

УДК 549.355:553.411.071 (574.2)

БЛЁКЛЫЕ РУДЫ ПЛУТОНОГЕННОГО ГИПАБИССАЛЬНОГО ЗОЛОТО-АНТИМОНИТОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КВАРЦИТОВЫЕ ГОРКИ (СЕВЕР ЦЕНТРАЛЬНОГО КАЗАХСТАНА)

С.В. Филимонов, Э.М. Спиридонов
Московский государственный университет, mineral@geol.msu.ru

В статье приведены новые данные по минеральным ассоциациям, эволюции, макро- и микроэлементному составу блёклых руд плутоногенного гидротермального месторождения золота Кварцитовые Горки — наименее глубинного в Североказахстанской золоторудной провинции.

Изученные блёклые руды стехиометричны по составу, их кристаллы часто зональные, характерно плавное изменение состава от зоны к зоне. Блёклые руды бедны Bi, Te, Se, Tl, Cd, Sn, содержания Au, Pb, Ni, Co, Ge, In в них ниже чувствительности анализа.

Наиболее разнообразны блёклые руды продуктивной ассоциации. Более ранние из них обогащены ртутью, особенно в наименее глубинном рудном теле IV (до 7 мас. %). В блёклых рудах поздних зарождений продуктивной ассоциации содержания ртути ниже в десятки раз. Эволюция блёклых руд продуктивной ассоциации промышленных рудных тел I и IV различна: в IV рудном теле от ранних зарождений к поздним постепенно увеличиваются содержания серебра и сурьмянистость; в глубокопроникающем рудном теле I от ранних зарождений к позднему при росте содержания серебра сурьмянистость снижалась. Именно среди позднего зарождения блёклых руд в рудном теле I развит аргентотеннантит.

В статье 8 таблиц, 2 рисунка и список литературы из 8 наименований.

Блёклые руды $(\text{Cu}^{1+}, \text{Ag}, \text{Tl}, \text{Au})_{10} (\text{Zn}, \text{Fe}, \text{Cu}^{2+}, \text{Hg}, \text{Cd}, \text{Pb}, \text{Mn}, \text{Ni}, \text{Co})_2 (\text{As}, \text{Sb}, \text{Bi}, \text{Te}, \text{Ge}, \text{In})_4 (\text{S}, \text{Se})_{13}$ — распространённые минералы многих плутоногенных и вулканогенных гидротермальных месторождений золота (Спиридонов, 1987; Чвилева и др., 1988; и др.). Благодаря широко проявленному изоморфизму, состав блёклых руд отражает условия и эволюцию процессов рудообразования (Charlat and Levy, 1974; Мозгова, Цепин, 1983; Спиридонов, 1985). Блёклые руды широко развиты в гидротермальных месторождениях золота Северного Казахстана.

Североказахстанская золоторудная провинция (СКЗП) — самая крупная в каледонидах Центрального Казахстана; она включает однотипные месторождения позднеордовикской плутоногенной золото-кварцевой формации различных фаций глубинности: гип-, мезо- и абиссальной (Спиридонов, 1995). В данной статье приведены новые данные по минеральным ассоциациям, эволюции, макро- и микроэлементному составу блёклых руд наименее глубинного в этой провинции крупного месторождения Кварцитовые Горки.

Геология месторождения Кварцитовые Горки

Месторождение расположено в восточной части Степнякского синклинория, в узле пересечения Целиноградского глубинного разлома и регионального Атансорского сбросо-сдвига, в его опущенном крыле (Спиридонов и др., 1986). Этим обусловлена сохран-

ность Кварцитовых Горок от эрозии. Большую часть объёма месторождения слагают вулканы базальтового, пикритового, андезитового и дацитового состава аксуйской серии $\text{C}_3\text{-O}_1$ и перекрывающие их граувакки уштоганской свиты верхов O_1 . В зоне Целиноградского разлома находятся многочисленные тектонические клинья гнейсов, кристаллических сланцев и амфиболитов PR, фтанитов и углеродистых кремнистых, терригенных и карбонатных пород V- C_2 . Мелкие интрузивы принадлежат аксуйскому и крыккудукскому комплексам. Аксуйский O_1 комплекс представлен штоками габбро-долеритов, размером от десятков метров до первых км, прорывающими вулканы. Крыккудукский O_3 комплекс (440–450 млн. лет) представлен многофазными телами кварцевых габбро-диоритов, тоналитов, гранодиоритов дайко- и трубообразной формы, площадью до 0.3 км², и послеинтрузивными дайками гранитоид-порфиоров, микродиоритов и спессартитов. Мощность даек — до первых метров, длина — до первых сотен метров. Дайки широко распространены в рудных телах месторождения, где их большая часть — дорудные, часть — внутрирудные, небольшая часть — послерудные. Становление крыккудукского комплекса завершили гидротермалиты пропилитовой и березит-лиственитовой формаций. Пропилиты малоглубинной эпидот-хлоритовой фации распространены на всей площади Кварцитовых Горок. Поля более молодых березитов и лиственитов

Таблица 1. Химический состав (мас.%) теннантита (ан.1-6) и тетраэдрита (ан.7) первого зарождения ранней карбонат – полисульфидной ассоциации Кварцитовых Горок

Анализы 1	2	3	4	5	6	7
Элементы						
Cu	44.92	44.98	42.19	42.89	40.83	39.43
Ag	0.18	—	0.04	0.39	0.05	0.11
Tl	—	—	0.13	—	0.20	0.08
Zn	2.53	2.02	5.34	3.11	5.21	3.86
Fe	4.59	5.41	2.84	4.08	2.79	3.40
Hg	—	0.20	—	0.31	0.09	0.04
Cd	—	—	0.02	—	0.04	—
As	17.29	16.63	14.19	13.20	12.11	11.08
Sb	4.37	4.39	7.78	9.94	11.90	13.20
Bi	—	—	0.09	—	0.06	0.05
Te	—	—	0.01	—	—	0.08
Sn	—	—	0.02	—	0.10	0.03
S	28.35	28.49	28.42	27.61	26.77	26.80
Se	—	—	0.06	—	0.10	0.04
Сумма	102.23	102.12	101.10	101.53	100.24	101.34
Формульные единицы в расчете на 29 атомов						
Cu ¹⁺	9.98	10.00	9.94	9.95	9.95	9.80
Ag	0.02	—	—	0.05	0.01	0.02
Tl	—	—	0.01	—	0.02	—
Сумма	10.00	10.00	9.95	10.00	9.98	9.82
Zn	0.57	0.45	1.22	0.72	1.23	0.93
Fe	1.20	1.42	0.76	1.10	0.77	0.97
Cu ²⁺	0.38	0.35	—	0.25	—	—
Hg	—	0.01	—	0.03	0.01	—
Cd	—	—	—	—	0.01	—
Сумма	2.15	2.23	1.98	2.10	2.02	1.90
As	3.38	3.25	2.83	2.66	2.50	2.34
Sb	0.53	0.53	0.96	1.24	1.53	1.72
Bi	—	—	0.01	—	—	—
Te	—	—	—	—	—	0.01
Sn	—	—	—	—	0.01	—
Сумма	3.91	3.78	3.80	3.90	4.04	4.07
S	12.95	12.99	13.26	13.01	12.94	13.20
Se	—	—	0.01	—	0.02	0.01
Сумма	12.95	12.99	13.27	13.01	12.96	13.21
Sb #	13	14	25	32	38	42
Cu #	18	16	0	12	0	0

Примечание: прочерк – элемент не обнаружен. Au, Pb, Ni, Co, In, Ge – не обнаружены. Sb # = Sb / (As + Sb), %, Cu # = Cu²⁺ / (Zn + Fe + Cu²⁺ + Hg + Cd), %. Нумерация анализов в таблицах сквозная

(445 – 450 млн. лет), включая золотоносные метасоматиты с прожилково-вкрапленной минерализацией, контролирует система крупных разрывов – ответвлений зоны Целиноградского глубинного разлома. Месторождение включает 9 штокверковых рудных тел. Промышленные рудные тела (Кварцитовые Горки I и IV) приурочены к тектоническим блокам молибден-ванадиеносных фтанитов-радиоляритов, фтанитов-спонголитов, пирит-углеродисто-кремнистых сланцев E₂. При процессах березитизации эти породы превращены в березиты – микрокварциты, которые отчетливо проявлены в рельефе. Отсюда и название месторождения.

Месторождение практически не затронуто эпигенетическим метаморфизмом.

Минеральные ассоциации рудных тел

Процесс рудообразования имел многостадийный характер. Развита минеральные ассоциации: 1) реликтовых минералов; 2) березитов, листовитов и сопряженных кварцевых и анкерит-кварцевых прожилков (кварц, анкерит, мусковит, фенгит, фуксит, хлориты, пиррофиллит, рутил); 3) ранних сульфидов (пирит, арсенопирит, каолинит, анатаз); 4) ранняя кальцит-полисульфидная (главные минералы – пирротин, кубанит, халькопирит, борнит, пирит, графитоид, подчиненные – Fe-сфалерит, арсенопирит, галенит, герсдорфит, Ni-Co-пирит, блѣкые руды); 5) поздняя кальцит-полисульфидная (Sb-As-пирит, Sb-арсенопирит, сфалерит); 6) продуктивная золото-антимонитовая (антимонит, бертьерит, джемсонит, цинкениит, бурнонит, халькостибит, блѣкые руды, Hg-золото, андорит, рощинит, миаргирит и др.) (Назьмова и др., 1971; Спиридонов и др., 1986; Спиридонов, 1995). Первые четыре ассоциации однотипны в пределах всего месторождения. Пирротин, кубанит, халькопирит, борнит и галенит ранней кальцит-полисульфидной ассоциации сохранились в основном на периферии Кварцитовых Горок. В пределах рудных столбов минеральные агрегаты первых четырех ассоциаций брекчированы и частично или полностью замещены сростаниями сферокристаллов (рудное тело IV) и/или мелких кубов (рудное тело I) Sb-As-пирита, короткопризматического Sb-арсенопирита, маложелезистого сфалерита, антимонита. Здесь же широко развиты реакционные минералы – продукты воздействия Au-Sb растворов на ранние сульфиды: бертьерит (по пирротину), цинкениит и джемсонит (по галениту), халькостибит и тетраэдрит (по халькопириту, борниту, кубаниту). Продуктивные ассоциации Кварцитовых Горок I и IV отличаются, в рудном теле I нет андорита, рощинита и миаргирита, но развит аргентотеннантит (Спиридонов и др., 1986) в ассоциации с Hg-золотом и галенитом.

Условия формирования месторождения

По геологическим данным (Спиридонов и др., 1986), месторождение возникло на глубинах 1 – 2 км в обстановке сжатия. Рудное тело IV образовано в менее глубинных условиях, промышленное оруденение в нём установлено до глубины 600 м. Рудное тело I образовано в более глубинных условиях, промышленное оруденение в нём прослежено до глубины бо-

Таблица 2. Химический состав (мас.%) теннантита (ан.8-10) и тетраэдрита (ан.11-19) второго зарождения ранней карбонат-полисульфидной ассоциации Кварцитовых Горк

Элементы	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Cu	40.37	38.88	39.49	39.42	38.60	39.05	37.38	36.59	36.79	35.50	35.60	36.30
Ag	2.03	2.13	2.15	2.21	1.87	2.44	1.46	1.60	1.75	2.59	2.45	2.36
Tl	—	—	—	—	—	—	0.18	0.09	0.02	0.08	—	0.08
Zn	3.89	4.09	4.24	5.43	3.30	4.84	6.87	5.57	5.40	4.13	4.31	5.08
Fe	2.98	3.45	3.46	2.54	4.15	2.97	1.12	1.60	1.95	2.53	2.31	2.39
Hg	—	—	0.02	—	—	—	0.20	0.11	—	0.36	0.89	0.32
Cd	—	—	—	—	—	—	—	0.01	—	—	—	0.03
As	14.07	11.70	11.03	9.58	8.54	7.00	3.63	2.60	2.39	1.09	1.06	0.04
Sb	8.01	11.72	13.03	15.69	16.58	19.10	23.97	25.80	26.36	27.88	27.75	29.12
Bi	—	—	—	—	—	—	0.04	0.06	—	0.08	0.17	0.06
Te	—	—	—	—	—	—	—	0.08	—	0.02	—	0.07
Sn	—	—	—	—	—	—	0.14	0.12	0.12	0.17	0.20	0.16
S	26.39	26.30	26.46	26.18	26.13	26.59	25.68	25.26	25.13	24.95	24.49	24.73
Se	—	—	—	—	—	—	0.06	0.06	—	0.05	0.02	—
Сумма	97.74	98.27	99.88	101.05	99.17	101.99	100.73	99.56	99.92	99.44	99.24	100.74
Формульные единицы в расчете на 29 атомов												
Cu ¹⁺	9.70	9.69	9.69	9.68	9.71	9.64	9.60	9.58	9.61	9.43	9.54	9.58
Ag	0.30	0.31	0.31	0.32	0.28	0.36	0.22	0.25	0.28	0.40	0.39	0.36
Tl	—	—	—	—	—	—	0.01	0.01	—	0.01	—	0.01
Сумма	10.00	10.00	10.00	10.00	9.99	10.00	9.83	9.84	9.89	9.84	9.93	9.95
Zn	0.94	0.99	1.02	1.31	0.81	1.16	1.71	1.42	1.37	1.07	1.12	1.30
Fe	0.84	0.98	0.97	0.71	1.18	0.84	0.33	0.48	0.58	0.76	0.70	0.71
Cu ²⁺	0.28	0.02	0.07	0.09	—	0.02	—	—	—	—	—	—
Hg	—	—	—	—	—	—	0.02	0.01	—	0.03	0.08	0.03
Cd	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.01
Сумма	2.06	1.99	2.06	2.11	1.99	2.02	2.06	1.91	1.95	1.86	1.90	2.05
As	2.95	2.48	2.31	2.01	1.82	1.47	0.79	0.58	0.52	0.25	0.24	0.01
Sb	1.02	1.52	1.68	2.03	2.18	2.47	3.21	3.53	3.60	3.87	3.88	4.02
Bi	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.01	0.01	—
Te	—	—	—	—	—	—	—	0.01	—	—	—	0.01
Sn	—	—	—	—	—	—	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02
Сумма	3.99	4.00	3.99	4.04	4.00	3.94	4.02	4.14	4.14	4.15	4.16	4.06
S	12.95	13.01	12.95	12.85	13.02	13.04	13.07	13.11	13.02	13.14	13.00	12.94
Se	—	—	—	—	—	—	0.01	0.01	—	0.01	—	—
Сумма	12.95	13.01	12.95	12.85	13.02	13.04	13.08	13.12	13.02	13.15	13.01	12.94
Sb #	26	38	42	50	54	63	80	86	87	94	94	100
Cu #	14	1	3	4	0	1	0	0	0	0	0	0

Примечание: Au, Pb, Ni, Co, In, Ge — не обнаружены

лее 1300 м без явных признаков вертикальной минерально-геохимической зональности. По результатам изучения флюидных включений с жидкой углекислотой в раннем кварце, температура его образования 310–290°C, давление — 0.3 кбар для Кварцовой Горки IV и 0.5–0.6 кбар для Кварцовой Горки I, солёность растворов KCl–NaCl–MgCl₂ составляла 3–8% эквивалента NaCl. Продуктивная минеральная ассоциация возникла из растворов близкого состава, без жидкой углекислоты, при температуре 195–160°C (Спиридонов, 1995).

Блёклые руды месторождения Кварцитовые Горки

Химический состав блёклых руд изучался на электронных микрозондах с волновым анализатором SAMECA SX-50 (аналитик Н.Н. Кононкова) и Camebax (аналитик Э.М. Спи-

ридонов). Условия проведения анализов: ускоряющее напряжение — 20 kV, ток — 30 нА. Анализ на все химические элементы осуществлялся по двум программам без изменения положения зонда (в одной точке). В качестве эталонов использовались: Cu (K α) — CuSbS₂, Ag (L α) — Ag, Tl (M α) — TlAsS₂, Au (L α) — Au, Fe (K α) — FeS₂, Zn (K α) — ZnS, Pb (M α) — PbS, Hg (L α) — HgS, Cd (L α) — Cd, Mn (K α) — MnTiO₃, Ni (K α) — Ni, Co (K α) — Co, As (L α) — AsGa, Sb (L α) — CuSbS₂, Te (L α) — Te, Bi (M α) — Bi, Sn (L α) — SnO₂, Ge (L α) — Ge, S (K α) — CuSbS₂, Se (L α) — Se. Нижняя граница определяемых содержаний для элементов определяемых по K линии ~ 0.02 мас.%, по L линии ~ 0.1 мас.%, по M линии ~ 0.3 мас.%.

Номенклатура блёклых руд дана по работе Спиридонова (1985).

Блёклые руды ранней карбонат-полисульфидной ассоциации. Эти блёклые руды

Таблица 3. Химический состав (мас.%) ртутисто-цинкистых теннантита (ан.20-27) и тетраэдрита (ан.28-31) первого зарождения продуктивной ассоциации в сростании с антимонитом, джемсонитом, цинкенимом, низкосеребристым Hg-золотом, Кварцитовая Горка IV

Элементы	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Cu	38.53	35.98	34.34	35.09	38.03	35.87	34.78	36.09	35.21	34.56	35.74	35.37
Ag	2.82	4.83	4.79	5.24	3.39	4.83	5.07	4.78	5.50	5.74	4.13	3.02
Tl	—	—	—	—	—	0.12	0.09	—	—	—	—	—
Zn	6.44	4.97	5.39	5.10	6.64	5.89	5.19	5.56	5.25	5.43	4.89	3.51
Fe	1.13	1.15	1.07	1.61	0.87	0.58	0.65	1.50	1.64	1.45	1.92	2.69
Hg	2.40	5.79	6.80	4.68	2.23	3.76	4.77	2.97	3.43	4.49	3.12	3.50
Cd	—	—	—	—	—	0.06	0.04	—	—	—	—	—
As	12.45	11.24	11.00	10.81	10.98	10.37	10.08	9.34	8.36	7.55	6.19	2.66
Sb	10.98	11.52	11.40	11.91	12.51	12.90	12.94	14.16	15.79	17.18	19.29	24.14
Bi	—	—	—	—	—	0.05	0.07	—	—	—	0.22	0.22
Te	—	—	—	—	—	—	0.08	—	—	—	—	—
Sn	—	—	—	—	—	0.04	0.15	—	—	—	—	—
S	26.64	25.47	25.20	24.94	26.46	25.48	24.80	25.40	25.26	24.86	25.12	24.55
Se	—	—	—	—	—	—	0.07	—	—	—	—	—
Сумма	101.39	100.95	99.99	99.38	101.11	99.94	98.79	99.80	100.44	101.26	100.62	99.66
Формульные единицы в расчете на 29 атомов												
Cu ¹⁺	9.50	9.25	8.97	9.15	9.47	9.25	9.19	9.27	9.13	9.04	9.32	9.47
Ag	0.41	0.73	0.74	0.80	0.50	0.73	0.78	0.73	0.84	0.88	0.63	0.48
Tl	—	—	—	—	—	0.01	0.01	—	—	—	—	—
Сумма	9.91	9.98	9.71	9.95	9.97	10.00	9.98	10.00	9.97	9.92	9.95	9.95
Zn	1.54	1.24	1.37	1.29	1.61	1.48	1.33	1.39	1.32	1.38	1.24	0.91
Fe	0.32	0.34	0.32	0.48	0.25	0.17	0.20	0.44	0.48	0.43	0.57	0.81
Cu ²⁺	—	—	—	—	—	—	—	0.02	—	—	—	—
Hg	0.19	0.47	0.56	0.39	0.17	0.31	0.40	0.24	0.28	0.37	0.26	0.30
Cd	—	—	—	—	—	0.01	0.01	—	—	—	—	—
Сумма	2.05	2.05	2.25	2.16	2.03	1.96	1.94	2.09	2.09	2.18	2.07	2.02
As	2.60	2.45	2.44	2.39	2.32	2.27	2.26	2.04	1.84	1.67	1.37	0.61
Sb	1.41	1.55	1.55	1.62	1.63	1.74	1.78	1.90	2.15	2.35	2.62	3.37
Bi	—	—	—	—	—	—	0.01	—	—	—	0.02	0.02
Te	—	—	—	—	—	—	0.01	—	—	—	—	—
Sn	—	—	—	—	—	0.01	0.02	—	—	—	—	—
Сумма	4.02	4.00	3.99	4.01	3.95	4.01	4.08	3.94	3.97	4.02	4.01	4.00
S	13.02	12.97	13.05	12.88	13.05	13.03	12.98	12.96	12.97	12.88	12.97	13.03
Se	—	—	—	—	—	—	0.02	—	—	—	—	—
Сумма	13.02	12.97	13.05	12.88	13.05	13.03	13.00	12.96	12.97	12.88	12.97	13.03
Sb#	35	39	39	40	41	43	44	48	54	58	66	85
Cu#	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0

Примечание: Au, Pb, Ni, Co, In, Ge — не обнаружены.

не отличаются большим разнообразием по набору микропримесей в пределах всего месторождения. Наиболее ранние из них (первое зарождение) ассоциируют с кубанитом, Ni—Co-пиритом, халькопиритом, образая и замещая его, слагают в нём прожилки. По составу это цинкистый и железистый теннантит, реже тетраэдрит, с умеренной медистостью (Cu^{2+}/Me^{2+} , %) от 0 до 18%, с низкими содержаниями Ag (менее 0.4 мас.%), Hg и Tl, бедные Cd, Bi, Sn, Te, Se (табл. 1). Более поздние — цинкистые теннантит и преобладающий тетраэдрит второго зарождения — слагают микропрожилки в халькопирите и раннем теннантите. Блѣкые руды второго зарождения несколько богаче Ag (1.5—2.6 мас.%) и Sn (0.1—0.2 мас.%), бедны Hg, Tl, Cd, Bi, Te, Se (табл. 2), медистость у них низкая.

Блѣкые руды продуктивной ассоциации заметно разнятся в рудных телах IV и I.

Кварцитовая Горка IV. Блѣкые руды слагают ксеноморфные выделения до 20—40 мм, обычно 0.05—3 мм, в гнездах кальцита совместно с антимонитом, сульфосолями Pb—Sb, Pb—Fe—Sb, Pb—Cu—Sb и Ag—Pb—Sb, ртутистым золотом.

Наиболее широко распространены и образуют наиболее крупные выделения блѣкые руды первого зарождения, ассоциирующие с антимонитом, цинкенимом, джемсонитом, халькостибитом, низкосеребристым Hg-золотом. Они содержат реликты халькопирита, арсенопирита и железистого сфалерита. Контакты кристаллов блѣклой руды и антимонита являются индукционными поверхностями совместного роста. По составу блѣкые руды отвечают ртутисто-цинкистым теннантиту и тетраэдриту с умеренным содержанием Ag (3—6 мас.%) (табл. 3). Внешние зоны кристаллов более сурьмянистые.

Таблица 4. Химический состав (мас.%) цинкистого и железистого тетраэдрита второго зарождения продуктивной ассоциации в сростании с антимонитом, фаматинитом, высокосеребристым и богатым ртутью золотом, Кварцитовая Горка IV

Элементы	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41
Cu	33.69	32.54	30.75	32.82	32.10	32.32	32.89	33.72	31.06	31.27
Ag	6.44	7.05	9.75	7.26	8.28	8.30	5.07	4.90	7.80	7.83
Tl	—	—	0.02	—	—	—	0.01	0.04	—	—
Zn	5.74	5.67	2.71	5.23	4.38	4.17	3.48	3.65	3.23	3.23
Fe	2.71	2.67	3.91	2.86	3.21	3.20	3.23	2.96	3.52	3.35
Hg	1.22	2.03	0.36	1.61	1.47	1.66	0.12	—	0.06	0.20
Cd	—	—	0.07	—	—	—	—	—	—	—
As	4.97	4.91	3.50	3.09	2.97	2.94	0.89	0.69	0.45	0.44
Sb	21.62	22.23	23.40	22.56	23.53	24.12	27.65	28.81	28.28	28.52
Bi	—	—	0.14	—	—	—	0.27	0.09	—	0.14
Te	—	—	0.04	—	—	—	0.05	0.03	0.04	0.06
Sn	—	—	0.16	—	—	—	0.16	0.11	0.17	0.16
S	25.21	25.19	24.40	24.93	23.89	24.87	24.64	24.69	23.88	23.72
Se	—	—	0.03	—	—	—	0.02	0.03	—	0.03
Сумма	101.60	102.29	99.23	100.36	99.83	101.58	98.46	99.71	98.50	98.94
Формульные единицы в расчете на 29 атомов										
Cu ¹⁺	8.72	8.46	8.30	8.67	8.66	8.54	8.90	9.04	8.54	8.61
Ag	0.98	1.08	1.55	1.13	1.32	1.29	0.81	0.77	1.26	1.27
Tl	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Сумма	9.71	9.54	9.85	9.80	9.98	9.83	9.71	9.81	9.81	9.88
Zn	1.44	1.43	0.71	1.34	1.15	1.07	0.91	0.95	0.86	0.86
Fe	0.80	0.79	1.20	0.86	0.99	0.96	0.99	0.90	1.10	1.05
Cu ²⁺	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Hg	0.10	0.17	0.03	0.13	0.13	0.14	0.01	—	0.01	0.02
Cd	—	—	0.01	—	—	—	—	—	—	—
Сумма	2.34	2.39	1.95	2.34	2.26	2.17	1.92	1.85	1.97	1.93
As	1.09	1.08	0.80	0.69	0.68	0.66	0.20	0.16	0.11	0.10
Sb	2.92	3.02	3.30	3.11	3.31	3.33	3.91	4.03	4.06	4.10
Bi	—	—	0.01	—	—	—	0.02	0.01	—	0.01
Te	—	—	0.01	—	—	—	0.01	—	0.01	0.01
Sn	—	—	0.02	—	—	—	0.02	0.02	0.02	0.02
Сумма	4.01	4.10	4.14	3.80	3.99	3.98	4.16	4.21	4.20	4.24
S	12.94	12.98	13.05	13.06	12.77	13.02	13.21	13.11	13.02	12.94
Se	—	—	0.01	—	—	—	—	0.01	—	0.01
Сумма	12.94	12.98	13.06	13.06	12.77	13.02	13.21	13.12	13.02	12.95
Sb#	73	74	80	82	83	83	95	96	97	98
Cu#	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Примечание: Au, Pb, Ni, Co, In, Ge — не обнаружены

Блёклые руды второго зарождения, ассоциирующие с антимонитом, фаматинитом и богатым серебром Hg-золотом, представлены цинкистым и железистым (указывается только преобладающий в данной позиции элемент, в отличие от номенклатуры Э.М.Спиридонова) высоко сурьмянистым тетраэдритом, содержащим 5–10 мас.% Ag, до 2 мас.% Hg, бедным Bi (табл. 4). Внешние зоны кристаллов блёклой руды почти не содержат As.

Блёклые руды третьего зарождения, ассоциирующие с антимонитом, андоритом, роцинитом, обогащёнными ртутью золотом и электрумом, — это железистый высоко сурьмянистый тетраэдрит, богатый Ag (9–15 мас.%), содержащий до 2 мас.% Hg (табл. 5). Внешние зоны кристаллов блёклой руды практически не содержат As.

Для блёклых руд IV рудного тела характерна положительная корреляция содержания Fe и Ag.

Кварцитовая Горка I. Размер блёклых руд продуктивной ассоциации микроскопической. В ассоциации с антимонитом и низко серебристым Hg-золотом развиты блёклые руды первого зарождения, представленные цинкистым и железистым мышьяковистым тетраэдритом, содержащим 3–8 мас.% Ag, до 2 мас.% Hg (табл. 6).

В ассоциации с высоко серебристым Hg-золотом развиты блёклые руды второго зарождения — богатые серебром цинкистые тетраэдрит и аргентотетраэдрит, содержащий до 31 мас.% Ag и 0.4 мас.% Cd (табл. 7). Для этих блёклых руд характерны низкие содержания Hg (0.1–0.3 мас.%). Аргентотетраэдрит слагает внешние зоны кристаллов блёклой руды.

Таблица 5. Химический состав (мас.%) железистого тетраэдрита третьего зарождения продуктивной ассоциации в сростании с андоритом, рощинитом, высокортугистым золотом, Кварцитовая Горка IV

Элементы	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53
Cu	29.42	31.77	27.43	28.58	28.52	30.28	27.81	28.55	27.99	28.37	28.39	27.78
Ag	11.32	9.41	13.36	14.51	13.20	11.46	11.81	11.79	14.12	12.55	13.81	13.53
Pb	—	—	—	—	—	—	0.19	0.17	—	0.02	—	—
Zn	2.68	2.67	2.97	3.1	2.49	2.78	2.60	3.46	2.65	2.58	2.72	2.94
Fe	4.39	4.04	3.91	3.25	4.33	3.86	3.68	3.03	3.81	3.62	3.95	3.38
Hg	1.73	0.67	1.85	0.91	1.22	0.74	0.15	0.43	0.58	0.53	0.49	0.79
Cd	—	0.01	—	—	—	0.06	0.05	0.06	—	0.06	—	0.13
As	4.92	4.66	3.12	2.55	2.37	2.09	0.77	0.67	0.64	0.65	0.22	0.07
Sb	20.94	21.15	23.13	24.13	24.41	24.87	27.24	27.66	26.81	27.58	27.78	26.94
Bi	—	—	—	—	—	—	0.08	0.03	—	—	—	—
Te	—	—	—	—	—	—	0.01	0.06	—	0.05	—	—
Sn	—	—	—	—	—	—	0.16	0.11	—	0.15	—	—
S	24.42	24.56	23.87	24.43	24.08	24.17	23.76	23.37	23.76	23.82	23.82	23.39
Se	—	—	—	—	—	—	—	0.05	—	—	—	—
Сумма	99.82	98.94	99.64	101.46	100.62	100.31	98.30	99.43	100.36	99.98	101.18	98.95
Формульные единицы в расчете на 29 атомов												
Cu ¹⁺	7.92	8.50	7.56	7.69	7.77	8.17	7.78	7.96	7.70	7.85	7.77	7.76
Ag	1.80	1.48	2.17	2.31	2.12	1.83	1.95	1.94	2.30	2.04	2.23	2.24
Pb	—	—	—	—	—	—	0.02	0.01	—	—	—	—
Сумма	9.71	9.98	9.73	10.00	9.88	10.00	9.74	9.91	10.00	9.89	10.00	10.00
Zn	0.70	0.69	0.80	0.81	0.66	0.73	0.71	0.94	0.71	0.69	0.73	0.80
Fe	1.34	1.23	1.23	1.00	1.34	1.19	1.17	0.96	1.20	1.14	1.23	1.08
Cu ²⁺	—	—	—	0.03	—	0.03	—	—	0.03	—	0.02	0.04
Hg	0.15	0.06	0.16	0.08	0.11	0.06	0.01	0.04	0.05	0.05	0.04	0.07
Cd	—	—	—	—	—	0.01	0.01	0.01	—	0.01	—	0.02
Сумма	2.19	1.98	2.18	1.93	2.11	2.03	1.90	1.95	1.98	1.89	2.02	2.01
As	1.12	1.06	0.73	0.58	0.55	0.48	0.18	0.16	0.15	0.15	0.05	0.02
Sb	2.94	2.95	3.33	3.40	3.47	3.52	3.98	4.03	3.86	3.98	3.98	3.95
Bi	—	—	—	—	—	—	0.01	—	—	—	—	—
Te	—	—	—	—	—	—	—	0.01	—	0.01	—	—
Sn	—	—	—	—	—	—	0.02	0.02	—	0.02	—	—
Сумма	4.07	4.01	4.06	3.99	4.02	4.00	4.19	4.21	4.01	4.16	4.03	3.97
S	13.03	13.02	13.03	13.09	12.99	12.98	13.17	12.92	13.00	13.06	12.95	13.02
Se	—	—	—	—	—	—	—	0.01	—	—	—	—
Сумма	13.03	13.02	13.03	13.09	12.99	12.98	13.17	12.93	13.00	13.06	12.95	13.02
Sb #	72	74	82	85	86	88	96	96	96	96	99	100
Cu #	0	0	0	2	0	2	0	0	1	0	1	2

Примечание: Au, Pb, Ni, Co, In, Ge — не обнаружены

В наиболее богатых рудных столбах рудного тела I развита ассоциация блѣкых руд третьего зарождения с галенитом и поздними Hg-золотом и Hg-электрумом. Сростания этих минералов образуют мелкие (60–100 микрон) метасоматические вроски в пирите. Блѣкые руды по составу это цинкистые сурьмянистый аргентотеннантит (до 34 мас.% Ag) и мышьяковистый аргентотетраэдрит (до 39 мас.% Ag) (табл. 8). Аргентотетраэдрит образует обособленные выделения и каймы вокруг кристаллов аргентотеннантита. Для поздних блѣкых руд характерны устойчивая примесь Cd (0.10–0.12 мас.%), крайне низкие содержания Hg, а также заметная медистость, что выделяет их среди иных блѣкых руд продуктивной ассоциации.

Поздняя продуктивная минерализация с высоко серебристыми блѣклыми рудами

встречена на различных горизонтах I рудного тела: от поверхности до глубин 950 м.

Эволюция состава блѣкых руд

Блѣкые руды допродуктивной ассоциации — теннантит и в меньшей степени тетраэдрит, бедные Ag, Hg, Cd, умеренно медистые. Блѣкые руды продуктивной ассоциации обогащены Ag, зачастую Hg, крайне низко медистые. Последнее свидетельствует о низком окислительном потенциале рудоносных растворов.

Блѣкые руды продуктивной ассоциации рудного тела IV — обогащенные серебром тетраэдрит, реже теннантит. Блѣкые руды продуктивной ассоциации рудного тела I — тетраэдрит, реже аргентотеннантит и аргентотетраэдрит. В ходе рудообразования от

Таблица 6. Химический состав (мас.%) цинкистого и железистого тетраэдрита первого зарождения продуктивной ассоциации, Кварцитовая Горка I

Элементы	54	55	56	57	58	59
Cu	35.89	35.21	34.59	34.80	35.24	31.95
Ag	3.96	5.23	4.34	3.54	3.33	8.27
Tl	0.06	—	0.14	—	—	—
Zn	6.75	5.64	6.67	3.52	3.44	6.03
Fe	0.58	2.36	0.89	3.80	3.49	1.13
Hg	1.76	0.49	0.52	1.72	1.73	0.05
Cd	0.04	—	0.06	—	—	—
As	8.33	4.41	2.06	2.04	1.37	0.58
Sb	16.53	22.25	26.11	26.18	27.38	27.36
Bi	0.05	—	0.11	—	—	—
Te	0.05	—	0.06	—	—	—
Sn	0.06	—	0.13	—	—	—
S	25.99	24.67	24.93	24.64	25.18	23.87
Se	0.05	—	0.03	—	—	—
Сумма	100.08	100.26	100.65	100.24	101.16	99.24
Формульные единицы в расчете на 29 атомов						
Cu ¹⁺	9.18	9.19	9.13	9.22	9.26	8.67
Ag	0.60	0.81	0.68	0.56	0.52	1.33
Tl	—	—	0.01	—	—	—
Сумма	9.78	10.00	9.82	9.78	9.78	10.00
Zn	1.68	1.43	1.71	0.91	0.88	1.60
Fe	0.17	0.70	0.27	1.15	1.04	0.36
Cu ²⁺	—	0.02	—	—	—	0.07
Hg	0.14	0.04	0.04	0.14	0.14	—
Cd	0.01	—	0.01	—	—	—
Сумма	2.00	2.19	2.03	2.20	2.06	2.03
As	1.81	0.98	0.46	0.46	0.31	0.13
Sb	2.20	3.04	3.60	3.62	3.75	3.91
Bi	—	—	0.01	—	—	—
Te	0.01	—	0.01	—	—	—
Sn	0.01	—	0.02	—	—	—
Сумма	4.03	4.02	4.10	4.08	4.06	4.04
S	13.18	12.79	13.04	12.94	13.11	12.93
Se	0.01	—	0.01	—	—	—
Сумма	13.19	12.79	13.05	12.94	13.11	12.93
Sb#	55	76	89	89	92	97
Cu#	0	1	0	0	0	3

Примечание: Au, Pb, Ni, Co, In, Ge – не обнаружены

первого зарождения к третьему в блёклых рудах возрастали концентрации серебра (рис. 1 b-d).

Наибольшая концентрация ртути установлена в блёклых рудах продуктивной ассоциации наименее глубинного рудного тела IV. В ходе рудообразования от первого зарождения ко второму и третьему в блёклых рудах снижались концентрации ртути (рис. 1 a, d). Ртуть перераспределялась в самородное золото.

Сурьмянистость блёклых руд продуктивной ассоциации рудного тела IV возрастала от первого зарождения к третьему. Это стандартный тренд эволюции состава блёклых руд (Charlat and Levy, 1974; Мозгова и Цепин, 1983; Спиридонов, 1987; Чвилёва и др., 1988 и др.). Сурьмянистость блёклых руд продуктивной ассоциации рудного тела I от первого и

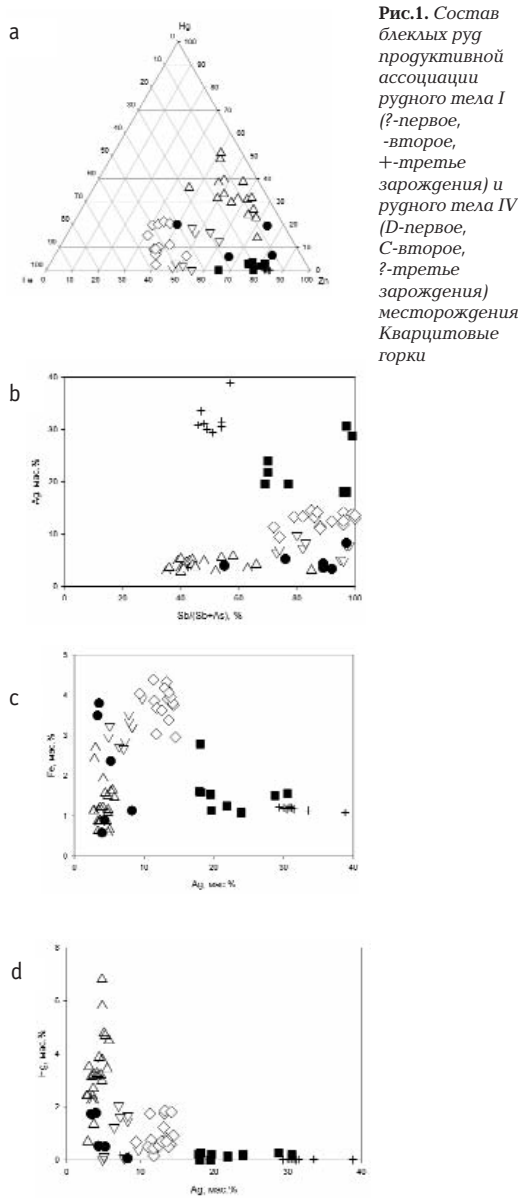


Рис.1. Состав блёклых руд продуктивной ассоциации рудного тела I (?-первое, -второе, +-третье зарождения) и рудного тела IV (D-первое, C-второе, ?-третье зарождения) месторождения Кварцитовые горки

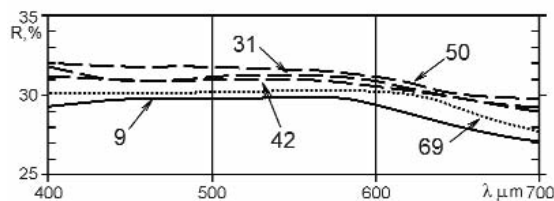


Рис.2. Спектры отражения теннантита (№ 9), тетраэдрита (№№ 31, 42, 50) и аргенттеннантита (№ 69) месторождения Кварцитовые горки. Номера спектров отвечают номерам анализов в таблицах

Таблица 7. Химический состав (мас.%) цинкистых тетраэдрита (ан.60-66) и аргентотетраэдрита (ан.67-68) второго зарождения продуктивной ассоциации, Кварцитовая Горка I

Элементы	60	61	62	63	64	65	66	67	68
Cu	24.51	21.15	22.72	24.40	23.45	23.97	23.15	14.83	16.35
Ag	19.52	23.93	21.87	19.65	18.18	17.93	18.06	30.57	28.79
Pb	—	—	—	—	0.09	0.18	0.12	—	0.10
Zn	5.62	5.67	5.67	5.86	5.24	5.51	5.25	5.37	5.74
Fe	1.53	1.08	1.25	1.13	1.59	1.60	2.78	1.56	1.50
Hg	—	0.18	0.12	0.20	0.27	0.22	—	0.18	0.26
Cd	—	0.41	0.25	0.24	0.25	0.18	0.18	0.31	0.24
As	5.31	4.94	4.94	3.85	0.61	0.60	0.61	0.41	0.24
Sb	19.05	18.93	19.18	20.72	26.93	26.59	27.30	25.66	26.07
Bi	—	—	—	—	0.12	0.07	0.06	0.13	0.15
Te	—	—	—	—	—	0.11	0.06	0.05	0.06
Sn	—	—	—	—	0.15	0.16	0.14	0.11	0.13
S	23.45	23.12	23.50	23.53	23.25	23.61	23.17	22.52	22.19
Se	0.08	—	0.02	0.01	0.02	—	0.02	—	0.03
Сумма	99.07	99.41	99.52	99.59	100.11	100.74	100.89	101.69	101.85
Формульные единицы в расчете на 29 атомов									
Cu ¹⁺	6.80	6.00	6.37	6.77	6.66	6.73	6.52	4.36	4.80
Ag	3.20	4.00	3.61	3.23	3.04	2.96	2.99	5.30	4.98
Pb	—	—	—	—	0.01	0.02	0.01	—	0.01
Сумма	10.00	10.00	9.98	10.00	9.71	9.71	9.52	9.66	9.79
Zn	1.52	1.56	1.54	1.59	1.45	1.50	1.44	1.54	1.64
Fe	0.49	0.34	0.40	0.36	0.51	0.51	0.88	0.53	0.50
Cu ²⁺	0.02	0.01	—	0.04	—	—	—	—	—
Hg	—	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	—	0.02	0.02
Cd	—	0.07	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.05	0.04
Сумма	2.03	2.00	1.99	2.05	2.02	2.06	2.35	2.12	2.20
As	1.25	1.19	1.17	0.91	0.15	0.14	0.14	0.10	0.07
Sb	2.77	2.80	2.81	3.02	3.99	3.90	4.02	3.94	3.99
Bi	—	—	—	—	0.01	0.01	—	0.01	0.01
Te	—	—	—	—	—	0.02	0.01	0.01	0.01
Sn	—	—	—	—	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Сумма	4.02	3.99	3.98	3.93	4.17	4.09	4.19	4.08	4.10
S	12.93	13.01	13.05	13.02	13.09	13.14	12.92	13.13	12.90
Se	0.02	—	—	—	—	—	0.01	—	0.01
Сумма	12.95	13.01	13.05	13.02	13.09	13.14	12.93	13.13	12.91
Sb #	69	70	70	77	96	96	97	97	99
Cu #	1	0	0	2	0	0	0	0	0

Примечание: Au, Pb, Ni, Co, In, Ge — не обнаружены

второго зарождения к третьему заметно снизилась, именно здесь развит аргентотеннантит. Возможно, такой тренд эволюции блѣклых руд характерен для относительно развитых на глубину месторождений, каким является Кварцитовая Горка I.

Физические свойства блѣклых руд

Спектры отражения теннантитов, содержащих сурьму и практически не содержащих Ag и Hg, характеризуются наличием пологого максимума в желто-зелѣной области и заметным снижением отражения в красной области (рис. 2, образец ан. 9), чем обусловлен зеленоватый оттенок минерала в отраженном свете. Спектры отражения ртутистого теннантита, независимо от его сурьмянистости, выделяются заметным максимумом в желтой области, прогибом в зелѣной и снижением отражения в красной области. Такие особенности спектра отражения проявлены уже у блѣклых руд с 3–4 мас.%. Hg (образец ан. 31). Спектр отражения аргентотеннантита иной, в

синей и желто-зелѣной областях имеет выпрямленный профиль, аналогичный обогащенному серебром тетраэдриту, в красной области отражение аргентотеннантита сильно снижается (образец ан. 69), этим обусловлен голубоватый оттенок минерала. В тетраэдриках с ростом содержания серебра до 30% отражение заметно увеличивается, форма спектра меняется мало (образцы ан. 42 и 50).

Параметр элементарной ячейки изученных блѣклых руд увеличивается от теннантита (10.294(2)Å, образец ан. 9) к тетраэдриту (10.401(2)Å, образец ан. 31) (дифрактометр ДРОН-4,5; Со-антикатод; внутренний эталон α-кварц; параметры решетки рассчитаны методом наименьших квадратов). При вхождении в блѣклые руды крупного катиона серебра параметр элементарной ячейки увеличивается у тетраэдрита до 10.417(1)Å (8% Ag, образец ан. 36), 10.452(2)Å (11% Ag, образец ан. 42) и 10.518(2)Å (14% Ag, образец ан. 50), у теннантита — до 10.583(2)Å (аргентотеннантит, образец ан. 69).

Таблица 8. Химический состав (мас.%) цинкистых аргентотеннантита (ан.69-72) и аргентотетраэдрита (ан.73--75) третьего зарождения продуктивной ассоциации, Кварцитовая Горка I

Элементы	69	70	71	72	73	74	75
Cu	17.21	15.60	16.76	17.11	17.78	17.78	11.64
Ag	30.87	33.54	31.13	30.07	30.48	31.48	38.86
Zn	5.93	5.44	5.81	5.98	6.23	6.23	5.81
Fe	1.21	1.13	1.19	1.19	1.17	1.17	1.08
Hg	0.02	0.02	—	0.02	0.02	0.01	—
Cd	0.11	0.10	0.10	0.12	0.12	0.12	0.12
As	9.02	8.80	8.72	8.52	7.66	7.66	6.89
Sb	12.64	12.59	12.98	13.34	14.74	14.74	14.83
S	22.87	22.66	22.82	22.90	23.08	23.08	21.92
Se	—	—	—	0.02	0.02	0.01	—
Сумма	99.88	99.88	99.51	99.27	101.30	102.28	101.15
Формульные единицы в расчете на 29 атомов							
Cu ¹⁺	4.84	4.32	4.76	4.88	4.95	4.81	3.26
Ag	5.16	5.68	5.24	5.06	5.05	5.19	6.74
Сумма	10.00	10.00	10.00	9.94	10.00	10.00	10.00
Zn	1.64	1.52	1.61	1.65	1.70	1.69	1.66
Fe	0.39	0.37	0.39	0.39	0.38	0.37	0.36
Cu ²⁺	0.04	0.16	0.02	—	0.05	0.16	0.17
Hg	—	—	—	—	—	—	—
Cd	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Сумма	2.09	2.07	2.04	2.06	2.15	2.24	2.21
As	2.17	2.14	2.11	2.06	1.83	1.82	1.72
Sb	1.87	1.89	1.94	1.99	2.16	2.15	2.28
Сумма	4.04	4.03	4.05	4.05	3.99	3.97	4.00
S	12.86	12.90	12.91	12.95	12.86	12.79	12.79
Se	—	—	—	—	—	—	—
Сумма	12.86	12.90	12.91	12.95	12.86	12.79	12.79
Sb#	46	47	48	49	54	54	57
Cu#	2	8	1	0	2	7	8

Примечание: Au, Tl, Pb, Ni, Co, Bi, Te, Sn, In, Ge — не обнаружены

Микротвёрдость блёклых руд уменьшается в ряду теннантит — тетраэдрит, от 365 (образец ан. 9) до 330, 318 и 308 кгс/мм² (образцы ан. 7, 18 и 31). Она минимальна у высокосеребристых блёклых руд — 307 и 302 кгс/мм² (аргентотеннантит, образцы ан. 69 и 70).

Выводы

Месторождение Кварцитовые Горки — наименее глубинное из плутоногенных месторождений золота, своеобразно по составу и эволюции состава блёклых руд. Изученные блёклые руды по составу стехиометричны, их кристаллы часто зональные по составу, характерно плавное изменение состава от зоны к зоне. Блёклые руды бедны Bi, Te, Se, Tl, Cd, Sn, содержания Au, Pb, Ni, Co, Ge, In в них ниже чувствительности анализа.

Наиболее разнообразны блёклые руды продуктивной ассоциации. Более ранние из них обогащены ртутью, особенно в менее глубинном рудном теле IV (до 7 мас.%). В блёклых рудах поздних зарождений продуктивной ассоциации содержания ртути ниже

десять раз. Эволюция блёклых руд продуктивной ассоциации промышленных рудных тел I и IV различна: в IV рудном теле от ранних зарождений к поздним постепенно увеличиваются содержания серебра и сурьмянистость; в глубокопроникающем рудном теле I от ранних зарождений к позднему при росте содержания серебра сурьмянистость снизилась. Именно среди позднего зарождения блёклых руд в рудном теле I развит аргентотеннантит.

Литература

- Мозгова Н.Н., Цепин А.И. Блёклые руды. М.: Наука, 1983. 280 с.
- Назымова Г.Н., Шалаев Ю.С. Минеральные ассоциации золоторудных месторождений Северного Казахстана // Вестник МГУ. Сер. геол. 1971. № 2. С. 98 — 103.
- Спиригонов Э.М. Виды и разновидности блёклых руд и рациональная номенклатура минералов группы. Некоторые замечания об условиях их образования // Новые данные о минералах СССР. 1985. Вып. 32. С. 128 — 146.
- Спиригонов Э.М. Типоморфные особенности блёклых руд некоторых плутоногенных, вулканогенных, телетермальных месторождений золота // Геология рудных месторождений. 1987. Т. 29. № 6. С. 83 — 92.
- Спиригонов Э.М. Инверсионная плутоногенная золото-кварцевая формация каледонид Северного Казахстана // Геология рудных месторождений. 1995. Т. 37. № 3. С. 179 — 207.
- Спиригонов Э.М., Соколова Н.Ф., Ганеев А.К., Дашевская Д.М., Евстигнеева Т.Л., Чвилева Т.Н., Демидов В.Г., Балашов Е.П., Шульга В.И. Новый минерал — аргентотеннантит // Доклады АН СССР. 1986. Т. 290. № 1. С. 206 — 210.
- Спиригонов Э.М., Филиппов М.П., Балашов Е.П. Месторождение Кварцитовые Горки // Геология золоторудных месторождений СССР. М.: Недра, 1986. Т. II. С. 75 — 86.
- Чвилева Т.Н., Безсмертная М.С., Спиригонов Э.М., Агроскин А.С., Папаян Г.В., Виноградова Р.А., Лебедева С.И., Завьялов Е.Н., Филимонова А.А., Петров В.К., Раутиан Л.П., Свешникова О.Л. Справочник-определитель рудных минералов в отраженном свете. М.: Недра, 1988. 504 с.
- Charlat M., Levy C. Substitutions multiples dans la serie tennantite-tetraedrite // Bulletin Societe francaise de Mineralogie et de Cristallographie. 1974. Vol. 97. P. 241 — 250.