

В. В. Мурзин, В. Н. Сазонов, В. В. Федосеев

**РЕДКИЕ МИНЕРАЛЫ В РУДАХ  
БЕРЕЗНЯКОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ  
ЗОЛОТА (Ю. УРАЛ)**

*MURZIN V.V., SAZONOV V.N., FEDOSEEV V.V. RARE  
MINERALS IN THE ORES OF BEREZNYAKOVSKOE  
GOLD DEPOSIT (SOUTH URALS)*

In composition of the polymetallic association (tennantite, sphalerite, pyrite, chalcopyrite, galena) there are established: gold, tellurium, mercurial electrum, altaite, hessite, calaverite, sylvanite, krennerite, pylsenite, aikinite, (chemical analyses are given). Polymetallic association was formed at a temperature of 270°C, pressure of 0.2-0.4 kВ and various activities of sulfur and tellurium.

Согласно представлениям А. И. Грабежева и др. [1] оруденение Березняковского месторождения относится к верхней части протяженной по вертикали медно-порфировой системы. Руды штокверкового типа располагаются в субвулканическом штоке диоритовых порфиритов и локализируются в зонах рассланцевания, брекчирования и гидротермального изменения (пропилиты, кварц-серицитовые с парагонитом метасоматиты, березиты). Макроскопически это породы с рассеянно-гнездовой вкрапленностью пирита (от 2—5 до 70—80 %) и обилием участков существенно кварцевого состава, кварц-карбонатных прожилков и гнезд. К наиболее окварцованным породам тяготеют выделения сфалерита и блеклых руд (почти до массивных).

Ранее минеральный состав руд изучал В. П. Молошаг с соавторами [2]. Ими установлено, что продуктивность руд связана с золото-теллуридно-сфалерит-теннантитовой минеральной ассоциацией, включающей самородные золото и теллур, ртутистый электрум, гессит, алтаит, петцит (нами не подтвержден).

Рудная минерализация месторождения сформирована одноэтапно в две основные стадии. В раннюю стадию образуются зоны рассеянно-гнездовой вкрапленности пирита, сопряженные с хлоритизацией и серицитизацией пород. В позднюю стадию отлагаются минералы полиметаллической ассоциации, сопровождающиеся окварцеванием и карбонатизацией. Они отчетливо корродируют пирит ранней стадии, залечивают в нем трещины. На флангах рудной зоны, вне связи с рудными минералами, встречены примазки реальгара в трещинах вмещающих пород.

Пирит ранней стадии — наиболее распространенный рудный минерал, содержание его в рудах достигает до 70—80 %. Основная масса его представлена агрегатами метакристаллов с размерами отдельных индивидов 0.05—0.2 мм, развивающимися по пириту глобулярного строения. В зальбандах кварцевых гнезд, кварц-карбонатных и карбонатных прожилков метакристаллический пирит заметно укрупняется с инверсией морфологии кристаллов от пентагондодекаэдров до кубов.

В составе полиметаллической минеральной ассоциации выделены три парагенезиса рудных минералов, отражающих неоднородность условий рудоотложения в отдельных участках рудных зон (табл. 1). Основные минералы всех трех парагенезисов (в порядке уменьшения количеств): блеклая руда, сфалерит, халькопирит, пирит, галенит. Блеклая руда в первом парагенезисе представлена Zn-теннантитом и Zn-теннантит-тетраэдритом, в двух других — только Zn-теннантитом. Изредка в составе блеклых руд фиксируется примесь серебра (до 0.38 %). Сфалерит всегда маложелезистый (не более 1.1 % железа), содержит также примеси меди (до 2 %), кадмия (до 0.3 %) и ртути (до 0.4 %). Пирит отличается от более раннего повышенной мышьяковистостью (до 1.1 %).

Особенностью золото-полиметаллического парагенезиса является отсутствие в его составе теллуридных минералов. В золото-теллуридно-полиметаллическом парагенезисе присутствует как золото, часто с высокими содержаниями ртути — до 14.3 % по данным [2], так и теллуриды. Последние представлены алтаитом, гесситом, пильзенитом. В теллуридно-полиметаллическом парагенезисе самородное золото отсутствует, но развиты его теллуридные формы — калаверит, креннерит и сильванит. Эти минералы ассоциируют также с самородным теллуром [2].

Таблица 1

Минеральные парагенезисы и условия образования  
полиметаллической ассоциации Березняковского  
месторождения

Минералы	Парагенезисы		
	Золото-полиметаллический	Золото-теллуридно-полиметаллический	Теллуридно-полиметаллический
Блеклые руды	+++	+++	+++
Сфалерит	++	++	++
Пирит	++	++	++
Халькопирит	++	++	++
Галенит	+	+	+
Самородное золото	+	+	
Алтаит		+	+
Гессит		+	
Пильзенит		+	
Айкинит		+	
Самородный теллур			+
Калаверит			+
Сильванит			+
Креннерит			+

Условия образования:

P, кбар	0.2-0.3		0.2-0.4
T°C	267-348		307-353
LogfS <sub>2</sub> , атм	-7-10		-9-11.5
LogfTe <sub>2</sub> , атм	менее -11	-8-9	-5.5-8

Примечание: Минералы, встречающиеся в количествах: +++ более 10%, ++ более 1%, + менее 1%.

Редкие минералы полиметаллической минеральной ассоциации исследовались на рентгеноспектральном микроанализаторе JXA-5. Операторы В. А. Вилисов и Т. Я. Гуляева. Условия анализа: ускоряющее напряжение 20 кв, стандарты Au, Ag, Bi, HgTe, GaSb, InAs, PbS, CuFeS<sub>2</sub>.

**Минералы золота и серебра.** Золото и серебро концентрируются в рудах в самородном и теллуридном состоянии. Частицы самородного золота золото-полиметаллического парагенезиса мелкие (5—10 мкм, очень редко более); обычно выполняют вместе с блеклой рудой интерстициальные пространства в агрегатах перекристаллизованного пирита. Они имеют очень высокую пробу (970—984) и

содержат в качестве примесей серебро (1.4—2.8 %), медь (0.03—0.17 %) и ртуть (0.07—0.14 %) (табл. 2).

Самородное золото золото-теллуридно-полиметаллического парагенезиса, напротив, низкопробно — 620—858 вплоть до ртутистого электрума (табл. 2, ан. 6). Это также мелкие частицы (первые десятки мкм), часто в сростках с гесситом, заключенные в теннантите.

Необходимо отметить, что приводимые в работе [2] данные о повышенных содержаниях в золоте меди (см. табл. 2, ан. 4, 5) могут быть обусловлены вторичным возбуждением электронов примыкающей к мелким золотицам блеклой руды или обогащением медью золота за счет диффузии ее из этого минерала.

Из других золото-серебряных минералов в рудах присутствуют сильванит  $(Au, Ag)_2Te_4$ , креннерит  $AuTe_2$ , гессит  $Ag_2Te$ , а также по данным [2] калаверит  $AuTe_2$  и неподтвержденный анализом петцит  $Ag_3AuTe_2$ . Кристаллы и неправильной формы частицы этих минералов образуют включения в блеклой руде или кварце. Размер их не превышает 0.15 мм, обычно 0.01—0.05 мм. Зафиксированы сростания сильванита с самородным теллуrom (рис. 1), гессита с золотом. Химический состав золото-серебряных теллуридов приведен в таблице 3. Соотношения компонентов близки к стехиометрическим.

**Самородный теллур.** Обнаружен в существенно блёклорудных интервалах в ассоциации с сильванитом, креннеритом, алтаитом. Его достоверные находки на Урале

Таблица 2  
Химический состав самородного золота  
Березняковского месторождения

№ п/п	№ скв. и глубина, м	Химический состав, мас.%					Проба
		Au	Ag	Cu	Hg	Сумма	
1	206 <sup>a</sup> /99.0	97.37	1.38	0.03	0.14	98.92	984
2		97.47	2.13	0.05	0.14	100.09	974
3	206/80.5	97.51	2.77	0.17	0.07	100.52	970
4	56/457.0	79.88	17.40	1.54	0.0	98.82	808
5		84.87	12.50	1.51	0.0	98.88	858
6	56/474.0	61.73	23.59	-	14.29	99.61	620

Примечание: Анализы 1—3 — золото-полиметаллический парагенезис; 4—6 — золото-теллуридно-полиметаллический [2].

Химический состав золото-серебряных теллуридов  
Березняковского месторождения

№ п/п	Минерал	Химический состав мас. %						Сумма
		Cu	Au	Ag	Hg	Sb	Te	
1	Калаверит	0.0	44.05	0.0	1.18	-	54.30	99.53
2	Сильванит	0.82	23.78	12.20	0.08	0.45	62.16	99.49
3	То же	0.49	24.07	12.33	0.20	0.47	62.57	100.13
4	"	0.59	23.30	12.25	0.24	0.46	62.60	99.44
5	Креннерит	1.33	36.74	4.14	0.0	0.48	57.98	100.66
6	То же	0.59	37.11	4.29	0.13	0.47	58.32	100.91
7	"	0.35	37.30	4.16	0.18	0.41	58.14	100.54
8	Гессит	0.0	0.0	62.20	-	-	36.83	99.03
9	То же	0.0	0.06	62.72	-	-	37.24	100.02

Примечание: Анализы: 1—скв. 56, гл. 474.0 м [2]; 2—7—скв. 206<sup>а</sup>, гл. 96.0 м; 8—скв. 206, гл. 106.2 м; 9—скв. 206, гл. 83.5 м.

известны лишь в Гагарском золоторудном месторождении [3]. Представлен кристаллами или неправильной формы выделениями в кварце, теннантите (см. рис. 1), прожилках теннантита в пирите. Размер выделений до 0.1 мм. Микроанализом 10 зерен самородного теллура в них установлены примеси серебра (0.03—0.08 %) и меди (до 1.14 %). Последняя характерна только для выделений теллура в теннантите или находящихся с ним в сростаниях. В. П. Молошагом с соавторами [2] в самородном теллуре зафиксированы примеси висмута (0.11—0.13 %) и ртути (0.18 %).

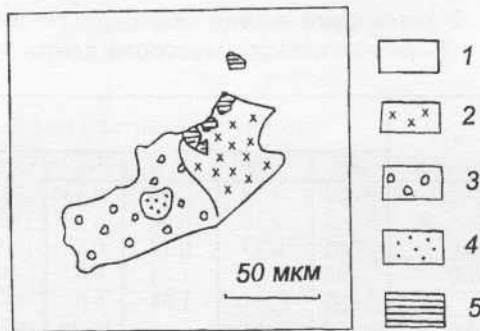


Рис. 1. Сросток сильванита и самородного теллура в теннантите Березняковского месторождения. 1—теннантит, 2—сильванит, 3—самородный теллур, 4—сфалерит, 5—пирит.

Таблица 4

Химический состав теллуридов свинца и висмута  
Березняковского месторождения

№ п/п	Минерал	Химический состав, мас. %							
		Bi	Pb	Cu	Ag	Hg	Sb	Te	Сум ма
1	Алтаит	0.0	59.84	0.88	0.07	0.32	0.28	38.15	99.54
2	То же	0.0	61.07	0.0	0.43	-	-	38.25	99.75
3	Пильзенит	64.86	0.09	0.0	0.0	0.28	0.31	33.26	98.80
4	То же	65.94	0.12	0.0	0.0	0.26	0.26	33.49	100.07
5	То же	65.56	0.11	0.0	0.0	0.27	0.22	33.65	99.81
6	То же	65.41	0.11	1.15	0.0	0.28	0.28	33.03	100.26

Примечание. Анализы: 1 — скв. 206<sup>а</sup>, гл. 96.0 м; 2 — скв. 206, гл. 83.5 м; 3 — 6 — скв. 210, гл. 192.5 м.

**Алтаит** PbTe. Наиболее часто встречающийся минерал среди теллуридов, ассоциирующий как с самородным теллуром, так и с самородным золотом. Образует изометричные выделения размером до 0.1 мм в блеклой руде, пирите или кварце. Химический состав алтаита отвечает стехиометрическим соотношениям. В качестве примесей (десятые доли %) в нем зафиксированы медь, серебро, ртуть, сурьма (табл. 4).

**Айкинит** CuPbBiS<sub>3</sub>. Ассоциирует с пильзенитом. Кристаллы или изометрично-неправильные выделения его размером 30—50 мкм заключены в блеклой руде. Оптическая диагностика минерала (серый, с высоким отражением, сильно анизотропный) подтверждена микросондовым анализом одного зерна (мас. %): Cu 10.46; Fe 0.35; Pb 36.05; Bi 36.89; Te 0.13; S 16.57; сумма 100.45. Кристаллохимическая формула (Cu<sub>0.93</sub>Fe<sub>0.04</sub>)<sub>0.97</sub>Pb<sub>1.01</sub>Bi<sub>1.02</sub>Te<sub>0.01</sub>S<sub>3.00</sub>.

К редким минералам можно отнести также минерал ряда люционит-фаматинит. Развита преимущественно в рудах с теллуридными парагенезисами, однако не входит в состав полиметаллической минеральной ассоциации, поскольку отчетливо развивается по теннантиту. Обычно представлен узкими (до 10—20 мкм) каймами на теннантите; реже каймы разрастаются внутрь выделений блеклой руды до размеров 0.1—0.15 мм. Минерал розовато-фиолетового цвета, сильно анизотропный. По данным микросондового анализа имеет промежуточный состав между фаматинитом и люционитом (мас. %): Cu 45.66; Zn 0.36; Sb 14.02;

As 10.41; Te 0.12; S 30.62; сумма 101.19. Кристаллохимическая формула почти идеальна:  $Cu_{2.92}Zn_{0.02}Sb_{0.49}As_{0.58}S_{4.00}$ .

В заключение отметим, что описанные минералы образовались в диапазоне температур 270—350° С и невысоких давлений 0.2—0.4 кбар, что установлено нами с использованием доломит-кальцитовых равновесий [4]. Различия минерального состава в парагенезисах обусловлены локально проявленными неоднородностями условий отложения; в первую очередь активностей серы и теллура (см. табл. 1), установленных на базе сульфидно-теллуридных равновесий при 30° С [5].

## Литература

1. Грабежев А. И., Молошаг В. П. Цинк-медь-серебро-золотое оруденение Томинского медно-порфирирового рудного узла (Южный Урал) // Докл. АН. 1993. Т. 330. № 3. С. 349—351.
2. Молошаг В. П., Грабежев А. И., Гуляева Т. Я. Золото-теллур-теллуридная ассоциация Березняковского месторождения (Южный Урал) // Ежегодник—1992/Институт геологии и геохимии. Екатеринбург, 1993. С. 109 — 110.
3. Рябинин В. Ф., Мурзин В. В. Редкие теллуриды в золоторудном проявлении Урала. // Минералы месторождений Урала. Свердловск: УНЦ АН СССР. 1987. С. 42—45.
4. Таланцев А. С. Термобарогеохимия по доломит-кальцитовым парагенезисам. Москва: Наука, 1981.
5. Afifi A. M., Kelly W. C., Essen E. J. Phase relation among Tellurides, Sulfides and Oxides: 1. Thermochemical Data and Calculated Equilibria // Econ. Geol. 1988. V. 83. P. 377—394.