

УДК 549:553.08

**АЛЮМОСУЛЬФАТ-ФОСФАТЫ
В ХРУСТАЛЕНОСНЫХ ЖИЛАХ ЖЕЛАННИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ
(ПРИПОЛЯРНЫЙ УРАЛ)**

С.А. Репина, В.И. Попова

Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс; repina@mineralogy.ru

**ALUMOSULFATE-PHOSPHATES
IN THE CRYSTAL-BEARING VEINS OF THE ZHELANNINSKOE ORE FIELD
(SUBPOLAR URALS)**

S.A. Repina, V.I. Popova

Institute of Mineralogy UB RAS, Miass; repina@mineralogy.ru

Рассмотрены минералы проявлений Желаннинского кварцевожильного поля на Приполярном Урале. Охарактеризованы лазулит, скорцалит, сванбергит, аугелит, крандаллит и бирюза. Рассмотрена стадийность минералообразования в кварцевых жилах. Образование алюмосульфат-фосфатной минерализации обусловлено привнесением вещества из глубинного источника.

Илл. 8. Табл. 3. Библ. 11.

Ключевые слова: кварцевые жилы, сульфаты, фосфаты, месторождение Желанное, Приполярный Урал.

Lazulite, skortzalite, svanbergite, augelite, turquoise, and krandalite from quartz veins of the Zhelanninskoe ore field, Subpolar Urals, and stages of mineral formation are characterized. Formation of alumosulfate-phosphates is caused by endogenic fluids.

Figures 8. Table 3. References 11.

Key words: quartz veins, sulfates, phosphates, Zhelannoe deposit, Subpolar Urals.

Введение

Из общего числа известных минералов фосфора несколько десятков минеральных видов относятся к фосфатам и сульфат-фосфатам алюминия. Большая часть этих минералов образует твёрдые растворы между собой. По современной классификации алюмо- и железосодержащие фосфаты, сульфаты и арсенаты входят в надгруппу алунита, с включёнными в неё группами алунита, бёдантита, дюссертита, плюмбогуммита. Минералы надгруппы алунита имеют общую формулу $AB_3[XO_4]_2(OH,F)_6$, где $A = K, Na, Ca, Ba, Sr, LREE, Pb, Cu, Ag, Bi, Ga, Th, NH_4, Tl$; $B = Al, Fe^{3+}, V^{3+}$; $X = P, S, As$ (сайт kristallov.net). Сульфат-фосфаты алюминия широко распространены в алмазонасных россыпях Урала, Бразилии, известны в карбонатитовых ассоциациях Восточно-

го Саяна, Кольского полуострова и Юго-Западной Африки, Канады (Чайковский 2003; Сомина, Булах, 1966; Dill, 2001). В последние годы на Приполярном Урале алюмосульфат-фосфатная минерализация выявлена в кварцевых жилах и метасоматитах сближенных рудных полей – Желаннинском кварцевожильном и Малдинском золото-редкоземельном. Фосфаты, сульфаты и арсенаты алюминия – лазулит, аугелит, флоренсит, гоацит, крандаллит, сванбергит, вудхаузеит, бирюза и ряд других минералов – обнаружены на рудных полях месторождений Пирамида, Желанное и Чудное Приполярного Урала. Характеристика минералов и минеральных ассоциаций кварцевых жил Желаннинского рудного поля приведена ниже по результатам авторских исследований и краткого обобщения ранее опубликованных данных.

Методы исследования

Минералы изучены в шлифах и аншлифах на микроскопе Axiolab фирмы Carl Zeiss (ИМин УрО РАН). Рентгенограммы минералов сняты на дифрактометрах ДРОН-2.0 и Shimadzu XRD-6000 (ИМин УрО РАН) и некоторые – ранее в камере РКД-57.3 мм (Ильменский заповедник). Формы кристаллов определены гониометрически с применением фёдоровского столика СФ-4. В разные годы состав минералов в аншлифах анализирован на микронзондах с волновыми и энергодисперсионными спектрометрами: JXA-5 (ИГТ УрО РАН), JXA-733 с Inca200 и Linc (ИМин УрО РАН, ИГ Коми НЦ), а также Camebax CX-50 (МГУ, ЦНИГРИ). Состав гидротермально-изменённых пород исследован методами химического анализа (ИМин УрО РАН) и ICP-MS (ИГТ УрО РАН).

Локализация кварцевых жил с алюмосульфат-фосфатной минерализацией

Желаннинское поле протяжённостью 20 км находится на западном крыле Пелингичейской горст-антиклинали. В центральной его части размещено месторождение Желанное. В 4–5 км к западу вдоль восточного крыла Малдинской горст-антиклинали находится Малдинское рудное поле с месторождением Au-Pd-REE Чудное и рядом редкоземельных проявлений в кварцевых жилах и хлоритоид-диаспор-пирофиллитовых и фуксит-альбит-кварцевых метасоматитах (рис. 1). Породы в пределах Малдинского поля частично грейзенизированы с аномалиями REE, Pb, Zn, Ag, а также As, Sn, Ge, Bi, Be, B, F. В гидротермалитах Желаннинского поля также отмечаются аномалии REE, Sr, Ba, Mg, B, F, S, Ge, Bi, Be (табл. 1). Минерализация обоих полей контролируется глубинными долгоживущими разломами – Малдинским и Желаннинским. Видовое разнообразие сульфат-фосфатов и арсенатов алюминия в пределах полей заметно различается.

На Малдинском рудном поле распространены несколько разновидностей и генераций флоренсита и арсенофлоренсита. Флоренситы (до 3 см) встречаются в кварцевых жилах в сростании с ксенотимом-Y, молочно-белым кварцем и горным хрусталём. Каждый исследованный кристалл флоренсита содержит зоны или вроски нескольких минеральных видов – флоренсита-Ce, -Nd и -Sm (Репина и др., 2010). На северо-восточном продолжении Малдинского разлома (под горой Варсано-

фьевой) в развалах кварцевых жил среди кварцито-песчаников известны находки лазулита, скорцалита и флоренсита (Попова и др., 1993).

В гидротермалитах Желаннинского поля флоренсит не находили, тогда как другие алюмосульфат-фосфаты встречаются в кварцевых жилах проявлений горы Чёрной, Лазулитового и Зоны 25 (см. рис. 1); на месторождении Желанном найден только лазулит. В ассоциации с алюмосульфат-фосфатами постоянно отмечаются кварц, агрегаты турмалина и гематит. Ниже рассмотрены минералы только Желаннинского рудного поля.

Лазулит-кварцевые жилы горы Чёрной

Проявление лазулит-кварцевых жил на юго-западном склоне горы Чёрной (в 5 км СВ месторождения Желанное) приурочено в замку флексуры в нижнеордовикских терригенных породах обейской (ранее – тельпосской) свиты близ межформационного контакта с допалеозойским фундаментом. Локализация жил контролируется трещинами оперения, образованными при тектонических подвижках по межформационному контакту. Жилы большей частью разрушены и представляют развалы обломков до 0.2–1 м в диаметре. Минерализация локализована в трёх полосах простираемостью 40° СВ, выраженных в рельефе пологими уступами.

В двух крайних минерализованных полосах параллельно-шестоватые агрегаты жил молочно-белого («сливного») кварца содержат редкие хрусталеносные минерализованные полости. Центральная полоса, более протяжённая и неоднородная, по простираению подразделяется на три части. В южной части жильный кварц не содержит хрусталеносных пустот и минеральных включений. В средней части этой полосы параллельно-шестоватые агрегаты средне-крупнозернистого кварца молочно-белого цвета нередко имеют участки бесцветного кварца и мелкие хрусталеносные пустоты. В кварце много включений гематита, голубовато-серого турмалина-асбеста, лазулита, скорцалита, фторапатита и аугелита. Во вмещающих гравелитах на контактах с лазулит-кварцевыми жилами по сланцеватости пород развита обильная вкрапленность мелкозернистого лазулита. В северной части полосы кварцевые жилы с лазулитом пересечены апатит-кварцевыми и гематит-apatит-кварцевыми жилами толщиной до 30 см с параллельно-шестоватыми агрегатами второго рода, образовавшихся при медленном раскрытии полостей трещин.

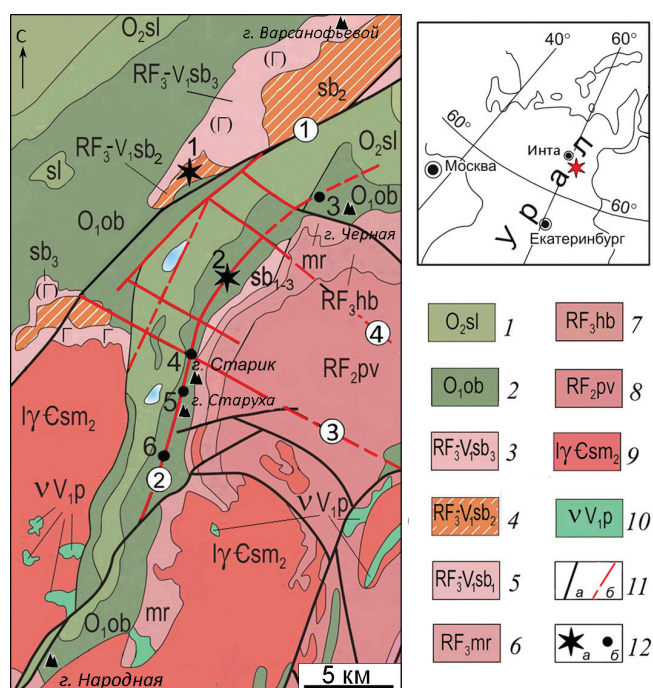


Рис. 1. Геологическая схема Приполярного Урала (по В.Н. Иванову, 2002, с дополнениями).

1–9 – свиты и породы: 1 – грубепендишорская (мраморы, известняки); 2 – салецкая (алевролиты, сланцы); 3 – обеизская (конгломераты, песчаники, сланцы); 4 – 6 – саблегорская (4 – базальты, туфосланцы, 5 – кварцевые порфиры, 6 – базальтовые порфиры); 7 – мороинская (филлиты, мраморы); 8 – хобеинская (сланцы, кварциты); 9 – пуйвинская (туфосланцы, кварциты, мраморизованные доломиты); 10–11 – комплексы: 10 – сальнерско-маньхамбовский (лейкограниты), 11 – парнукский (диориты, габбро); 12 – разломы: а – установленные, б – выделенные С.А. Репиной: 1 – Малдинский, 2 – Желаннинский, 3 – Поворотный, 4 – Еркусейский; 12 – месторождения (а) и проявления (б): 1 – Чудное, 2 – Желанное, 3 – горы Чёрной, 4 – горы Старик, 5 – Лазулитовое, 6 – Зона 25.

Fig. 1. Geological scheme of the Subpolar Urals, modified by V.N. Ivanov (2002).

1–9 – Formations and rocks: 1 – Grubependishor (marbles, limestones); 2 – Saledy (siltstones, shales); 3 – Obeiz (conglomerates, sandstones, shales); 4–6 – Mount Sablya (4 – basalts, tuffs shales; 5 – quartz porphyry; 6 – porphyritic basalts); 7 – Moroya (phyllites, marbles); 8 – Khobeya (schists, quartzites); 9 – Puyva (tuffs shales, quartzites, dolomites); 10–11 – complexes: 10 – Salner-Man'khamba (leucogranites), 11 – Parnuk (diorites, gabbro); 12 – faults: a – identified, б – identified by S.A. Pepina: 1 – Malydy, 2 – Zhelanninsky, 3 – Povorotny, 4 – Erkusey; 12 – deposits (a) and occurrences (b): 1 – Chudnoe, 2 – Zhelannoe, 3 – Mt. Chernaya, 4 – Mt. Starik, 5 – Lazulitovoe, 6 – Zone 25.

В парагенезисе с кварцем, фосфатами и фосфат-сульфатами встречаются тонкопластинчатые зёрна гематита до 2–3 см, часто с индукционными поверхностями сокристаллизации с этими минералами. Гематит титанистый (TiO_2 4.07–4.78 мас. %), содержащий повышенные примеси V, Cr, REE и Th (табл. 1, ан. 1, 2), но существенно меньше, чем в серицитолитах месторождения Желанное (табл. 1, ан. 3). Апатит в жилах желтовато-коричневый. Главные линии дифрактограммы (d , Å; I): 3.437 (5), 2.803 (10), 2.775 (6), 1.836 (5) – соответствуют фторапатиту, в котором часть F замещена гидроксильной группой. Сумма редких земель в апатите составляет 0.067 мас. %, из них 85 % – иттриевой группы с преобладанием Y, Eu и Gd (аналитик Л.Ф. Баженова, метод хроматографии на бумаге).

Лазулит $(\text{Mg}, \text{Fe})\text{Al}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_2$ образует ярко-синие или тёмно-голубые зёрна или частично огранённые кристаллы величиной от первых миллиметров до 10 см, имеющие с кварцем участки индукционных поверхностей совместного роста. Кристаллы лазулита субизометричные псевдодипирамидальные (рис. 2). Состав его не анализирован, но преломление синего лазулита n_p 1.621 соответствует промежуточному члену ряда лазулит-скорцалит с содержанием 40 % железистого (скорцалитового) минерала (Попова и др., 1993). В некоторых жилах лазулит по периферии частично замещён аугелитом.

Аугелит $\text{Al}_2(\text{PO}_4)(\text{OH})_3$ на горе Чёрной был найден В.Р. Глушченко в 1987 г. и диагностирован по рентгенограммам в лабораториях МГРИ (Москва) и Института геологии и геофизики (Новосибирск); найденные образцы аугелита исследованы позднее (Попова, Литовско, 1993). Зеленоватые полупрозрачные индивиды аугелита длиной до 3–5 см встречаются в агрегатах молочно-белого кварца; иногда совместно с другими минералами образуют псевдоморфозы по лазулиту. В хрусталоносных полостях пинакоидально-призматические кристаллы аугелита (рис. 3а) величиной 5–15 мм образуют индукционные поверхности с гематитом, а также содержат его мельчайшие пластинчатые вроски. В составе аугелита определены, мас. %: Al_2O_3 51.08; P_2O_5 35.81; сумма 86.89; по дефициту суммы $\text{H}_2\text{O}_{\text{расч.}}$ 13.11 (Попова, Литовско, 1993); там же приведены оптические свойства и данные рентгенограммы.

Сванбергит $\text{SrAl}_3(\text{PO}_4)(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ ранее отмечался по рентгенограммам среди продуктов заме-

Таблица 1

Элементы-примеси в породах Желаннинского поля (г/т)
Admixture elements in the rocks on Zhelanninskoe field (ppm)

Table 1

Породы	Гематититы			Турмалиниты	Слюдиты			Кварцитопесчаники		
Пробы	Ч2	25/3	2/1	25/7т	Л1/1	Л1/2	25/7с	25/12	25/2	25/13
№ ан.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Li	0.6	0.6	0.6	1.6	55	1.9	15	0.4	0.11	6.4
Be	0.10	0.13	0.3	0.4	2.0	2.0	5.5	0.2	0.12	0.2
Sc	1.4	0.2	1.8	2.2	9.5	11	15	2.2	0.3	0.5
V	137	44	219	16.5	659	44	1267	3.4	1.9	14.6
Cr	41	1.8	157	8.7	28	34	42	5.8	2.6	29
Mn	23	13	38	38	6.3	13	55	25	4.0	11
Co	2.6	1.3	1.9	4.6	0.5	0.6	2.1	0.3	0.03	0.2
Ni	9.2	5.8	2.2	5.7	2.4	0.1	4.2	0.6	–	1.7
Cu	6.4	3.8	5.9	2.9	3.6	0.6	8.3	5.4	4.9	9.1
Zn	–	–	0.5	4.9	–	9.4	15.6	80.9	–	5.8
Ge	0.23	0.23	0.39	1.76	0.07	0.13	0.10	0.01	–	0.05
Rb	5.5	0.7	12.7	1.8	155	194	321	8.1	2.8	2.0
Sr	9.5	22	5.8	44	229	595	52	22	1.8	101
Zr	31	9.7	92.0	136	54.2	72.7	111	7.3	10.7	27.0
Nb	2.0	5.6	3.7	2.1	0.6	0.4	5.8	0.06	0.24	0.17
Mo	0.2	1.3	0.3	–	0.02	0.11	0.14	0.15	0.2	–
Sn	2.1	0.3	1.6	0.97	1.1	1.0	4.9	0.14	0.04	–
Sb	0.3	8.1	1.12	0.32	0.32	0.30	1.4	0.08	0.04	–
Ba	30	26	91	85.8	180	219	1251	11.5	25	13.2
Y	3.4	6.4	7.6	38.4	1.4	2.3	2.7	1.2	0.6	1.5
La	54	60.2	136	801	25.7	49.8	5.7	3.7	5.0	16.5
Ce	115	128	281	1701	58	97	12.8	9.1	9.25	37
Pr	13.0	14.5	32.6	187	6.1	11.7	1.7	0.95	1.3	4.3
Nd	46.4	49.7	115	658	20.8	41.8	6.1	3.8	4.9	16.6
Sm	6.4	6.9	16.0	81	3.4	7.2	1.3	0.7	0.8	3.4
Eu	0.26	0.2	1.02	1.2	0.7	1.5	0.27	0.13	0.12	0.64
Gd	2.2	3.2	6.4	25.7	1.8	6.4	0.96	0.4	0.2	2.5
Tb	0.2	0.4	0.6	2.8	0.17	0.5	0.14	0.04	0.01	0.13
Dy	1.1	1.9	2.7	13.8	0.51	1.2	0.7	0.18	0.15	0.40
Ho	0.15	0.30	0.35	1.8	0.06	0.10	0.13	0.03	0.02	0.06
Er	0.29	0.70	0.66	3.10	0.18	0.29	0.38	0.10	0.08	0.18
Tm	0.03	0.08	0.09	0.28	0.03	0.05	0.07	0.01	0.01	0.03
Yb	0.20	0.43	0.39	1.13	0.28	0.36	0.54	0.12	0.10	0.28
Ta	0.09	0.42	0.37	0.10	0.06	0.04	0.23	–	–	–
W	0.29	10.6	4.1	0.6	0.47	0.87	12.6	0.40	0.17	–
Pb	7.2	12.2	11.3	94	2.7	3.1	13	1.2	2.0	1.6
Bi	0.09	0.07	0.09	0.23	0.07	0.65	0.05	–	–	0.08
Th	50	49.6	96.3	733	26.9	19	26	0.87	0.92	6.6
U	1.0	9.2	4.4	17	2.8	4.5	1.4	0.6	0.6	3.7

Примечание. Пробы: 1 – г. Чёрная; 2, 4, 7–10 – Зона 25; 3 – Желанное; 5, 6 – Лазулитовое. Породы неизменённые (8), гидротермально-изменённые (9) и с кианитом (10). Прочерк – не обнаружено. ICP-MS, аналитик Д.В. Киселёва, ИГГ УрО РАН.

Notes. Sampling areas: 1 – Mt. Chernaya; 2, 4, 7–10 – Zone 25; 3 – Zhelannoe; 5, 6 – Lazulitovoe. Rocks: unaltered (8), hydrothermally altered (9), with kyanite (10). Dash, not found. ICP MS, analyst D.V. Kiseleva, IGG UB RAS.

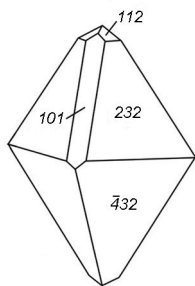


Рис. 2. Кристаллы лазулиты из кварцевых жил горы Чёрной (фото А.В. Козлова), рисунок по (Попова и др., 1993).

Fig. 2. Lazulite crystals from quartz veins of Mt. Chernaya, after (photo by A.V. Kozlov), crystal morphology after (Popova et al., 1993).

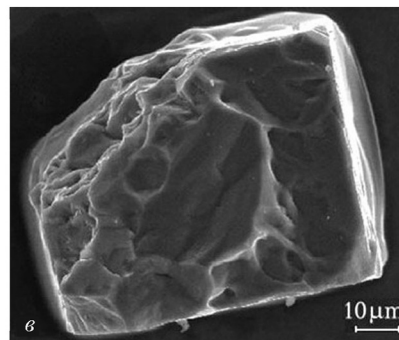
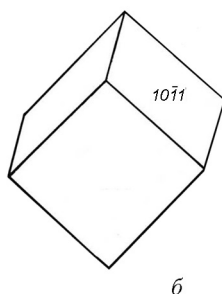
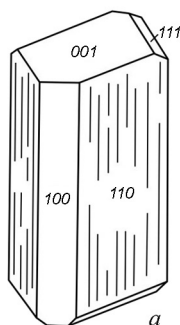


Рис. 3. Форма кристаллов аугелита (а) из жильного кварца горы Чёрной (Попова, Литошко, 1993) и сванбергита (б-в) из гидротермально-изменённых кварцитопесчаников горы Чёрной (Никулова и др., 2003).

Fig. 3. Morphology of crystals of augelite (a) from quartz veins of Mt. Chernaya (Popova, Litoshko, 1993) and svanbergite (б-в) from hydrothermally altered quartzite sandstones of the Mt. Chernaya (Nikulova et al., 2003).

щения лазулита без дополнительных данных (Литошко, Буканов, 1989). На проявлении достоверно был найден в полосчатых гравийных песчаниках с чередованием светлых (почти белых) и коричневых слоёв (Никулова и др., 2003). В светлых слоях сванбергит образует отдельные кристаллики или мелкие скопления (до 5–7 мас. % в породе), в тёмных слоях – 30–40 мас. %. Кристаллики сванбергита псевдокубической формы (рис. 3б-в) величиной 0.04–0.1 мм имеют коричнево-жёлтый цвет. Изредка в сростании со сванбергитом встречается лазулит, а в ассоциации – лейкоксен, титанит, фтор-апатит, монацит-(Ce), турмалин, гематит, рутил, циркон и эпидот. В составе сванбергита г. Чёрной отмечались вариации содержаний оксидов, мас. %: Al_2O_3 20.1–32.6; SrO 12.9–18.8; CaO 0.74–3.42; P_2O_5 13.2–19.4; SO_3 8.6–14.25 (Никулова и др., 2003).

Проявление Лазулитовое горы Старуха

Проявление Лазулитовое у северного подножия горы Старуха обнаружено в 1986 г. при проведении С.А. Репиной геолого-структурных исследований. Основная часть лазулит-кварцевых жил локализована на западном крыле Желаннинского разлома,

в кварцитопесчаниках обеизской свиты, смятых в пологую синклинальную складку. На крыльях складки обнажаются нижележащие гравелиты. На восточном крыле складки жилы локализованы в слюдисто-гравийных песчаниках; жилы мощностью 1–1.5 м имеют продольно-секущее или согласное залегание. Параллельно-шестоватые агрегаты крупнозернистого молочно-белого кварца содержат включения лазулита до 1–2 см, гематита и мусковита.

На западном крыле в зоне Желаннинского разлома кварцевые жилы мощностью 0.2–3 м имеют плитовидную форму, осложнённую многочисленными апофизами. Кварц в жилах молочно-белый крупнокристаллический, образует параллельно-шестоватые агрегаты с вросками лазулита, гематита, мусковита, серо-голубого турмалин-асбеста и рутила.

На отдельных участках жильный кварц сечётся маломощными прожилками (до 10 см) серебристо-серых слюдитов с мелкочешуйчатым мусковитом 2M_1 с небольшой примесью кварца, гематита, рутила, турмалина, крадаллита, аксессуарных циркона и монацита-(Ce). Химический состав слюдитов отличается повышенными содержаниями SiO_2 при меньших – Al_2O_3 и большим количеством Sr (табл.

Таблица 2

**Химический состав пород проявления
Лазулитовое (ан. 1–2) и Зоны 25 (ан. 3–5), мас. %**

Table 2

**Chemical composition of rocks from the
Lazulitovoe (an. 1–2) and Zone 25 (an. 3–5)
occurrence, wt. %**

Пробы	Л1/1	Л1/2	25/7с	25/12	25/2
№ ан.	1	2	3	4	5
SiO ₂	58.99	69.04	47.46	96.55	97.89
TiO ₂	1.92	1.19	2.39	<0.05	0.07
Al ₂ O ₃	23.15	16.76	29.05	1.48	0.44
Fe ₂ O ₃	4.0	5.55	4.46	0.45	0.13
FeO	0.18	0.12	0.5	0.18	<0.05
MnO	0.01	<0.01	0.01	<0.01	<0.01
MgO	0.30	0.03	1.26	<0.01	<0.01
CaO	0.40	0.08	0.47	<0.01	0.20
Na ₂ O	0.95	0.20	0.48	0.06	0.05
K ₂ O	5.75	3.54	8.75	0.24	0.29
H ₂ O	0.10	<0.10	0.12	<0.10	<0.10
ппп	3.52	3.46	4.56	0.34	0.20
P ₂ O ₅	0.10	0.20	0.06	0.05	0.05
Сумма	99.40	100.17	99.57	99.35	99.32

Примечание. 1, 2 – слюдиты; 3 – серицитолиты; 4, 5 – кварцитопесчаники: 4 – неизменённые, 5 – гидротермально-изменённые. Аналитик Т.В. Семёнова, ИМин УрО РАН.

Note. 1, 2 – glimmerites; 3 – sericitolites; 4, 5 – quartzite sandstones: 4 – unaltered, 5 – hydrothermally altered. Analyst T.V. Semenova, IMin UB RAS.

2, ан. 1, 2; табл. 1, ан. 5, 6) по сравнению с серицитолитами Зоны 25 (табл. 2, ан. 7). Пластинки гематита величиной 0.1–3 мм образуют в слюдитах сростки с мусковитом и рутилом, а также и микро-включения в турмалине, рутиле и цирконе. В составе гематита определены, мас. %: Fe₂O₃ 95.80; TiO₂ 2.95; V₂O₅ 0.14 (Самебах СХ–50, МГУ). Содержание рутила в слюдистых прожилках составляет около 0.1 мас. %. Турмалин образует единичные коричневатые короткопризматические кристаллики до 0.1–0.3 мм. В жильном кварце нередко серо-голубые асбестовидные агрегаты турмалин-асбеста (шерл-дравита с 60 мол. % дравитового минала). Подобные турмалин-асбесты встречаются в жилах на горах Старик, Чёрная, в Зоне 25 и ряде проявлений хребта Малдындыр. Из других аксессуаров в слюдитах характерны мелкий длиннопризматический циркон (75 г/т) и монацит-(Се) в виде светло-жёлтых кристалликов до 0.2 мм (35 г/т). Прожилки слюдитов, секущие кварцевые жилы, сопровожда-



Рис. 4. Лазулит в кварце из проявления Лазулитовое. Образец 7 см, фото С.А. Репиной.

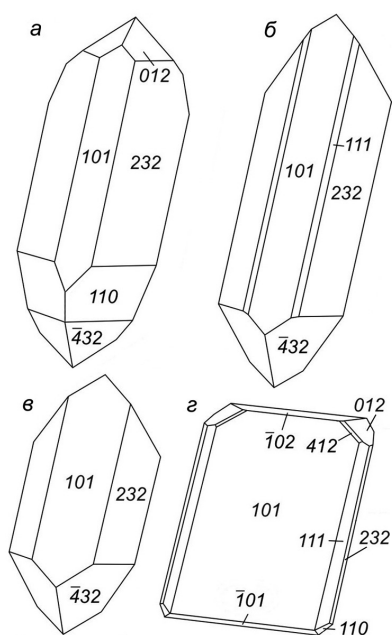
Fig. 4. Lazulite in quartz from the Lazulitovoe occurrence. The samples size is 7 cm, photo by S.A. Repina.

ются небольшими полостями, в которых горный хрусталь образует сростания с белыми сферолитами кандаллита, сванбергита, лазулита и аугелита. Редкие фосфаты этого проявления охарактеризованы ранее (Попова и др., 1993); ниже дано их описание (с дополнениями).

Лазулит (Mg,Fe)Al₃(PO₄)₂(OH)₂ образует удлиненные или изометричные зёрна (рис. 4), клиновидные кристаллы до 2–4 см и сростки до 20 см, обычно приуроченные к зальбандам жил и имеющие с кварцем участки индукционных поверхностей. Довольно часто выделения лазулита разбиты прожилочками мелкозернистого кварца. Цвет лазулита голубой или ярко-синий. Выделяется два типа кристаллов – кристаллы первичного роста, образующие сростания с молочно-белым кварцем, и более поздние регенерационные, развитые на участках регенерации сколов.

Для первичного лазулита характерны удлиненные по оси [101] кристаллы (рис. 5а–в). Поздние мелкие тонкопластинчатые кристаллы лазулита уплощены по оси [101] (рис. 5г). В кристаллах проявлена спайность по {101} и {110}. Ярко-синий лазулит характеризуется резким плеохроизмом: Ng – синий, Nm – голубой, Np – бесцветный. Лазулиты с различной интенсивностью голубой и синей окраски характеризуются разными показателями преломления и различной железистостью. Данные состава (табл. 3, ан. 1, 2) отвечают содержанию в них от 4 до 50 % железистого (скорцалитового) минала.

В ряде образцов зёрна лазулита с поверхности и по трещинам становятся зеленовато-буроватыми и замещаются тонкозернистым агрегатом новообразованных минералов. По оптическим и рентгеновским данным псевдоморфозы по лазулиту наибо-



лее часто состоят из мягкой буровато-белой смеси каолинита ($d = 7.2 \text{ \AA}$, $n = 1.56\text{--}1.57$, $ng\text{--}np = 0.005$), мусковита ($d = 10.1 \text{ \AA}$) и пиррофиллита ($d = 9.1\text{--}9.2 \text{ \AA}$).

Аугелит $\text{Al}_2(\text{PO}_4)(\text{OH})_3$ на Лазулитовом проявлении был встречен только в друзовых полостях, где он кристаллизовался совместно с периферическими зонами лазулита и продолжал отлагаться и после него. В полостях жил аугелит образует бесцветные или беловатые прозрачные и полупрозрачные зернистые агрегаты и кристаллы со спайностью по призме $\{110\}$ и по $\{201\}$, с твердостью 4.5 и с сильным стекляннм блеском, на плоскостях спайности близким к перламутровому. Отмечались индукционные поверхности сокристаллизации с кварцем и гематитом, а в псевдоморфозах – ассоциации аугелита с пиррофиллитом, фторапатитом, крадаллитом, каолинитом (без ясных взаимоотношений между ними). В некоторых участках аугелит совместно с другими минералами образует агрегатные псевдоморфозы по лазулит.

Сванбергит $\text{SrAl}_3(\text{PO}_4)(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ образует мелкие ромбоэдрические (псевдокубические) кристаллики величиной 0.3–1 мм на стенках трещины, секущей лазулит-кварцевую жилу. Стенки трещины регенерированы короткопризматическим кварцем в срастании с пиррофиллитом, сванбергит вырос на грани кварца. Псевдокубические кристаллики сванбергита бесцветные или чуть розоватые, с блочными гранями ромбоэдра $\{01\bar{1}2\}$ с редкой тончайшей диагональной штриховкой от граней пинакоида,

Рис. 5. Форма кристаллов лазулита из кварцевых жил проявления Лазулитовое:

а–в – первичной кристаллизации; г – поздние регенерационные (Попова и др. 1993).

Fig. 5. Morphology of lazulite crystals from quartz veins of the Lazulitovoe occurrence: а–в – primary crystals; г – regeneration crystals (Popova et al., 1993).

отсутствующего в огранке. Оптические свойства: $ne = 1.646$; $no = 1.634$; $ne\text{--}no = 0.012$. В составе сванбергита отмечается небольшая примесь Ва, Fe, Рб (табл. 3, ан. 4). В эмпирической формуле количество фосфора преобладает над серой: $(\text{Sr}_{0.68}\text{Ca}_{0.27}\text{Pb}_{0.02}\text{Fe}_{0.01}\text{Al}_{0.98})\text{Al}_3(\text{P}_{1.61}\text{S}_{0.48}\text{O}_{2.09})_8(\text{OH})_6$, что соответствует содержанию изоструктурных молекул сванбергита 48 %, гоацита 22 %, крадаллита 28 %.

Крадаллит $\text{CaAl}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$ обнаружен в агрегатных псевдоморфозах по лазулит, а также в друзовых полостях в виде сферолитов до 3–6 мм, выросших на грани кристаллов лазулита или кварца. Сферолиты образованы бесцветными, беловатыми или чуть буроватыми копьевидными, часто сдвойникованными кристалликами величиной до 0.5–2 мм с твердостью 4.5–5 (Попова и др., 1993). В ассоциации с крадаллитом встречаются аугелит, пиррофиллит, гематит и кварц (с вростками синих игл турмалина).

В сферолитах преобладают уплощенные по $[0001]$ асимметричные индивиды крадаллита с отрицательным удлинением, спайностью по (0001) и гранями пинакоида $\{0001\}$ и ромбоэдров $\{30\bar{3}5\}$ и $\{20\bar{4}5\}$ с различной степенью развития, что придает кристалликам копьевидный или клиновидный облик. Грани призмы $\{10\bar{1}0\}$ развиты мало (обычно только две-три грани). В иммерсии крадаллит бесцветный прозрачный, не плеохроирует, одноосный (+), $ng 1.630$, $np 1.615$, $ng\text{--}np = 0.015$. Светло-буроватый крадаллит имеет более высокие показатели преломления: $ng 1.635\text{--}1.640$, $np 1.618\text{--}1.620$, что обусловлено примесями железа и, возможно, редких земель (табл. 3, ан. 5, 6). Анализ 6 рассчитывается на формулу: $(\text{Ca}_{0.77}\text{Na}_{0.13}\text{Fe}_{0.05})_{0.95}(\text{Al}_{2.93}\text{Fe}_{0.07})_3(\text{P}_{1.02}\text{O}_{4})_2(\text{OH})_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

Бирюза $\text{CuAl}_6(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ была обнаружена в 1991 г. по рентгеновским данным среди продуктов замещения лазулита; позднее в лазулите этих образцов выявлены тонкие метасоматические жилки голубовато-зеленоватого цвета, сложенные изометрично-зернистым агрегатом бирюзы с вели-

Таблица 3

Химический состав алюмосульфат-фосфатов, мас. %

Table 3

Chemical composition of alumsulfate-phosphates, wt. %

	Лазулит			Сванбергит	Крандаллит								Бирюза	
№ ан.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
CaO	—	—	—	3.34	10.10	8.47	11.14	13.31	9.33	6.77	7.49	8.07	0.03	
Sr ₂ O ₃	—	—	—	16.01	0.01	—	2.16	1.03	—	5.48	5.58	4.68	0.06	
BaO	0.03	—	0.05	0.10			0.18	0.01	—	3.83	3.53	4.76	0.42	0.33
Y ₂ O ₃							—	0.02	0.40	—	—	—		
La ₂ O ₃							—	0.03	—	0.02	0.04	0.12		
Ce ₂ O ₃	0.03		0.05	—			0.12	—	—	1.70	1.22	1.40	0.18	0.12
Pr ₂ O ₃							—	0.11	0.11	—	—	—		
Nd ₂ O ₃							0.08	0.06	0.12	—	0.38	0.18		
Eu ₂ O ₃							0.01	0.02	0.19	0.01	0.04	—		
K ₂ O							0.09	0.10	0.02	0.02	0.05	0.02		
Na ₂ O	—		—	—	0.97	1.51	—	0.02	1.34	0.19	0.19	0.16		
MgO	12.86	12.54	11.59	—									0.05	
FeO	1.40	2.08	2.76	0.18	2.03	1.68							1.58	1.96
Fe ₂ O ₃		—					1.43	0.39	7.36	3.86	2.41	2.09		
Al ₂ O ₃	35.14	33.99	34.50	34.62	35.11	35.86	33.77	36.41	31.48	29.26	29.61	31.20	38.11	38.80
CuO		—											7.71	7.51
PbO	—		—	0.81										0.30
P ₂ O ₅	45.04	46.38	45.32	25.85	34.12	33.49	33.88	32.63	35.60	30.39	31.73	29.71	34.26	35.27
SO ₃	—		—	8.70			1.51	0.93	—	0.31	0.32	0.32		0.03
SiO ₂		—					—	0.40	—	—	—	0.05		
As ₂ O ₅	—		—	0.04			0.06	—	0.02	0.01	—	0.05		
Сумма	94.50	93.36	94.27	85.65	82.57	81.30	84.43	85.46	85.96	81.86	82.58	82.79	82.26	83.99
H ₂ O _{расч.}	5.50	6.05	5.73	12.2	14.5	14.8	13	14	15				17.8	18.1

Примечание. 1, 2, 4, 13, 14 – Лазулитовое (Попова и др., 1993); 3, 5–12 – Зона 25 (3 – Литошко, Буканов, 1989; 5–12 – новые данные, Camebax SX-50, аналитик И.А. Брызгалов, МГУ). Прочерк – не обнаружено; пустая клетка – не определялось.

Note. 1, 2, 4, 13, 14 – Lazulitovoe (Popova et al., 1993); 3, 5–12 – Zone 25 (3 – Litoshko, Bukanov, 1989; 5–12 – new data, Camebax SX-50, analyst I.A. Bryzgalov, Moscow State University). Dash, not found; empty boxes, not determined.

чиной зёрен до 0.3 мм и твёрдостью 5–5.5 (Попова и др., 1993). В иммерсии бирюза прозрачна, слабо плеохроирует от голубоватого (Ng) до бесцветного (Np); ng 1.648, np 1.612, $ng-np$ = 0.036–0.040. По составу бирюза железистая (см. табл. 3, ан. 13, 14), с эмпирической формулой $(\text{Cu}_{0.79}\text{Fe}_{0.18}\text{Ba}_{0.02}\text{Ce}_{0.01}\text{Mg}_{0.01})_{1.01}\text{Al}_{6.07}(\text{P}_{0.98}\text{O}_4)(\text{OH})_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (ан. 13).

Минерализация Зоны 25

Кварцевожильное проявление Зона 25 находится на западном склоне горы Старуха в 10 км к югу от месторождения Желанное. Тектоническая зона, контролирующая проявление, была установлена в 1967 г. при проведении тематических работ под руководством В.А. Смирновой. Во время последующих поисково-разведочных работ на западном

склоне горы выявлены четыре зоны гидротермального изменения («выщелачивания») пород. Наиболее перспективная из них Зона 25 расположена на высоте около 900 м и прослежена 14-ю канавами по простиранию на 1200 м (рис. 6).

Проявление локализовано в зоне Желаннинского разлома. В лежащем боку разлома интенсивно рассланцованные слюдястые метапесчаники залегают с падением 90–100° В $\angle$ 70°; в этом же направлении от контакта степень рассланцевания пород постепенно уменьшается. Висячем борту кварцитопесчаники имеют согласное с разломом падение 270° З $\angle$ 40–55°. В плоскости разлома они гидротермально изменены до сыпучего состояния, с шириной зон от 10 до 50 м (в траншеях 12 и 5, соответственно). Изменённые породы в западном направлении постепенно сменяются массивными

и неизменёнными. В северном и южном выклинивании минерализованной зоны породы слабо трещиноваты и лишь незначительно осветлены. Химический и примесный состав неизменённых и изменённых кварцитопесчаников приведён в таблице 1 (ан. 8, 9) и таблице 2 (ан. 4, 5).

В канавах вскрыты несколько кварцевых жил мощностью 0,1–1 м в почти мономинеральных кварцитопесчаниках. Кварц в жилах молочно-белый крупнокристаллический, образующий параллельно-шестоватые агрегаты. На выклинивании минерализованной зоны кварцевые жилы раздроблены до щебня.

Минерализация на проявлении распределена зонально. В центре участка развиты турмалин-кварцевые жилы с серицитолитами в нижнем выклинивании (траншеи 7–9). С двух сторон их обрамляют гематит-кварцевые жилы с включениями серо-голубого турмалин-асбеста, хлоритоида и разнообразных алюмофосфатов – крандаллита, лазулита и сванбергита (траншеи 5, 6, 10–13). Ближе к выклиниванию зоны в кварцевых жилах встречаются редкие лазулит и бирюза, а за пределами зоны (южнее) – кианит, прослеживающийся далеко на юг (траншеи 3, 4, 13, 14). Зональное распреде-

ние минерализации на проявлении в какой-то мере отражает последовательность минералообразования на площади Желаннинского поля. По структуре Зона 25 сопоставима с Восточной зоной месторождения Желанное.

Наиболее информативны в минералогическом отношении жилы, вскрытые траншеями 8 и 6.

Траншеей 8 в изменённых кварцитопесчаниках вскрыто нижнее выклинивание кварцевой жилы падением $290^\circ \text{ЗСЗ} \angle 50\text{--}60^\circ$. Кварц молочно-белый, сероватый, полупрозрачный с мозаичной текстурой. В жильном кварце по трещинам развиты мелкозернистые агрегаты чёрного турмалина и примазки серицита. В лежащем боку разрушенной кварцевой жилы обнажена полость размером $0.8 \times 1.5 \times 0.5$ м, выполненная рыхлыми гидротермально-изменёнными желтовато-серыми серицитолитами с обломками жильного кварца, скоплений игольчато-волокнистых чёрных турмалинитов и выросшими на них кристаллами горного хрусталя (до 2–4 см). В обрамлении гнезда в кавернозных кварцитопесчаниках развиты и минералы серицитоцитов, а зёрна кварца регенерированы. В осветлённых кварцитопесчаниках по трещинам встречаются тонкие пластинки и розетки до 5–7 мм тёмно-зелёного хлоритоида.

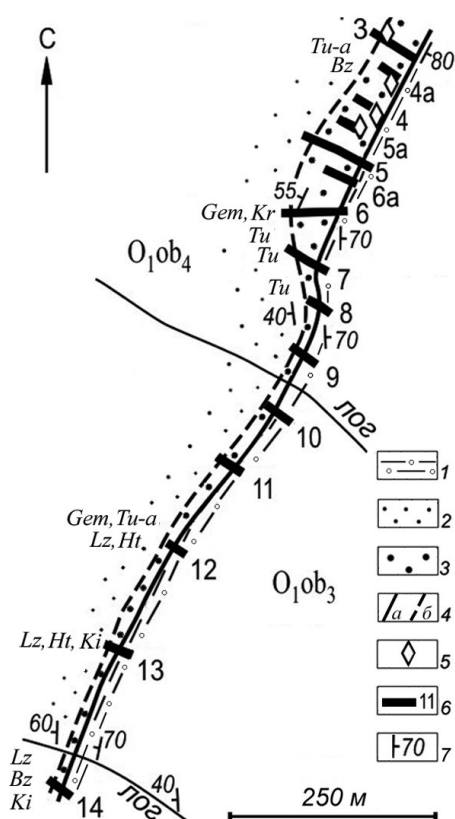


Рис. 6. Схема кварцевожильного проявления Зона 25 (по С.С. Самолкину, 1978, с дополнениями).

1 – грубозернистые слюдястые метапесчаники рассланцованные; 2 – кварцитопесчаники рассланцованные; 3 – гидротермально-изменённые кварцитопесчаники; 4 – тектонический контакт (а) и предполагаемая геологическая граница (б); 5 – россыпи кристаллов кварца; 6 – канавы и траншеи; 7 – элементы залегания слоистости, рассланцевания. Минералы: Tu – чёрный волокнистый и игольчатый турмалин; Tu-а – серо-голубой турмалин-асбест; Gem – гематит; Kr – крандаллит; Lz – лазулит; Ht – хлоритоид; Kia – кианит; Bz – бирюза.

Fig. 6. Scheme of quartz veins of the Zone 25 occurrence modified after (Samolkin, 1978).

1 – coarse-grained foliated micaceous metasandstones; 2 – foliated quartz sandstones; 3 – hydrothermally altered quartz sandstones; 4 – tectonic contact (a) and inferred geological boundary (b); 5 – placers of quartz crystals; 6 – ditches and trenches; 7 – bedding elements of layering and foliation. Minerals: Tu – black fibrous and acicular tourmaline; Tu-a – gray-blue tourmaline-asbestos; Gem – hematite; Kr – crandallite; Lz – lazulite; Ht – chloritoid; Kia – kyanite; Bz – turquoise.

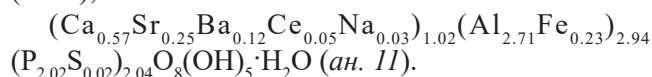
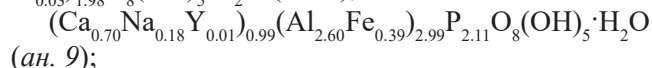
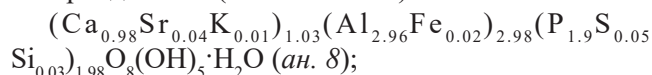
Турмалин встречается в виде игольчатых си- реневато-коричневых кристалликов длиной 0.7–1.5 мм, образующих на их концах волосовидные агрегаты. По составу турмалин относится к ряду дравит-шерл, содержащий, мас. %: Na₂O 2.10; CaO 0.29; MgO 3.67; MnO 0.19; FeO 12.13; Al₂O₃ 32.40; SiO₂ 36.33; TiO₂ 0.33 (JXA-733, аналитик Е.И. Чурин) с коэффициентом железистости $f=77$. В составе агрегатов турмалина примесями являются REE, Zr, Ba, V и ряд других (см. табл. 1, *ан. 4*), обусловленные микровключениями других минералов. Содержание турмалина в породе 2 мас. % и более, а также около 270 г/т кристалликов и агрегатов оранжевого и жёлто-коричневого рутила и лейкоксена. В серицитолитах около 400 г/т циркона, образующего удлиненно-округлые зёрна до 0.4 мм, бесцветные или коричневатые. Встречаются и коричневые по цвету зёрна циркона с вростками гематита, ксенотима-(Y), монацита-(Ce) и кварца. Единичные зёрна ксенотима-(Y) величиной 0.3–0.5 мм образуют красно-жёлтые столбчатые расщеплённые кристаллики, «прошитые» иголочками турмалина; состав ксенотима-(Y), мас. %: Y₂O₃ 48.42; La₂O₃ 0.26; Nd₂O₃ 0.04; Sm₂O₃ 0.57; Eu₂O₃ 0.11; Gd₂O₃ 1.10; Tb₂O₃ 0.43; Dy₂O₃ 6.47; Ho₂O₃ 1.9; Er₂O₃ 1.29; P₂O₅ 34.36; сумма 94.95 (JXA-733, аналитик Е.И. Чурин) и близок ксенотиму-(Y) Восточной зоны месторождения Желанное.

Серицитолиты мелкочешуйчатые оливково-серые с хорошо различимыми кристалликами турмалина. По облику и химическому составу серицитолиты (табл. 2, *ан. 3*) аналогичны Желаннинским. Из примесей отмечены повышенные содержания Li, Be, Mn, Zn, Rb, Nb, Ba, W (см. табл. 1, *ан. 7*). Акцессорные минералы серицитолитов – турмалин, лейкоксен, рутил, циркон и ксенотим-(Y).

Траншеей 6 вскрыта кварцевая жила мощностью 0.5–2 м с падением 345°СЗ $\angle$ 55°. Кварц в жиле молочно-белый параллельно-шестоватый, иногда с тонкими прожилками турмалина и редкими включениями гематита. Из нижнего выклинивания кварцевой жилы была извлечена глыба около 0.5 м агрегата гематита с незначительными примесями Ti, Cr, Ce, V, Sr, W, Sb (см. табл. 1, *ан. 3*), что отличает его от гематита с других проявлений (за исключением гематита рудопроявлений хребта Малдынырд). На стенках пустот в гематите выросли псевдокубические кристаллы крандаллита и щёточки халцедона.

Крандаллит $\text{CaAl}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$ в пустотах образует сростки ромбоэдрических кристаллов

размером около 5 мм и зернистые агрегаты (рис. 7). Цвет кристаллов крандаллита коричнево-жёлтый, зернистых агрегатов – пятнистый коричневато-белый, спайность по {0001} совершенная. В составе крандаллита Ca частично замещён Ba, Sr и REE; Al – Fe³⁺; P – S и Si (табл. 3). Эмпирические формулы крандаллита (на 6 катионов):



В сростках крандаллита выделяются две генерации (рис. 8). Ранний крандаллит-1, образующий ромбоэдрические кристаллики, по составу существенно кальциевый, с низким содержанием примесей (табл. 3, *ан. 5–9*). Крандаллит-1 кристаллизовался во время ранней хрусталеносной стадии в парагенезисе с гематитом и, возможно, сванбергитом.

Крандаллит-2 образует сферолиты, выросшие на грани ромбоэдров крандаллита-1 и характеризуется меньшими содержаниями Ca при повышенных количествах примесей Sr, Ba, Fe, REE (табл. 3, *ан. 10–12*). По форме кристаллов он близок сферолитам крандаллита из хрусталеносных полостей и минерализованных трещин проявления Лазулитовое, но отличается более сложным составом.

Бирюза образует светло-зелёные прожилки толщиной 2–3 мм в слабо изменённых кварцитопесчаниках; из примесей в составе бирюзы качественным анализом отмечены Fe и Ba.

К югу от Зоны 25 на протяжении 10 км от г. Народной и до северного подножья г. Старухи в породах и кварцевых жилах среди рассланцованных кварцитопесчаников Желаннинского разлома развиты агрегаты голубых «брусковидных» зёрен кианита длиной 0.5–5 мм; в парагенезисе с кианитом отмечаются хлоритоид, пирофиллит, лазулит, фторапатит, гематит, рутил и турмалин-асбест. В кианитовых кварцитах повышены концентрации Li, Cr, Sr и Cu (табл. 1, *ан. 10*). Содержание золота в них достигает 26–130 мг/т при кларке золота в осадочных породах 2–3 мг/т (Юдович и др., 1998). Как стресс-минерал, кианит широко распространён в глинозёмистых метасоматитах Малдинского разлома в ассоциации с гематитом, мусковитом, хлоритоидом, пирофиллитом, диаспором и другими минералами.



Рис. 7. Псевдокубические кристаллы крадаллита (до 3 мм) в пустотах гематитового агрегата Зоны 25. Фото С.А. Репиной.

Fig. 7. Pseudocubic crandallite crystals (up to 3 mm in size) in cavities of hematite aggregate from the Zone 25 occurrence. Photo by S.A. Repina.

О последовательности минералообразования в жилах Желаннинского поля

Образование кварцевожильной и хрусталеносной минерализации Желаннинского кварцевожильного поля происходило в несколько стадий – преджильную, кварцевожильную, раннюю и позднюю хрусталеносные и постхрусталеносную.

В *преджильную* стадию в ходе заложения разрывных структур в полостях трещин отлагался серо-голубой турмалин-асбест (дравит). На всем протяжении он маркирует Желаннинский и Малдинский разломы. Есть трещины, выполненные только турмалин-асбестом, но большинство из них в дальнейшем были заполнены жильным кварцем.

В *кварцевожильную* стадию образована основная масса кварцевых жил, сложенных шестоватыми агрегатами молочно-белого кварца. Жильные тела формировались в условиях повторяемости движений вдоль основных разрывных нарушений, поэтому кварц в жилах замутнён большим количеством газово-жидких включений, находящихся в залеченных трещинах. Непосредственно перед отложением кварца, а затем и совместно с ним кристаллизовался чёрный игольчатый турмалин (дравит-шерл). В ассоциации с турмалином и кварцем образовались рутил, циркон, монацит-(Се) и мусковит. Чёрный игольчатый дравит-шерл является «визитной карточкой» кварцевожильной стадии.

Последующее изменение общего плана деформаций привело к подновлению ранее заложенных и

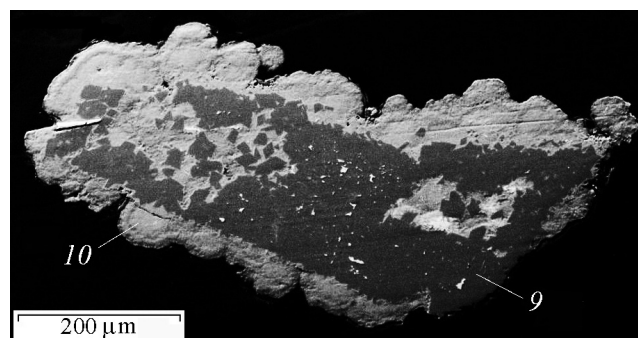


Рис. 8. Сферолиты крадаллита-2 (светлые), выросшие на крадаллите-1 (тёмное). Зона 25; цифры – номера анализов в табл. 3. BSE-фото: В.А. Муфтахов.

Fig. 8. Spherulites of crandallite-2 (light) on crandallite-1 (dark). Zone 25 occurrence; 9, 10 – numbers of analyses in Table 3. BSE image by V.A. Muftakhov.

появлению новых трещинных структур. Раскрытие уже существующих кварцевых жил с отложением в них более позднего кварца ознаменовали начало *хрусталеносной* стадии с формированием хрусталеносных полостей. По ряду признаков выделяют ранняя и поздняя стадии хрусталеобразования.

Ранняя хрусталеносная стадия сопровождалась привнесом новых порций растворов. Жильный молочно-белый кварц этой стадии практически неотличим от кварца, образованного ранее, но минеральные включения в них различны. В молочно-белом кварце ранней хрусталеносной стадии находятся вроски агрегатов гематита и прожилки мусковита. Основным маркёром ранней хрусталеносной стадии является гематит, встречающийся в зальбандах жил или в осевой зоне жилы, где в полостях он образует срастания с кристаллами горного хрусталя. Одновременно с гематитом и мусковитом кристаллизовались многие минералы из группы фосфатов и сульфатов – монацит-(Се), лазулит, сванбергит, аугелит, крадаллит, бирюза, фторапатит и другие минералы.

Два минерала антагониста – турмалин и гематит – отлагались на разных стадиях формирования кварцевых жил. В случае частого телескопирования минерализации оба минерала могут встречаться в кварцевой жиле совместно, но в разных её участках.

Хрусталеносные гнёзда формировались по принципу жил «альпийского типа». При раскрытии полостей минералообразующие растворы в них станови-

лись недосыщенными и агрессивными. Кварцито-песчаники, изменённые в хрусталеносную стадию, превращены в рыхлые породы. Минералы около полостей подвергались растворению и переотложению – кварц и минералы из группы алюмосульфат-фосфатов, в частности, крандаллит, образующий разные генерации в хрусталеносных полостях.

Постхрусталеносная стадия проявлена в разрушениях внутри хрусталеносных полостей, регенерации кварцевых поверхностей и низкотемпературных изменениях пород.

Образование уникальной по видовому составу алюмосульфат-фосфатной минерализации в породах с относительно невысокими валовыми содержаниями фосфора, серы и алюминия в субстрате может быть обусловлено привнесением вещества из глубинного источника. Восходящие гидротермальные растворы мобилизовали из подстилающих пород Si, Al, K, Na и многие другие элементы и переносили их в виде карбонатных, боратных, хлоридных и других комплексов.

Заключение

На всех проявлениях Желаннинского кварцево-жильного поля сформировались однотипные парагенезисы турмалина, гематита, фосфатных и сульфат-фосфатных минералов с широкими вариациями содержаний в них Al, Ca, Mg, Sr, Ba, Fe, Cu, REE и других элементов. Сульфат-фосфаты алюминия кристаллизовались в раннюю хрусталеносную стадию совместно с кварцем и гематитом. Во время процессов позднего хрусталеобразования сульфат-фосфаты подвергались метасоматическому замещению. При этом прослеживается смена фосфатов сульфат-фосфатами, сульфатами, а также более водными алюмосульфат-фосфатами. Наиболее распространенным среди этой группы минералов является лазулит, образующий в жилах синхронные сростания с молочно-белым кварцем. Одновременно с ним кристаллизовались более редкие аугелит, сванбергит, бирюза и крандаллит, подвергавшиеся неоднократному переотложению во время поздних процессов.

Авторы благодарны аналитикам Т.В. Семёновой, Е.И. Чурину, И.К. Клочкову, И.А. Брызгалову, Д.В. Киселёвой, а также В.А. Муфтахову и В.А. Попову за содействие в работе.

Работа выполнена в рамках госбюджетной темы ГР № 01201374594.

Литература

- Иванов В.Н., Жаркова Т.Б. и др. Государственная геологическая карта РФ. Масштаб 1 : 200 000 (новая серия). Листы Q-41-XXV. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ. 2002. 252 с.
- Литошко Д.Н., Буканов В.В. Лазулит севера Урала // Зап. ВМО. 1989. Ч. 118. № 1. С. 35–40.
- Никулова Н.Ю., Ефанова Л.И., Швецова И.В. Сванбергит в песчаниках тельпосской свиты на Приполярном Урале // Сыктывкарский минералог. сборник № 33. Сыктывкар. Тр. Ин-та геол. Коми НЦ УрО РАН. 2003. С. 143–148.
- Попова В.И., Литошко Д.Н. Аугелит Приполярного Урала // Уральский минералогический сборник № 1. Екатеринбург: УИФ Наука. 1993. С. 71–74.
- Попова В.И., Попов В. А., Клочков И. К., Пожидаев Н. А. Редкие фосфаты Приполярного Урала (лазулит, скорцалит, аугелит, сванбергит, крандаллит, бирюза) // Уральский минералогический сборник № 2. Миасс: ИМин УрО РАН. 1993. С. 62–77.
- Репина С.А., Попова В.И., Чурин Е.И., Белозуб Е.В., Хиллер В.В. Флоренсит-(Sm) – (Sm, Nd) $Al_3(PO_4)_2(OH)_6$ – новый минерал группы алуни-тарозита с Приполярного Урала // Зап. РМО. 2010. № 4. С. 16–25.
- Самолкин С.С. Отчёт о полевых работах на хрустальном проявлении Старуха за 1977 год. Сыктывкар: Комигеолфонд, 1978.
- Сомина М. Я., Булах А. Г. Флоренсит из карбонатитов Восточного Саяна и некоторые вопросы химической конституции группы крандаллита. Зап. ВМО. 1966. № 5. С. 537–550.
- Юдович Я.Э., Кетрис М.П., Швецова И.В. Кианитовые кварциты на Приполярном Урале // Сыктывкарский минералогический сборник № 27. Сыктывкар: Тр. Ин-та Коми НЦ УрО РАН, т. 1998. С. 147–155.
- Чайковский И.И. Редкоземельные алюмо-фосфаты из алмазных месторождений Урало-Тиманской провинции // Зап. ВМО. 2003. №. 1. С.101–109.
- Dill H.G. The geology of aluminium phosphates and sulphates of the alunite supergroup // Earth-Science Reviews. 2001. V. 53. P. 35–93.

Поступила в редакцию 30 ноября 2015 г.