

К ОНТОГЕНЕЗУ КОРУНДОВЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ В МАССИВЕ РАЙ-ИЗ НА ПОЛЯРНОМ УРАЛЕ

В.А. Попов¹, В.М. Васильев², И.А. Блинов¹, В.И. Попова¹

¹Южно-Уральский федеральный центр минералогии и геоэкологии УрО РАН, Институт минералогии,
г. Миасс, Челябинской обл., 456317 Россия; popov@mineralogy.ru

²ИП «Васильев», г. Нижний Тагил, Свердловской обл., Россия

ONTOGENESIS OF CORUNDUM DEPOSITS OF THE RAY-IZ MASSIF, THE POLAR URALS

V. A. Popov¹, V.M. Vasilyev², I.A. Blinov¹, V.I. Popova¹

¹South Urals Federal Research Center of Mineralogy and Geoecology UB RAS, Institute of Mineralogy,
456317 Russia; popov@mineralogy.ru

²IP «Vasilyev», Nizhny Tagil, Sverdlovskaya oblast, Russia

Онтогенетические исследования коллекции образцов корундосодержащих плагиоклазитов и слюдитов проявления «Рубиновый Лог» в массиве Рай-Из на Полярном Урале позволяют предложить магматическую модель генезиса минерализации. Основным морфологическим признаком генезиса является эвтектическая структура агрегатов породообразующих плагиоклаза, флогопита, корунда, хромита, герцинита и парагонита.

Илл. 10. Табл. 1. Библ. 7.

Ключевые слова: корундосодержащие плагиоклазиты и слюдиты, генезис, индукционные поверхности, онтогенез, Рай-Из, Полярный Урал.

Ontogenetic studies of a collection of corundum-bearing plagioclases and glimmerites from Rubinov Log occurrence in the Ray-Iz massif, Polar Urals, indicate a magmatic model of formation of mineralization. The main morphological of feature is eutectic structure of rock-forming plagioclase, phlogopite, corundum, chromite, hercynite, and paragonite.

Fig. 10. Table 1. Bibl. 7.

Key words: corundum-bearing plagioclases and glimmerites, genesis, compromiss growth surfaces, ontogenesis, Ray-Iz, Polar Urals.

Введение

Гипербазитовый массив Рай-Из на Полярном Урале (рис. 1) в течение многих десятилетий привлекал исследователей геологии, петрологии и геодинимической природы ультраосновных комплексов с корундовой минерализацией (Сорокин, Перевозчиков, 1973; Киевленко и др., 1982; Щербакова, Сутурин, 1990; Резниченко, Нестеров, 1999; Брянчанинова и др., 2004; Вахрушева и др., 2016, 2017; и др.). С 2002 года там добывается основная часть хромовых руд России.

В 1968–1971 гг. в ЮЗ части массива Рай-Из в верховьях ручья Макаруз экспедицией № 121 (г. Ленинград) выявлено и частично разведано проявление «Рубиновое» в жильных слюдит-плаги-

оклазитовых телах среди серпентинизированных ультраосновных пород. Жилы с включениями корунда и хромита обычно образованы плагиоклазитом с флогопитовым слюдитом на периферии; по контактам слюдита с вмещающими гипербазиитами встречаются актинолит-тальковые зоны (Сорокин, Перевозчиков, 1973). Слюдит-плагиоклазитовые тела иногда пространственно совмещены с серпентинизированными пегматоидными дунитами, где размер зерен оливина достигает 20 см (Брянчанинова и др., 2004). В многочисленных публикациях генезис корундовой минерализации в плагиоклазитах и слюдитах массива Рай-Из преимущественно рассматривался как метасоматический.

В 2018–2019 гг. нами предпринято изучение 18-ти образцов величиной 5–27 см с красным корундом

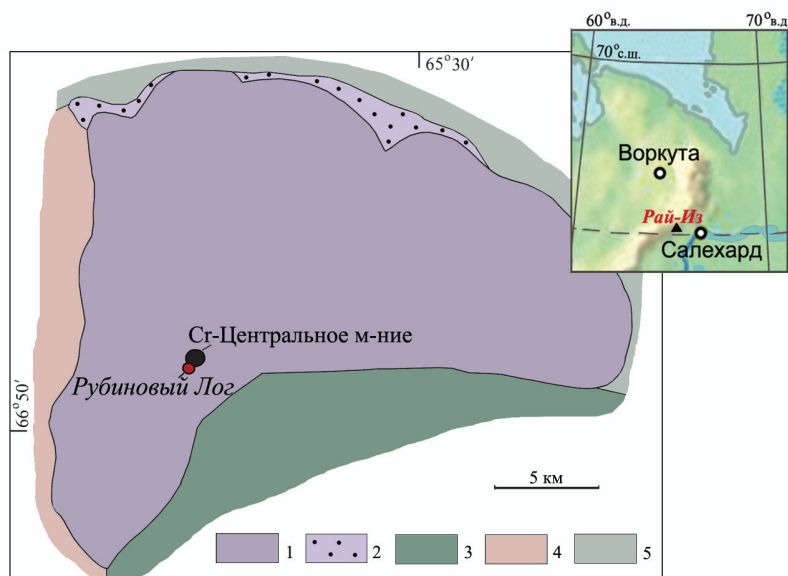


Рис. 1. Местонахождение участка «Рубиновый Лог» в ультрамафитовом массиве Рай-Из (геологическая схема по материалам Н.В. Вахрушевой и др., 2017).

1 – дунит-гарцбургитовый комплекс (Prz), 2 – серпентинитовый меланж (Cm), 3 – дунит-клинопироксенит-габбровый комплекс (O_3), 4 – кристаллические сланцы и гнейсы (R_2 – R_3), 5 – филлитовидные сланцы (Pz_1).

Fig. 1. Location of the Rubiny Log occurrence within the Ray-Iz ultramafic massif (after Vakhrusheva et al., 2017).

1 – dunite-harzburgite complex (Prz), 2 – serpentinite mélange (Cm), 3 – dunite-clinopyroxene-gabbro complex (O_3), 4 – schists and gneisses (R_2 – R_3), 5 – phyllitic schists (Pz_1).

(и свыше 20-ти мелких обломков) из частной коллекции, собранной В.М. Васильевым в 1981 году преимущественно в делювиальных склоновых свалах проявления «Рубиновый Лог» (расположенного в южной части выявленного позднее и отрабатывавшегося хромитового месторождения «Центральное») с целью уточнения взаимоотношений минералов и генетической модели формирования корундовой минерализации в массиве Рай-Из. Микрозондовые исследования минералов проведены в Институте минералогии ЮУ ФНИЦ МиГ УрО РАН) И.А. Блиновым (СЭМ Tescan Vega 3 с использованием эталонов MINM 25–43 и Mineral MOUNT Serial № 01–44).

Онтогения корундосодержащих плагинклизитов и слюдитов в образцах исследованной коллекции

Корундосодержащие слюдиты и плагинклизиты в исследованной коллекции есть как порфировидные, так и относительно равнозернистые, с резкими и/или постепенными структурными и минеральными переходами от слюдитов к плагинклизитам. Порфировидность некоторых слюдитов и плагинклизитов в основном обусловлена крупными выделениями корунда (рис. 2, 5).

Равнозернистые плагинклизиты и слюдиты имеют структуру, характерную для магматических пород с эвтектической кристаллизацией (рис. 3), т.е. кристаллы корунда, флогопита и олигоклаза зарождались во всем объеме почти одновременно и росли с относительно равной скоростью. В породообразующих минералах есть редкие мелкие включения акцессорных хромита и парагонита с индукционными поверхностями сокристаллизации с породообразующими минералами, но их относительная скорость роста была существенно меньше.

На первый взгляд кажется, что кристаллы корунда идиоморфны, но при детальном рассмотрении выявляется, что «границы» кристаллов корунда усложнены мелкими фрагментами участков собственных граней и индукционных поверхностей, а в корунде есть включения алюмосодержащего хромита (с «каймами» герцинита), слюд (флогопита и, реже, парагонита) и олигоклаза (рис. 4). Количество включений в сечениях кристаллов корунда разное: встречаются кристаллы как почти «чистые», так и насыщенные включениями. Среди минералов-включений преобладают хромит с герцинитом, реже – олигоклаз и синтаксические или неориентированные вроски флогопита и парагонита.

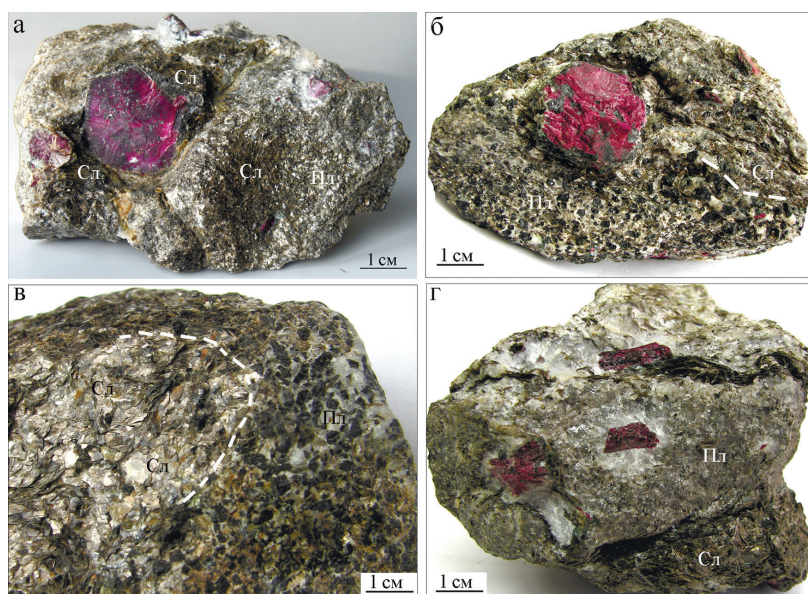


Рис. 2. Брекчиевидные текстуры корундсодержащих слюдит-плагиоклазитовых (Сл-Пл) агрегатов (а-г).
 Fig. 2. Brecciated corundum-bearing glimmerite-plagioclase (Сл-Пл) aggregates (а-г).

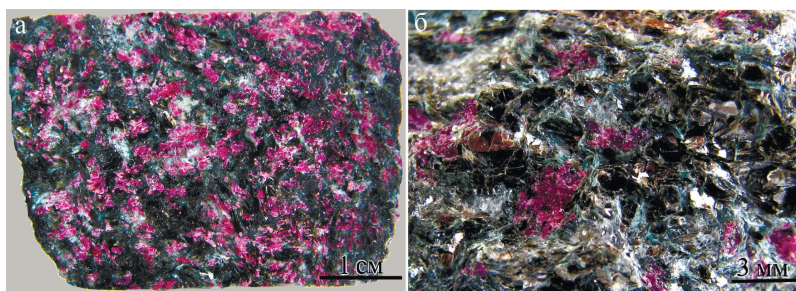


Рис. 3. Эвтектическая структура корундсодержащих плагиоклазитов (а) и слюдитов (б).
 Fig. 3. Eutectic texture of corundum-bearing plagioclases (а) and glimmerites (б).

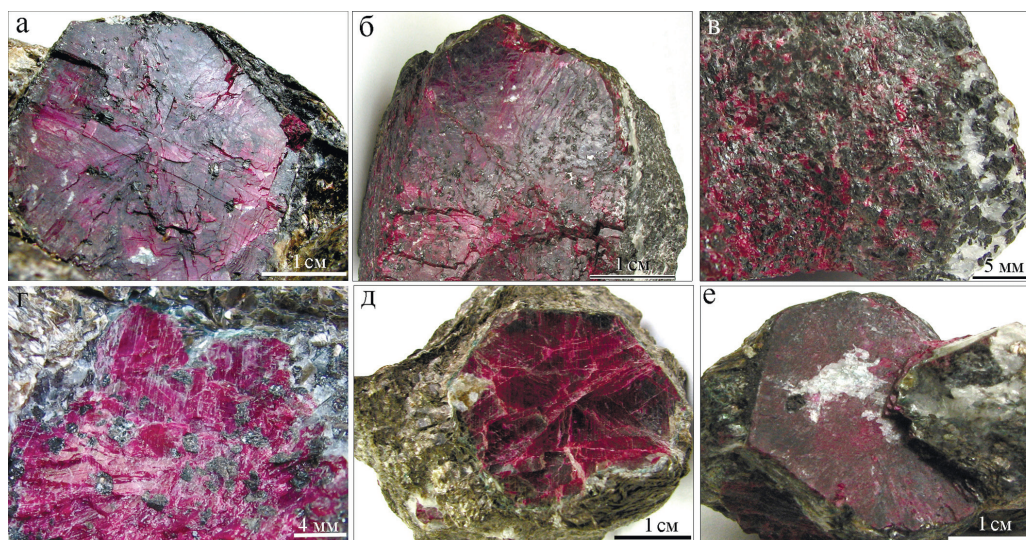


Рис. 4. Кристаллы корунда (а-е) с разным количеством включений хромита, олигоклаза, флогопита и парагонита.
 Fig. 4. Corundum crystals (а-е) with inclusions of chromite, oligoclase, phlogopite and paragonite.

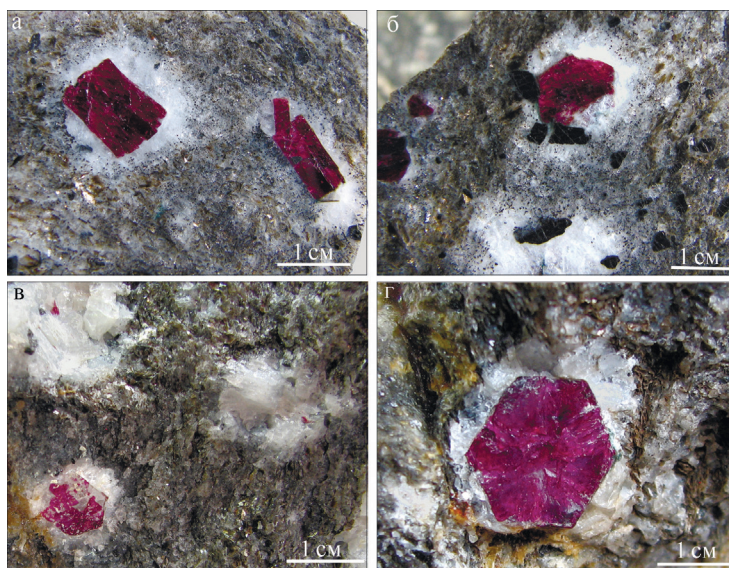


Рис. 5. Олигоклазовые «очки» с вростками хромита ранней генерации (чёрные) вокруг кристаллов корунда и более поздней генерации – в плагиоклазитах (а–г).

Fig. 5. Oligoclase «ovoids» with ingrowths of early generation chromites (black) around corundum crystals and late generation chromite in plagioclase (a–г).

В некоторых порфировидных плагиоклазитах и слюдитах хорошо видна разная величина кристаллов хромита: ранние редкие индивиды хромита относительно крупные, а более поздние – многочисленные микроскопические (рис. 5). В процессе пластических деформаций порфировые выделения корунда и хромита вели себя как более жесткие по сравнению с матриксом. При этом в индивидах корунда часто возникали деформационные двойники и отдельность по ромбоэдру и пинакoiду, кристаллы корунда подвергались вращению или смещению по поверхностям скольжения в породе с образованием «двориков отрыва», заполненных олигоклазом – своеобразных белых «очков» и «рубашек» (рис. 5). Ранний матричный олигоклаз обычно насыщен микрозернистым хромитом (рис. 5б, 6а), а поздний олигоклаз в «двориках отрыва» вокруг корунда – без включений хромита. Вросстки хромита в периферических участках крупных кристаллов корунда нередко деформированы и разбиты трещинами, полости которых выполнены олигоклазом (рис. 5б, 6а). В плагиоклазитах и мелкозернистых однородных слюдитах встречаются слабо деформированные участки, где сохранились ростовые взаимоотношения между всеми минералами, в том числе – с индукционными поверхностями одновременного роста флогопита с корундом и парагонитом (рис. 6б). Крупные индивиды флогопита или флогопитовые агрегаты более деформированы.

В нашей коллекции единичные образцы плагиоклаз-флогопит-амфиболовых и плагиоклаз-

амфиболовых агрегатов, не содержащих корунда (рис. 7), вероятно, принадлежат разным дайкам и пегматитовым телам, телескопированным в единой трещинной структуре совместно с плагиоклазитами и слюдитами. Без дополнительных полевых наблюдений тесных генетических связей их друг с другом нами не отмечено.

Корундсодержащие плагиоклазиты и слюдиты в контакте с серпентинитами по ультрамафитам в нашей коллекции отсутствуют и в опубликованных работах не отмечены. В нескольких образцах коллекции встречены розоватые тонкозернистые жилки, рассекающие вмещающие серпентиниты и образованные однородным агрегатом серпентина с доломитом (рис. 8). Структура этого агрегата аналогична структурам некоторых магматических пород, и ее можно назвать своеобразным серпентин-доломитовым карбонатитом. Ранее на месторождении отмечались оливин-карбонатные брекчии и линзовидные тела энстатит-магнезитовых сагвандитов с клинохлором и оливином (Щербакова, Сутурин, 1990).

Минеральные ассоциации и химический состав минералов исследованной коллекции

В образцах плагиоклазитов, слюдитов и вмещающих их серпентинизированных дунитов в нашей коллекции выявлено 15 минералов: корунд («рубин»), хромит, герцинит, магнетит, олигоклаз, андезин, цельзиан, флогопит, парагонит, клинох-

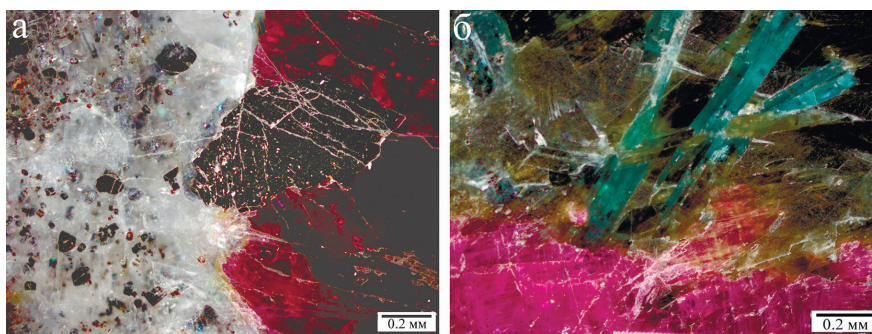


Рис. 6. Включения раннего хромита в корунде (черный) и более позднего хромита-герцинита – в плагиоклазите (а) и флогопитовом слюдите (б) с парагонитом (зелёно-голубой).

Шлифы, проходящий свет.

Fig. 6. Inclusions of early chromite (black) in corundum and later chromite-hercynite in plagioclase (a) and phlogopite glimmerite (b) with paragonite (green-blue).

Thin sections, translucent light.



Рис. 7. Плагиоклаз-амфиболовые (а), флогопит-амфиболовые (б) и плагиоклаз-флогопитовые (в) породы.

Fig. 7. Plagioclase-amphibole (a), phlogopite-amphibole (b) and plagioclase-phlogopite (v) rocks.

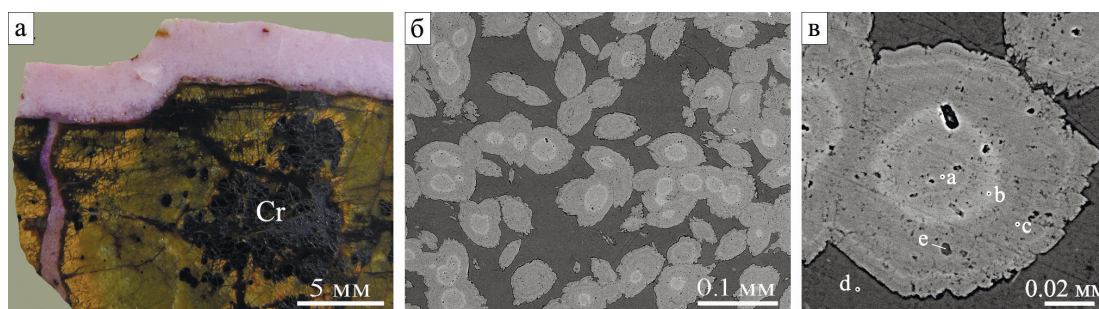


Рис. 8. Розоватые серпентин-доломитовые жилки в серпентинизированном дуните с реликтовым хромитом (Cr) (а; косое освещение) и кристаллами зонального доломита в серпентине (б, в; BSE-фото).

Fig. 8. Pinkish serpentine-dolomite veins (a; oblique light) in serpentinized dunite with relict chromite (Cr) and zoned dolomite crystals in serpentine (б, в; BSE-photo).

лор, оливин (форстерит), серпентин, доломит и предполагаемые миллерит и натролит. Приведены минеральные ассоциации и электронно-зондовые анализы минералов (см. Таблицу); данные о ряде минералов изложены в тексте.

Корунд в нашей коллекции представлен кристаллами величиной до 3–4 см изометричного и таблитчатого облика с участками граней пинакоида $c\{0001\}$, гексагональной призмы $a\{11\bar{2}0\}$, ромбоэдра $r\{10\bar{1}1\}$, гексагональных дипирамид и

индукционных поверхностей с соседними минералами. В равнозернистых агрегатах плагиоклазитов и слюдитов поверхность индивидов корунда практически полностью образована индукционными поверхностями (псевдогранями). Ранее по гониометрическим измерениям (с применением столика Е.С. Фёдорова в качестве гониометра) отмечался короткопризматический габитус кристаллов корунда с фрагментами граней $c\{0001\}$, $a\{11\bar{2}0\}$, $r\{10\bar{1}1\}$ и гексагональных дипирамид $n\{22\bar{4}3\}$,

Таблица

Table

Химический состав (мас. %) минералов проявления «Рубиновый Лог»

Chemical composition (wt. %) of minerals from the Rubinov Log occurrence

№ ан.	1a	2b	3i	4l	5z	6b	7y	8h	9i	10d	11v
Na ₂ O	—	—	—	1.73	1.77	5.25	—	—	—	—	13.31
CaO	—	—	—	—	—	1.44	—	—	—	—	0.50
MgO	4.61	7.88	6.17	24.62	19.82	0.54	28.66	50.91	40.35	38.31	—
K ₂ O	—	—	—	6.65	7.84	0.46	—	—	—	—	0.13
BaO	—	—	—	1.86	1.65	0.39	—	—	—	—	—
SrO	—	—	—	—	—	2.86	—	—	—	—	—
FeO	28.01	28.14	31.88	4.71	3.62	0.51	4.65	6.08	1.33	—	—
MnO	0.84	0.61	0.97	—	—	—	—	0.16	—	—	—
NiO	—	—	—	—	—	—	—	0.53	0.31	—	—
Cr ₂ O ₃	54.25	39.99	31.74	1.65	2.15	1.50	1.91	—	—	0.29	—
Al ₂ O ₃	12.40	26.59	29.74	21.73	20.34	40.83	23.53	—	—	—	25.71
TiO ₂	—	—	—	0.50	0.69	0.11	—	—	—	—	—
SiO ₂	—	—	—	32.99	38.67	41.46	29.59	42.33	44.64	44.35	49.37
H ₂ O*	—	—	—	3.50*	3.40*	4.52*	~12.0*	—	~13.4*	~13.5*	~9.60*
Сумма	99.91	99.71	100.50	99.94	99.95	99.87	100.34	100.01	100.03	96.45	89.02
№ ан.	Эмпирические формулы										
1a	(Fe _{0.78} Mg _{0.23}) _{Σ1.01} (Cr _{1.47} Al _{0.50} Fe _{0.01} Mn _{0.02}) _{Σ2.0} O ₄										
2b	(Fe _{0.63} Mg _{0.37}) _{Σ1.0} (Cr _{0.99} Al _{0.98} Fe _{0.02} Mn _{0.02}) _{Σ2.01} O ₄										
3i	(Fe _{0.71} Mg _{0.29}) _{Σ1.0} (Al _{1.06} Cr _{0.84} Fe _{0.18} Mn _{0.02}) _{Σ2.0} O ₄										
4l	(K _{0.59} Na _{0.23} Ba _{0.10}) _{Σ0.92} (Mg _{2.57} Al _{0.17} Fe _{0.28} Cr _{0.09}) _{Σ3.11} (Si _{2.73} Al _{1.24} Ti _{0.03}) _{Σ4.0} O ₁₀ (OH) _{1.63}										
5z	(K _{0.69} Na _{0.24} Ba _{0.09}) _{Σ1.02} (Mg _{2.04} Al _{0.36} Fe _{0.21} Cr _{0.12}) _{Σ2.73} (Si _{2.67} Al _{1.29} Ti _{0.04}) _{Σ4.0} O ₁₀ (OH) _{1.57}										
6b	(Na _{0.67} Sr _{0.11} Ca _{0.10} Mg _{0.05} K _{0.04} Ba _{0.02} Fe _{0.01}) _{Σ1.0} (Al _{1.95} Cr _{0.08} Fe _{0.02}) _{Σ2.05} (Si _{2.75} Al _{1.24} Ti _{0.01}) _{Σ4.0} O ₁₀ (OH) ₂										
7y	(Mg _{4.05} Fe _{0.37} Cr _{0.14} Al _{0.44}) _{Σ5.0} Al(Al _{1.19} Si _{2.81}) _{Σ4.0} O ₁₀ (OH) ₈										
8h	(Mg _{1.83} Fe _{0.12} Ni _{0.01} Mn _{0.003})SiO ₄										
9i	(Mg _{5.39} Fe _{0.10} Ni _{0.02}) _{Σ5.51} (Si ₄ O ₁₀ (OH) ₈										
10d	(Mg _{5.15} Cr _{0.02}) _{Σ5.17} (Si ₄ O ₁₀ (OH) ₈										
11v	(Na _{1.62} Ca _{0.03} K _{0.01}) _{Σ1.66} [Al _{1.90} Si _{3.10} O _{9.90}] · 2H ₂ O										

Примечание. 1a – хромит в корунде, 2b – «кайма» хромита-герцинита на хромите; 3i – герцинит; 4l, 5z – флогопит; 6b – парагонит; 7y – клинохлор; 8h – форстерит; 9i – серо-зеленый серпентин; 10d – розовый серпентин; 11v – натролит (?). *Содержание H₂O – расчет; прочерк – не обнаружено.

Note. 1a – chromite in corundum; 2b – chromite-hercynite rim around chromite; 3i – hercynite; 4l, 5z – phlogopite; 6b – paragonite; 7y – clinocllore; 8h – forsterite; 9i – gray-green serpentine; 10d – pink serpentine; 11v – natrolite (?). *H₂O content is recalculated; dash – not found.

z {22 $\bar{4}$ 1}, E {33 $\bar{6}$ 1}; по сообщению Г.И. Гольдмана, экспедицией № 121 был встречен кристалл красного корунда длиной 20 см (Сорокин, Перевозчиков, 1973). В Интернете есть много цветных фотографий образцов красного корунда из массива Рай-Из, преимущественно собранных в 1970–1990 годы.

В разных образцах нашей коллекции цвет корунда от красного до темно-красного или голубовато-красного. На многих кристаллах корунда видны блочность и расщепление в пирамидах нарастания призмы a {11 $\bar{2}$ 0}. С расщеплением иногда связан эффект астеризма в корунде. Примесь Cr₂O₃ 1.94–5.56 мас. % в красном корунде определяет его интенсивную окраску; есть и малая при-

месь FeO 0.32–0.46 мас. %. В некоторых кристаллах слабо проявлена зональность (до 15 тонких зон; рис. 9a) с тенденцией увеличения содержания Cr₂O₃ к периферии. Расчетные формулы состава наиболее контрастных по составу зон корунда: внутренней – (Al_{1.97}Cr_{0.03}Fe_{0.005})O₃, периферической – (Al_{1.92}Cr_{0.07}Fe_{0.01})O₃. Почти во всех образцах в корунде есть сингенетические вроски хромита до 1–3 мм (рис. 2–5), нередко с «каймой» герцинита (рис. 9a, б), а также включения флогопита, олигоклаза и парагонита; амфиболы в паранегезисе с корундом в наших образцах не встречены.

Хромит в корунде и олигоклазе плагиоклазитов образует мелкие зерна, реже – до 1 см (рис. 2–5, 8a,

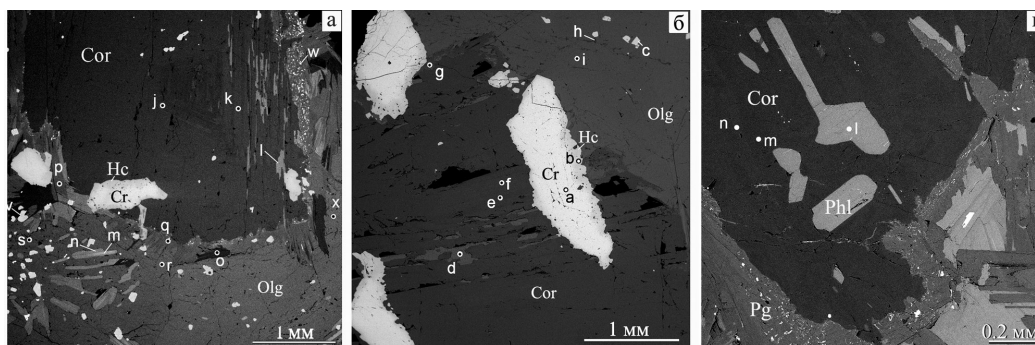


Рис. 9. Парагенезисы корунда (Cor) с хромитом (Cr), герцинитом (Hc), олигоклазом (Olg), флогопитом (Phl) и парагонитом (Pg). Буквы (а–s) – точки анализа. BSE-фото.

Fig. 9. Assemblage of corundum (Crd) with chromite (Cr), hercynite (Hc), oligoclase (Olg), phlogopite (Phl) and paragonite (Pg). Letters (a–s) are points of analyses. BSE-photo.

б). По данным 14 анализов, центральные участки разных сечений относительно крупных зёрен хромита содержат 51.55–59.07 мас. % Cr_2O_3 , а в периферических участках и мелких зернах – меньше (при увеличении содержания Al_2O_3), до переходного состава, отвечающего хромиту-герциниту («алюмохромиту»), а затем – герциниту (см. Таблицу, ан. 1а, 2б и 3т). В отличие от хромита из плагиоклазитов, во вмещающих серпентинизированных дунитах хромит состава $(\text{Fe}_{0.65}\text{Mg}_{0.35})_{\Sigma 1.0}(\text{Cr}_{1.61}\text{Al}_{0.22}\text{Fe}_{0.16}\text{Mn}_{0.02}\text{Ni}_{0.05})_{\Sigma 2.01}\text{O}_4$ частично замещен магнетитом $(\text{Fe}^{2+}_{0.95}\text{Ni}_{0.05})\text{Fe}^{3+}_2\text{O}_4$ с примесью NiO 1.67 мас. % (рис. 8а).

Ранее отмечалось, что включения хромшпинелидов в корунде относятся к герциниту с эмпирической формулой $(\text{Fe}_{0.51}\text{Mg}_{0.43})_{0.94}(\text{Al}_{1.23}\text{Cr}_{0.81})_{2.04}\text{O}_4$ (Резниченко, Нестеров, 1999), а по данным Н.И. Брянчаниновой с соавторами (2004), составы хромшпинелидов варьируют в пределах ферроалюмохромит–феррохромит (т.е. герцинит–хромит).

Из полевых шпатов в нашей коллекции преобладает олигоклаз, а андезин и цельзиан встречаются в единичных образцах.

Олигоклаз – обычный минерал агрегатов с красным корундом, хромитом, герцинитом, флогопитом, парагонитом и клинохлором (рис. 4, 5а, 9). Состав разных зерен (среднее из 5-ти близких анализов, мас. %): Na_2O 8.50, CaO 5.15, Al_2O_3 25.29, SiO_2 61.51, сумма 100.44, эмпирическая формула $(\text{Na}_{0.73}\text{Ca}_{0.24})(\text{Al}_{1.31}\text{Si}_{2.71})\text{O}_8$. Ранее отмечалось, что в составе олигоклазов проявления «Рубиновый Лог» доля анортитового минала составляет 30.3–21.6 % и примесь SrO 1.38–0.99 мас. % с уменьшением его содержания к периферии зерен (Вахрушева и др., 2016, 2017). В олигоклазе наших образцов Sr не выявлен.

Андезин образует зерна величиной до 0.5–1 мм в ассоциации с герцинитом, флогопитом, пара-

гонитом и редким натролитом. Состав андезина, мас. %: Na_2O 7.46, CaO 7.24, K_2O 0.19, Al_2O_3 26.10, SiO_2 59.76, сумма 100.75; расчётная формула $(\text{Na}_{0.64}\text{Ca}_{0.34}\text{K}_{0.01})(\text{Al}_{1.36}\text{Si}_{2.64})\text{O}_8$.

Цельзиан встречается в контакте с корундом, флогопитом и парагонитом (рис. 10б). В составе цельзиана определены, мас. %: BaO 40.06, Al_2O_3 29.40, SiO_2 30.58, сумма 100.04; эмпирическая формула $\text{Ba}_{0.97}(\text{Al}_{2.15}\text{Si}_{1.90})\text{O}_8$.

Флогопит в корундсодержащих плагиоклазитах нашей коллекции образует ассоциации с корундом, олигоклазом, хромшпинелидами и парагонитом; встречались и ориентированные сростания флогопита с корундом (рис. 9а, в). Химический состав флогопита в разных зернах и зонах их роста по данным 14-ти электронно-зондовых анализов характеризуется вариациями содержаний компонентов (мас. %): K_2O 6.46–7.84; Na_2O 1.38–2.67; BaO 0.81–3.48; MgO 18.31–25.80; FeO 3.29–5.17; Cr_2O_3 0.61–2.51; SiO_2 31.64–39.15; Al_2O_3 20.34–23.74; TiO_2 0.31–0.76; анализы флогопитов, наиболее различающихся по составу, приведены в Таблице (ан. 4л и 5з; рис. 9в и 10а). По сравнению с данными Н.В. Вахрушевой с соавторами (2016, 2017), в наших анализах флогопита примесь стронция не выявлена.

Парагонит в виде зеленовато-голубых и голубовато-зеленоватых таблитчатых зерен величиной до 2–4 мм образует агрегаты с флогопитом, олигоклазом и корундом, иногда – вроски в периферических участках кристаллов корунда (рис. 6б). Парагонит с множеством мельчайших включений «алюмохромита» встречается в флогопитовых слюдитах вдоль контактов крупных кристаллов корунда (рис. 9а, в) с силикатами. В составе парагонита определены вариации содержаний компонентов, мас. %: Na_2O 5.25–5.99; SrO 2.03–2.91; CaO 1.21–2.73; MgO 0.38–0.98; K_2O 0.21–0.46; BaO 0–0.53; FeO 0–0.61;

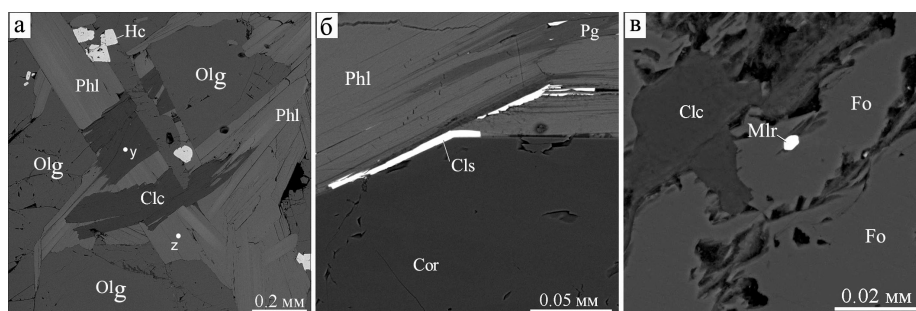


Рис. 10. Парагенезисы акцессорных минералов в плагиоклазите (а), слюдите (б) и хлоритизированном дуните (в).

а – клинохлор (Clc, у) с альбит-олигоклазом (Olg), герцинитом (Hc) и зональным флогопитом (Phl, z); б – целзиан (Cls) с корундом (Cor), флогопитом (Phl) и парагонитом (Pg); в – «миллерит» (Mlr) в оливине (Fo). BSE-фото.

Fig. 10. Assemblages of accessory minerals in plagioclase (Olg), glimmerite (б) and chloritized dune (в).

а – клинохлор (Clc, у) с альбит-олигоклазом (Ab), герцинитом (Hc) и зональным флогопитом (Phl, z); б – целзиан (Cls) с корундом (Cor), флогопитом (Phl) и парагонитом (Pg); в – «миллерит» (Mlr) в оливине (Fo). BSE-изображения.

Cr_2O_3 0.2–2.10; Al_2O_3 40.83–43.04; SiO_2 38.29–43.70; TiO_2 0–0.17 (по 10-ти анализам). Один из типичных анализов парагонита из слюдитов нашей коллекции приведён в Таблице (ан. 6b). Ранее указывалось (Вахрушева и др., 2016), что парагонит также встречался вдоль контакта корунда с олигоклазом, иногда совместно с маргаритом, образующим тонкий слой в парагоните (в наших образцах маргарит не встречен). В слюдитах Рай-Иза отмечалась необычная изумрудно-зеленая «натрий-стронциевая слюда» с более высоким содержанием SrO 3.06–6.02 мас. % (Брянчанинова и др., 2004); по составу эту слюду также можно отнести к парагониту.

Клинохлор, образующий таблитчатые зерна в ассоциации с олигоклазом, флогопитом, парагонитом и хромитом с признаками их сокристаллизации (рис. 10a), среди наших образцов редок. Серовато-зеленый клинохлор с содержанием Cr_2O_3 1.91 мас. % из плагиоклазита характеризуется некоторым дефицитом содержания SiO_2 при повышенном – Al_2O_3 (см. Таблицу, ан. 7y). В хромитсодержащих серпентинизированных дунитах встречен и фиолетово-розовый клинохлор с содержанием Cr_2O_3 4.16 мас. % и примесью NiO 0.21 мас. % – «кеммерерит» $(\text{Mg}_{4.80}\text{Fe}_{0.18}\text{Ni}_{0.02})_5(\text{Al}_{0.63}\text{Cr}_{0.31}\text{Fe}_{0.06})_1(\text{Al}_{0.64}\text{Si}_{3.36}\text{O}_{10})(\text{OH})_8$. Ранее отмечалось (Щербакова, Сутурин, 1990), что хлориты иногда являются примесью в плагиоклазитовом ядре рубинсодержащих жил.

В наших образцах реликтовый оливин из вмещающих серпентинизированных дунитов по составу отвечает **форстериту** (рис. 10в; см. Таблицу, ан. 8h). В форстерите встречено включение псевдогексагонального зерна Fe-Ni-сульфида величиной 5 мкм с составом (мас. %): Ni 38.59, Fe 21.83, Co 2.22, Cu 0.82, S 36.53, сумма 99.99 и расчётной фор-

мулой $(\text{Ni}_{0.58}\text{Fe}_{0.34}\text{Co}_{0.04}\text{Cu}_{0.01})_{\Sigma 0.97}\text{S}$ типа железистого **миллерита** либо **краунингшиллита**.

Форстерит в дуните частично замещен серо-зелёным **серпентином**, также с примесью железа и никеля (см. Таблицу, ан. 9i). В серпентинизированных дунитах Рай-Иза среди серпентинов ранее охарактеризованы лизардит, хризотил и антигорит, а также предположен пироаурит группы гидроталькита (Щербакова, Сутурин, 1990).

В трех наших образцах серпентинизированного дунита есть секущие серпентин-доломитовые жилки (рис. 8a) толщиной 1–5 мм (единичными – до 3 см) с розовым серпентином с примесью Cr_2O_3 0.29 мас. % в составе (см. Таблицу, ан. 10d) и многочисленными зональными кристалликами **доломита** (менее 0.1 мм) и их сростками, составляющими более половины площади препарата (рис. 8б). В кристалликах доломита видны до 7-ми тонких зон с вариацией состава от центра к периферии (рис. 8в), характеризующегося эмпирическими формулами $(\text{Ca}_{1.08}\text{Mg}_{0.92})\text{CO}_3 \rightarrow (\text{Ca}_{1.19}\text{Mg}_{0.81})\text{CO}_3 \rightarrow (\text{Ca}_{1.03}\text{Mg}_{0.97})\text{CO}_3$.

Натролит как включение в зерне парагонита предположен в корундовом плагиоклазите с андезином. Данные микрозондового анализа этого включения близки натролиту с дефицитом в позиции A (см. Таблицу, ан. 11v); возможно, что это псевдоморфоза по андезину.

Закключение

Изученная нами коллекция образцов невелика и, конечно, недостаточно представительна для создания общей модели образования корундсодержащих плагиоклазитов и слюдитов в массиве Рай-Иза, но некоторые вопросы генезиса корундовой минерализации являются дискуссионными. В опубли-

кованных работах разных исследователей принята метасоматическая модель формирования жильных тел корундсодержащих плагиоклазитов Рай-Иза (Киевленко и др., 1982; Щербакова, Сутурин, 1990; Вахрушева и др., 2016; 2017; и др.); отмечались и постепенные переходы плагиоклазитов в габбро-пегматиты (Щербакова, Сутурин, 1990).

В исследованных нами образцах не встречено чередований «зон метасоматической колонки», а проявлены брекчиевидные текстуры и реологиты между блоками с разными структурами и минеральным составом, олигоклазовые дворники отрыва («очки») вокруг корунда, возникшие при пластических деформациях минеральных агрегатов. Встречаются минеральные агрегаты разной структуры – от равнозернистой до порфириовидной с признаками пластической деформации (без рекристаллизации). Микрополости трещин отслоения, возникшие при деформациях, обычно «залечены» олигоклазом. Минералы корундсодержащих плагиоклазитов имеют друг с другом индукционные поверхности частично одновременного роста. Так, корунд иногда образует синтаксические сростания со слюдами, хромистый герцинит – с паргонитом. Количественные соотношения плагиоклаза, слюды, хромшпинелидов и корунда в разных участках тел существенно меняются, что указывает на различающийся режим кристаллизации (ход процесса) в разных частях системы. Появление множества мелких зародышей хромита обусловлено возникновением резкого пересыщения в среде (вследствие падения давления и температуры) при тектонических подвижках. Тонкозернистые серпентин-доломитовые жилки (своеобразные микрозернистые «карбонатиты»), являются секущими и более поздними образованиями по отношению к аподунитовым серпентинитам.

Таким образом, онтогенез минеральных агрегатов из жил корундсодержащих плагиоклазитов и слюдитов изученной коллекции не соответствует метасоматической модели их генезиса (нет метакристаллов и псевдоморфоз), а имеет признаки первичной (эвтектической) кристаллизации корунда в расплаве-растворе с последующей хрупко-пластической деформацией минеральных агрегатов.

Авторы признательны Е.В. Белогуб за рациональные замечания.

Литература

- Брянчанинова Н.И., Макеев А.Б., Зубкова Н.В., Филиппов В.Н. (2004) Натрий-стронциевая слюда – $\text{Na}_{0.50}\text{Sr}_{0.25}\text{Al}_2(\text{Na}_{0.25-0.75})[\text{Al}_{1.25}\text{Si}_{2.75}\text{O}_{10}](\text{OH})_2$ из Рубиново-го Лога. *Доклады АН*, **395**(1), 101–107.
- Вахрушева Н.В., Иванов К.С., Степанов А.Е., Шокальский С.П., Азанов А.Н., Хиллер В.В., Ширяев П.Б. (2016) Плагиоклазиты из хромитонесущих ультрамафитов массива Рай-Из. *Литосфера*, (5), 134–145.
- Вахрушева Н.В., Ширяев П.Б., Степанов А.Е., Богданова А.Р. (2017) Петрология и хромитонесущность ультраосновного массива Рай-Из (Полярный Урал). Екатеринбург, ИГГ УрО РАН, 265 с.
- Киевленко Е.Я., Сенкевич Н.Н., Гаврилов А.П. (1982) Геология месторождений драгоценных камней. М., Недра, 279 с.
- Резниченко Е.Е., Нестеров А.Р. (1999) К минералогии макровростков в корундах Урала. *Металлогения древних и современных океанов-99. Рудоносность гидротермальных систем*. Миасс, ИМин УрО РАН, 186–189.
- Сорокин Ю.П., Перевозчиков Б.В. (1973) Рубин (алмазный шпат) из слюдитов гипербазитового массива Рай-Из (Полярный Урал). *Записки ВМО*, **102**(6), 692–696.
- Щербакова С.В., Сутурин А.Н. (1990) Геохимия и минералогия метасоматитов с рубином (массив Рай-Из, Полярный Урал) / Геохимические поиски самоцветов. Новосибирск, Наука, 167–198.
- References**
- Bryanchaninova N.I., Makeev A.B., Zubkova N.V., Filippov V.N. (2004) [Sodium-strontium mica – $\text{Na}_{0.50}\text{Sr}_{0.25}\text{Al}_2(\text{Na}_{0.25-0.75})[\text{Al}_{1.25}\text{Si}_{2.75}\text{O}_{10}](\text{OH})_2$ from Rubinovoy Log]. *Doklady Earth Sciences*, **395**(1), 101–107. (in Russian)
- Kievelenko E.Ya., Senkevich N.N., Gavrilov A.P. (1982) [Geology of noble stone deposits]. Moscow, Nedra, 279 p. (in Russian)
- Reznichenko E.E., Nesterov A.R. (1999) [Mineralogy of corundum ingrowths in the Urals]. *Metalllogeniya drevnikh i sovremennykh okeanov-99 [Metallogeny of ancient and modern oceans-99. Ore content of hydrothermal systems]*. Miass, IMin UrO RAN, 186–189. (in Russian)
- Sorokin Yu.P., Perevozchikov B.V. (1973) [Ruby (diamond spar) from glimmerites of ultramafic Ray-Iz massif (Polar Ural)]. *Zapisky VMO [Proceedings of Russian Mineralogical Society]*, **102**(6), 692–696. (in Russian)
- Shcherbakova S.V., Suturin A.N. (1990) [Geochemistry and mineralogy of metasomatites with ruby (Ray-Iz massif, Polar Urals)]. In: *Geokhimicheskie poiski samotsvetov [Geochemical survey for gems]*. Novosibirsk, Nauka, 167–198. (in Russian)
- Vakhrusheva N.V., Ivanov K.S., Stepanov A.E., Shokalsky S.P., Azanov A.N., Hiller V.V., Shiryayev P.B. (2016) [Plagioclases from chromite-bearing ultramafites of the Ray-Iz massif]. *Lithosphere [Lithosphere]*, (5), 134–145. (in Russian)
- Vakhrusheva N.V., Shiryayev P.B., Stepanov A.E., Bogdanova A.R. (2017) [Petrology and chromite-bearing of ultramafic rocks of the Ray-Iz massif (Polar Urals)]. Yekaterinburg, IGG UrO RAN, 265 p. (in Russian)

Статья поступила в редакцию 7 октября 2019 г.