

УДК 552.2:549.0(470.55)

ХРИЗОБЕРИЛЛ-БЕРИЛЛОВЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ ЕРЕМКИНСКОГО МАССИВА НА ЮЖНОМ УРАЛЕ

© 2013 г. С. В. Колисниченко*, В. А. Попов*, А. Ю. Кисин**

*Институт минералогии УрО РАН

456317, г. Миасс Челябинской обл., Ильменский заповедник

E-mail: popov@mineralogy.ru

**Институт геологии и геохимии УрО РАН

620075, г. Екатеринбург, пер. Почтовый, 7

E-mail: kissin@igg.uran.ru

Поступила в редакцию 12.02.2012 г.

На Южном Урале, в Еремкинском гранито-гнейсовом массиве Кочкарского антиклинория, щебеночным карьером вскрыты миароловые гранитные пегматиты. В жилах преобладает мусковит-кварц-олигоклазовый пегматит, сменяющийся графической кварц-микроклиновой и затем блоковой зонами. Желтовато-зеленоватые бериллы из блокового микроклина по составу слабощелочные. Желтый берилл из миарол содержит большое количество редких щелочей (г/т): Li – 153, Rb – 65, Cs – 800. Зерна хризоберилла голубовато-зеленоватого цвета величиной до 3 см найдены в кварц-олигоклазовом пегматите в ассоциации с ганитом, ферроколумбитом, спессартином, фторапатитом, цирконом. Хризоберилл содержит до 7.54 мас. % FeO. **Ферроколумбит, с эмпирической формулой $(\text{Fe}_{0.55}\text{Mn}_{0.45})(\text{Nb}_{1.52}\text{Ta}_{0.43}\text{Ti}_{0.04}\text{W}_{0.01})\text{O}_6$ обогащен Mn и Ta. Ганит железистый, зелено-черного цвета, с формулой $(\text{Zn}_{0.72}\text{Fe}_{0.24}\text{Mn}_{0.03}\text{Mg}_{0.01})(\text{Al}_{1.97}\text{Fe}_{0.03})\text{O}_4$.** Прочие акцессорные минералы – монацит-(Ce), ксенотим-(Y), уранинит, топаз. Редкометальная минерализация в миаролах обусловлена эволюцией состава расплава-раствора в процессе кристаллизации пегматитов.

Ключевые слова: *гранитные пегматиты, берилл, хризоберилл, Еремкинский массив, Южный Урал.*

ВВЕДЕНИЕ

Известная минералогическая провинция Южного Урала в бассейнах рек Каменки, Санарки и Кабанки, названная академиком Н.И. Кокшаровым в XIX веке “Русской Бразилией”, в течение двух веков изучалась многими исследователями [10]. Гранитным пегматитам района посвящены работы Н.В. Куклина и В.Н. Сазонова [12], А.С. Таланцева [18]. Ими в этом районе выделено крупное поле пегматитовых жил с участками – Борисовским (в восточном экзоконтакте Борисовского массива), Светлинским и Северо-Санарским. В последние годы обнаружены новые, неизвестные ранее проявления пегматитов в северной части Борисовского, Санарского и Еремкинского массивов, которые имеют специфическую минерализацию. На Еремкинском участке, впервые для региона, установлены хризоберилл и ганит в пегматитовых жилах.

Хризоберилл на Урале был открыт в слюдитах Изумрудных копей в 1833 г. [4]. На Южном Урале с началом разработок золотых россыпей хризоберилл (цимофан) постоянно отмечался по рр. Каменке и Санарке [9], в рубиноносных россыпях Кучинского и Чуксинского участков [6], в Северо-Светлинской россыпи золота по р. Кабанке [10], но коренной источник не был найден. Известны находки хризоберилла в гранитных пегматитах Ильменских гор [13,

14], Адуя [3], Липовки [2], а также в слюдитах близ Нейво-Шайтанки [15].

Еремкинский массив гранито-гнейсов расположен в 15 км западнее г. Пласта Челябинской области (Южный Урал). Наличие десяти жил гранитных пегматитов в эндо- и экзоконтактах Еремкинского массива отмечено на Кочкарском фрагменте “Карты пегматитовых полей Урала” [11], но в те годы жилы не были обследованы и в кадастре жил не указаны. В 1970–80-х гг. силами Экспедиции № 101 некоторые жилы на правом берегу реки Кабанки, у бывшего хутора Еремкин, частично вскрывались, и в одной из них (субширотной) были встречены не крупные зеленоватые бериллы, в другой (субмеридиональной) – гелиодоры (данные А. Кисина). В окрестностях хутора были находки аметиста – кристаллы и сростки до 10 см (Еремкинское проявление в 2.7 км к западу), а в Северо-Светлинской золотоносной россыпи (в 4 км северо-западнее) – касситерит (до 4 мм), берилл (кристаллы до 420 г), множество крупных чистых кристаллов мориона.

В 1990-х гг. на открытой возвышенности, на месте хутора, ПО “Южуралзолото” заложен и отрабатывался щебеночный карьер для отсыпки технологической дороги Светлый–Пласт. Карьерными работами вскрыта мощная субмеридиональная пегматитовая жила. С 2008 г. на ней появились пер-

вые расчистки, произведенные одним из авторов (С. Колисниченко с группой юных геологов), где были обнаружены берилл и хризоберилл, и место получило название Еремкинской копи.

Вскрытые щебеночным карьером гранитные пегматиты расчищены (совместно с любителями камня) и задокументированы нами в масштабе 1 : 100 и 1 : 50 в шести сечениях. Это позволило выявить разные типы строения пегматитовых тел и миарол (жеод, занорышей, полостей) и возрастные взаимоотношения минералов – полевых шпатов и слюд, кварца, берилла, хризоберилла, гани-та, фторапатита, спессартина, монацита-(Се), ферроколумбита, циркона, гани-та. Формы в огранении кристаллов ряда минералов изучены гониометрически. Состав минералов исследован на микрозондах в Институте минералогии и геохимии СО РАН (СЭМ-LEO 1430 VP, аналитик Н.В. Хлестов) и Институте минералогии УрО РАН (JXA-733, аналитик Е.И. Чури-н). Химический состав полевых шпатов и слюд дополнительно определен силикатным анализом, примеси редких щелочей – методом атомной абсорбции в химлаборатории ИМин УрО РАН (аналитик М.Н. Маляренко), здесь же выполнен рентгеноструктурный анализ минералов (аналитики П.В. Хворов и Т.М. Рябухина).

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ ЕРЕМКИНСКОГО УЧАСТКА

По И.Д. Соболеву [17], рассматриваемый район располагается в пределах Кочкарского антиклинория – структуры третьего порядка, осложняю-

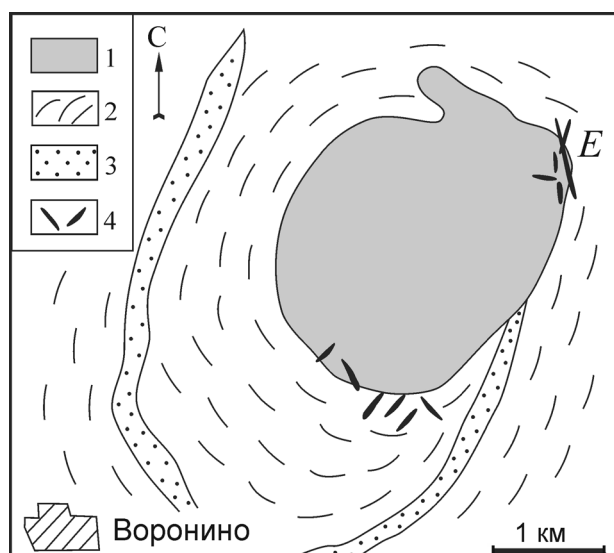


Рис. 1. Схема расположения гранитных пегматитов Еремкинского массива.

1 – граниты, гранито-гнейсы; 2 – гнейсы, сланцы; 3 – графит-мусковит-кварцевые сланцы и филлиты; 4 – жилы гранитных пегматитов (Е – Еремкинская).

щей восточное крыло Восточно-Уральского поднятия (Восточно-Уральская мегазона, в современной трактовке). Протяженность антиклинория около 140 км при ширине до 27 км. Ориентировка структуры общеуральская – субмеридиональная. На западе антиклинорий граничит с Зауральским синклинорием, а на востоке – с Еманжелинско-Бородиновским синклинорием [5, 6, 16].

Внутренняя часть антиклинория представлена несколькими купольными (брахиантиклинальными) структурами: Варламовской, Борисовской, Еремкинской и Санарской. Купольные структуры окаймляются грабен-синклиналями: Светлинско-Котликовской, Демаринско-Михайловской, Чуксинско-Кучинской и Кочкарско-Чернореченской.

Кочкарский метаморфический комплекс относится к гранито-гнейсовым комплексам с купольным тектогенезом [6]. Массивы гранитов с гранито-гнейсами (Варламовский, Еремкинский, Борисовский и Санарский) имеют вид широких овалов с плавными очертаниями и рассредоточены по всей площади антиклинория. Гнейсовидность пород проявлена во всех перечисленных массивах, но она имеет различную интенсивность, в целом усиливающуюся к их границам. Углы падения гнейсовидности, пологие в центральных частях массивов и более крутые – в краевых, погружаются под смежные породы метаморфического обрамления. В гнейсах отчетливо проявлены мелано- и лейкосома, из-за чего они нередко приобретают полосчатую текстуру. Полосчатость и гнейсовидность обычно совпадают.

Породы меж- и околкупольного пространства представлены кристаллическими сланцами переменного состава (биотитовыми, мусковит-биотитовыми, обычно с кварцем, иногда – с полевыми шпатами, амфиболами, иногда – с дистеном, силлиманитом, ставролитом), амфиболитами и различными мраморами.

В породах куполовидных структур широко распространены дайки гранитов и пегматитов, а в породах обрамления количество их обычно уменьшается по мере удаления от куполовидных структур [20]. С пегматитами связаны мелкие проявления берилла, топаза и полихромного турмалина.

Купольные структуры явились центрами зонального высокоградного метаморфизма на верхних горизонтах коры, который продолжался до конца карбона. Зональному метаморфизму подверглись и раннекаменноугольные отложения, превращенные в мраморы и мраморизованные известняки. Уровень метаморфизма в куполовидных структурах отвечает условиям амфиболитовой фации, а в обрамлении – эпидот-амфиболитовой [1, 5].

Пегматитовые тела находятся в породах окол- и межкупольного пространства. С ними связано Светлинское пегматитовое поле, расположенное между Еремкинской, Борисовской, Санарской и Светлинской купольными структурами [8]. Раз-

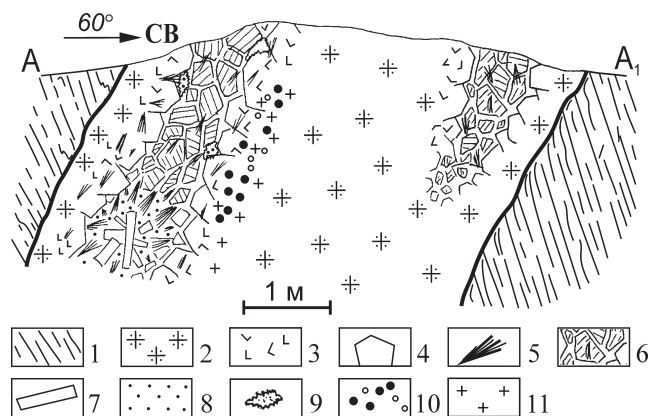


Рис. 3. Положение хризоберилловой минерализации в пегматитовой жиле.

1 – гранито-гнейс, 2 – гранит-пегматит грубозернистый, 3 – графическая зона пегматита, 4 – кристаллы калишпата, 5 – мусковит, 6 – кварц, 7 – берилл, 8 – альбит, 9 – полость, 10 – хризоберилл и гранат, 11 – пегматит мелкоблочный.

из олигоклаза, серого кварца и мусковита. Мусковит присутствует в заметных количествах на всем протяжении жилы. Асимметричное строение пегматитового тела вызвано наличием прерывистой зоны блокового пегматита с калиевым полевым шпатом, в котором есть участки графических сростаний с кварцем. Иногда блоковая зона смещена к восточному контакту. Мощность блоковой зоны в южной части жилы составляет 0.3–0.7 м, а в северной ее части нет блоковой зоны или она является прерывистой. Блоковая зона образована агрегатом микроклина, дымчатого кварца или мориона и крупного расщепленного мусковита. В редких случаях в блоковой части в агрегате альбита наблюдается скопление столбчатых кристаллов зеленоватого и желтовато-зеленоватого берилла длиной 30 см

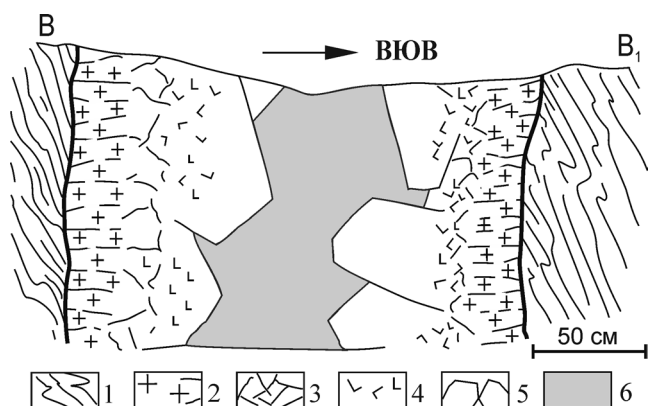


Рис. 4. Калишпатовая миарола с кварцевым заполнением.

1 – гранито-гнейс, 2 – крупнозернистый пегматит, 3 – блоковый пегматит, 4 – графический пегматит, 5 – микроклин, 6 – кварц.

при толщине 5–6 см, замутненного по трещинам газово-жидкими включениями в виде вуалей.

Кварцевое “ядро” порой нацело выполняет центральную часть жилы и выглядит самостоятельным телом как кварцевая жила. Судя по часто наблюдаемым развалам кварцевых глыб (0.2–0.5 м), трассирующим пегматитовое тело в элювиальной части разреза, такие мощные кварцевые ядра являются характерной особенностью пегматитовых жил этой территории.

В одном случае, вдоль восточной границы блоковой зоны к крупно-кристаллическому агрегату олигоклаза, мусковита и спессартина тяготеет хризоберилл, в виде двойников в сростаниях с мусковитом. Величина кристаллов и двойников хризоберилла 0.5–2.5 см. Зона олигоклазового пегматита с ее асимметричным расположением в жиле (рис. 3) с кристаллами спессартина, хризоберилла и более редких ферроколумбита и ганита находится между грубозернистой кварц-мусковит-олигоклазовой зоной и берилл-мусковитовой, причем только с одной стороны. Возможно, такая асимметрия связана с проявлением сил гравитации в процессе кристаллизации.

Миаролы сопровождают блоковые зоны и обычно приурочены к их границам с грубозернистым мусковит-кварц-олигоклазовым или графическим мусковит-кварц-микроклиновым пегматитом. Их приуроченность к мономинеральным кварцевым ядрам заметна, но фактически были случаи их расположения и в других частях пегматитового тела. Выявленные миаролы изометричной формы по объему достигают 2–3 дм³, но основная их часть не превышает объема 0.1–0.3 дм³.

Наблюдались миаролы, различающиеся строением, минеральным составом и положением в жиле. Ниже приводятся их примеры.

Миаролы размером до 10 см и менее в блоковой зоне, тяготеющие к границам крупных скоплений микроклина и кварца, встречаются относительно часто. Стенки их образованы мелкими кристаллами мориона, реже – аметистовидным кварцем, альбитом, мусковитом; глины в этих полостях нет. В периферической зоне одного из кристаллов мориона наблюдались вросшие кристаллы монацита до 1–2 мм. Обычно присутствуют 1–3 короткостолбчатых кристалла фторопатита до 2.5 см, зональные по окраске: снаружи – белые или бесцветные, а во внутренних зонах – зеленоватые или фиолетово-зеленоватые.

Полость размером 3.5 × 1.5 × 0.7 м с гигантскими кристаллами микроклина (до 0.7 м) в кварц-микроклиновом пегматите с “ядром” дымчатого и черного кварца, с системами субпараллельных трещин замутнения (рис. 4) размещалась в ЮЗ ответвлении жилы. Кристаллы микроклина легко отделяются от кварца. Нарастание “ядерного” кварца на полевошпатовые индивиды без индукционных по-

верхностей с ними говорит о самостоятельности кварцевого агрегата, т. е. кварцевое “ядро” может рассматриваться и как наложенная кварцевая жила.

В асимметрично расположенной миароле размером 0.3 м в пегматитовой жиле мощностью более 5 м среди рыхлой щебнистой массы были обнаружены совершенные кристаллы мориона до 10 см величиной и кристаллы зеленоватого берилла до 10 см, с прозрачными зонами. В 1 м восточнее этой миаролы в жиле находится кварцевое “ядро”.

Миарола в центральной части грубозернистого мусковит-кварц-олигоклазового пегматита окружена мощной зоной крупнокристаллического мусковита. Содержимое полости размером 0.3 м – рыхлый крупнолистоватый мусковит с чистыми столбчатыми и расщепленными кристаллами замутненного желтого берилла (рис. 5).

Миарола размером 0.1 × 0.2 × 0.4 м в блоковой зоне северной части жилы (рис. 6) вскрыта практически под дерном. Блоковая зона в этом месте была сложена большей частью крупными сростками мусковита, которые в отдалении от гнезда сменились блочным микроклином. Стенки полости покрыты кристаллами призматического мориона от 3 до 10 см длиной, щетками мелкого альбита (клевеландита) с расщепленными сростками мусковита и редкими игольчатыми кристаллами желтого берилла (гелиодора). Полость заполнена рыхлым крупнотаблитчатым мусковитом с глинистым веществом, в котором обнаружены многочисленные длиннопризматические прозрачные кристаллы гелиодора длиной 3–5 см при толщине до 1 см и два кристалла размером – 12 × 3 см и 6 × 4 см. Все кристаллы гелиодора имеют участки ювелирного качества.

Все приведенные примеры строения и состава миарол отличаются отсутствием подгнездовых изменений пород. В редких случаях наблюдались выделения альбита и слабое окологнездовое растворение. Нет приуроченности миарол к кварцевым ядрам. Заметно обогащение пегматита вокруг миарол гигантокристаллическим мусковитом (до 20 см) и обильным мусковитом внутри некоторых миарол.

В 300 метрах на ЮЮВ от описанной жилы ранее были известны две небольшие пегматитовые жилы с бериллом. Одна из них имеет субширотное простирание с южным падением под углом 70°, мощность около 0.5 м и содержит кристаллы зеленоватого мутного берилла. Другая жила – субмеридиональная, извилистая, с многочисленными пережимами и раздувами до 0.8 м содержала коллекционные кристаллы гелиодора величиной до 3 см в сростании с альбитом.

Наличие здесь пегматитовых жил с бериллом в миаролах позволяет прибавить к известным пегматитовым полям – Михайловскому, Светлинскому и Северо-Санарскому, еще одно перспективное поле редкометальных пегматитов – Еремкинское.

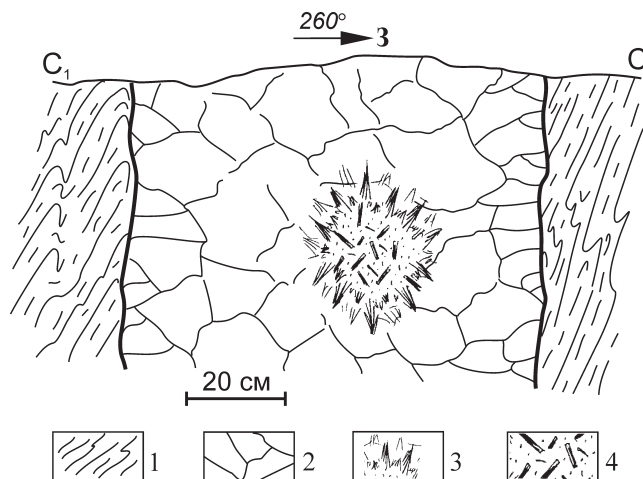


Рис. 5. Гелиодор-мусковитовая миарола в грубозернистом мусковит-кварц-олигоклазовом пегматите.

1 – гранито-гнейс, 2 – грубозернистый пегматит, 3 – расщепленный мусковит, 4 – миарола с кристаллами гелиодора и мусковита.

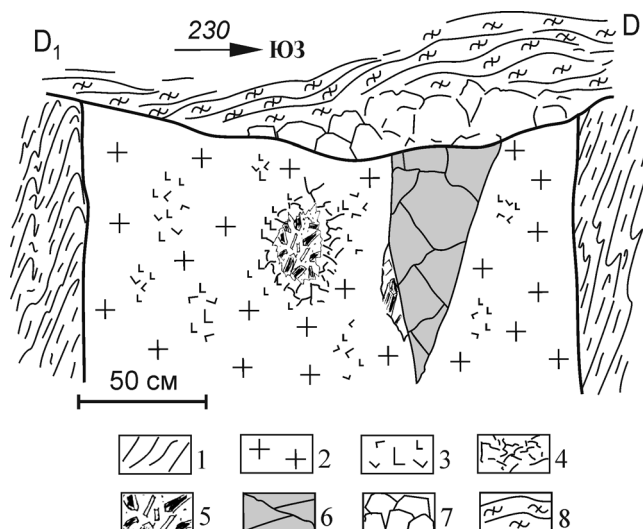


Рис. 6. Берилл-морионовые миаролы в мусковит-кварц-олигоклазовом агрегате и в контакте с кварцевым “ядром”.

1 – гранито-гнейс, 2 – пегматит грубозернистый кварц-олигоклазовый, 3 – пегматит кварц-микроклиновый графический, 4 – трещины в пегматите вокруг миарол, 5 – миаролы, 6 – кварцевое “ядро”, 7 – развал кварцевых глыб над жилой, 8 – песчано-глинистые отложения.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ МИНЕРАЛОВ

Микроклин (с различной степенью триклинности в разных участках минеральных индивидов) – один из главных составляющих блоковой зоны пегматита. Образует агрегаты с кварцем, альбитом и мусковитом. Он слагает целые гигантозернистые полевошпатовые зоны протяженностью до

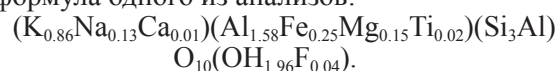
нескольких метров. В осевой части блоковой зоны микроклин образует кристаллы размерами до 0.7 м с выраженными собственными гранями по направлению к кварцевому “ядру”. Микроклин имеет сетку замутнения по системе “микроклиновой решетки”, неориентированные пластинчатые вроски двойников альбита (~3%) и синтаксические сдвойникованные пертиты альбита (~8%). Синтаксические пертиты нередко разветвляются (дихотомируют) и имеют в сечении извилистую форму. Перечисленные признаки позволяют отличать синтаксические пертиты от пертитов распада, которые образуют системы параллельных несдвойникованных пластинок по {13.0.2}. Цвет микроклина серовато-белый, но есть и коричневатые-белые участки. “Разводы” замутнения имеют деформационную природу. По данным силикатного анализа, в микроклине (вместе с пертитами альбита) содержится 3.2–3.7 мас. % Na_2O , а по микрозондовому анализу, в собственно микроклине – только 0.91–1.03 мас. % Na_2O . Естественно, что при подготовке пробы для силикатного анализа и структурных исследований невозможно отделить синтаксические пертиты. Результаты 2-х микрозондовых анализов микроклина рассчитываются на формулу $(\text{K}_{0.92}\text{Na}_{0.08})\text{AlSi}_3\text{O}_8$.

Олигоклаз $(\text{Na}_{0.85}\text{Ca}_{0.11}\text{K}_{0.04})\text{Al}_{1.09}\text{Si}_{2.91}\text{O}_8$ абсолютно преобладает в раннем пегматитовом агрегате в виде серовато-белых изометричных индивидов до 3–5 см, позднее полисинтетически сдвойникованных при наложении деформаций. Совместно с олигоклазом кристаллизовались дымчатый кварц и серый изометричный мусковит. Кварц с олигоклазом образуют неяснографические (субграфические) срастания.

Альбит $(\text{Na}_{0.97}\text{Ca}_{0.02}\text{K}_{0.01})\text{Al}_{1.02}\text{Si}_{2.98}\text{O}_8$ в миаролах наблюдается в виде таблитчатых кристаллов или щеточек совместно с редкими кристаллами кварца и мусковита, или агрегата вокруг кристаллов берилла. В крупных кристаллах микроклина альбит образует случайные и синтаксические вроски, характеризуя двуполовошпатовую первичную кристаллизацию системы.

Кварц входит в состав всех зон пегматитов. В блоковой зоне пегматита он образует крупные выделения (до 0.3 м) светло-серого до черного цвета. Часто наблюдается полосчатость за счет изменений цвета в трещинных зонах с газовой-жидкими включениями. Между индивидами кварца видны поверхности совместного роста площадью до 2–3 дм^2 . В мелких миаролах кварц образует светло-серые короткопризматические кристаллики 1–3 см длиной. В крупных полостях встречаются кристаллы мориона длиной до 20 см с зеркальными гранями. Аметист найден в одной из трещин кварцевого ядра. Фиолетово-дымчатые чистые кристаллы достигают размеров 6 см и образуют сростки. В мелких миаролах аметист иногда встречается в виде скипетров на призматических кристаллах слабодымчатого цвета.

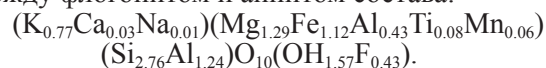
Мусковит как породообразующий минерал развит во всех зонах жилы. В блоковой зоне он образует крупные (до 20 см) листоватые клиновидные выделения с индукционными поверхностями с микроклином, но с собственными гранями относительно кварца “ядра” жилы. На плоскостях спайности часто наблюдается цветовая зональность в зеленых и светло-коричневых тонах. В виде включений в поздних зонах роста мусковита встречаются хризоберилл и спессартин. Химическим анализом в крупнолистовом мусковите определены (мас. %): K_2O – 10.10–10.45; Na_2O – 0.84–1.0; CaO – 0.15; MgO – 1.03–1.28; Fe_2O_3 – 4.0–4.25; TiO_2 – 0.19–0.38; SiO_2 – 45.0–47.25; Al_2O_3 – 31.15–31.91; F – 0.10–0.12; H_2O – 4.85–5.23; сумма – 99.55–99.78. Расчетная формула одного из анализов:



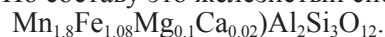
Мелкий мусковит из миарол отличается перламутровым блеском, образует таблитчатые псевдогексагональные кристаллы и их ориентированные сростки в виде слабо расщепленных табличек совместно с мелким альбитом. Микрозондовый анализ его (из периферической зоны кристалла дымчатого кварца с включениями монацита) рассчитывается на формулу:



Флогопит железистый (биотит) встречается значительно реже мусковита в виде мечевидных длинных (12–15 см), узких (до 2 см) и тонких кристаллов в пегматите эндоконтактных зон жилы. В коре выветривания по нему развит вермикулит. Один из микрозондовых анализов слабо измененного флогопита рассчитывается на формулу промежуточно-го между флогопитом и аннитом состава:



Спессартин имеет буровато-красный цвет, трещиноватые кристаллы величиной 1–2 см и агрегаты-сростки до 4–6 см с редкими гранями тетрагонтриоктаэдра, часто пронизанные пластинками мусковита. По составу это железистый спессартин:



Минерал имеет поверхности совместного роста с мусковитом, кварцем, хризобериллом.

В симплектитовых срастаниях с кварцем спессартин образует пятнистые агрегаты величиной до 10 см, и к этому гранату пространственно тяготеет хризоберилл как постоянный спутник. В составе крупных выделений граната отмечены титанит, фторапатит, магнетит, гематит, ферроколумбит, циркон и рутил.

В некоторых зонах пегматитового тела встречаются мягкие иллитовые псевдоморфозы по гранату, сохраняющие его тетрагонтриоктаэдрическую форму.

Хризоберилл в коренном залегании в гранитном пегматите является первой находкой в этом районе “Русской Бразилии”. Он встречается в зоне мел-

коблокового кварц-мусковит-олигоклазового пегматита в виде многочисленных кристаллов, двойников и тройников – “пешек” и “звездочек”, “шестигранников” с собственными гранями, сростками сдвойникованных кристаллов размером от 0.5 до 3 см (рис. 7). Монокристаллы хризоберилла наблюдаются только в виде очень мелких брусковидных индивидов, удлиненных по оси “с” и расположенных на гранях более крупных двойников. Цвет от светло- до темно-зеленого с желтым или голубым оттенками. Наблюдались поверхности совместного роста хризоберилла с мусковитом и гранатом.

Микрозондовым анализом в желтовато-зеленых хризобериллах определены примеси (мас. %): FeO – 1.63–7.54, TiO₂ – 0.35–0.60.

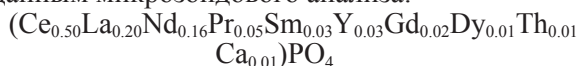
Берилл распространен в северной и южной частях жилы. Он тяготеет к зоне блокового пегматита и кварцевых “ядер”, где встречается в миаролах или образует собственные гнездовые скопления.

В крупном кварцевом “ядре” длиной 15 м и шириной до 1 м берилл образует скопления из желтовато-зеленых кристаллов длиной до 75 см и толщиной до 12–15 см. Содержание элементов-примесей в них: Li – 46, Rb – 16, Cs – 26 г/т; Na – 0.19, K – 0.1, Fe – 0.29 мас. %.

В миаролах берилл преимущественно темно-желтого или зеленовато-желтого цвета. Образует длиннопризматические кристаллы (до 4 см) с головками. Крупные кристаллы из миарол достигают длины 8–12 см. Большая их часть содержит прозрачные зоны. В желтом берилле методом атомной абсорбции определены примеси: Li – 153, Rb – 67, Cs – 800 г/т; Na – 0.27, K – 0.26, Fe – 0.27 мас. %. Миаролы порой содержат более сотни мелких кристаллов. Характерно заполнение берилловых миарол рыхлым пластинчатым агрегатом мусковита.

Зеленовато-голубой прозрачный берилл (аквамарин) встречается в миаролах с морионом и без мусковита. По типоморфным особенностям бериллы Еремкинской жилы можно отнести к слабощелочным калий-натровым [19].

Монацит-(Ce) наблюдался в одной из миарол в виде оранжевых кристаллов величиной до 1–2 мм, вросших в периферическую зону кристалла мориона вместе с альбитом. Расчетная формула монацита по данным микрозондового анализа:



Циркон встречается в виде очень мелких коричневатых призматических кристаллов до 1–2 мм, их сростков и радиально-лучистых агрегатов до 4 мм (рис. 8). Большой частью развит в кристаллах мусковита, образуя вроски в его поздних зонах с поверхностями совместного роста. В спессартине обычны скопления кристаллов циркона в виде радиальных агрегатов и сростков. Состав циркона периферической зоны призмы, свободной от вросков других минералов (микрозонд, мас. %): ZrO₂ –

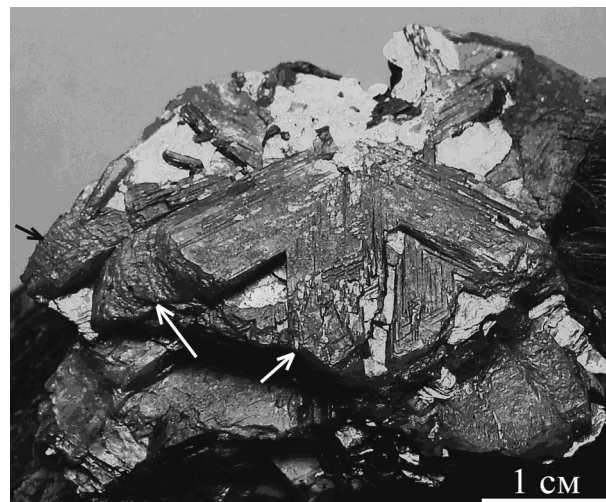


Рис. 7. Тройник хризоберилла с индукционными поверхностями с мусковитом (торцевые псевдограницы показаны стрелками).

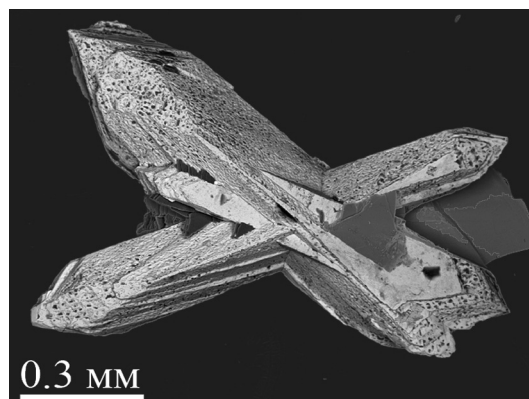
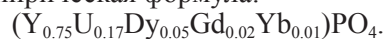


Рис. 8. Индукционные поверхности с мусковитом на сростке циркона.

56.34; SiO₂ – 31.77; UO₂ – 4.56; HfO₂ – 4.49; сумма – 97.16 (СЭМ-LEO 1430 VP, аналитик Н.В. Хлестов).

Микровключения **уранинита**, обнаруженные в кристаллах циркона, имеют состав (мас. %): UO₂ – 94.49; ThO₂ – 0.94; PbO – 3.33; сумма – 98.76.

Ксенотим-(Y) также встречается в кристаллах циркона и выделяется необычно высоким содержанием урана (микрозонд, мас. %): UO₂ – 20.59; Y₂O₃ – 33.44; Dy₂O₃ – 4.20; Gd₂O₃ – 1.60; P₂O₅ – 31.69; Yb₂O₃ – 1.21; сумма – 99.43 (аналитик Н.В. Хлестов). Эмпирическая формула:



Фторопатит встречается в миаролах пегматита в виде хорошо образованных короткопризматических кристаллов до 3 см с зональной окраской. Внутренние зоны окрашены в фиолетово-зеленоватые и зеленоватые тона, ближе к периферии появляется розоватый цвет, а наружные зоны имеют белый цвет или бесцветные. Во внутренних зонах кристаллов содер-



Рис. 9. Ферроколумбит (черный) в полевом шпате.

жания MnO – до 3.6, FeO – до 0.5 мас. %, во внешних – MnO – до 0.6, FeO – до 0.1 мас. %; примесь Cl в разных зонах мала (0.1–0.2 мас. %). В периферических зонах роста кристаллов апатита есть вроски мелких таблитчатых кристалликов мусковита, двойников альбита и короткопризматических топазов. Часть кристалликов альбита находится в ориентированном положении: оси “с” их совпадают, и грани пинакоида $\{110\}$ альбита параллельны граням гексагональной призмы апатита. В виде мелких включений апатит отмечен в гранате и в олигоклазе с хризобериллом, где образует мелкие зональные (от белого, темно-зеленого с периферии, до синего в ядре цвета) индивиды в сростании с цирконом.

Ферроколумбит марганцовистый обнаружен в кварц-мусковит-микроклиновом пегматите с агрегатами гранат-кварцевого симплектита и хризоберилла. Ферроколумбит образует радиально-пластинчатые агрегаты длиной до 6–8 см. Агрегат сложен таблицами шириной 15–20 мм и толщиной 2–4 мм, разрастающимися из одной точки (рис. 9). Индивиды ферроколумбита неоднородны с колебаниями состава (мас. %): Nb_2O_5 – 46–67; Ta_2O_5 – 14–38; TiO_2 – 0.8–1.2; MnO – 7.4–9.1; FeO – 10.6–11.1; WO_3 – 0.6–0.8. Средний состав рассчитывается на эмпирическую формулу:



В периферических зонах роста кристаллов тантала и марганца больше, чем во внутренних.

Ганит образует кристаллические выделения черного цвета размером до 6 см. В тонких осколках просвечивает зеленым цветом. Ганит тяготеет к зоне пегматита, где обнаружены крупные выделения хризоберилла и ферроколумбита. Результаты микрозондового анализа ганита рассчитываются на эмпирическую формулу:



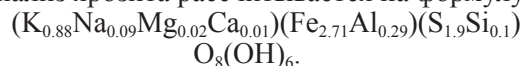
Магнетит встречается в виде мелких вросков в титанисто-железистом хризоберилле. В магнетите содержится до 9.5 мас. % TiO_2 .

Топаз – мелкие призматические кристаллики в периферической зоне роста кристалла фторапатита в сростании с альбитом. Гониометрически на кристаллах топаза установлены следующие простые формы (по степени развития): $\{110\}$, $\{021\}$, $\{230\}$, $\{001\}$.

В южной части жилы, в участке проявления хризоберилла, в одной из протолок граната обнаружены 5 изометричных микрозерен золота до 0.2 мм светло-желтого цвета. Состав золота в разных точках (мас. %): Au – 95.49–88.55; Ag – 4.5–11.45 (СЭМ-LEO 1430 VP, аналитик Н.В. Хлестов).

Пирит встречается в кварце в виде реликтов среди лимонитовых псевдоморфоз, сохранивших форму куба, и с одной стороны покрыты индукционными поверхностями с кварцем. Микрозондовый анализ пирита практически не обнаружил в нем существенных примесных компонентов.

На кристаллах берилла и других минералов обнаружены коричнево-желтые корочки **ярозита** (в участках жилы с развитием пирита). Микрозондовый анализ ярозита рассчитывается на формулу:



Гетит (лимонит) развит в виде псевдоморфоз по пириту, пленок и корочек на силикатах. Микрозондовые анализы некоторых плотных лимонитов показывают существенное обогащение фосфором (до 3.5 мас. % P_2O_5).

Гидроксиды марганца (рентгеноаморфные псиломеланы) присутствуют в некоторых миаролах довольно обильно, что позволяет предполагать наличие карбонатов и фосфатов марганца, разложившихся в коре выветривания. Некоторые черные плотные скопления состоят из гидроксидов марганца, опала и минералов глин; местами слабо обогащены барием.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Наблюдение большого количества и некоторого минерального различия состава миарол в одной системе пегматитовых жил позволяет сделать вывод о сложном процессе пегматитообразования на данном участке. Общая генерализованная последовательность кристаллизации в пегматитовом теле: олигоклаз, кварц, мусковит, флогопит → олигоклаз, кварц, мусковит, спессартин, хризоберилл, циркон, ганит, колумбит, апатит → микроклин, мусковит, кварц, альбит, берилл, апатит, монацит. Акцессорные минералы находятся в поздних полиминеральных (эвтектических) парагенезисах. Кварц-мусковитовые сростания не являются “замещающим комплексом”; судя по индукционным поверхностям, они кристаллизовались одновременно с полевым шпатом.

Кварцевые “ядра” можно было бы отнести к особому минеральному типу миарол, принадлежащих собственно пегматитовым образованиям. Од-

нако с таким отнесением есть проблемы. Кварцевое “ядро” нередко считается естественной зоной гранитного пегматита, возникшей при кристаллизации гранитного расплава-раствора в закрытой системе. Такие системы при кристаллизации стремятся к конечному эвтектическому составу, когда все минералы кристаллизуются одновременно. Кварц как мономинеральное выделение теоретически не может считаться эвтектикой гранитного расплава-раствора. Следовательно, кварцевые “ядра” в пегматитовых жилах, образовавшихся в закрытых (непроточных) системах, надо относить к более поздним заполнениям остаточных полостей. Документирование крупных пегматитовых жил и пегматитовых полей показывает, что далеко не все остаточные полости заполнены кварцем. Не является исключением и Еремкинская пегматитовая жила. Самостоятельные жилы с дымчатым кварцем встречаются рядом с пегматитовыми телами.

Особенностью Еремкинской жилы является высокое содержание мусковита (7–12% объема) во всех зонах пегматитового тела. Редкометальная минерализация приурочена к поздним зонам жилы и к миаролам. Следовательно, пересыщение относительно редкометальных минералов наступало вследствие кристаллизации из расплава-раствора ранних минералов (полевых шпатов, кварца и слюды), которые в процессе роста включают не все редкие металлы в свою структуру, и концентрация их в остаточном растворе-расплаве закрытой системы постепенно нарастает. Отсюда понятно, почему колумбит, монацит, хризоберилл, ганит, гранат и берилл наблюдаются в виде вростков в поздних зонах роста кристаллов полевых шпатов, кварца и слюды. Такое их положение в последовательности кристаллизации сложного расплава-раствора не противоречит стремлению закрытых систем к эвтектическому завершению кристаллизации. Косвенным доказательством остаточного характера полостей с редкометальной минерализацией является отсутствие в жильном поле самостоятельных жилок такого полиминерального состава.

Еремкинская пегматитовая жила близка по строению известным на Южном Урале некоторым крупным жилам пегматитовых полей с бериллом, монацитом, колумбитом – Светлинскому [18] и Борисовскому (копь Мельникова). Главное отличие Еремкинской жилы – это обилие миарол разного минерального состава и наличие хризоберилла в виде двойников и кристаллов размером до 2.5 см в ассоциации с колумбитом, спессартином и ганитом. Сrostков хризоберилла с бериллом не встречалось, а по строению жил можно заключить, что хризоберилл выделялся раньше берилла.

Бериллиевую специфику многих пегматитовых жил Кочкарского антиклинория, по-видимому, следует связывать с общей геохимической спецификой рассматриваемого геологического блока. От-

личия в минеральном составе разных остаточных полостей пегматитов могут быть связаны с онтогенезом конкретных жильных тел, в которых кристаллизация минералов происходила на фоне тектонических событий того времени, в том числе – землетрясений, частично приоткрывавших закрытые системы. В процессе “внутриминерализационных” деформаций пространство пегматитовых тел может наращиваться или уменьшаться. При этом может происходить добавление нового (другого) расплава-раствора или выдавливание предыдущего, в котором уже прошло какое-либо кристаллизационное разделение.

В россыпях по рекам Санарке, Каменке и Кабанке давно отмечались, наряду с топазом, рубином, эвклазом, бериллом, хризоберилл и ганит, коренные источники которых ранее не были обнаружены. В настоящее время можно с уверенностью связать их происхождение в россыпях с гранитными пегматитами, образующими обширные жильные поля на этой территории.

Авторы благодарны В.И. Поповой, М.Н. Маляренок, Е.И. Чурину, Н.В. Хлестову за содействие в исследованиях и Е.И. Лекаревой – за техническую помощь.

Работа выполнена в рамках интеграционного проекта УрО РАН № 12-И-5-2068.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Болтыров В.Б., Пыстин А.М., Огородников В.Н. Региональный метаморфизм пород в северном обрамлении Санарского гранитного массива на Южном Урале // Геология метаморфических комплексов Урала. Тр. ИГиГ УНЦ АН СССР. Вып. 91. 1973. С. 53–66.
2. Долгова О.С., Громалова Н.А., Бакшеев И.А., Прокофьев В.Ю. Сравнительная характеристика хризобериллов Малышевского и Липовского месторождений, Средний Урал, Россия // Уральская минералогическая школа-2005. Екатеринбург: УГГУ, 2005. С. 20–26.
3. Ерохин Ю.В., Вахрушева Н.В., Шагалов Е.С. Хризоберилл из гранитных пегматитов Адуйского участка // Уральская минералогическая школа-2003. Екатеринбург: УГГГА, 2004. С. 65–67.
4. Жернаков В.И. Изумрудные корпи Урала: заметки о минералогии // Минералогический альманах. 2009. Т. 14, вып. 2. 125 с.
5. Кейльман Г.А. Мигматитовые комплексы подвижных поясов. М.: Недра, 1974. 200 с.
6. Кисин А.Ю. Месторождения рубинов в мраморах (на примере Урала). Свердловск: Изд. УрО АН СССР, 1991. 130 с.
7. Кисин А.Ю. Деформационные макроструктуры в карбонатных породах гранито-гнейсовых комплексов Урала // Литосфера. 2007. № 1. С. 90–108.
8. Кисин А.Ю. Закономерности размещения и прогноз

- месторождений полезных ископаемых на основе модели блоковой складчатости. Дисс. ... д-ра геол.-мин. наук. Пермь: ПГУ, 2009. 454 с.
9. *Кокшаров Н.И.* Материалы для минералогии России. Т. 2. СПб, 1856. 339 с.
 10. *Колисниченко С.В., Попов В.А.* "Русская Бразилия" на Южном Урале. Энциклопедия уральского камня. Челябинск: Санарка, 2008. 528 с.
 11. *Куклин Н.В., Сазонов В.Н.* Закономерности размещения гранитовых пегматитов на Урале // Материалы по геологии и полезным ископаемым Урала. Вып. 10. М.: Госгеолтехиздат, 1962. С. 99–104.
 12. *Куклин Н.В., Бондарева Т.И., Олерская Р.С., Сазонов В.Н.* Карта пегматитовых полей (гранитного типа) Урала в м-бе 1 : 1 000 000 (на территории деятельности Уральского геологического управления). Свердловск, 1960.
 13. *Леванов А.А.* Гранитные пегматиты Миассово-Таткульского жильного поля Ильменских гор // Минералы месторождений и зон техногенеза рудных районов Урала. Свердловск: УрО АН СССР, 1990. С. 92–112.
 14. *Поляков В.О., Жданов В.Ф., Нишанбаев Т.П.* Новые поступления в музей Ильменского заповедника // Минералогическое изучение гидротермалитов Урала. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1980. С. 52–58.
 15. *Попов В.А., Канонеров А.А.* Самоцветы слюдитов месторождения Глинское // Уральская летняя минералогическая школа-2000. Екатеринбург: УГГГА, 2000. С. 190–194.
 16. *Сначев В.И., Демин Ю.И., Романовская М.А., Шулькин В.Е.* Тепловой режим становления гранитоидных массивов. Уфа: БНЦ УрО АН СССР, 1989. 120 с.
 17. *Соболев И.Д.* Восточно-Уральское поднятие // Геология СССР. Т. XII. Ч. 1, кн. 2. М.: Недра, 1969. С. 114–154.
 18. *Таланцев А.С.* Камерные пегматиты Урала. М.: Наука, 1988. 144 с.
 19. Типоморфизм минералов. Справочник. М.: Недра, 1989. 560 с.
 20. *Ферштатер Г.Б., Бородин Н.С., Раннопорт М.С. и др.* Орогенный гранитоидный магматизм Урала. Миасс: ИГГЗ УрО РАН, 1994. 250 с.

Рецензент В.В. Холоднов

Chrysoberyl-beryl granite pegmatites from the Yeremkin massif, Southern Ural

S. V. Kolisnichenko*, V. A. Popov*, A. Yu. Kissin**

*Institute of Mineralogy, Urals Branch of RAS

**Institute of Geology and Geochemistry, Urals Branch of RAS

Miarolitic granite pegmatites in the Yeremkin massif within the Kochkar anticlinorium were uncovered by an open-cast mine. Muskovite-quartz-oligoclase pegmatite dominates in the veins, and they replaced to the margins by graphic quartz-microcline and then block zones. There is yellow-greenish poor alkaline beryl into block zone. Yellow beryl from the miaroles contains much of rare alkalis (ppm): Li – 153, Rb – 65, Cs – 800. The grains of bluish-greenish chrysoberyl up to 3 cm in size, was found in the quartz-oligoclase pegmatite with gahnite, ferrocolumbite, spessartine, fluorapatite, and zircon. Chrysoberyl contain up to 7.54 wt.% FeO. Ferrocolumbite rich in Mn and Ta corresponds with empirical formula: $(\text{Fe}_{0.55}\text{Mn}_{0.45})(\text{Nb}_{1.52}\text{Ta}_{0.43}\text{Ti}_{0.04}\text{W}_{0.01})\text{O}_6$. The other accessory minerals are monazite-(Ce), xenotime-(Y), uraninite, and topaz. Rare-metal mineralization into miaroles is explained by melt-solution evolution during of pegmatites crystallization.

Key words: granite pegmatites, beryl, chrysoberyl, Yeremkin massif, Southern Ural.