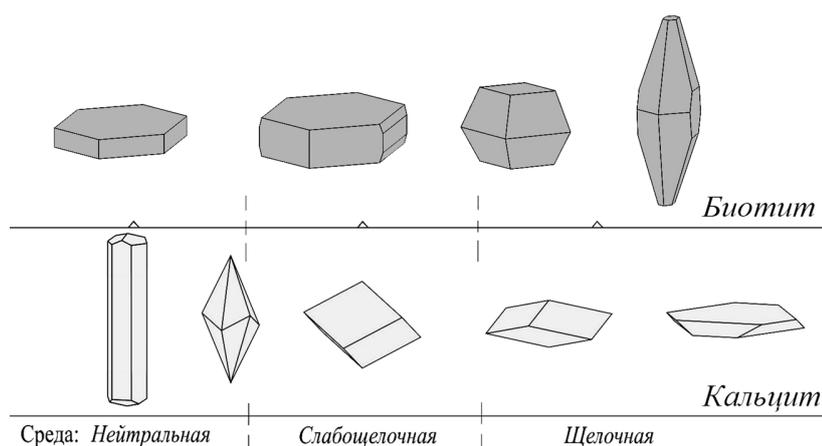


Рис. 10. Габитусы кристаллов биотита и кальцита, коррелирующие с относительной щелочностью минералообразующей среды (Попов, 1984).

Fig. 10. Habits of biotite and calcite crystals correlated with relative alkalinity of the mineral-forming medium.

заполнения. Наиболее распространённым является кальцит. В постмагматических образованиях кальцит характеризуется разнообразием минеральных парагенезисов, ограничением и габитусом, с малыми примесями Fe, Mn и Mg. Энергодисперсионным анализом в кальцитах практически не выявлено значимых примесей Sr и REE, а только микровключения минералов, содержащих эти элементы.

Другие карбонаты имеют меньшее развитие по сравнению с кальцитом, но тоже полигенерационны, судя по описаниям исследователей. Широкое участие углекислоты в процессах минералообразования Вишнёвогорского комплекса могло привести к локальным концентрированным проявлениям карбонатной редкоземельной минерализации. Редкоземельные карбонаты – бастнезит, синхизит, бурбанкит, анкилит-(Ce) – встречаются сравнительно редко в трещинных структурах апикальной части щелочной интрузии. В метасоматитах редкоземельные карбонаты пока не отмечались, но по принципу жил «альпийского типа» их можно там ожидать.

Ранее в разных месторождениях Урала были выявлены морфологические ряды габитусных форм роста кристаллов разных минералов в соответствии с габитусом кристаллов кварца в средах разной щёлочности (Попов, 1984); фрагмент ряда для кальцита и биотита дан на рисунке 10. Можно полагать, что в примерах, приведённых Б.В. Чесноковым (1963), тупоромбоэдрические кристаллы кальцита (см. рис. 6) отлагались в щелочной среде. Разная форма последовательных кристаллов кальцита из поздних прожилков зоны 140 Вишнёвых гор (см. рис. 9) отражает изменение минералообразующих сред (в разных прожилках) от ранних щелочных к менее щелочным и близонейтральным с переходом снова к щелочным растворам.

Миаскиты и карбонатиты Вишнёвогорского массива рассматриваются как продукты кристаллизации флюидонасыщенных щелочных магм, порождённых мантийным анатексисом и последующими мантийно-коровыми процессами (Недосекова и др., 2009). Вишнёвогорское редкометалльное месторождение отнесено к альбититовому типу (Овчинников, 1998). Метасоматиты с количественным преобладанием альбита действительно развиты в некоторых частях структуры, но большая часть отработанных руд не относится к метасоматическим альбититам. Карбонатиты и карбонатсодержащие сиенитовые пегматиты, а также многочисленные жилки (в том числе и с альбитом) являлись преобладающими пироклоровыми рудами.

Авторы благодарны Александру Викторовичу Донскову за возможность изучения его коллекции, а также М.А. Рассомахину за рентгенофлюоресцентный анализ некоторых минералов.

Работа проведена по госбюджетной теме ГР № 01201374594 ИМин УрО РАН.

## Литература

Бонштедт-Куплетская Э.М. Минералогия щелочных пегматитов Вишнёвых гор. М.: АН СССР, 1951. 193 с.

Еськова Е.М., Жабин А.Г., Мухитдинов Г.Н. Минералогия и геохимия редких элементов Вишнёвых гор. М.: Наука, 1964. 319 с.

Кобяшев Ю.С., Макагонов Е.П., Никандров С.Н. Минералы Вишнёвых и Потаниных гор. Миасс: ИГЗ УрО РАН, 1998. 77 с.

Левин В.Я. Щелочная провинция Ильменских–Вишнёвых гор (формации нефелиновых сиенитов Урала). М.: Наука, 1974. 223 с.

Левин В.Я., Роненсон Б.М., Самков В.С., Левина И.А., Сергеев Н.С., Киселёв А.П. Щёлочно-карбонатитовые комплексы Урала. Екатеринбург: Уралгеолком, 1997. 272 с.

Недосекова И.Л. Щёлочно-карбонатные метасоматиты Булдымского гипербазитового массива // Урал. минерал. сборник. Екатеринбург: УИФ Наука. 1993. № 1. С. 46–49.

Недосекова И.Л., Владыкин Н.В., Прибавкин С.В., Баянова Т.Б. Ильмено-Вишнёвогорский миаскит-карбонатитовый комплекс: происхождение, рудоносность, источники вещества (Урал, Россия) // Геология рудн. месторожд. 2009. Т. 51. № 2. С. 157–181.

Недосекова И.Л., Мурзин В.В. Типохимизм и эволюция состава карбонатов из карбонатитов Ильмено-Вишнёвогорского щелочного комплекса (Южный Урал) / Минералогия Урала–2007. Матер. V Всеросс. совещ. Миасс-Екатеринбург, 2007. С. 49–54.

Никандров С.Н. Минерализация пострудных тектонических нарушений Вишнёвогорского месторождения // Минералы и парагенезисы минералов месторождений Урала. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1983. С. 32–45.

Никандров С.Н. Поздняя акцессорная редкометаллическая минерализация в Вишнёвогорском комплексе // Новые данные по минералогии Урала. Свердловск: УрО АН СССР. 1988. С. 60–71.

Овчинников Л. Н. Полезные ископаемые и металлогения Урала. М.: Геоинформмарк, 1998. 413 с.

Пеков И.В., Куликова И.М., Никандров С.Н. О составе редкоземельных карбонатов из гидротермалитов Вишнёвогорского щелочного комплекса // Урал. летняя минералог. школа–96. Екатеринбург: УГГА. 1996. С. 137–141.

Попов В.А., Нишанбаев Т.П. Находка нозеана в карбонатитах Вишнёвых гор (Урал) // Зап. РМО. 2010. № 6. С. 140–145.

Попов В.А., Нишанбаев Т.П. Нодулярные карбонатиты Вишнёвых гор // Девятые Всеросс. научн. чтения памяти ильменского минералога В.О. Полякова. Миасс: ИМин УрО РАН. 2008. С. 19–23.

Попов В.А., Нишанбаев Т.П. Целестин, апофиллит, гейландит и гизингерит из Вишнёвых гор // Уральский минералогический сборник. Екатеринбург: УИФ Наука. 1993. № 1. С. 56–59.

Попова В.И., Баженов А.Г., Попов В.А., Ахлюстин В.Е., Муфтахов В.А. Влияние неоднородности состава щелочных пород Вишнёвогорского месторождения на качество нефелин-полевошпатового сырья (Южный Урал) // Урал. геолог. журн. 2003. № 6. С. 103–126.

Роненсон Б.М. Происхождение миаскитов и связь с ними редкометаллического оруденения. М.: Недра, 1966. 173 с.

Свяжин Н.В. Доломитовые карбонатиты Вишнёвогорского комплекса ультраосновных и щелочных пород // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1966. № 5. С. 65–72.

Таланцев А.С., Таланцева Г.А. Газово-твёрдофазовые первичные включения в кальцитах из карбонатитов уральского щелочного комплекса // Ежегодник-1986 ИГГ УНЦ АН СССР. Свердловск, 1987. С. 125–128.

Чесноков Б.В. Жилы альпийского типа в щелочных породах Вишнёвых гор // Геология и полезные ископаемые Урала. Тр. Свердловск. Горн. ин-та. 1963. Вып. 42. С. 143–151.

Чесноков Б.В. Об ориентировке кристаллов полевого шпата в миаскитах Вишнёвых гор на Урале // Материалы по геологии и полезным ископаемым Урала. Тр. Свердловск. Горн. ин-та. 1956. Вып. 26. С. 109–113.

Чесноков Б.В. Сравнительная характеристика физических свойств кристаллических и метамиктных пироксенов Вишнёвых гор // Материалы по геологии и разведке полезных ископаемых Урала. Тр. Свердловск. Горн. ин-та. 1960. Вып. 37. С. 183–191.

Чесноков Б.В., Попов В.А., Никандров С.Н., Баженова Л.Ф., Корнилов Ю.Б., Жданов В.Ф. Тенардит-мирабилитовая минерализация в миаскитах Вишнёвых гор на Урале // Материалы по минералогии месторождений Урала. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1984. С. 24–33.

Поступила в редакцию 23 ноября 2015 г.