

## УНИКАЛЬНОЕ ПРОЯВЛЕНИЕ ПОЛЯКОВИТА-(СЕ) В ИЛЬМЕНСКИХ ГОРАХ, ЮЖНЫЙ УРАЛ – НОВЫЕ НАХОДКИ

**В.А. Попов<sup>1</sup>, М.А. Рассомахин<sup>1</sup>, С.В. Колисниченко**

<sup>1</sup> Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии УрО РАН, Институт минералогии, г. Миасс, Челябинская обл., 456317 Россия; popov@mineralogy.ru

## A UNIQUE ORE LOCALITY OF POLYAKOVITE-(Ce) IN THE ILMENY MOUNTAINS, SOUTH URALS – NEW FINDS

**V.A. Popov<sup>1</sup>, M.A. Rassomakhin<sup>1</sup>, S.V. Kolisnichenko**

<sup>1</sup> South Urals Federal Research Center of Mineralogy and Geoecology UB RAS, Institute of Mineralogy, Miass, Chelyabinsk oblast, 456317 Russia; popov@mineralogy.ru

Крупный кристалл редчайшего минерала поляковита-(Ce) обнаружен в 2019 г. в карбонатит-пегматитах копи № 97 Ильменских гор на Южном Урале. Тела карбонатитов, слюдитов, слюдит-пегматитов и карбонатит-пегматитов находятся в пределах небольшого сложного тела щелочных ультрамафитов и содержат широкий уникальный спектр минеральных парагенезисов (горных пород), а также редкометалльных и редкоземельных минералов.

Илл. 18. Табл. 2. Библ. 12.

*Ключевые слова:* поляковит-(Ce), редкометалльные и редкоземельные минералы, щелочные ультрамафиты, карбонатиты, слюдиты, карбонатит-пегматиты, Южный Урал, Ильменские горы.

A large crystal of the rarest mineral polyakovite was discovered in 2019 in the carbonatites-pegmatites of pit № 97 of the Ilmeny Mountains. Bodies of carbonatites, glimmerites, glimmerites-pegmatites and carbonatite-pegmatites are located within a small complex body of alkaline ultramafites and carry a unique range of mineral assemblages (rocks), as well as rare-metal and REE minerals, which is unique for this famous mineral province.

Figures 18. Tables 2. References 12.

*Key words:* polyakovite-(Ce), rare-metal and REE minerals, alkaline ultramafites, carbonatites, glimmerite, carbonatite-pegmatites, South Urals, Ilmen Mountains.

### Введение

Ильменские горы на Южном Урале и их отроги сложены Ильменогорским миаскитовым массивом, телами сиенитов, гранитов, ультрамафитов, карбонатитов и вмещающими их метаморфическими породами – гранитогнейсами, амфиболитами, кристаллическими сланцами и кварцитами. Здесь открыты такие минералы как ильменит, канкринит, монацит, самарскит, эшинит, фергусонит, чевкинит, хиолит, ушковит, макарочкинит, поляковит, ферривинчит и фторрихтерит (Попов, Попова, 2006; и мн. др.), а также горные породы – миаскиты («ильменские граниты»), фирситы и «зерни-

стые известняки», которые позднее на норвежских объектах были названы карбонатитами (Brögger, 1921). Именно в «зернистых известняках» (карбонатитах и карбонатит-пегматитах) Ильменских гор найдены кристаллы ильменита, циркона, пироклора, молибденита, чевкинита, алланита со сложной комбинацией простых форм.

Копь на «бурый сфен» вблизи Ильменского озера была заложена в 1836 г. горным инженером И.И. Редикорцевым на восточной окраине Северо-Ильменского торфяного болота; позднее ей присвоен № 97 (Мельников, 1882). «Бурый сфен» никого не заинтересовал, и копь надолго была забыта. Ее современные координаты – 55° 01' с.ш. и

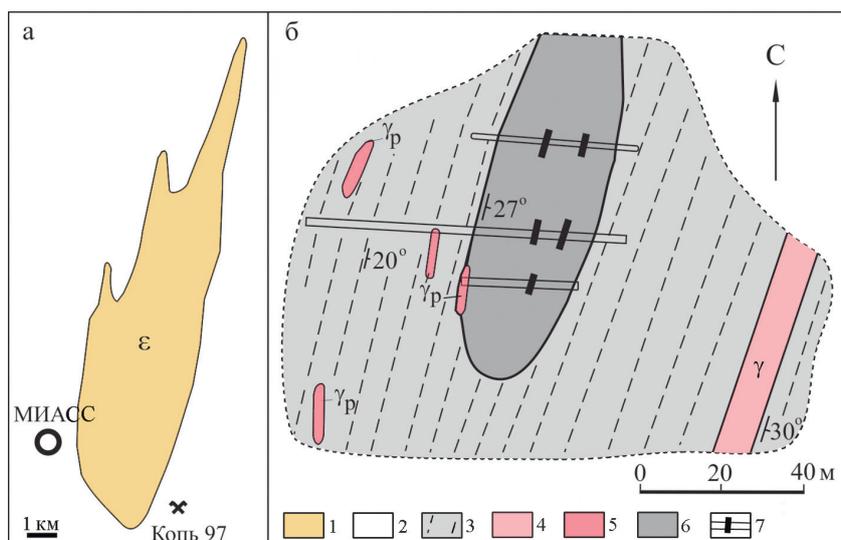


Рис. 1. Местоположение копи № 97 относительно Ильменогорского миаскитового массива (а) и геологическая схема района копи (б).

1 – миаскиты; 2 – вмещающие метаморфические породы; 3 – пироксеновые фениты; 4 – граниты; 5 – гранитные пегматиты; 6 – ультрамафиты; 7 – канавы с выходами жил слюдит-пегматитов и карбонатит-пегматитов.

Fig. 1. Position of pit no. 97 relative to Ilmenogorsky miaskite complex (a) and geological scheme of the pit area (b).

1 – miaskites; 2 – host rocks; 3 – pyroxene fenites; 4 – granites; 5 – granitic pegmatites; 6 – ultramafic rocks; 7 – trenches with veins of glimmerite-pegmatites and carbonatite-pegmatites.



Рис. 2. Выветрелые карбонатиты (голубовато-серые), рихтерит-флогопит-оливиновые породы (коричневатые) и биотитовые слюдиты (серые) в западном шурфе копи № 97. Фото: С.В. Колисниченко, июль 2019 г.

Fig. 2. Weathered carbonatites (bluish gray), richterite-phlogopite-olivine rocks (brownish) and biotite glimmerites (gray) in the western trench of pit no. 97.

Photo of S.V. Kolisnichenko, July 2019.

60° 11' в.д. В 1984 г. В.О. Поляковым тело ультрамафитов было вскрыто шурфом и составлена геологическая схема. Позже дано первичное описание минералов (Поляков, Недосекова, 1990). В 2000 г. в районе «сфеновой» копи № 97 в жилах карбонатит-пегматитов и слюдит-пегматитов обнаружены крупные кристаллы монацита, фергусонита, фторрихтерита, форстерита, корунда, хромита и нового минерала из группы чевкинита – поляковита-(Ce) (Попов и др., 2000). В 2001 г. в процессе геологической практики студентов геологического факультета ЮУрГУ под руководством В.А. Попова уточнена геологическая карта района копи № 97 (рис. 1). Новая расчистка горных выработок копи № 97 (рис. 2) проведена в 2019 г. С.В. Колисниченко с группой юных геологов, в результате которой получены новые данные о строении пегматитовых тел с находками поляковита-(Ce), в том числе его кристалла размером 16 см (Колисниченко, Попов, 2019). В настоящее время это единственное проявление самых крупных индивидов редчайшего в мире минерала поляковита-(Ce). При изучении новых образцов нами выявлено более 60-ти минералов, из них около половины ранее здесь не отмечались. Ниже приводятся некоторые результаты исследований, полученных за последние 20 лет по основным минералам. Аксессуары минералы заслуживают отдельной публикации.

Изучение горных пород и минералов под микроскопом, фотографии образцов и гониометрические измерения кристаллов выполнены В.А. Поповым. Химический состав минералов определен М.А. Рассомахиным на СЭМ Tescan Vega 3 с ЭД спектрометром при ускоряющем напряжении 20 кВ с использованием эталонов MAC (Micro-analysis consultants LTD, рег. № 1362) и MINM 25-53 (Astimex Scientific Limited, серийный номер 01-044).

### Краткая характеристика горных пород и жильных тел в районе копи № 97

На исследованной площади в сложном теле щелочных ультрамафитов установлены флогопит-форстеритовые, флогопитовые и рихтеритовые породы и карбонатиты (рис. 3), местами претерпевшие неоднократную хрупко-пластическую деформацию с образованием реологитов (бластомилонитов) и брекчиевидных текстур, а также реликтовых менее деформированных участков. В мелкозернистых пироксеновых фенитах гнейсовидность слабо заметна, а в амфиболовых и биотитовых фенитах четко проявлена субмеридиональная полосчатость и гнейсовидность. В связи с деформациями относительный возраст разных породных тел проблематичен: контакты сорваны и сдвинуты, проявлено одновременное брекчирование. Небольшое сложное тело щелочных ультрамафитов нанесено на геологическую схему в косесекущем положении по отношению к вмещающим гнейсовидным пироксеновым сиенитам (рис. 1). На некоторых участках контакты пород нарушены, а породы выветрены. Фенитизация в ультрамафитах (Поляков, Недосекова, 1990) нами не наблюдалась, и не установлены секущие миаскитовые и сиенитовые тела. Тело ультрамафитов разбито разноориентированными трещинами, в которых наблюдаются жилы карбонатитов, слюдитов, карбонатит-пегматитов, слюдит-пегматитов, флогопит-фторрихтеритовых пегматитов, частично смещенных по склону в коре выветривания.

Состав и строение жильных тел сильно варьируют по количественным соотношениям как породообразующих минералов (доломита, кальцита, флогопита, фторрихтерита, клиногумита, форстерита, хлорита, корунда), так и второстепенных минералов (монацита-(Ce), поляковита-(Ce), эшинита-(Ce), фергусонита-(Ce), хромита, шпинели, циркона и других минералов). В некоторых слу-

чаях встречались аномальные скопления нескольких минералов. Характерной чертой щелочного ультрамафитового тела является сходство минералогии горных пород и их пегматитовых аналогов.

### Минеральный состав щелочных ультрамафитов и карбонатитов копи № 97

*Флогопит-форстеритовая порода* мелко- и среднезернистая (рис. 3а) содержит 93–95 об. % форстерита и 2–5 об. % флогопита, а также пирит, пирротин, пентландит, халькопирит, молибденит, хромит, монацит-(Ce), апатит, барит, единичные зерна фторрихтерита и талька, а в редких тонких трещинках – серпентин. Встречена и неравнозернистая (порфиroidная) флогопит-форстеритовая порода, где отдельные изометричные индивиды форстерита достигают размера 5–10 см, а вкрапленность флогопита и редкие призмы зеленого фторрихтерита – 1 см.

*Флогопит-рихтеритовая порода* (рис. 3б) содержит 70–90 об. % рихтерита, 10–30 об. % флогопита и акцессорные хромит, монацит-(Ce) и циркон. Состав минералов относительно однороден.

*Слюдиты* – жилообразные маломощные карбонатно-слюдистые тела, сложенные светло-коричневым или коричнево-черным флогопитом (рис. 3в–д) и карбонатами (кальцитом и доломитом), алланитом-(Ce), шпинелью, скаполитом, пирротин, магнетитом и другими акцессорными минералами.

Среди этих пород присутствуют слюдиты необычного апатит-скаполит-алланит-флогопитового состава. В их небольшом теле мощностью 20 см проявлена дифференциация минералов по плотности (рис. 3д). Порода среднезернистая с количественными соотношениями флогопит/алланит/скаполит = 3 : 1 : 1, апатит составляет ~3 об. %. Флогопит таблитчатый, коричневатый с зеленоватыми пятнами. Его состав характеризуется формулой  $K_{0.95}Na_{0.09}Mg_{1.78}Fe_{0.83}Mn_{0.03}Ti_{0.12}Al_{0.20}(Si_{2.79}Al_{1.21})O_{10}(OH)_{1.75}F_{0.25}$ . Алланит-(Ce) представлен изометричными зернами серого цвета, нерадиоактивный, его формула –  $Ca_{1.15}Ce_{0.44}La_{0.33}Nd_{0.06}Pr_{0.04}Fe_{0.74}Al_{1.94}(SiO_4)(Si_2O_7)O(OH)$ . Зерна скаполита субизометричны, белого цвета, имеют состав, промежуточный между мейонитом и мариалитом –  $Na_{2.42}Ca_{1.49}Fe_{0.02}(Al_{4.01}Si_{7.94}O_{24})Cl_{0.58}(CO_3)_{3.042}$ . Sr-содержащий фторапатит образует мелкие бесцветные субизометричные зерна состава  $Ca_{4.8}Sr_{0.1}Na_{0.07}Mg_{0.01}Ce_{0.01}U_{0.01}(P_{2.93}Si_{0.06}S_{0.01})O_{12}(F_{0.95}OH_{0.05})$ .

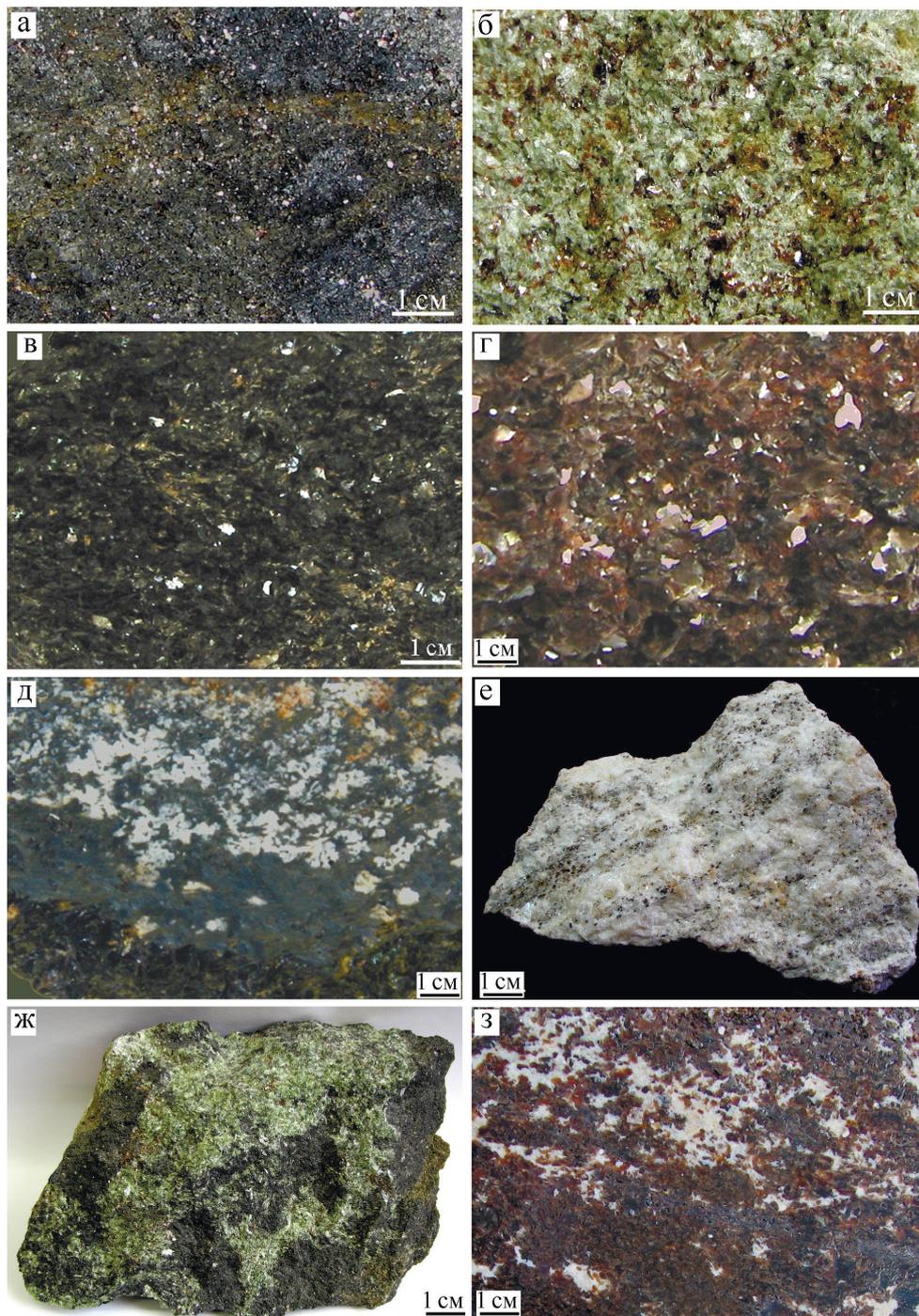


Рис. 3. Породы района копи № 97.

а – хромит-флогопит-форстеритовая; б – флогопит-фторрихтеритовая (с хромитом); в – аннитовый слюдит; г – флогопитовый слюдит; д – контакт шпинель-биотитовой породы с алланит-доломит-скаполитовой породой; е – полосчатый флогопит-кальцит-доломитовый карбонатит; ж – магматическая брекчия флогопит-форстеритовой породы (серая) в флогопит-фторрихтеритовой (зеленая); з – магматическая брекчия флогопитового слюдита в карбонатите.

Fig. 3. Rocks of the area of pit no. 97.

а – chromite-phlogopite-forsterite; б – phlogopite-fluorrichterite (with chromite); в – annite glimmerite; г – phlogopite glimmerite; д – contact of spinel-biotite rock with allanite-dolomite-scapolite rock; е – banded phlogopite-calcite-dolomite carbonatite; ж – magmatic breccia of phlogopite-forsterite rock (gray) in phlogopite-fluorrichterite rock (green); з – magmatic breccia of phlogopite mica rock in carbonatite.

Вместе с алланит-флогопитовой породой в отвале найдены обломки темной шпинель-флогопитовой породы, содержащей доломит, клинохлор, апатит, ильменит и акцессорные бадделеит, циркон, монацит-(Се), рабдофан, барит и рутил. Присутствуют дендриты меди в лимонитовой псевдоморфозе по железистому доломиту. В небольшой полости от растворенного зерна доломита наблюдались мелкие тройники клинохлора. В зерне неоднородного алланита-(Се) встречено включение калиевого полевого шпата, зонального по содержанию Ва (гиалофан).

Некоторые слюдиты с преобладанием флогопита и небольшой примесью доломита имеют светло-коричневый цвет и среднезернистую структуру. Под микроскопом в некоторых зернах флогопита видны синтаксические вросстки зеленого клинохлора. Вследствие тонких срастаний флогопита и клинохлора получить чистый анализ клинохлора не удалось. Эмпирическая формула флогопита  $K_{0.91}Na_{0.03}Ba_{0.01}Mg_{2.89}Fe_{0.24}(Al_{0.85}Si_{3.07})O_{10}(OH_{1.63}F_{0.37})$ .

В тонкой смеси хлорита с флогопитом определены (мас. %) FeO (6.95), NiO (0.22) и CaO (0.33). Хлорит подтвержден рентгенограммой. Доломит по составу отвечает формуле  $Ca_{1.01}Mg_{0.91}Fe_{0.05}Mn_{0.02}Sr_{0.01}(CO_3)_2$ .

*Корунд-флогопитовые пегматиты* встречаются только в рыхлом отвале северной канавы копи № 97. Индивиды корунда достигают 4 см. Флогопит толстотаблитчатый, зеленоватый. Корунд изометричный, розоватый. Совместно с корундом кристаллизовались диаспор, шпинель, прайсверкит, циркон, фергусонит-(Се), кальцит, пирротин, уранинит, торинит, кальцит.

*Флогопит-клиногумитовая порода* встречается в отвалах юго-восточной части ультрамафитового тела. Это светло-коричневая неравнозернистая порода содержит мелкие зерна хромита и монацита-(Се).

*Флогопит-доломит-кальцитовые карбонатиты.* Долгое время в коре выветривания сложного ультрамафитового тела в канавах встречались лишь фрагменты карбонатит-пегматитовых тел. В 2012 г. в восточной части центральной канавы на контакте крупной жилы доломитового карбонатит-пегматита с обильным монацитом-(Се) обнаружены среднезернистые слабо полосчатые флогопит-доломит-кальцитовые карбонатиты (рис. 3е) с монацитом-(Се), хромитом и другими акцессорными минералами.

Встречаются и своеобразные магматические брекчии, где обломки флогопит-форстеритовой породы сцементированы флогопит-рихтеритовой породой (рис. 3ж), а также брекчия флогопитового слюдита с карбонатитовым «цементом» (рис. 3з).

Район копи № 97 Ильменских гор уникален по набору тел магматических фаз карбонатит-щелочно-ультрамафитовой формации, а также и по минеральному составу этих тел. Карбонатиты необычны – они обогащены одновременно РЗЭ, Cr, Ni, Ba, Sr. В слюдитах и карбонатитах встречается хлорит (предположительно, магматический), местами образующий небольшие собственные тела хлоритов.

### Минеральный состав пегматитов копи № 97

Среди жильных тел пегматитов, вскрытых горными выработками копи, в щелочных ультрамафитах к настоящему времени выявлены доломитовые и кальцит-доломитовые карбонатит-пегматиты, слюдит-пегматиты и флогопит-фторрихтеритовые пегматиты (рис. 4), а во вмещающих породах (фенитах) – жилы гранитного пегматита (рис. 1).

Ранее установленный список минералов (Поляков, Недосекова, 1990; Баженов и др., 1993; Попов и др., 2000) дополнен нашими новыми находками кристаллов разной величины и формы (рис. 5) в разных ассоциациях и срастаниях. Два минерала – поляковит-(Се) и фторрихтерит – дополнили список минералов мира. На данный момент щелочные ультрамафиты копи № 97 включают 62 минерала, краткая характеристика которых приведена ниже.

**Форстерит**  $Mg_2(SiO_4)$  является порообразующим минералом мелко-среднезернистой серой флогопит-оливиновой породы и некоторых доломитовых карбонатит-пегматитов и крупнозернистых рихтеритовых пегматитовых жил. В рихтеритовых пегматитах форстерит встречается в виде ограненных кристаллов в миароловых полостях (рис. 5, ба). Во всех парагенезисах форстерит частично имеет индукционные поверхности с соприкасающимися минералами. Форстерит содержит (мас. % по двум анализам):  $SiO_2$  40.93 и 40.62,  $Al_2O_3$  0.34 и 0.88,  $Fe_2O_3$  1.44 и 1.63, FeO 7.83 и 8.08, MnO 0.62 и 0.64, F 0.2 и 0.32 (Поляков, Недосекова, 1990). По данным СЭМ анализа  $Al_2O_3$  и F в форстерите не выявлены, но установлена примесь NiO 0.12 мас. % (Попов, 2007).

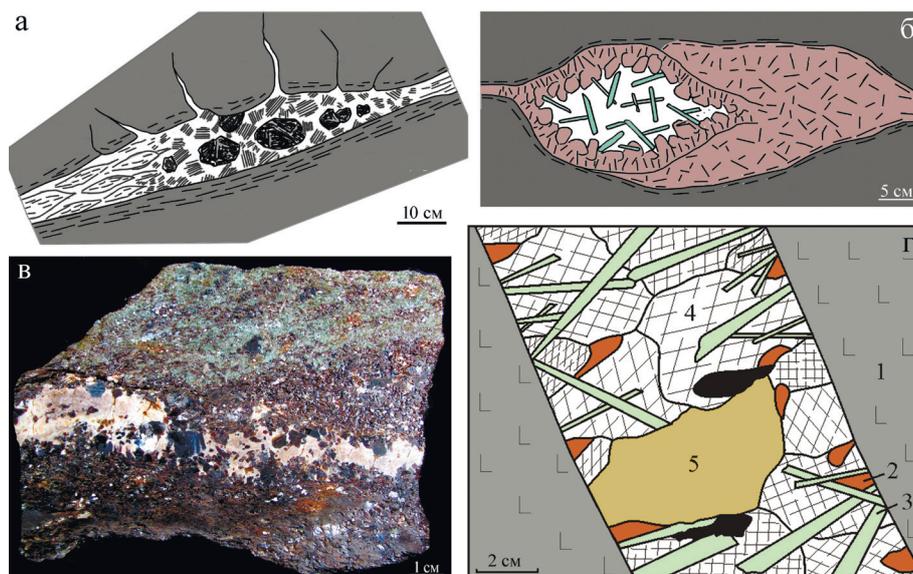


Рис. 4. Строение некоторых жильных тел в ультрамафитах копи № 97.

а – поляковит-(Ce) (черные кристаллы) в жиле флогопит-доломитового карбонатита среди флогопитового слюдита; б – фторрихтерит-доломит-флогопитовая миарола в контакте с флогопитовым слюдитом среди флогопит-фторрихтеритовой породы; в – жила флогопит-доломитового пегматита, секущая контакт флогопитового слюдита с флогопит-рихтеритовой породой; г – форстеритовая порода (1), рассеченная карбонатит-пегматитовой жилкой с монацитом-(Ce) (2), фторрихтеритом (3), кальцитом (4), клиногумитом (5) и поляковитом-(Ce) (черное).

Fig. 4. Structure of some vein bodies in ultramafic rocks of pit no. 97.

а – polyakovite-(Ce) (black crystals) in phlogopite-dolomite carbonatite among phlogopite glimmerite; б – fluorrichterite-dolomite-phlogopite miarola at the contact with phlogopite glimmerite among phlogopite-fluorrichterite rock; в – vein of phlogopite-dolomite pegmatite, cutting the contact of phlogopite glimmerite with phlogopite-richterite rock; г – forsterite rock (1) cut by carbonatite-pegmatite vein with monazite-(Ce) (2), fluorrichterite (3), calcite (4), clinohumite (5) and polyakovite-(Ce) (black).

В рыхлой отвальной массе иногда встречались крупные псевдоморфозы антигорита (бастита) по энстатиту (рис. 6б).

**Амезит**  $Mg_2Al(AlSiO_5)(OH)_4$  из шпинель-флогопитовой породы характеризуется формулой  $Mg_{1.85}Fe^{2+}_{0.22}Al_{0.93}(Al_{0.93}Si_{1.07}O_5)(OH)_4$ .

**Тальк**  $Mg_3(Si_4O_{10})(OH)_2$  встречен в виде редких таблитчатых включений в форстерите рихтерит-флогопит-форстеритовых пород.

**Клиногумит**  $Mg_9(SiO_4)_4F_2$  был установлен В.О. Поляковым в карбонатит-пегматитах в виде крупных индивидов красновато-коричневого цвета (рис. 4г); его рентгенограмма близка эталонной (Поляков, Недосекова, 1990). Позднее обнаружены среднезернистые породы хромит-флогопит-клиногумитового состава. Формула клиногумита  $Mg_{8.34}Fe_{0.61}Mn_{0.06}Ti_{0.03}(Si_{3.96}O_{16})(F_{1.19}OH_{0.81})$  (микронд, расчет на 13 катионов).

**Хондродит**  $Mg_5(SiO_4)_2F_2$  в виде крупных индивидов (до 4 см) коричнево-красного цвета встречен в небольшой линзе крупнозернистого зеленого клинохлора среди выветрелого светло-коричне-

вого слюдита. Состав хондродита (мас. %):  $SiO_2$  34.27;  $MgO$  51.74;  $FeO$  6.78;  $TiO_2$  1.35;  $MnO$  0.77;  $F$  5.28; сумма 100.19; формула  $(Mg_{4.55}Fe_{0.33}Ti_{0.06}Mn_{0.04})(Si_{2.02}O_8)(F_{1.02}OH_{0.98})$ . При исследовании встречены зерна **гидроксилхондродита** с существенно меньшим количеством F.

**Флогопит**  $KMg_3(AlSi_3O_{10})(OH,F)_2$  установлен почти во всех парагенезисах исследованного тела ультрамафитов. В мелко- и среднезернистых агрегатах флогопит образует прозрачные светло-коричневые индивиды от толстотаблитчатых до столбчатых форм. Кристаллы внешне и под микроскопом однородны, имеют индукционные поверхности одновременного роста с форстеритом, фторрихтеритом, кальцитом, доломитом, поляковитом-(Ce), фергусонитом-(Ce), монацитом-(Ce) и другими минералами. Состав флогопита из разных участков и жильных тел практически не отличаются. Один из анализов рассчитывается на формулу  $(K_{0.9}Na_{0.07}Ba_{0.005})(Mg_{2.9}Fe_{0.17}Cr_{0.01})(Si_{3.08}Al_{0.87})(OH_{1.74}F_{0.26})$ . В одной из жил встречены крупные индивиды флогопита, в центральной части кото-



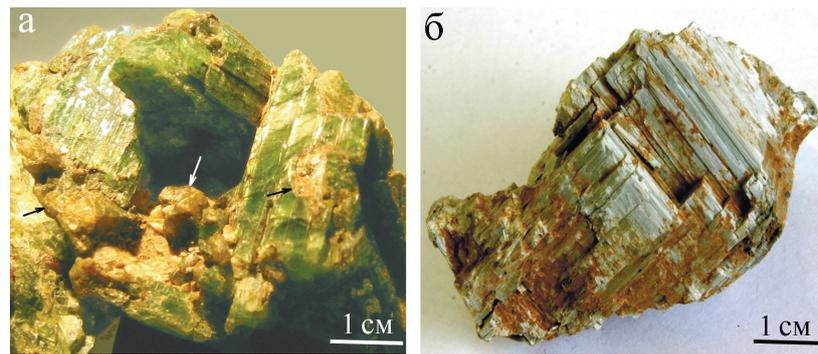


Рис. 6. Желтоватый форстерит (указан стрелками) с зеленым фторрихтеритом в миароловой полости (а) и псевдоморфоза бастита по энстатиту (б) с пленкой лимонита.

Fig. 6. Yellow forsterite (indicated by arrows) with green fluorrichterite in miarolitic cavity (a) and pseudomorphic bastite after enstatite with a limonite film (b).



Рис. 7. Рихтерит-доломитовый карбонатит-пегматит (а) с участками прозрачных кристаллов рихтерита (б).

Fig. 7. Richterite-dolomite carbonatite-pegmatite (a) with transparent richterite crystals (b).

Таблица 1

Химический состав (мас. %) рихтерита из щелочных ультрамафитов копи № 97

Table 1

Chemical composition (wt. %) of richterite from alkaline ultramafic rocks in pit no. 97

№	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O	F	Сумма
1	56.10	0.01	1.24	0.97	1.44	0.20	24.16	8.05	4.24	0.75	—	1.57	1.29	100.02
2	53.98	0.05	1.19	3.33	5.35	0.68	18.31	8.23	4.20	1.11	—	0.99	3.30	100.72
3	56.70	—	0.47	—	2.41	0.35	24.40	9.32	3.49	0.66	0.26	—	0.80	98.86
4	58.04	—	0.55	—	1.94	0.15	24.83	10.12	2.83	0.47	—	—	0.69	99.63
5	56.46	—	1.11	—	2.28	0.33	23.03	8.02	4.83	0.97	—	—	2.05	99.07
Формулы (расчет на 16 катионов)														
1	Na(Ca <sub>1.22</sub> Na <sub>0.16</sub> K <sub>0.13</sub> Mn <sub>0.02</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0.17</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0.1</sub> Al <sub>0.21</sub> )Mg <sub>5.08</sub> (Si <sub>7.91</sub> O <sub>22</sub> )(OH <sub>1.26</sub> F <sub>0.74</sub> )													
2	Na(Ca <sub>1.3</sub> Na <sub>0.2</sub> K <sub>0.21</sub> Mn <sub>0.08</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0.66</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0.37</sub> Al <sub>0.21</sub> Ti <sub>0.01</sub> )Mg <sub>4.02</sub> (Si <sub>7.95</sub> O <sub>22</sub> )(F <sub>1.54</sub> OH <sub>0.46</sub> )													
3	Na <sub>0.95</sub> (Ca <sub>1.4</sub> K <sub>0.12</sub> Mn <sub>0.04</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0.28</sub> Al <sub>0.08</sub> )Mg <sub>5.12</sub> (Si <sub>7.98</sub> O <sub>22</sub> )(OH <sub>1.64</sub> F <sub>0.36</sub> )													
4	Na <sub>0.77</sub> K <sub>0.08</sub> (Ca <sub>1.52</sub> Fe <sub>0.23</sub> Al <sub>0.09</sub> Mn <sub>0.02</sub> )Mg <sub>5.18</sub> (Si <sub>8.12</sub> O <sub>22</sub> )(OH <sub>1.69</sub> F <sub>0.31</sub> )													
5	Na(Ca <sub>1.52</sub> Na <sub>0.32</sub> K <sub>0.17</sub> Fe <sub>0.27</sub> Al <sub>0.18</sub> Mn <sub>0.04</sub> )Mg <sub>4.84</sub> (Si <sub>7.96</sub> O <sub>22</sub> )(OH <sub>1.09</sub> F <sub>0.91</sub> )													

Примечание. 1, 2 – (Поляков, Недосекова, 1990); 3–5 – наши данные: 3 – флогопит-оливиновая порода; 4 – флогопит-рихтеритовая порода; 5 – рихтерит-эшинитовый сросток; аналитики Е.И. Чуриной (ан. 3) и М.А. Рассомахина (ан. 4, 5).

Note. 1, 2 – (Polyakov, Nedosekova, 1990); 3–5 – our data: 3 – phlogopite-olivine rock, 4 – phlogopite-richterite rock; 5 – richterite-aeschinite intergrowth; analyst E.I. Churin (an. 3) and M.A. Rassomakhin (an. 4, 5).

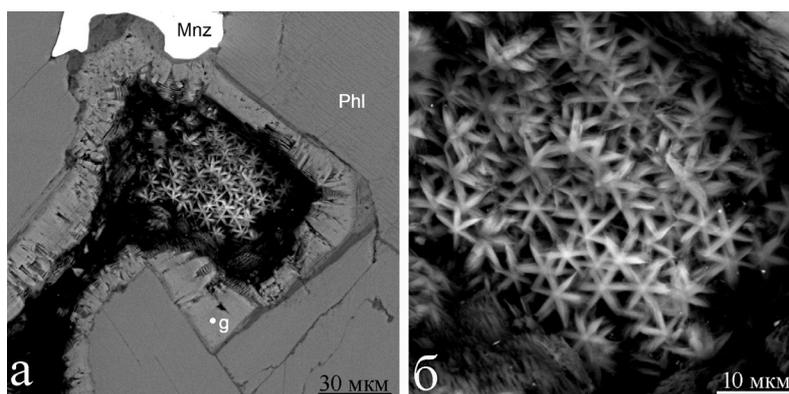


Рис. 8. Неполная псевдоморфоза клинохлора по доломиту в монацит-флогопитовом агрегате (а) в виде сростка тройников (б).

Черное – полость. Здесь и на фото 9, 10б, 11, 13 и 18 – BSE фото.

Fig. 8. Partly pseudomorphic clinocllore after dolomite in monazite-phlogopite aggregate (a) in form of triple intergrowths (б).

Black – cavity. Hereinafter in Figs. 9, 10б, 11, 13 and 18 – BSE photo.

(олигоклаз) образует парагенезисы с флогопитом, Ва-содержащим калиевым полевым шпатом, фторапатитом, цирконом и алланитом-(Се). Состав характеризуется эмпирической формулой  $\text{Na}_{0.84}\text{Ca}_{0.16}\text{Al}_{1.12}\text{Si}_{2.88}\text{O}_8$ .

**Калиевый полевой шпат**  $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$  образует зональные и секториальные по содержаниям Ва кристаллы в ассоциации с флогопитом, альбитом и алланитом-(Се) в жиле гранитного пегматита на контакте со щелочным ультрамафитом. В центральной части зерна (точка i) состав минерала отвечает формуле  $(\text{K}_{0.93}\text{Ba}_{0.03}\text{Na}_{0.02})\text{Al}_{1.05}\text{Si}_{2.96}\text{O}_8$ , а в одной из промежуточных зон –  $(\text{K}_{0.69}\text{Ba}_{0.27}\text{Na}_{0.01}\text{Mg}_{0.01})\text{Al}_{1.28}\text{Si}_{2.74}\text{O}_8$  (точка j) (рис. 9)

**Корунд**  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в виде крупных индивидов размером до 4 см встречен в рыхлой коре выветривания ультрамафитов в северной канаве копи в ассоциации с редким диаспором. Кристаллы неоднородны по цвету – от бесцветных до фиолетово-розовых (рис. 10а). В парагенезисе с корундом наблюдались шпинель, флогопит и прайсверкит (рис. 10б), а также циркон, уранинит, торианит, фергусонит-(Се) и пирротин.

**Шпинель**  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$  встречается в биотитовых слюдитах и корунд-флогопитовых пегматитах (рис. 10б). Цвет зерен – темно-зеленый, размер 0.1–5 мм. Минерал образовался совместно с корундом, флогопитом и диаспором. Состав шпинели (мас. %):  $\text{MgO}$  14.3,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  64.36,  $\text{MnO}$  1.25,  $\text{FeO}$  16.28,  $\text{NiO}$  0.32,  $\text{ZnO}$  4.99, сумма 101.51; формула  $(\text{Mg}_{0.55}\text{Fe}_{0.31}\text{Zn}_{0.10}\text{Mn}_{0.03}\text{Ni}_{0.01})(\text{Al}_{1.97}\text{Fe}^{3+}_{0.03})\text{O}_4$ .

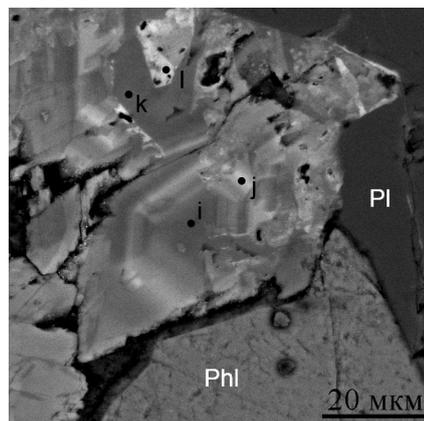


Рис. 9. Зонально-секториальный (i, k, l, j) Ва-содержащий калиевый полевой шпат в сростании с флогопитом (Phl) и олигоклазом (Pl).

Fig. 9. Zonal-sectorial (i, k, l, j) Ba-bearing K-feldspar intergrown with phlogopite (Phl) and oligoclase (Pl).

**Прайсверкит**  $\text{NaMg}_2\text{Al}(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_{10})(\text{OH})_2$  находится в парагенезисе с корундом (рис. 10б). Состав прайсверкита (мас. %):  $\text{Na}_2\text{O}$  6.23,  $\text{MgO}$  17.78,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  35.69,  $\text{SiO}_2$  30.36,  $\text{K}_2\text{O}$  1.32,  $\text{TiO}_2$  0.18,  $\text{FeO}$  3.63, сумма 95.19. Эмпирическая формула (в расчете на восемь катионов):  $\text{Na}_{0.83}\text{K}_{0.12}\text{Mg}_{1.83}\text{Fe}_{0.21}\text{Ti}_{0.01}\text{Al}(\text{Al}_{1.90}\text{Si}_{2.1})_{\Sigma 4.0}(\text{OH})_2$ . Возможно, это первая находка в России, что требует доизучения.

**Хромселадонит**  $\text{KCrMg}(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2$  в виде таблитчатых зерен выявлен среди синтаксических сростков паризита-(Се) и бастнезита-(Се) в кальцит-доломитовом карбонатит-пегматите. Эмпирическая формула минерала  $(\text{K}_{0.90}\text{Na}_{0.02}\text{Ca}_{0.03})_{\Sigma 0.95}(\text{Mg}_{1.02}\text{Cr}_{0.92}\text{Fe}_{0.10}\text{V}_{0.01})_{\Sigma 1.05}[(\text{Si}_{3.55}\text{Al}_{0.35}\text{Ti}_{0.07}\text{Fe}^{3+}_{0.03})_{\Sigma 4.0}\text{O}_{10}](\text{OH}_{1.64}\text{F}_{0.36})$ .

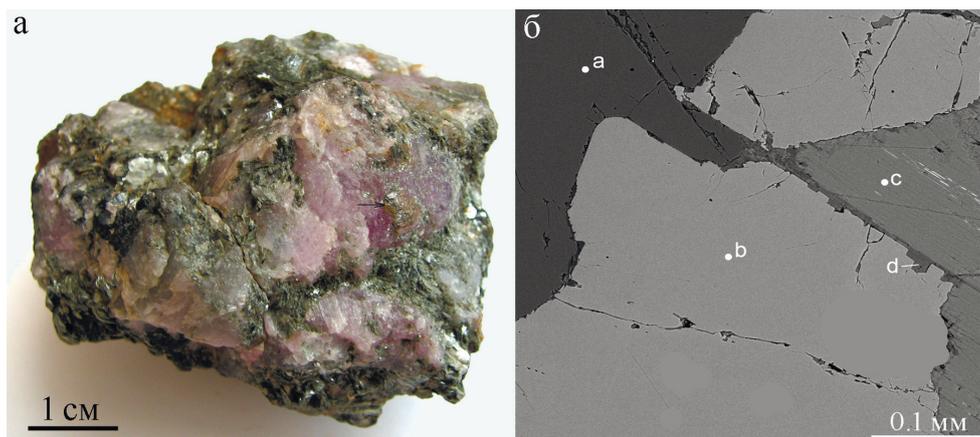


Рис. 10. Корунд в ассоциации с диаспором (указан стрелкой) (а) и парагенезис корунда, шпинели, флогопит с вростками хромита (белое) и прайсверкита (б):

а – корунд; б – шпинель; с – флогопит; d – прайсверкит.

Fig. 10. Corundum in assemblage with diaspore (indicated by arrow) (a) and assemblage of corundum, spinel, phlogopite with chromite inclusions (white) and preiswerkite (б):

a – corundum; b – spinel; c – phlogopite; d – preiswerkite.

**Хромит**  $\text{FeCr}_2\text{O}_4$  является акцессорным минералом почти всех пород и пегматитов ультрамафитового тела копи. Обычно его кристаллы обнаруживаются только микроскопически, но в карбонатит-пегматитах встречались индивиды размером до 8 мм. При наличии плоских граней определяется октаэдрический габитус кристаллов, а в большинстве случаев хромит имеет индукционные поверхности с породообразующими минералами. Состав минерала однороден (мас. %): FeO 42.45, MgO 2.06,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  0.32,  $\text{SiO}_2$  0.11,  $\text{TiO}_2$  0.42,  $\text{V}_2\text{O}_5$  0.56,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  47.7, MnO 3.06, ZnO 1.33, сумма 98.01; формула  $(\text{Fe}_{0.74}\text{Mg}_{0.11}\text{Mn}_{0.10}\text{Zn}_{0.04})_{\Sigma 0.99}(\text{Cr}_{1.40}\text{Fe}_{0.57}\text{V}_{0.01}\text{Ti}_{0.01}\text{Al}_{0.01})_{\Sigma 2.0}\text{O}_4$  (расчет на три катиона). Хромит нередко встречается в виде плоских синтаксических вростков во флогопите (рис. 10б), и это – особенность данного объекта.

**Ильменит**  $\text{FeTiO}_3$  образует мелкие выделения в разных минеральных телах. В шпинель-флогопитовой породе его состав соответствует пикроильмениту с формулой  $\text{Fe}_{0.78}\text{Mg}_{0.18}\text{Mn}_{0.04}(\text{Ti}_{0.99}\text{Si}_{0.01})\text{O}_3$ . В доломит-флогопитовой породе его состав более магниезиальный с формулой  $\text{Fe}_{0.69}\text{Mg}_{0.29}\text{Mn}_{0.07}\text{Cr}_{0.01}\text{Ca}_{0.01}\text{Nb}_{0.01}\text{Ti}_{0.92}\text{O}_3$ .

**Диаспор**  $\text{AlO(OH)}$  в сростании с корундом (рис. 10а) и шпинелью установлен в корунд-флогопитовом пегматите. Минерал имеет коричневатый цвет, высокую твердость, хорошую спайность по (010), величина индивидов до 5 мм. Ранее в подобной ситуации диаспор описан в копи № 418 (Рассомахин, Котляров, 2018).

**Фергусонит-(Ce)**  $\text{CeNbO}_4$  как акцессорный минерал встречается в слюдитах, карбонатитах и пегматитовых жилах ультрамафитового тела копи. В большинстве случаев это микроскопические выделения, но некоторые жилы характеризуются крупными (до 3 см) красно-коричневыми кристаллами характерной тетрагональной формы (рис. 5). Кроме обычных форм с гранями {230}, {111} и {001}, встречаются грани {250}, {232} и {6.7.12}. Фергусонит-(Ce) имеет индукционные поверхности одновременного роста с кальцитом, доломитом, флогопитом, рихтеритом, поляковитом-(Ce), монацитом-(Ce), хромитом, корундом (рис. 9), форстеритом и клиногумитом. К настоящему времени накопилось значительное количество анализов фергусонита из разных пород и жильных образований ультрамафитов копи № 97, и в большинстве из них церий преобладает среди РЗЭ. Отмечаются неоднородности состава кристаллов фергусонита. Так, в одном зерне выявлены и фергусонит-(Ce), и **фергусонит-(Y)** (рис. 11):  $(\text{Ce}_{0.29}\text{Nd}_{0.18}\text{Y}_{0.16}\text{Th}_{0.09}\text{Ca}_{0.07}\text{La}_{0.07}\text{Pr}_{0.05}\text{Gd}_{0.05}\text{Sm}_{0.03}\text{Sr}_{0.02}\text{Dy}_{0.01}\text{Mn}_{0.01}\text{U}_{0.01})_{\Sigma 1.04}(\text{Nb}_{0.97}\text{Ta}_{0.02}\text{Ti}_{0.01})_{\Sigma 1.0}\text{O}_4$ ;  $(\text{Y}_{0.25}\text{Ce}_{0.21}\text{Nd}_{0.17}\text{Ca}_{0.09}\text{Th}_{0.07}\text{La}_{0.05}\text{Gd}_{0.05}\text{Pr}_{0.03}\text{Sm}_{0.04}\text{Sr}_{0.02}\text{Dy}_{0.02}\text{U}_{0.01})_{\Sigma 0.96}(\text{Nb}_{0.98}\text{Ta}_{0.01}\text{Ti}_{0.01})_{\Sigma 1.0}\text{O}_4$ .

**Монацит-(Ce)**  $\text{CePO}_4$  является широко распространенным акцессорным минералом в ультрамафитах копи. В породах его зерна микроскопические, а в пегматитах достигают размера 12 мм. Цвет преобладает коричневый, большинство зерен прозрачные или полупрозрачные вследствие

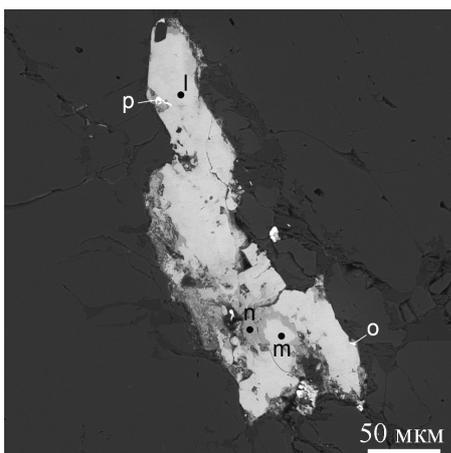


Рис. 11. Корунд (темное) с полиминеральным включением фергусонита-(Ce) (l), фергусонит-(Y) (m), пироклора (n) и торинита (o, p).

Fig. 11. Corundum (dark) with polymineral inclusion of fergusonite-(Ce) (l), fergusonite-(Y) (m), pyrochlore (n) and torianite (o, p).

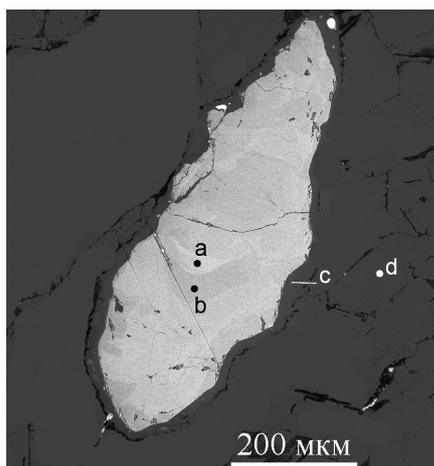
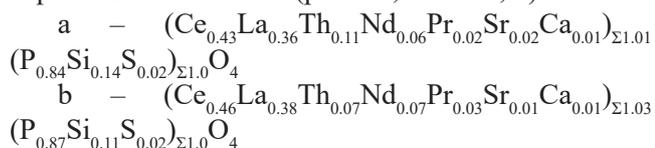


Рис. 13. Зонально-секториальный индивид монацита-(Ce) (a, b) в доломите (d).

Fig. 13. Zonal-sectorial monazite-(Ce) (a, b) in dolomite (d).

замутнения. Индивиды монацита-(Ce) зонально-секториальные по составу (рис. 12). Элементы анатомии кристаллов по химическому составу несколько отличаются, особенно по содержанию Th, например, в зерне монацита-(Ce) из доломитового карбонатит-пегматита (рис. 13, точки a, b):



Монацит-(Ce) ассоциирует с породообразующими и аксессуарными минералами с преобладанием индукционных поверхностей. Идиоморфные



Рис. 12. Монацит-доломитовый сросток (2.5 см) с индукционной поверхностью между минералами.

Fig. 12. Monazite-dolomite intergrowth (2.5 cm in size) with compromise growth surface between minerals.

участки на кристаллах редки, но можно определить таблитчатый габитус кристаллов (рис. 5).

В большинстве анализов монацита из разных парагенезисов щелочных ультрамафитов Ce преобладает над La в формульных коэффициентах (обычно незначительно). В одном анализе монацита из флогопит-рихтеритовой породы с ниобозинитом La немного преобладает над Ce, что позволяет говорить о наличии **монацита-(La)** с формулой  $(\text{La}_{0.40}\text{Ce}_{0.39}\text{Th}_{0.14}\text{Nd}_{0.05}\text{Pr}_{0.02})_{\Sigma 1.0}(\text{P}_{0.85}\text{Si}_{0.14}\text{Al}_{0.01})_{\Sigma 1.0}\text{O}_4$ .

**Фторкенопироклор** (?) (пироклор) в виде мелкого измененного включения совместно с фергусонитом встречен в корунде (рис. 11). Его состав характеризуется дефицитом в позиции А с эмпирической формулой:  $(\square_{0.77}\text{Na}_{0.65}\text{Ca}_{0.12}\text{Ce}_{0.13}\text{Nd}_{0.11}\text{Y}_{0.06}\text{La}_{0.03}\text{Sm}_{0.02}\text{Pr}_{0.02}\text{Sr}_{0.02})_{\Sigma 2.0}(\text{Nb}_{1.91}\text{Ti}_{0.06}\text{Si}_{0.03})_{\Sigma 2.0}\text{O}_6(\text{F}_{0.67}\text{OH}_{0.33})$ .

**Эшинит-(Ce)**  $\text{Ce}(\text{TiNb})\text{O}_6$  в щелочных ультрамафитах редкий минерал, но в карбонатит-пегматитах он местами образует скопления крупных кристаллов размером до 12 см (рис. 14) с габитусными формами  $m\{110\}$ ,  $b\{010\}$  и  $x\{021\}$ . В карбонатит-пегматитах эшинит-(Ce) образует агрегаты с карбонатами, рихтеритом, флогопитом, фергусонитом-(Ce) и монацитом-(Ce), с которыми он имеет индукционные поверхности (рис. 15). В крупном индивиде поляковита-(Ce) из флогопит-рихтеритовой породы наблюдалось неоднородное включение эшинита-(Ce), часть которого относится к эшиниту-(Ce) с формулой  $(\text{Ce}_{0.56}\text{La}_{0.19}\text{Nd}_{0.14}\text{Pr}_{0.04}\text{Y}_{0.02}\text{Ca}_{0.02}\text{Th}_{0.02})_{\Sigma 0.99}(\text{Ti}_{1.21}\text{Nb}_{0.77}\text{Si}_{0.02})\text{O}_6$ , а другая – к **ниобозиниту-(Ce)**:  $(\text{Ce}_{0.49}\text{La}_{0.14}\text{Nd}_{0.20}\text{Pr}_{0.04}\text{Y}_{0.06}\text{Ca}_{0.03}\text{Th}_{0.03})_{\Sigma 0.99}(\text{Nb}_{1.00}\text{Ti}_{0.97}\text{Si}_{0.03})\text{O}_6$ .

**Поляковит-(Ce)**  $\text{Ce}_4\text{MgCr}_2\text{Ti}_2(\text{Si}_4\text{O}_{22})$  как чевкинит был найден в отвалах старой копи № 97 в 1980 г. Т.П. Нишанбаевым и в 1981 г. – В.Ф. Ждановым. В 1985 г. В.О. Поляков пробил шурф на ульт-



Рис. 14. Кристаллы эшинита-(Ce) в кальцит-доломитовом карбонатит-пегматите.

Fig. 14. Aeschinite-(Ce) crystals in calcite-dolomite carbonatite-pegmatites.

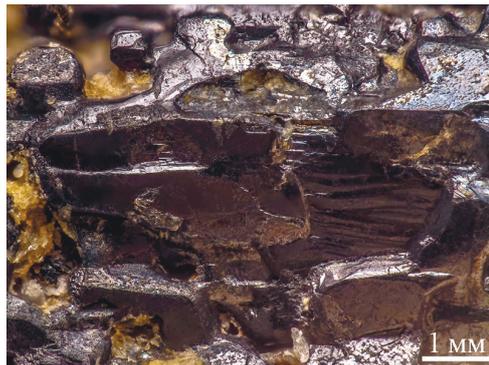


Рис.15. Индукционные поверхности на эшините-(Ce) из кальцит-доломитового агрегата.

Fig.15. Compromise growth surfaces on aeschinite-(Ce) from calcite-dolomite aggregate.



Рис. 16. Поляковит-(Ce) (черный) в рихтерит-доломитовом пегматите.

Образец 5 см.

Fig. 16. Polyakovite (black) in richterite-dolomite pegmatite.

Sample size is 5 cm.



Рис. 17. Кристалл поляковита-(Ce) размером 16 см в сростании с белым доломитом.

Fig. 17. Polyakovite-(Ce) 16 cm in size intergrown with white dolomite.

трамафитовом теле, и в шлихах из рыхлой породы обнаружил множество зерен «чевкинита». Сначала этот минерал был назван «хромово-магниево-чевкинит» (Жданов и др., 1986) и «хромомagneзи-очевкинит» (Поляков, Недосекова, 1990). Позже он был доисследован и утвержден Комиссией по новым минералам как поляковит-(Ce) (Попов и др., 2000). Самые крупные индивиды поляковита-(Ce) в коллекции В.О. Полякова достигали размера 7 см, среди них были и частично ограненные, что дало возможность охарактеризовать форму кристалла (рис. 5). В последующие годы спорадически продолжались находки поляковита-(Ce) (рис. 16) и его исследования. В 2019 г. при расчистке копи найдены новые крупные скопления кристаллов поляковита-(Ce), самый крупный из них имеет размер 16 см (рис. 17). Совместно с поляковитом-(Ce)

сокристаллизовались доломит, кальцит, флогопит, рихтерит, хромит, монацит-(Ce), фергусонит-(Ce) и эшинит-(Ce). Состав поляковита-(Ce) из разных жил копи № 97 несколько отличается (табл. 2) содержаниями оксидов Th, Cr, Ti и других компонентов, отражая родство с другими членами группы чевкинита – чевкинитом-(Ce) и дингдаохенгитом-(Ce).

**Давидит-(Ce)**  $\text{CeY}(\text{Ti}_{10}\text{Fe}_{10})\text{O}_{38}$  как хромистый давидит встречается в шлихе в ассоциации с рихтеритом, флогопитом, поляковитом-(Ce), хромитом, монацитом-(Ce) и бастнезитом-(Ce). Столбчатые кристаллики черного цвета размером до 0.3 мм огранены формами  $\{0001\}$ ,  $\{01\bar{1}1\}$  и  $\{31\bar{4}1\}$  (рис. 5). Рентгенограмма давидита-(Ce) близка к эталонной; параметры ячейки:  $a_0$  10.44 и  $c_0$  20.86 Å. В составе минерала определены

Химический состав (мас. %) поляковита-(Се) из карбонатитов и пегматитов копи № 97

Таблица 2

Table 2

Chemical composition (wt. %) of polyakovite-(Ce) from carbonatites and pegmatites of pit no. 97

№	MgO	SiO <sub>2</sub>	CaO	TiO <sub>2</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	SrO	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	La <sub>2</sub> O <sub>3</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>	ThO <sub>2</sub>	Сумма
1	2.43	19.54	1.01	9.39	7.59	4.94	0.49	0.52	3.82	16.29	24.81	1.99	4.57	2.06	99.45
2	2.08	19.91	1.80	11.80	7.01	5.03	–	–	2.57	16.26	23.34	1.37	3.89	4.27	99.34
3	2.73	19.85	1.60	15.45	5.30	4.80	–	–	–	18.63	24.49	0.77	3.39	0.39	97.86
Формулы (расчет на 13 катионов)															
1	(Ce <sub>1.92</sub> La <sub>1.27</sub> Nd <sub>0.34</sub> Pr <sub>0.15</sub> Ca <sub>0.23</sub> Th <sub>0.10</sub> Y <sub>0.06</sub> Sr <sub>0.06</sub> )(Mg <sub>0.76</sub> Fe <sub>0.14</sub> )(Cr <sub>1.27</sub> Fe <sub>0.73</sub> )(Ti <sub>1.49</sub> Nb <sub>0.36</sub> )(Si <sub>4.12</sub> O <sub>22</sub> )														
2	Ce <sub>1.79</sub> La <sub>1.25</sub> Nd <sub>0.29</sub> Pr <sub>0.10</sub> Ca <sub>0.40</sub> Th <sub>0.20</sub> )(Mg <sub>0.65</sub> Fe <sub>0.04</sub> )(Cr <sub>1.16</sub> Fe <sub>0.84</sub> )(Ti <sub>1.86</sub> Nb <sub>0.24</sub> )(Si <sub>4.17</sub> O <sub>22</sub> )														
3	(Ce <sub>1.84</sub> La <sub>1.41</sub> Nd <sub>0.25</sub> Pr <sub>0.06</sub> Ca <sub>0.35</sub> Th <sub>0.02</sub> )(Mg <sub>0.83</sub> Fe <sub>0.06</sub> )(Cr <sub>0.86</sub> Fe <sub>0.76</sub> Ti <sub>0.38</sub> )Ti <sub>2</sub> (Si <sub>4.07</sub> O <sub>22</sub> )														

Примечание: 1 – карбонатит-пегматит; 2 – флогопит-рихтеритовая жила; 3 – карбонатит. Анализ 3 содержит 0.4 мас. % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и 0.06 мас. % NiO.

Note. 1 – carbonatite-pegmatite; 2 – phlogopite-richterite vein; 3 – carbonatite. Analysis 3 contains 0.4 wt. % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and 0.06 wt. % NiO.

(мас. %) TiO<sub>2</sub> (64.5), FeO (18.5), Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (1.1–3.2), Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (1.2), La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (1.1–1.4), Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (1.4) (Поляков, Недосекова, 1990).

**Алланит-(Се)** CaCeFeAl<sub>2</sub>(SiO<sub>4</sub>)(Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>)O(OH) обнаружен В.О. Поляковым в шлихе из рыхлой массы отвала в восточном контакте ультрамафитового тела (Поляков, Недосекова, 1990). Его темно-коричневые кристаллы размером до 1 мм имеют таблитчатый облик (рис. 5).

**Циркон** ZrSiO<sub>4</sub> в небольшом количестве постоянно встречается преимущественно в флогопит-рихтеритовых и флогопит-рихтерит-доломитовых ультрамафитах. Прозрачные желтоватые кристаллы цирконовой огранки достигают размера 5 мм. Самые крупные из них содержат включения флогопита и рихтерита с индукционной поверхностью одновременного роста. По составу это почти чистый циркон, иногда – с небольшой примесью HfO<sub>2</sub>. Резко неоднородный по составу циркон встретился в виде включения в корунде: в нем выявлены отличия в содержаниях HfO<sub>2</sub> (5.39 и 1.31 мас. %) и UO<sub>2</sub> (1.02 и 0.28 мас. %).

**Цирконолит** CaZrTi<sub>2</sub>O<sub>7</sub> встречается в виде мелких выделений в флогопит-доломитовой породе совместно с монацитом, цирконом, поляковитом, ильменитом и хромитом. Примечательным в составе цирконолита является высокое содержание Y: (Ca<sub>0.32</sub>Y<sub>0.28</sub>Ce<sub>0.14</sub>Nd<sub>0.1</sub>Pr<sub>0.02</sub>Th<sub>0.06</sub>Mg<sub>0.12</sub>)<sub>Σ1.03</sub>Zr<sub>0.95</sub>(Ti<sub>1.39</sub>Nb<sub>0.21</sub>Fe<sub>0.42</sub>)<sub>Σ2.02</sub>O<sub>7</sub>. В большинстве анализов минерала Y преобладает над Ca: (Y<sub>0.49</sub>Ca<sub>0.30</sub>Ce<sub>0.03</sub>Nd<sub>0.04</sub>Sm<sub>0.02</sub>Gd<sub>0.02</sub>Mg<sub>0.07</sub>Al<sub>0.08</sub>)<sub>Σ1.03</sub>Zr<sub>0.97</sub>(Ti<sub>1.45</sub>Fe<sup>3+</sup><sub>0.47</sub>Nb<sub>0.08</sub>)<sub>Σ2.0</sub>O<sub>7</sub>. Возможно, такие анализы ближе к цирконолиту-(Y).

**Торит** ThSiO<sub>4</sub> – распространенный акцессорный минерал почти во всех минеральных телах ультрамафитового тела. Выделения коричневатокрасных кристаллов мелкие; иногда в сечениях кристаллов видна зональность по интенсивности красного цвета. В кальцит-доломитовом карбонатит-пегматите торит по составу характеризуется формулой Th<sub>0.9</sub>Ca<sub>0.1</sub>Si<sub>0.98</sub>P<sub>0.02</sub>O<sub>4</sub>.

**Торианит** ThO<sub>2</sub> обычно встречается совместно с торитом. Его выделения микроскопические в поляковите-(Се), эшините-(Се) и других минералах. Состав включения торианита в крупном зерне поляковита: Th<sub>0.99</sub>Si<sub>0.01</sub>O<sub>2</sub>.

**Уранинит** UO<sub>2</sub> образует мелкое включение в корунде вместе с торианитом и фергусонитом. Уранинит встречается очень редко, и урановая специфика не характерна для ультрамафитов копи № 97.

**Рутил** TiO<sub>2</sub> изредка встречается среди акцессорных минералов разных парагенезисов в виде мелких зерен, зонально-секториальных по распределению Fe, Nb, иногда Cr.

**Кармайлит** (Ti,Cr)O<sub>3</sub>(OH) вместе с хромитом и поляковитом-(Се) встречен в рихтерит-флогопитовой породе. Его изометричные кристаллы мелкие (~ 50 мкм). Состав минерала соответствует формуле (Ti<sub>1.1</sub>Cr<sub>0.5</sub>Fe<sub>0.22</sub>Na<sub>0.06</sub>Nb<sub>0.04</sub>Mn<sub>0.04</sub>Sr<sub>0.02</sub>Y<sub>0.02</sub>)O<sub>3</sub>(OH).

**Бадделейт** ZrO<sub>2</sub> в виде мелкого включения во флогопите шпинель-флогопитовой породы имеет состав (мас. %): ZrO<sub>2</sub> 96.4, HfO<sub>2</sub> 2.68, FeO 0.49, TiO<sub>2</sub> 0.34, сумма 99.91.

**Доломит** CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> из плотной среднезернистой доломит-флогопитовой породы по составу

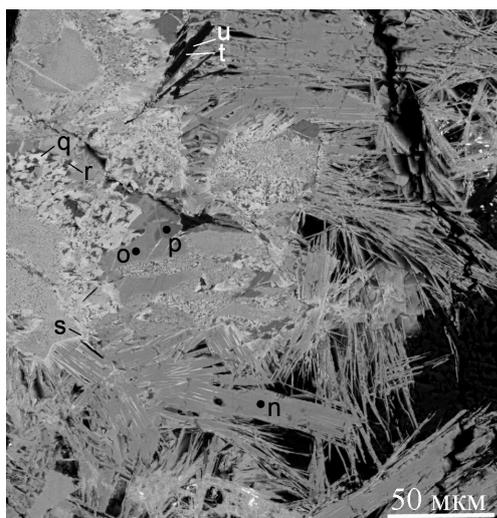


Рис. 18. Синтаксические срастания синхизита-(Ce) (n, r) с бастнезитом-(Ce) (q, s) и таблитчатые вросстки хромселадонита (u, t).

Fig. 18. Syntactic aggregates of synchisite-(Ce) (n, r) with bastnäsite-(Ce) (q, s) and tabular ingrowths of chromeselaonite (u, t).

характеризуется формулой  $\text{Ca}_{0.94}\text{Mg}_{0.98}\text{Fe}_{0.04}\text{Mn}_{0.02}\text{Sr}_{0.02}(\text{CO}_3)_2$ . В этой породе вместе с доломитом кристаллизовались монацит-(Ce), рабдофан, ильменит, циркон, хромит, поляковит-(Ce).

**Кальцит**  $\text{CaCO}_3$  из рихтеритовой породы содержит примеси  $\text{MnO}$  (1.7 мас. %) и  $\text{MgO}$  (0.5 мас. %).

**Бастнезит-(Ce)**  $\text{Ce}(\text{CO}_3)\text{F}$  в виде многогранных желтых кристаллов размером до 0.3 мм встречен В.О. Поляковым в шлихе из рыхлой массы в западном эндоконтакте тела ультрамафитов (Поляков, Недосекова, 1990). В ассоциации с бастнезитом присутствовали рихтерит, давидит, поляковит-(Ce) и монацит-(Ce). Форма кристаллов бастнезита-(Ce) показана на рис. 5. В доломитовом карбонатит-пегматите бастнезит-(Ce) по составу отвечает формуле  $\text{Ce}_{0.38}\text{La}_{0.33}\text{Nd}_{0.06}\text{Pr}_{0.03}\text{Sr}_{0.03}\text{Ca}_{0.13}\text{Fe}_{0.03}\text{Si}_{0.01}(\text{CO}_3)(\text{F}_{0.59}\text{OH}_{0.41})$ , но по некоторым анализам с меньшим содержанием F минерал относится к **гидроксилбастнезиту-(Ce)**  $\text{Ce}_{0.43}\text{La}_{0.29}\text{Nd}_{0.07}\text{Pr}_{0.02}\text{Sr}_{0.03}\text{Ca}_{0.03}\text{Fe}_{0.09}\text{Si}_{0.03}(\text{CO}_3)(\text{OH}_{0.63}\text{F}_{0.37})$ .

В карбонатит-пегматите с крупными кристаллами эшинита наблюдались синтаксические сростки **бастнезита-(La)**  $\text{La}_{0.51}\text{Ce}_{0.41}\text{Nd}_{0.05}\text{Pr}_{0.01}\text{Ca}_{0.01}\text{Si}_{0.01}(\text{CO}_3)(\text{F}_{0.53}\text{OH}_{0.47})$  с синхизитом-(La) (рис. 18).

**Синхизит-(Ce)**  $\text{CaCe}(\text{CO}_3)_2\text{F}$  в доломитовом карбонатит-пегматите совместно с бастнезитом-(Ce) образует мелкие таблитчатые выделения с

формулой  $\text{Ca}_{0.84}\text{Ce}_{0.5}\text{La}_{0.42}\text{Nd}_{0.09}\text{Pr}_{0.03}\text{Sr}_{0.03}\text{Fe}_{0.03}\text{Y}_{0.02}\text{Si}_{0.05}(\text{CO}_3)_2(\text{F}_{0.76}\text{OH}_{0.24})$ . В карбонатит-пегматите с крупными кристаллами эшинита-(Ce) наблюдались синтаксические сростки **синхизита-(La)**:  $\text{La}_{0.39}\text{Ce}_{0.38}\text{Nd}_{0.05}\text{Sr}_{0.04}\text{Pr}_{0.02}\text{Y}_{0.01}\text{Si}_{0.02}(\text{CO}_3)_2\text{F}$  с **бастнезитом-(La)** (рис. 18).

**Паризит-(Ce)**  $\text{CaCe}_2(\text{CO}_3)_3\text{F}_2$  обнаружен в трещине, секущей крупный индивид поляковита-(Ce) из флогопитового слюдита. Его мелкие сростки имеют состав  $\text{Ca}_{0.69}\text{Ce}_{0.9}\text{La}_{0.79}\text{Nd}_{0.14}\text{Pr}_{0.05}\text{Sr}_{0.05}\text{Fe}_{0.21}\text{Si}_{0.16}(\text{CO}_3)_3(\text{F}_{1.5}\text{OH}_{0.5})$ .

**Бурбанкит**  $(\text{Na}_2\text{Ca})\text{Sr}_3(\text{CO}_3)_5$  определен в ассоциации с монацитом-(Ce) и эшинитом-(Ce) в кальцит-доломитовом карбонатит-пегматите. Формула минерала  $\text{Na}_{1.2}\text{Ca}_{2.09}\text{Mg}_{0.08}\text{Sr}_{0.86}\text{Ce}_{0.91}\text{La}_{0.65}\text{Nd}_{0.14}\text{Pr}_{0.06}(\text{CO}_3)_5$ .

**Анкилит-(Ce)**  $\text{SrCe}(\text{CO}_3)_2(\text{OH}) \cdot \text{H}_2\text{O}$  встречен в виде мелких вростков в кальцит-доломитовом агрегате. Состав минерала соответствует формуле  $\text{Sr}_{0.68}\text{Ce}_{0.58}\text{Ca}_{0.24}\text{Nd}_{0.11}\text{Pr}_{0.04}(\text{CO}_3)_2(\text{OH}) \cdot \text{H}_2\text{O}$ . В хромит-рихтерит-флогопитовой породе внутри крупного кристалла поляковита-(Ce) выявлено включение хромсодержащего анкилита-(Ce) с расчетной формулой  $\text{Sr}_{0.6}\text{Ce}_{0.47}\text{La}_{0.39}\text{Cr}_{0.22}\text{Fe}_{0.13}\text{Nd}_{0.08}\text{Pr}_{0.03}(\text{CO}_3)_2(\text{OH}) \cdot \text{H}_2\text{O}$ .

**Апатит-(CaF)**  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$  – аксессуарный и/или второстепенный минерал флогопит-форстеритовой породы, слюдитов и карбонатитов. Во флогопит-форстеритовой породе апатит обогащен Sr и REE:  $(\text{Ca}_{4.52}\text{Na}_{0.21}\text{Sr}_{0.09}\text{Ce}_{0.10}\text{La}_{0.05}\text{Nd}_{0.03}\text{Pr}_{0.01}\text{Fe}_{0.05})(\text{P}_{2.91}\text{Si}_{0.03}\text{O}_4)_3(\text{OH}_{0.62}\text{F}_{0.38})$ . В шпинель-флогопитовой породе апатит содержит меньше Sr и REE, но присутствует Cl:  $(\text{Ca}_{4.81}\text{Na}_{0.10}\text{Sr}_{0.09}\text{Ce}_{0.03}\text{La}_{0.01}\text{Nd}_{0.02})(\text{P}_{2.91}\text{Si}_{0.03}\text{O}_4)_3(\text{F}_{0.65}\text{Cl}_{0.03}\text{OH}_{0.33})$ . В обоих случаях в парагенезисе с апатитом кристаллизовался монацит. Большинство наших анализов рассчитываются на гидроксилapatит, но фтор всегда присутствует.

**Рабдофан-(Ce)**  $\text{CePO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  совместно с баритом обнаружен в шпинель-флогопитовом слюдите. Состав его зерен отвечает формуле  $\text{Ce}_{0.30}\text{La}_{0.19}\text{Nd}_{0.13}\text{Pr}_{0.03}\text{Ca}_{0.22}\text{Fe}_{0.11}(\text{P}_{0.85}\text{S}_{0.12}\text{Si}_{0.05}\text{O}_4) \cdot \text{H}_2\text{O}$  (расчет  $\text{H}_2\text{O}$  по дефициту суммы анализа).

**Барит**  $\text{BaSO}_4$  как аксессуарный минерал выявлен в шпинель-флогопитовом слюдите. Состав барита (мас. %):  $\text{BaO}$  61.30,  $\text{SrO}$  1.1,  $\text{CaO}$  0.88,  $\text{FeO}$  0.85,  $\text{K}_2\text{O}$  0.23,  $\text{Na}_2\text{O}$  0.26,  $\text{SiO}_2$  0.51,  $\text{SO}_3$  33.88, сумма 99.01. В агрегате сульфидов флогопит-форстеритовой породы барит также образует мелкое включение.

Из сульфидов во флогопит-форстеритовой породе встречены аксессуарные **пирит**  $\text{FeS}_2$  (с невы-

сокой примесью Co), **пирротин**  $Fe_{1-x}S$ , **халькопирит**  $CuFeS_2$ , а также **пентландит**  $(Fe,Ni)_9S_8$  в зернах до 0.5 мм, состав которого, (мас. %): S 32.68, Fe 30.86, Co 1.24, Ni 34.72, сумма 99.50. Карбонаты содержат пирротин и **молибденит**  $MoS_2$ . **Галенит**  $PbS$  редок, отмечен в виде микроскопических включений в минералах редкометалльно-редкоземельных парагенезисов карбонатитов и слюдитов.

**Самородная медь** Cu с невысокой примесью S и Fe встречается в виде дендрита в шпинель-магнетитовой породе в небольшой полости растворения в зерне доломита.

### Заключение

Щелочные ультрамафиты копи № 97 являются уникальными образованиями среди минеральных объектов Ильменских гор по разнообразию минеральных парагенезисов и многообразию минералов, число которых к настоящему времени достигло 62-х минеральных видов. Среди минералов впервые в мире были установлены поляковит-(Ce) и фторрихтерит; впервые в России – прайсверкит и кармаклит. Цирконолит-(Y) встречен впервые для Урала и Ильменских гор. Обнаружены новые разновидности пород – доломит-скаполит-шпинель-алланит-биотитовые слюдиты, рихтерит-флогопит-доломит-кальцитовые карбонатиты и карбонатит-пегматиты с большим количеством редких аксессуарных минералов. Для характеристики ряда минералов необходимы дополнительные исследования.

Некоторые минералы щелочных ультрамафитов этой копи известны в Булдымском ультрамафитовом массиве Вишнёвых гор (Недосекова, 2007) и в районе копей № 13 и № 15 Ильменских гор. Проявление поляковита-(Ce), вскрытое выработками копи № 97, является единственным в мире, и здесь найдены его кристаллы размером до 16 см – самые крупные среди минералов группы чевкинита.

Щелочные ультрамафиты в районе копи № 97 являются частью Ильменогорского щелочного комплекса, трассирующего одну из южноуральских рифтовых систем и относящуюся к восточной части Главного Уральского разлома. Таким образом, рассмотренная уникальная минерализация в щелочных ультрамафитах Ильменских гор является важной характеристикой части геологических процессов, идущих в рифтовых системах. В районе копи № 97 также желательно заложение небольшого карьера для научных исследований с целью

определения последовательностей минеральных тел.

*Авторы благодарны В.И. Поповой и И.Л. Недосековой за полезные советы в процессе подготовки статьи к публикации.*

### Литература

**Баженов А.Г., Недосекова И.Л., Петерсен Э.У.** (1993) Фторрихтерит  $Na_2Ca(Mg,Fe)_5[Si_8O_{22}](F,OH)_2$  – новый минеральный вид в группе амфиболов. *Записки ВМО*, 122(3), 98–102.

**Жданов В.Ф., Баженова Л.Ф., Поляков В.О.** (1986) Хромово-магниевого аналог чевкинита. *Новые и малоизученные минералы и минеральные ассоциации Урала*. Свердловск: УНЦ АН СССР, 110–111.

**Колесниченко С.В., Попов В.А.** (2019) Поляковит и другие минералы копи № 97 в Ильменских горах. *Двадцатые Всероссийские научные чтения памяти ильменского минералога В.О. Полякова*. Миасс: ИМин ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН, 31–38.

**Мельников М.П.** (1882) Ильменские минеральные копи. *Горный журнал*, 1(1), 70–151.

**Недосекова И.Л.** (2007) Новые данные по карбонатитам Ильмено-Вишневогорского комплекса (Ю. Урал, Россия). *Геология рудных месторождений*, 49 (2), 146–164.

**Никандров С.Н., Попов В.А.** (1981) О новой разновидности нефелинового гастингситового сиенита в Ильменских горах. *Минералогические исследования в Ильменском заповеднике*. Свердловск: УНЦ АН СССР, 39–44.

**Поляков В.О., Недосекова И.Л.** (1990) Минералогия апогипербазитовых фенитов и карбонатитов южной части Ильменских гор. *Минералы месторождений и зон техногенеза рудных районов Урала*. Свердловск: УрО АН СССР, 6–17.

**Попов В.А.** (2007) Минералогия щелочных ультрамафитов копи № 97 Ильменских гор. *Минералогия Урала-2007*. Миасс-Екатеринбург: УрО РАН, 256–258.

**Попов В.А., Паутов Л.А., Попова В.И.** (2000) Поляковит – новый минерал: результаты доизучения хромово-магниевого чевкинита. *Уральский минералогический сборник № 10*. Миасс: ИМин УрО РАН, 3–10.

**Попов В.А., Попова В.И.** (2006) Минералогия пегматитов Ильменских гор. *Минералогический альманах*. Т. 9. М.: Ассоциация Эжост, 156 с.

**Рассомахин М.А., Котляров В.А.** (2018) Минералогия включений в корунде из копи № 418 (Ильменский заповедник, Южный Урал). *Минералогия*, 4(3), 27–35.

**Brögger W.C.** (1921) Die Eruptivgesteinen des Kristianiagebietes, IV. Das Fengebiet in telemarken, Norwegen. – *Norske Vidensk. Selsk. Skrift*, 1 math-naturv., 9, 210–222.

## References

- Bazhenov A.G., Nedosekova I.L., Petersen E.U.** (1993) [Fluorrichterite  $\text{Na}_2\text{Ca}(\text{Mg},\text{Fe})_3[\text{Si}_8\text{O}_{22}](\text{F},\text{OH})_2$  – a new mineral species of the amphibole group]. *Zapisky VMO [Proceedings of the Russian Mineralogical Society]*, **122**(3), 98–102. (in Russian)
- Brögger W.C.** (1921) Die Eruptivgesteinen des Kristianiagebietes, IV. Das Fengebiet in telemarken, Norway.-Norske Vidensk. Selsk. Skrift, 1 math-naturv., (9), 210–222.
- Kolisnichenko S.V., Popov V.A.** (2019) [Polyakovite and other minerals of pit no. 97 in the Ilmeny Mountains]. *12-e Vserossiskie nauchnye chteniya pamyati ilmenskogo mineraloga V.O. Polyakova [Twentieth All-Russian meeting dedicated to memory of Ilmeny mineralogist V.O. Polyakov]*. Miass: IMin SU FRC MG UB RAS, 31–38. (in Russian)
- Melnikov M.P.** (1882) [Ilmensky mineral mines]. *Gorny zhurnal [Mining Journal]*, **1**(1), 70–151. (in Russian)
- Nedosekova I.L.** (2007) New data on carbonatites of the Ilmensky-Vishnevogorsky alkaline complex (the southern Urals, Russia). *Geology of Ore Deposits*, **49**(2), 129–146.
- Nikandrov S.N., Popov V.A.** (1981) [A new variety of nepheline-hastingsite syenite in the Ilmeny Mountains]. *Mineralogicheskie issledovaniya v Ilmenskom zapovednike [Mineralogical studies in the Ilmeny Reserve]*. Sverdlovsk: UNTS AN SSSR, 39–44. (in Russian)
- Polyakov V.O., Nedosekova I.L.** (1990) [Mineralogy of fenites and carbonatites after ultramafic rocks of the southern part of the Ilmeny Mountains]. *Mineralogiya mestorozhdeniy i zon tekhnogeneza rudnykh regionov Urala [Minerals of deposits and zones of technogenesis of ore regions of the Urals]*. Sverdlovsk: UB AS USSR, UrO RAN SSSR, 6–17. (in Russian)
- Popov V.A.** (2007) [Mineralogy of alkaline ultramafic rocks of pit no. 97 of the Ilmeny Mountains]. *Mineralogiya Urala-2007 [Mineralogy of the Urals-2007]*. Miass–Yekaterinburg, UB RAS, 256–258. (in Russian)
- Popov V.A., Pautov L.A., Popova V.I.** (2000) [Polyakovite, a new mineral: the results of additional study of chrome-magnesium chevkinite]. *Uralskiy mineralogicheskiy sbornik № 10 [Ural Mineralogical Collection no. 10]*, Miass, IMin UrO RAN, 3–10. (in Russian)
- Popov V.A., Popova V.I.** (2006) Mineralogy of pegmatites of the Ilmeny Mountains. *Mineralogicheskiy Almanach [Mineralogical Almanac]*, Vol. 9. M., Assotsiatsiya Ekost, 156 p. (in Russian)
- Rassomakhin M.A., Kotlyarov V.A.** (2018) [Mineralogy of inclusions in corundum from mine no. 418 (Ilmeny Reserve, the southern Urals)]. *Mineralogiya [Mineralogy]*, **4**(3), 27–35. (in Russian)
- Zhdanov V.F., Bazhenova L.F., Polyakov V.O.** (1986) [Chromium-magnesium analog of chevkinite]. *Novye i maloizuchennyye mineraly i mineralnye assotsiatsii Urala [New and poorly studied minerals and mineral assemblages of the Urals]*. Sverdlovsk: UNTS AN SSSR, 110–111. (in Russian)

Статья поступила в редакцию 1 марта 2020 г.