

- логр. и кристаллохим. Изд-во ЛГУ, 1973, вып. 2.
11. Cser F., Maucha L. Contribution on the origin of the excentric concretions. — In: Proc. 4-th Intern. Congress of Speleology, III. Lyubljana, 1968.
 12. Princ W. Les cristallisation des grottes de Belgique. — Soc. belge geol., Memoir., 1958.
 13. Малеев М. Свойства и генезис природных нитевидных кристаллов и их агрегатов. М.: Наука, 1971.
 14. Юшкин Н.П. Теория микроблочного роста кристаллов в природных гетерогенных растворах. Сыктывкар, 1971.
 15. Дымков Ю.М., Дымкова Г.А. Признаки многократного растворения кристаллов берилла. — В кн.: Онтогенетические методы изучения минералов. М.: Наука, 1970.

УДК 549.355 + 553.252.1

Э.М. СПИРИДОНОВ

О ВИДАХ И РАЗНОВИДНОСТЯХ БЛЕКЛЫХ РУД И РАЦИОНАЛЬНОЙ НОМЕНКЛАТУРЕ МИНЕРАЛОВ ГРУППЫ. НЕКОТОРЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ ОБ УСЛОВИЯХ ОБРАЗОВАНИЯ БЛЕКЛЫХ РУД

Минералы групп блеклых руд отличаются сложностью состава, широко распространены в месторождениях различных типов, в ряде месторождений они являются ведущим носителем полезных ископаемых — ртути, серебра и др.

Вопрос о составе и классификации блеклых руд широко обсуждался в литературе, выделено несколько десятков разновидностей [8], выделяются новые [4, 5, 10, 31, 38, 52]. Одни исследователи доказывают наличие разрывов в изоморфных сериях, другие показывают их непрерывность, по разному понимаются пределы вариаций состава блеклых руд, роль в их составе теллура, золота, других элементов, неоднозначно решается вопрос о стехиометрии состава блеклых руд.

Благодаря применению электронно-зондового микроанализа появилось значительное число высококачественных анализов блеклых руд из широкого круга месторождений, достаточное для решения ряда проблем минералогии блеклых руд. Этим вопросам и посвящена статья.

Общий вид формулы блеклых руд, по Ф. Махачки и данным работ [39, 1, 48, 45, 46, 49, 29, 42, 25, 41, 17] $Me_{10}^{1+} Me_2^{2+} X_4^{3+} Y_{13}^{2-}$, где Y = S, Se; X = As, Sb, Bi, Te; Me^{1+} = Cu, Ag; Me^{2+} = Fe, Zn, Cu, Hg и др. Этот вид формулы подтвержден результатами сотен высокоточных микрозондовых анализов. Следует отметить, что впервые правильные формулы были предложены еще в 1888 г. Г. Чермаком [47]:

- | | |
|-------------------------|--|
| 1. Обычная блеклая руда | $3Cu_3SbS_3 + CuZn_2SbS_4 = Cu_{10}Zn_2Sb_4S_{13}$ |
| 2. Спаниолит | $3Cu_3SbS_3 + CuHg_2SbS_4 = Cu_{10}Hg_2Sb_4S_{13}$ |
| 3. Фрейбергит | $3Ag_3SbS_3 + CuFe_2SbS_4 = (Ag_9Cu)_{10}Fe_2Sb_4S_{13}$ |
| 4. Теннантит | $3Cu_3AsS_3 + CuFe_2AsS_4 = Cu_{10}Fe_2As_4S_{13}$ |

О КОМПОНЕНТАХ БЛЕКЛЫХ РУД

Мышьяк. Содержания мышьяка колеблются от следов до 21% вес. *Сурьма.* Содержания сурьмы составляют от следов до 29%. *Висмут.* Содержания висмута в блеклых рудах составляет от следов до 18—20% [13,4]. Висмут в блеклых рудах помещен в позицию X в работе [36].

Теллур. Количество теллура в блеклых рудах варьирует от следов до 24% [16, 11, 34, 28]; Те изоморфно замещает Sb и As. *Германий* в количестве до 1,1% отмечен в некоторых типах блеклых руд, в которых, как и в колусите, германий, очевидно, находится в позиции X (табл. 4). *Молибден*, установленный в ряде образцов в количестве до 0,7% (табл. 4), может находиться в позиции X. *Ванадий* может находиться в той же позиции; он установлен в ряде образцов в количестве 0,0n%. *Сера.* Количество серы в обычных типах блеклых руд составляет 24—28%. *Селен.* Содержания селена в обычных блеклых рудах не превышают 0,0n%, в исключительных случаях — в хакитах достигают 38% и даже 41% (жиродит) (табл. 4). Селен изоморфно замещает серу. *Медь.* Большая часть блеклых руд весьма богата медью — 40—50 мас.%, на ряде месторождений они являются ведущим минералом меди. По данным [47, 39, 1, 48] медь заполняет позицию Me_{10}^{1+} , нередко частично или полностью заполняет и позицию Me_{2}^{2+} . По данным экспериментальных работ [46, 43] чисто медистые тетраэдриты $Cu_{12}Sb_4S_{13}$ и особенно обогащенные медью тетраэдриты неустойчивы при низких температурах, тогда как тетраэдриты состава $Cu_{11.5}Fe_{0.5}Sb_4S_{13}$ и более железистые и цинкистые вполне устойчивы в широком диапазоне температур. Н.В. Белов [1] предположил возможную схему изоморфизма для меди в блеклых рудах: $2Cu^{2+} \rightleftharpoons Cu^{1+} + Cu^{3+}$; подобная степень окисления меди маловероятна. Более приемлема иная схема изоморфизма: $2Me_{2}^{2+} \rightleftharpoons Cu^{1+} + Fe^{3+}$ [30], хотя наличие Fe^{3+} в структуре блеклых руд точными методами не доказано. *Серебро.* Содержание Ag в блеклых рудах колеблется от следов до 50 мас.% [37], Ag изоморфно замещает медь в позиции Me^{1+} . *Золото.* В ряде блеклых руд установлены небольшие 0,0n—0,n% содержания Au, по-видимому, занимающего позицию Me^{1+} . Вопрос о блеклых рудах, богатых золотом [10], обсуждается ниже. *Таллий.* В позиции Me^{1+} может находиться и таллий, содержания которого достигают 2,6% (табл. 4). *Железо, цинк.* Содержания железа и цинка широко колеблются — от следов до ~ 2 ф.е.¹. Прецизионные анализы блеклых руд в [44, 29, 41, 25, 14, 18, 7] и многие другие не показывают содержаний Fe и Zn, превышающих заметно 2 ф.е. Данные о блеклых рудах, содержащих до 4 ф.е. Fe (14% мас.) [10] обсуждены ниже. *Ртуть.* Блеклые руды являются концентратом ртути на многих рудных месторождениях. Ртуть в блеклых рудах занимает позицию Me^{2+} [47, 39, 1, 2], хотя данные неорганической химии свидетельствуют, что устойчивы соединения Hg^{1+} . *Кадмий.* Содержания кадмия в тетраэдритах колеблются от следов до 11,5%, [38], что отвечает ~ 2 ф.е. В теннантитах Cd не концентрируется. *Марганец.* Количество марганца обычно составляет 0,0n%, изредка до 1,5%, по Дельтеру, и до 5,7% [50]. Марганец занимает позицию Me^{2+} . *Никель, кобальт.* Указывались тетраэдриты, содержащие до 4% Co и до 3,5% Ni (фригидит) — анализы 29 и 28 из [8]. Как показывают пересчеты, эти химические анализы отвечают смесям минералов. Современными методами пока не установлены блеклые руды, обогащенные Ni или Co. *Свинец.* По данным электронно-микронного анализа в большинстве случаев блеклые руды не содержат Pb. В очень редких случаях содержания Pb достигают 4,6 мас.% [51], что соответствует 0,35 ф.е. Свинец, вероятно, занимает позицию Me^{2+} . *Олово.* Количество олова изредка составляет 0,0n%, в исключительных случаях до 3 мас.% [16]. Олово может занимать позицию Me^{2+} , а может замещать As и Sb, как в колусите $Cu_{26}V_2(As, Sb, Sn, Ge)_6S_{32}$ и иных сложных сульфосолях. *Индий, галлий.* Следы этих элементов изредка присутствуют в составе блеклых руд.

О СТЕХИОМЕТРИИ СОСТАВА БЛЕКЛЫХ РУД

По данным большинства исследователей, состав природных блеклых руд весьма близок к стехиометрическому [44, 45, 49, 29, 42, 25, 41, 48, 6]; иные представления развиваются в работах [14, 15]. Экспериментальные исследования [46] показали, что тетраэдрит в системе Cu—Fe—Sb—S во всем интервале температур является

¹ Здесь и далее ф.е. — формульные единицы.

стехиометрической фазой с формулой $Cu_{12-x}Fe_xSb_4S_{13}$ ($x \leq 2$). Экспериментальные исследования [35, 43] систем $Cu-Sb-S$ и $Cu-As-S$ показали, что с понижением температуры синтеза до $300^\circ C$ состав синтетических медистых тетраэдрита и теннантита вплотную приближается к стехиометрическому $Cu_{12}Sb_4S_{13}$ и $Cu_{12}As_4S_{13}$, например, для тетраэдрита $Cu_{12,11}Sb_{4,00}S_{12,89}$ [43]. Блеклые руды, как правило, входят в состав поздних гидротермальных ассоциаций, температура образования которых обычно около $250-200^\circ C$, практически всегда в их составе есть железо. Таким образом, понятно имеющее место соответствие составов природных блеклых руд и блеклых руд, синтезированных при пониженных температурах, — те и другие имеют стехиометрический состав.

О КЛАССИФИКАЦИИ БЛЕКЛЫХ РУД

Классификация блеклых руд намечена ниже в соответствии с рекомендациями Международной минералогической ассоциации. В развитие рациональных предложений по номенклатуре блеклых руд, высказанных в [17, 12, 19], классификация блеклых руд проводится прежде всего по преобладающему элементу в позиции X. Выделяются следующие виды:

$Sb > As, Bi, Te$ — тетраэдриты; $As > Sb, Bi, Te$ — теннантиты;

$Bi > Sb, As, Te$ — анниты; $Te > Sb, As, Bi$ — голдфилдиты.

Поскольку изоморфных компонентов четыре на 4 ф.е., то встречаются случаи, когда к тетраэдриту (теннантиту...) относятся образцы, содержащие лишь немногим более 1 ф.е. Sb (1 ф.е. As ...).

В отношении As и Sb — подразделение общеизвестное. $Sb-As$ блеклые руды образуют непрерывный изоморфный ряд, важной характеристикой его членов явля-

Таблица 1

Химический состав сурьмянистых блеклых руд, мас. %

N пп	Минерал	Cu	Ag	Fe	Zn	Mn	Hg	Cd	Pb
1	Cu-тетраэдрит	45,39	—	1,32	—	—	—	—	0,11
2	Zn-Cu-тетраэдрит	41,55	—	1,02	2,63	—	—	—	0,62
3	Sn-Fe-Cu-тетраэдрит	43,65	0,18	2,39	0,13	—	—	—	—
4	Fe-тетраэдрит	39,63	0,47	6,67	0,29	0,06	0	0	0
5	Sn-Cu-Fe-тетраэдрит	42,99	0,20	4,01	0,23	—	—	—	—
6	Zn-Fe-тетраэдрит	38,56	0,21	4,88	2,80	0,05	0	0,08	0
7	Hg-Zn-Fe-тетраэдрит	37,52	0,26	3,04	2,20	—	5,81	0,04	—
8	Zn-Ag-Fe-тетраэдрит	35,54	6,20	3,86	3,31	—	—	—	—
9	Zn-тетраэдрит	38,52	0,08	0,94	7,05	—	—	—	—
10	Fe-Zn-тетраэдрит	40,91	0,23	2,57	4,85	—	0,80	—	—
11	Mn-Ag-Zn-тетраэдрит	37,22	1,51	0,80	6,59	0,69	—	—	0,33
12	Hg-Zn-тетраэдрит	37,4	0,21	0	4,57	—	8,51	—	—
13	Hg-тетраэдрит	34,3	0,32	0,25	0,38	—	20,5	—	—
14	Hg-тетраэдрит	35,16	0,08	0,85	0,32	—	18,29	0	—
15	Hg-тетраэдрит	34,65	0,21	0,86	0,75	—	16,47	0	—
16	Cu-Hg-тетраэдрит	35,12	—	1,14	—	—	12,15	—	—
17	Zn-Hg-тетраэдрит	33,97	0,06	1,38	2,34	—	11,18	0	—
18	Ag-Cd-тетраэдрит	30,41	6,00	0,34	0,07	—	—	11,70	—
19	Cu-Fe-Ag-тетраэдрит	30,56	15,26	3,51	Сл.	0,05	—	—	—
20	Zn-Fe-Ag-тетраэдрит	27,99	14,12	3,81	2,65	0	0,58	0	0
21	Zn-Cd-Ag-тетраэдрит	23,78	17,05	1,03	2,67	—	—	5,13	—
22	Hg-Ag-тетраэдрит	22,7	16,0	—	0,55	—	18,7	—	—
23	Se-Zn-Ag-тетраэдрит	24,51	19,52	1,53	5,62	0	0	0	0

Примечание. Кроме того: * — н.о. 3,92%; ²* — прочие 0,38%; ³* — Au 0,12%; ⁴* — Se 0,88%; + — данные автора.

ется их сурьмянистость $Sb_{ф.е.}/As_{ф.е.} + Sb_{ф.е.}\%$, иначе номер блеклой руды по [19] (табл. 1—5). Коэффициент сурьмянистости удобно приводить за названием минерала, например, железистый теннантит $Sb_{4,2}$. В табл. 1 приведены химические составы разновидностей тетраэдрита. Известны медистые тетраэдриты, содержащие 1—2 ф.е. Cu^{2+} (ан. 1—3, 19), тетраэдриты со значительными содержаниями ртути до 1,9 ф.е. (20,5 мас.%, ан. 13), кадмия до 1,91 ф.е. (11,7%, ан. 18), серебра и других элементов-примесей. В табл. 2 приведены составы разновидностей теннантита. Известны медистые теннантиты, содержащие 1,5—2 ф.е. Cu^{2+} (ан. 24, 25), теннантиты со значительными содержаниями ртути до 1,91 ф.е. (21,4 мас.%), серебра и других элементов.

В табл. 3 приведены составы висмутсодержащих блеклых руд. Для висмутистых блеклых руд по традиции используется название аннивита [17, 13]. Предлагается применять его для блеклых руд с $Bi > Sb, As, Te$ — ан. 35 (табл. 3), все прочие именовать висмут-содержащими (ан. 36—43, 47—50, 52, 54, 56). Интересно отметить, что установлены весьма богатые висмутом (12—20%) и теннантиты (ан. 37, 38) и тетраэдриты (ан. 36). Поэтому "общая" тенденция эволюции состава блеклых руд по [18] представляет частный случай.

Составы разновидностей теллуристых блеклых руд приведены в табл. 4. Изоморфный ряд теллуристый тетраэдрит — сурьмянистый голдфилдит наиболее полно охарактеризован в [16]. Кроме того, существуют мышьяковистые голдфилдиты и теллуристые теннантиты (табл. 4). Описаны [21] мышьяковистые тетраэдриты, примерно в равной степени обогащенные Te и Bi . Итак, для блеклых руд характерен широкий изоморфизм $Sb-As-Bi-Te$, к голдфилдитам принадлежат те из них, где $Te > Sb, As, Bi$. Характернейшей особенностью голдфилдитов и теллуристых тетраэдритов является обилие в их составе $Cu^{2+} = 1,2—2$ ф.е. (ан. 45—55), и ничтожное количество железа. Поэтому вызывает сомнение интерпретация данных в работе [10], где описан обычный голдфилдит без Fe и

Sn	As	Sb	Bi	Te	Ge	S	Сумма	Месторождение	Литературн. источник
—	—	28,85	—	—	—	24,48	100,15	Бур д'Уазан	8
—	—	28,32	0,83	—	—	24,33	99,30	Хорхаузен	8
2,95	7,43	19,25	—	0,69	—	25,72	102,38	Кочбулак	16
—	4,92	23,14	0	0	—	26,04	101,22	Аксу	+
1,58	7,24	19,95	—	0,07	—	26,12	102,4	Кочбулак	16
0,02	3,30	23,98	0,36	0	0,03	25,27	99,54	Кайрагач	21
—	0,80	29,19	0,25	—	—	24,19	103,30	Воси	14
—	5,54	20,38	—	—	—	25,63	100,46	Зменногорское	17
—	2,69	25,26	—	—	—	25,22	99,76	Дилленбург	8
—	9,03	15,77	—	—	—	26,34	100,50	Брикслегг	8
—	0,38	26,61	—	—	—	25,16	99,29	Ботес	8
—	7,40	16,4	0,45	—	—	24,6	99,5	Хайдаркан	18
—	4,99	18,3	—	—	—	22,1	101,1	Терлигхая	6
—	4,88	18,69	0,62	—	—	22,25	101,11	Рудняна	14
—	1,60	24,66	0	—	—	22,67	101,86	Якуба-Фоча	14
—	—	25,65	—	—	—	21,61	99,59*	Альсосайо	8
—	0	28,04	0	—	—	22,52	99,48	Сахалинское	14
—	1,12	27,14	—	—	—	22,42	99,58**	Гиндрам	38
—	сл.	27,73	—	—	—	23,15	100,26	Вольфах	8
0	0,64	26,81	0	0	0	23,76	100,48**	Кварцитовые Горки	+
—	0,06	27,10	—	—	—	22,44	99,74	Гиндрам	38
—	2,57	20,8	—	—	—	21,20	102,52	Чипровци	24
0	5,31	19,05	0	0	0	22,95	99,37**	Кварцитовые Горки	+

Таблица 1 (окончание)

Формульные единицы в расчете на 29 атомов

N пп	Минерал	Cu ¹⁺	Ag	Сумма	Cu ²⁺	Fe	Zn	Mn	Hg	Cd
1	Cu-тетраэдрит	10,00	—	10	2,06	0,04	—	—	—	—
2	Zn-Cu-тетраэдрит	10,00	—	10	1,08	0,31	0,68	—	—	—
3	Sn-Fe-Cu-тетраэдрит	9,97	0,03	10	0,96	0,67	0,03	—	—	—
4	Fe-тетраэдрит	9,93	0,07	10	—	1,90	0,07	0,02	—	—
5	Sn-Cu-Fe-тетраэдрит	9,97	0,03	10	0,68	1,13	0,05	—	—	—
6	Zn-Fe-тетраэдрит	9,93	0,03	9,96	—	1,43	0,70	0,01	—	0,01
7	Hg-Zn-Fe-тетраэдрит	9,96	0,04	10	0,02	0,92	0,57	—	0,49	0,01
8	Zn-Ag-Fe-тетраэдрит	9,07	0,93	10	0,01	1,13	0,82	—	—	—
9	Zn-тетраэдрит	9,98	0,01	9,99	—	0,27	1,78	—	—	—
10	Fe-Zn-тетраэдрит	9,97	0,03	10	0,17	0,72	1,17	—	0,06	—
11	Mn-Ag-Zn-тетраэдрит	9,77	0,23	10	0,01	0,24	1,68	0,21	—	—
12	Hg-Zn-тетраэдрит	9,97	0,03	10	0,04	—	1,19	—	0,72	—
13	Hg-тетраэдрит	9,94	0,03	10	0,09	0,08	0,11	—	1,90	—
14	Hg-тетраэдрит	9,99	0,01	10	0,16	0,28	0,09	—	1,67	—
15	Hg-тетраэдрит	9,96	0,03	9,99	—	0,28	0,21	—	1,51	—
16	Cu-Hg-тетраэдрит	10,00	—	10	0,56	0,39	—	—	1,16	—
17	Zn-Hg-тетраэдрит	9,79	0,01	9,80	—	0,45	0,66	—	1,02	—
18	Ag-Cd-тетраэдрит	8,77	1,02	9,79	—	0,11	0,02	—	—	1,91
19	Cu-Fe-Ag-тетраэдрит	7,49	2,51	10	1,04	1,12	—	—	—	—
20	Zn-Fe-Ag-тетраэдрит	7,69	2,30	10*	0,03	1,20	0,71	—	0,05	—
21	Zn-Cd-Ag-тетраэдрит	6,96	2,94	9,90	—	0,34	0,76	—	—	0,85
22	Hg-Ag-тетраэдрит	7,03	2,92	9,95	—	—	0,17	—	1,83	—
23	Zn-Ag-тетраэдрит	6,79	3,21	10	0,06	0,48	1,52	—	—	—

Примечание. Кроме того: * — Au 0,01; ^{2*} — Se 0,20.

ассоциирующей с ним голдфилдит, содержащий до 13,5 мас.% Fe (4,3 ф.е. !!) и одновременно до 11% Au (!), очень богатый и теллуrom и серой. Можно утверждать, что необычайно богатый железом и золотом "голдфилдит" не однородная фаза, а тонкая минеральная смесь, так как: а) в земных минералах не известен Fe¹⁺ (тем более совместно с Cu²⁺); б) о неоднородности свидетельствуют рентгенометрические данные; в) анализы этого "минерала" удовлетворительно пересчитываются на смесь голдфилдита, дисульфида железа и калаверита, например, анализ 2Б из [10] = 45% голдфилдита + 30% FeS₂ + 25% AuTe₂. Итак, достоверные данные о существовании богатого золотом голдфилдита пока не получены.

Недавно выделен селенистый член группы блеклых руд — хакит [31]. Наряду с известными сурьмянистыми хакитами установлены и Hg, Ag, Tl, Mo, Ge-содержащие хакиты (табл. 4). К хакиту весьма близок вновь выделенный жироидит [52], в котором As > Sb и мало Hg. Представляется целесообразным рассматривать жироидит как мышьяковистую разновидность хакита. Классификация блеклых руд по преобладающему элементу в позиции У выглядит так: Se ≥ S, т.е. Se ≥ ≥ 6,5 ф.е. — хакиты; S > Se — селенсодержащие блеклые руды. К настоящему времени известны ртутистые, серебряно-ртутистые (ан. 59), таллий-серебряно-ртутистые (ан. 60, 61), серебряно-медисто-цинкистые хакиты (ан. 62), селен-

Pb	Sn	Сумма	As	Sb	Bi	Te	Gc	Сумма	S	Sb/(As+Sb)
0,01	—	2,11	—	4,00	—	—	—	4,00	12,89	100
0,05	—	2,12	—	3,94	0,07	—	—	4,01	12,86	100
—	0,40	2,06	1,58	2,51	—	0,09	—	4,18	12,76	61,4
—	—	1,99	1,04	3,03	—	—	—	4,07	12,94	74,3
—	0,21	2,07	1,52	2,58	—	0,01	—	4,11	12,82	62,9
—	—	2,15	0,72	3,22	0,03	—	0,01	3,98	12,91	81,7
—	—	2,01	0,18	4,04	0,02	—	—	4,24	12,75	95,7
—	—	1,95	1,20	2,72	—	—	—	3,92	13,02	69,4
—	—	2,05	0,59	3,42	—	—	—	4,01	12,95	85,3
—	—	2,12	1,90	2,04	—	—	—	3,94	12,94	51,8
0,03	—	2,17	0,09	3,65	—	—	—	3,74	13,10	97,7
—	—	1,95	1,68	2,29	0,04	—	—	4,01	13,04	57,7
—	—	2,18	1,24	2,78	—	—	—	4,02	12,80	69,2
—	—	2,20	1,19	2,82	0,06	—	—	4,07	12,73	70,2
—	—	2,00	0,39	3,70	—	—	—	4,09	12,92	90,4
—	—	2,10	—	4,02	—	—	—	4,02	12,87	100
—	—	2,13	—	4,21	—	—	—	4,21	12,86	100
—	—	2,04	0,27	4,08	—	—	—	4,35	12,82	99,6
—	—	2,16	—	4,04	—	—	—	4,04	12,80	100
—	—	1,99	0,15	3,86	—	—	—	4,01	12,99	96,3
—	—	1,95	0,01	4,13	—	—	—	4,14	13,01	99,6
—	—	2,00	0,68	3,36	—	—	—	4,04	13,01	83,2
—	—	2,06	1,26	2,78	—	—	—	4,04	12,90 ^{2*}	68,8

содержащие тетраэдриты (ан. 55, 58, 64), теннантиты (ан. 63) и голфилдиты (ан. 46, 47, 49, 50, 52, 53).

От обычных тетраэдритов и блеклых руд промежуточного теннантит-тетраэдритового состава существует непрерывный ряд до весьма богатых серебром блеклых руд [8, 40, 3, 37]. По [40], с ростом содержаний серебра параметр решетки тетраэдрита растет до 20 мас.% Ag, при дальнейшем росте Ag параметр решетки снижается. Это послужило основой для проведения границы между тетраэдритом и фрейбергитом, который отвечает богатой Ag разновидности тетраэдрита. Однако, согласно [42], во всем диапазоне составов до 24% Ag, а по [53] вплоть до 36 мас. % Ag параметр решетки тетраэдрита возрастает линейно. Очевидно необходимость дальнейших рентгенометрических исследований блеклых руд, богатых Ag. Установлены сурьмянистые блеклые руды, в которых серебро преобладает над медью. Представляется целесообразным для этих блеклых руд применить название аргентотетраэдрит, тем более, что обнаружены и мышьяковистые блеклые руды с преобладанием серебра над медью — аргентотеннантиты (табл. 5). Классификация серебросодержащих блеклых руд должна проводиться по преобладающему компоненту в позиции Me^{2+} : $Ag \geq Cu$, т.е. $Ag \geq 5$ ф.е. (более 28,5 — 29,5 мас.% Ag) — аргентотетраэдриты ($Sb > As$) или аргентотеннантиты ($As > Sb$); $Cu > Ag$ — серебросодержащие блеклые

Таблица 2

Химический состав мышьяковистых блеклых руд, мас. %

№ пп	Минерал	Cu	Ag	Fe	Zn	Hg	Cd
24	Fe-Cu-теннантит	48,50	0,23	2,77	—	—	—
25	Ag-Cu-теннантит	49,83	1,87	1,11	—	—	—
26	Fe-теннантит	42,73	0,09	7,56	0,16	0	—
27	Zn-Fe-теннантит	42,80	0,27	4,80	3,31	0,24	0,04
28	Zn-теннантит	41,80	0,07	1,11	7,81	—	—
29	Ag-Zn-теннантит	42,03	1,24	0,62	7,76	—	—
30	Hg-Zn-теннантит	37,30	—	0,10	7,14	7,56	0,23
31	Hg-теннантит	35,6	—	0,40	0,31	20,9	—
32	Hg-теннантит	35,1	0,58	0,14	0,25	21,4	—
33	Hg-Ag-Zn-теннантит	36,14	4,40	1,56	4,67	3,86	0
34	Hg-Ag-Zn-теннантит	34,34	4,79	1,07	5,39	6,80	0

Таблица 2 (окончание)

Формульные единицы в расчете на 29 атомов

№пп	Минерал	Cu ¹⁺	Ag	Сумма	Cu ²⁺	Fe	Zn
24	Fe-Cu-теннантит	9,97	0,03	10	1,50	0,75	—
25	Ag-Cu-теннантит	9,74	0,26	10	2,00	0,30	—
26	Fe-теннантит	9,91	0,01	9,92	—	2,00	0,04
27	Zn-Fe-теннантит	9,93	0,04	9,97	—	1,27	0,75
28	Zn-теннантит	9,82	0,01	9,83	—	0,30	1,78
29	Ag-Zn-теннантит	9,83	0,17	10	0,04	0,17	1,77
30	Hg-Zn-теннантит	9,54	—	9,54	—	0,03	1,77
31	Hg-теннантит	10,00	—	10	—	0,13	0,08
32	Hg-теннантит	9,87	0,10	9,97	—	0,04	0,07
33	Hg-Ag-Zn-теннантит	9,32	0,68	10	0,11	0,46	1,18
34	Hg-Ag-Zn-теннантит	8,97	0,73	9,70	—	0,33	1,36

Таблица 3

Химический состав висмутсодержащих блеклых руд, мас. %

№ пп	Минерал	Cu	Ag	Fe	Zn	Mn	Hg	Cd
35	Ag-Zn-аннивит	32,04	5,69	0	6,39	—	—	—
36	Bi-Zn-тетраэдрит	35,9	—	—	7,3	—	—	—
37	Bi-Zn-теннантит	37,80	0,50	1,13	6,33	—	—	—
38	Bi-Fe-теннантит	37,5	0	4,79	1,90	—	1,38	—
39	Bi-Ag-Zn-тетраэдрит	31,9	6,9	0	6,5	—	—	—
40	Bi-Ag-Zn-тетраэдрит	32,09	6,67	0	6,85	—	—	—
41	Ag-Bi-Zn-Fe-тетраэдрит	39,2	1,59	3,48	2,82	—	—	—
42	Bi-Zn-теннантит	40,73	0	0,65	8,62	—	—	—
43	Bi-Hg-тетраэдрит	32,19	—	1,41	0,10	—	17,32	—
44	Cu-Zn-Fe-тетраэдрит	41,33	0,15	2,75	2,84	0,06	0	0,06

	Pb	As	Sb	Bi	S	Сумма	Месторождение	Литературный источник
—	18,82	2,44	—	—	27,04	99,80	Купферберг	8
0,17	19,04	—	—	—	27,60	99,62	Бинненталь	8
0,25	20,93	0,06	Сл.	—	28,05	99,84	Гал-Хая	7
0	20,38	0,47	0	—	28,06	100,37	Северный Аксу	+
0,38	19,89	0,62	0,02	—	27,95	100,11	Березовское	17
—	19,80	—	—	—	28,08	99,53	Бинненталь	8
0,12	13,64	7,71	—	—	25,67	99,47	Хайдаркан	23
—	12,8	6,48	—	—	23,2	99,7	Чазадыр	6
—	10,5	10,4	—	—	23,3	101,7	Тютё	6
0	10,11	12,93	0	—	24,98	98,65	Кварцитовые Горки	+
0	11,00	11,40	0	—	25,20	99,99		+

+ — данные автора

	Hg	Cd	Pb	Сумма	As	Sb	Сумма	S	Sb/(As + Sb)
—	—	—	—	2,25	3,78	0,30	4,08	12,68	8,0
—	—	0,01	—	2,31	3,80	—	3,80	12,89	0,0
—	—	0,02	—	2,06	4,11	0,01	4,12	12,90	0,2
0,02	0,01	—	—	2,05	4,01	0,06	4,07	12,91	1,5
—	—	0,03	—	2,11	3,96	0,08	4,04	13,02	1,9
—	—	—	—	1,98	3,95	—	3,95	13,07	0,0
0,61	0,03	0,01	—	2,45	2,96	1,03	3,99	13,02	25,8
1,86	—	—	—	2,07	3,05	0,95	4,00	12,92	23,8
1,91	—	—	—	2,02	2,50	1,53	4,03	12,98	37,9
0,32	—	—	—	2,07	2,24	1,76	4,00	12,92	44,0
0,56	—	—	—	2,25	2,44	1,56	4,00	13,05	39,0

	Co	As	Sb	Bi	Ge	SnS	Сумма	Месторождения	Литературный источник
—	5,94	8,18	18,23	—	—	—22,28	98,75	Тары-Экан	13
—	—	16,7	19,7	—	—	—22,7	102,3	Перевальное	4
—	13,16	2,0	16,74	—	—	—25,23	100,89	Снегирихинское	20
—	7,45	11,7	11,6	—	—	—25,4	100,7	Хову-Аксы	18
—	1,7	20,9	6,7	—	—	—22,8	97,4	Тары-Экан	13
—	1,89	22,32	6,38	—	—	—22,68	98,87		13
—	7,62	15,4	5,33	—	—	—25,5	100,9	Хайдаркан	18
—	16,95	3,10	3,62	—	—	—27,02	100,7	Снегирихинское	20
0,23	0,31	23,45	1,57	—	—	—21,90	98,48	Мошельландсберг	8
0	3,17	23,92	0,30	0,04	0,06	25,52	100,15	Кайрагач	21

Таблица 3 (окончание)

Формульные единицы в расчете на 29 атомов

№ пп	Минерал	Cu ⁺	Ag	Сумма	Cu ²⁺	Fe	Zn	Mn	Hg
35	Ag-Zn-аннивит	9,04	0,96	10	0,19	—	1,79	—	—
36	Bi-Zn-тетраэдрит	10,0	—	10	0,14	—	2,00	—	—
37	Bi-Zn-теннантит	9,92	0,08	10	0,15	0,34	1,64	—	—
38	Bi-Fe-теннантит	9,73	—	9,73	—	1,42	0,48	—	0,03
39	Bi-Ag-Zn-тетраэдрит	8,84	1,16	10	0,25	—	1,80	—	—
40	Bi-Ag-Zn-тетраэдрит	8,89	1,11	10	0,16	—	1,88	—	—
41	Ag-Bi-Zn-Fe-тетраэдрит	9,76	0,24	10	0,26	0,99	0,70	—	—
42	Bi-Zn-теннантит	9,80	—	9,80	—	0,18	2,02	—	—
43	Bi-Hg-тетраэдрит	9,73	—	9,73	—	0,48	0,03	—	1,66
44	Cu-Zn-Fe-тетраэдрит	9,98	0,02	10	0,59	0,80	0,71	0,02	—

Таблица 4

Химический состав теллуродержащих и селенодержащих блеклых руд, мас.%

№ пп	Минерал	Cu	Ag	Au	Tl
45	Ag-Cu-голдфиллит	44,51	1,49	—	—
46	Ag-Se-Cu-голдфиллит	42,32	4,37	0	0
47	Bi-Se-Cu-голдфиллит	43,68	0	0	0
48	Bi-Cu-голдфиллит	44,90	—	—	—
49	Bi-Se-Cu-голдфиллит	43,17	0,25	0	0
50	Bi-Cu-Se-голдфиллит	42,40	0,18	0	0
51	Cu-голдфиллит	47,10	—	—	—
52	Cu-Se-голдфиллит	45,06	0	0	0
53	Cu-голдфиллит	43,93	0,49	0	0
54	Ag-Bi-Fe-Te-Cu-тетраэдрит	42,18	1,90	0	0
55	Ag-Se-Zn-Te-Cu-тетраэдрит	42,70	0,94	0	0
56	Ag-Bi-Te-Cu-Fe-тетраэдрит	42,13	1,32	0	0
57	Te-Zn-Fe-тетраэдрит	38,83	0,12	0	—
58	Cd-Te-Zn-тетраэдрит	39,49	0,63	0	0
59	Ag-Hg-хакит	20,21	8,56	0	0
60	Mo-Ge-Tl-Ag-Hg-хакит	20,95	5,58	0	2,56
61	Mo-Ge-Tl-Ag-Hg-хакит	21,02	6,96	0	1,44
62	Ag-Cu-Zn-хакит (жиродит)	30,06	3,45	—	Сл.
63	Zn-Fe-Se-теннантит	40,85	0,21	0	0,30
64	Se-Zn-Fe-тетраэдрит	38,85	0,11	—	0,13

руды. Наиболее обычны аргентотетраэдриты железистые (табл. 5), более редки цинкистые (ан. 65, 66); аргентотеннантиты — цинкистые (ан. 73, 74). Интересно, что максимально богатый серебром, по [37], аргентотетраэдрит отвечает не теоретическому составу Ag_{10} , а предположенному для "фрейбергита" еще в 1888 г. (!) Г. Чермаком — Ag_9Cu_1 (ан. 65). Не исключена возможность существования в природе аргентохакиита.

	Cd	Co	Сумма	As	Sb	Bi	Ge	Сумма	S	Sb/(As+Sb)
—	—	—	1,98	1,45	1,23	1,60	—	4,48	12,74	45,9
—	—	—	2,14	—	2,46	1,69	—	4,15	12,71	100
—	—	—	2,13	2,97	0,28	1,36	—	4,61	12,27	3,5
—	—	—	1,93	1,65	1,59	0,92	—	4,16	13,13	49,2
—	—	—	2,05	0,40	3,11	0,58	—	4,09	12,86	88,6
—	—	—	2,04	0,45	3,28	0,54	—	4,27	12,69	87,9
—	—	—	1,95	1,65	2,06	0,41	—	4,12	12,92	55,4
—	—	—	2,20	3,46	0,39	0,26	—	4,11	12,89	10,1
—	0,07	—	2,24	0,08	3,70	0,14	—	3,92	13,11	97,9
0,01	—	—	2,13	0,69	3,20	0,02	0,01	3,92	12,95	82,3

	Fe	Zn	Hg	Cd	Mn	Pb	Co	As
0,45	—	0	—	—	—	—	—	2,21
0,15	—	0,19	0	0	0,04	0	0	2,59
0,09	—	0,92	0	0	—	0	0	0,65
—	—	—	—	—	—	0	0	2,40
0,09	—	0	0	0	0	0	0	0,94
0,83	—	0	0	0	0	0	0	4,61
0,30	—	—	—	—	—	—	—	3,00
Сл.	—	0	0	0	0	0	0	6,08
0,03	—	0,48	0	0,07	0	0	0	3,36
2,04	—	0,49	0	0	Сл.	0	0	4,12
0,02	—	2,27	0	0	0,01	0	0	3,87
3,77	—	0,72	0	—	—	—	—	5,53
3,85	—	3,21	0	0	—	—	—	0
0,14	—	6,06	0	0,77	0	0	0	4,25
Сл.	—	0,02	15,75	0,20	0,07	0	0	0,99
0,01	—	0,09	16,04	0,38	0	0,06	0	1,83
0,01	—	0,17	15,79	0,24	0	0	0,02	2,45
0,08	—	3,64	0,85	—	—	—	—	7,72
4,64	—	2,56	0	0	Сл.	0	0	14,52
4,48	—	2,75	0	—	—	—	—	4,59

Итак, виды блеклых руд — это тетраэдрит, теннантит, аннивит, голдфиллит, хакит, аргентотетраэдрит, аргентотеннантит. Все прочие собственные названия блеклых руд — зандбергерит, биннит, спаниолит, швацит, малиновскит, фригидит и многочисленные другие относятся уже к разновидностям блеклых руд и поэтому представляются излишними.

В [12] предложено выделять разновидности блеклых руд при содержании

Таблица 4 (продолжение)
 Формульные единицы в расчете на 29 атомов

№ пп	Минерал	Sb	Bi	Te	Ge
45	Ag-Cu-голдфиллит	5,40	—	24,09	—
46	Ag-Se-Cu-голдфиллит	3,15	0	22,63	0
47	Bi-Se-Cu-голдфиллит	5,04	1,88	22,51	0
48	Bi-Cu-голдфиллит	7,40	2,80	16,60	—
49	Bi-Se-Cu-голдфиллит	5,64	6,58	17,89	0
50	Bi-Cu-Se-голдфиллит	3,60	2,49	15,76	0
51	Cu-голдфиллит	9,90	—	15,20	—
52	Cu-Se-голдфиллит	4,82	1,11	14,73	0
53	Cu-голдфиллит	11,66	0	12,91	0
54	Ag-Bi-Fe-Te-Cu-тетраэдрит	12,39	5,24	7,27	0,18
55	Ag-Se-Zn-Te-Cu-тетраэдрит	15,99	0	6,77	0
56	Ag-Bi-Te-Cu-Fe-тетраэдрит	13,94	3,96	5,39	0,14
57	Te-Zn-Fe-тетраэдрит	27,36	0	2,61	—
58	Cd-Te-Zn-тетраэдрит	21,59	0	0,94	0
59	Ag-Hg-хакит	17,15	0	0	0
60	Mo-Ge-Tl-Ag-Hg-хакит	13,56	0	Сл.	1,09
61	Mo-Ge-Tl-Ag-Hg-хакит	13,12	0	"	1,08
62	Ag-Cu-Zn-хакит (жиродит)	10,05	—	—	—
63	Zn-Fe-Se-теннантит	8,47	0	0	0
64	Se-Zn-Fe-тетраэдрит	23,71	—	—	—

+ — данные автора.

Таблица 4 (продолжение)
 Формульные единицы в расчете на 29 атомов

№ пп	Минерал	Cu ^{1*}	Ag	Tl	Сумма
45	Ag-Cu-голдфиллит	9,77	0,23	—	10
46	Ag-Se-Cu-голдфиллит	9,32	0,68	—	10
47	Bi-Se-Cu-голдфиллит	10	—	—	—
48	Bi-Cu-голдфиллит	10	—	—	—
49	Bi-Se-Cu-голдфиллит	9,96	0,04	—	10
50	Bi-Cu-Se-голдфиллит	9,97	0,03	—	10
51	Cu-голдфиллит	10	—	—	—
52	Cu-Se-голдфиллит	10	—	—	—
53	Cu-голдфиллит	9,92	0,08	—	10
54	Ag-Bi-Fe-Te-Cu-тетраэдрит	9,71	0,29	—	10
55	Ag-Se-Zn-Te-Cu-тетраэдрит	9,85	0,15	—	10
56	Ag-Bi-Te-Cu-Fe-тетраэдрит	9,80	0,20	—	10
57	Te-Zn-Fe-тетраэдрит	9,98	0,02	—	10
58	Cd-Te-Zn-тетраэдрит	9,91	0,09	—	10
59	Ag-Hg-хакит	7,99	2,01	—	10
60	Mo-Ge-Tl-Ag-Hg-хакит	8,31	1,30	0,33	9,94
61	Mo-Ge-Tl-Ag-Hg-хакит	8,21	1,60	0,17	9,98
62	Ag-Cu-Zn-хакит (жиродит)	9,32	0,68	—	10
63	Zn-Fe-Se-теннантит	9,95	0,03	0,02	10
64	Se-Zn-Fe-тетраэдрит	9,86	0,02	0,01	9,89

Примечание. Кроме того, *Pb 0,01, **Co 0,01.

Sn	Mo	S	Se		Месторождение	Литературный источник
—	—	24,41	—	102,55	Кочбулак	16
0	0	23,27	4,66	103,37	Озерновское	+
0	0	22,07	5,00	101,84		+
—	—	25,00	—	99,80	Голдфилд	34
0	0	20,99	7,18	102,73	Озерновское	+
0	0	18,88	12,01	100,76		+
—	—	25,90	—	101,40	Калабора	28
0	0	20,12	10,93	102,85	Озерновское	+
0	0	22,70	4,10	99,73		+
0,16	0	25,51	0	101,48	Кайрагач	21
0	0	24,17	2,04	98,78	Озерновское	+
0,15	0	25,64	0	102,69	Кайрагач	21
—	0	25,51	0	101,15	Пионерское	22
0	0	25,49	0,44	99,80	Озерновское	+
0	0	0,85	38,37	102,17	Бржедборжице	+
0	0,54	1,58	36,70	101,07		+
0	0,74	1,90	36,35	101,29		+
—	—	3,01	41,00	99,86	Шамеан	52
0	0	25,52	3,15	100,22	Буков	+
—	—	25,55	0,78	100,95	Шамеан	+

Cu ²⁺	Fe	Zn	Hg	Cd	Mn	Сумма	As
1,86	0,13	—	—	—	—	1,99	0,49
1,81	0,05	0,05	—	—	0,01	1,92	0,58
1,98	0,03	0,24	—	—	—	2,07	0,15
1,90	—	—	—	—	—	1,90	0,54
1,91	0,03	—	—	—	—	1,94	0,22
1,75	0,26	—	—	—	—	2,01	1,08
1,98	0,09	—	—	—	—	2,07	0,65
1,98	—	—	—	—	—	1,98	1,37
1,83	0,01	0,12	—	0,01	—	1,97	0,76
1,20	0,61	0,12	—	—	—	1,98	0,90
1,40	0,01	0,58	—	—	—	1,99	0,87
0,85	1,08	0,18	—	—	—	2,11	1,18
0,02	1,13	0,80	—	—	—	1,95	—
0,26	0,04	1,53	—	0,11	—	1,94	0,93
0,06	—	0,01	1,99	0,04	0,03	2,13	0,33
—	—	0,03	2,02	0,09	—	2,15*	0,62
—	—	0,06	1,95	0,05	—	2,07**	0,81
0,72	0,04	1,16	0,08	—	—	2,00	2,20
0,03	1,29	0,61	—	—	—	1,93	3,01
1,29	0,68	—	—	—	—	1,97	0,99

Таблица 4 (окончание)

Формульные единицы в расчете на 29 атомов

N пп	Минерал	Sb	Bi	Te	Ge
45	Ag-Cu-голдфилдит	0,74	—	3,14	—
46	Ag-Se-Cu-голдфилдит	0,43	—	2,96	—
47	Bi-Se-Cu-голдфилдит	0,71	0,15	3,02	—
48	Bi-Cu-голдфилдит	1,02	0,23	2,19	—
49	Bi-Se-Cu-голдфилдит	0,81	0,55	2,45	—
50	Bi-Cu-Se-голдфилдит	0,52	0,21	2,17	—
51	Cu-голдфилдит	1,31	—	1,92	—
52	Cu-Se-голдфилдит	0,67	0,09	1,95	—
53	Cu-голдфилдит	1,63	—	1,72	—
54	Ag-Bi-Fe-Te-Cu-тетраэдрит	1,68	0,41	0,94	0,04
55	Ag-Se-Zn-Te-Cu-тетраэдрит	2,20	—	0,89	—
56	Ag-Bi-Te-Cu-Fe-тетраэдрит	1,84	0,30	0,68	0,03
57	Te-Zn-Fe-тетраэдрит	3,68	—	0,33	—
58	Cd-Te-Zn-тетраэдрит	2,90	—	0,12	—
59	Ag-Hg-хакит	3,57	—	—	—
60	Mo-Ge-Tl-Ag-Hg-хакит	2,81	—	—	0,38
61	Mo-Ge-Tl-Ag-Hg-хакит	2,67	—	—	0,37
62	Ag-Cu-Zn-хакит (жиродит)	1,76	—	—	—
63	Zn-Fe-Se-теннантит	1,08	—	—	—
64	Se-Zn-Fe-тетраэдрит	3,14	—	—	—

*Кроме того: Pb 0,01; ** Co 0,01.

Таблица 5

Химический состав высокосеребристых блеклых руд, мас.%

N пп	Минерал	Cu	Ag	Fe	Zn	Hg	Cd
65	Zn-аргентотетраэдрит	3,12	49,32	0,27	6,11	—	—
66	Zn-аргентотетраэдрит	11,64	38,86	1,08	5,81	0	0,12
67	Fe-аргентотетраэдрит	12,40	36,00	4,10	0,60	—	—
68	Cu-Fe-аргентотетраэдрит	13,81	34,89	5,36	0	0	—
69	Zn-Fe-аргентотетраэдрит	16,48	30,74	3,89	2,24	0,06	—
70	Fe-аргентотетраэдрит	16,90	29,50	5,30	0,50	—	—
71	Cd-Fe-аргентотетраэдрит	16,22	29,11	4,08	0,67	—	2,31
72	Zn-Ag-тетраэдрит	17,81	29,37	1,21	5,93	0	0,11
73	Zn-аргентотеннантит	15,60	33,54	1,13	5,44	0	0,10
74	Zn-аргентотеннантит	17,21	30,87	1,21	5,93	0	0,11

* данные автора.

Таблица 5 (окончание)

Формульные единицы в расчете на 29 атомов

N пп	Минерал	Cu ¹⁺	Ag	Сумма	Cu ²⁺	Fe	Zn
65	Zn-аргентотетраэдрит	0,70	9,30	10	0,30	0,10	1,90
66	Zn-аргентотетраэдрит	3,26	6,74	10	0,16	0,36	1,66
67	Fe-аргентотетраэдрит	3,56	6,44	10	0,21	1,42	0,15
68	Cu-Fe-аргентотетраэдрит	3,70	6,30	10	0,52	1,87	—
69	Zn-Fe-аргентотетраэдрит	4,65	5,35	10	0,22	1,31	0,64
70	Fe-аргентотетраэдрит	4,84	5,16	10	0,18	1,79	0,14
71	Cd-Fe-аргентотетраэдрит	4,80	5,20	10	0,11	1,41	0,20
72	Zn-Ag-тетраэдрит	5,07	4,93	10	—	0,39	1,64
73	Zn-аргентотеннантит	4,33	5,67	10	0,15	0,37	1,52
74	Zn-аргентотеннантит	4,84	5,16	10	0,04	0,39	1,63

Sn	Mo	Сумма	S	Se	Сумма	Sb/(As+Sb)
—	—	4,37	12,64	—	12,64	60,2
—	—	3,97	12,12	0,99	13,11	42,8
—	—	4,03	11,81	1,09	12,90	82,6
—	—	3,98	13,12	—	13,12	65,5
—	—	4,03	11,44	1,59	13,03	78,7
—	—	3,98	10,34	2,67	13,01	32,4
—	—	3,88	13,05	—	13,05	66,8
—	—	4,08	10,60	2,34	12,94	32,8
—	—	4,11	12,04	0,88	12,92	73,4
0,02	—	3,99	13,08	—	13,08	64,9
—	—	3,96	12,62	0,43	13,05	71,7
0,02	—	4,05	12,84	—	12,84	60,8
—	—	4,01	13,04	—	13,04	100
—	—	3,95	13,02	0,09	13,11	75,8
—	—	3,90	0,67	12,30	12,97	91,4
—	0,14	3,95	1,24	11,72	12,96	82,0
—	0,19	4,04	1,48	11,43	12,91	76,7
—	—	3,96	2,00	11,04	13,04	44,4
—	—	4,09	12,36	0,62	12,98	26,4
—	—	4,13	12,85	0,16	13,01	76,1

Mn	Pb	As	Sb	S	Сумма	Месторождение	Литературный источник
—	—	0,74	20,95	20,49	101,00	Хохтор	37
0,06	0	6,89	14,83	21,92	101,21	Кварцитовые Горки	+
—	—	0,50	25,10	21,80	100,50	Маунт-Айза	40
—	—	0	24,71	20,85	99,61	Утесное	3
—	—	0,06	25,15	22,10	100,72	Хаканджа	3
—	—	0,60	24,80	21,90	99,50	Маунт-Айза	40
—	—	0	26,95	21,04	100,25	Тиндрам	38
0,04	0	8,22	13,64	22,87	99,20	Кварцитовые Горки	+
0	0,18	8,80	12,59	22,66	100,04	То же	+
0,04	0,12	9,02	12,64	22,87	100,02	"	+

Hg	Cd	Mn	Pb	Сумма	As	Sb	Сумма	S	Sb/(As+Sb)
—	—	—	—	2,30	0,20	3,50	3,70	13,00	94,6
—	0,02	0,02	—	2,22	1,72	2,28	4,00	12,78	57,0
—	—	—	—	1,78	0,13	3,98	4,11	13,12	96,8
—	—	—	—	2,39	—	3,95	3,95	12,66	100
0,01	—	—	—	2,18	0,02	3,88	3,90	12,93	99,6
—	—	—	—	2,11	0,15	3,84	3,99	12,90	96,2
—	0,40	—	—	2,12	—	4,25	4,25	12,63	100
—	0,02	0,01	—	2,06	1,99	2,03	4,02	12,92	50,5
—	0,015	—	0,015	2,07	2,14	1,89	4,03	12,90	46,9
—	0,02	0,01	0,01	2,10	2,17	1,87	4,04	12,86	46,3

катиона Me^{2+} более 1 ф.е. Так как сумма Me^{2+} всего 2 ф.е., то, видимо, целесообразно снизить этот порог до 0,5 ф.е. для главных катионов — Fe, Zn, Cu. Это позволит полнее отобразить особенности состава блеклых руд.

Установлено, что примесь ртути заметно влияет на оптические свойства при содержаниях 1,5—2 мас.%, т.е. около 0,1 ф.е. [23], такие содержания имеют уже и промышленное значение. Следовательно, ртутистые блеклые руды целесообразно выделить начиная с 0,1 ф.е. Hg. Этот же пороговый уровень разумно использовать для выявления таких редких разновидностей блеклых руд, как Cd-, Mn-, Pb-, Sn-, Co-, Ni-содержащих. Такой же порог хорошо использовать и для серебра, поскольку это важный промышленный элемент, а его влияние на оптические свойства столь же существенно [23], как и влияние ртути. Тот же порог использован и для других редких элементов-примесей — Bi, Te, Se, Tl и др. Полученные, таким образом, данные применяются как прилагательные к видовому названию блеклой руды — ртутистый теннантит или Hg-теннантит и т.п. Порядок расположения элементов в прилагательных — общепринятый в минералогической и петрографической практике, начиная от меньшего к большему, элемент с наибольшей величиной формульных единиц ставится непосредственно перед наименованием блеклой руды (табл. 1—5).

РЯДЫ БЛЕКЛЫХ РУД

К настоящему времени установлены следующие ряды блеклых руд: теннантит—тетраэдрит (непрерывный), теннантит—аннивит (неполный), теннантит—голдфилдит (неполный), теннантит—аргентотеннантит (непрерывный ?); тетраэдрит—аннивит (неполный), тетраэдрит—голдфилдит (непрерывный), тетраэдрит—аргентотетраэдрит (непрерывный); аргентотеннантит—аргентотетраэдрит (непрерывный?); аннивит—голдфилдит (неполный); голдфилдит—хакит (неполный). Не исключена возможность существования рядов тетраэдрит—хакит и теннантит—хакит.

ЗАМЕЧАНИЯ О СВЯЗИ СОСТАВА И ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БЛЕКЛЫХ РУД

Связи состава и оптических свойств обычных блеклых руд рассмотрены в [23]. В [7] показано, что спектры отражения теннантита без сурьмы и теннантита с 1% Sb разнятся больше, чем спектры последнего и тетраэдрита с 28 мас. % Sb. Сходная зависимость установлена для теллуристых блеклых руд: влияние на оптические свойства первых 2 мас. % Te сильнее, чем последующих 20% Te. Блеклые руды уже при содержании 2,5 мас. % Te имеют "голдфилдитовый" профиль спектров отражения — практически горизонтальная линия в видимой области. Повышенные количества таких различных (но крупных !) катионов, как Ag, Hg, Te, Bi влияют на оптические свойства блеклых руд почти однотипно: спектры их отражения в видимой области приближаются к горизонтальной линии.

Общеизвестно снижение микротвердости от теннантита к тетраэдриту, понижена твердость у фрейбергитов, ртутистых, теллуристых и селенистых блеклых руд. Интересно, что изоморфное замещение двухвалентной меди железом или цинком практически не влияет на отражение, но вызывает увеличение микротвердости [23, 29, 46].

Наиболее полные данные о зависимости параметра элементарной ячейки от состава блеклых руд приведены в [25,14]. Правда, в уравнение зависимости в [14] введен коэффициент $\Sigma Me/S$, фиксирующий прежде всего ошибки микронзондовых анализов. Ниже приведено сравнение измеренных и рассчитанных параметров элементарной ячейки блеклых руд по литературным данным (табл. 6).

Таблица 6

Анализ, ссылка в таблицах	Ag, %	Hg, %	a_0 , А, измер.	a_0 , А, рассчитанный	
				по [25]	по [14]
4	0,47	0	10,344	10,349	10,349
14	0,21	16,47	10,463	10,460	10,473
16	0,06	11,18	10,453	10,446	10,458
21	16,0	18,7	10,646	10,629	10,635
[14]	0,08	18,29	10,429	10,437	10,458
[14]	0,11	20,43	10,431	10,435	10,452
25	0,09	0	10,203	10,227	10,225
27	0,07	—	10,24	10,232	10,229
32	4,40	3,86	10,355	10,352	10,346
33	4,79	6,80	10,365	10,364	10,364
Среднее отклонение,		$n = 10$		0,008	0,012
34 (Bi 18,2 %)	5,69	—	10,47	—	10,512

Видно, что рассчитанные величины параметра э.я. хорошо совпадают, меньшие отклонения от измеренных величин получены по формуле из работы [25]: $a_0 \text{ \AA} = 10,386 + 0,056 (\text{Ag ф.е.}) + 0,058 (\text{Hg}) - 0,031 (\text{Cu}^{2+}) - 0,039 (\text{As})$.

Зависимость для висмутсодержащих блеклых руд ненадежна.

ОБ УСЛОВИЯХ ОБРАЗОВАНИЯ РАЗНОВИДНОСТЕЙ БЛЕКЛЫХ РУД

Появление и широкое распространение блеклых руд в противоположность халькопириту свидетельствует прежде всего об относительно восстановительных условиях рудообразования — низком окислительном потенциале, так как железо в блеклых рудах находится в форме Fe^{2+} , а в халькопирите — Fe^{3+} . Это коррелируется с тем, что блеклые руды часто ассоциируют с самородными золотом, серебром, с ауристибитом.

Условия появления мышьяковистых или сурьмянистых блеклых руд рассмотрены в [19]. Согласно экспериментальным данным [27] при снижении температуры синтеза растет сурьмянистость блеклых руд: $500^\circ \text{C} - \text{Sb}_{30}$, $400^\circ - \text{Sb}_{44}$, менее $400^\circ - \text{Sb}_{50-100}$ (в ассоциации с энаргитом-фаматинитом). Теннантиты (как относительно более высокотемпературные образования) особо характерны для вулканогенных ксенотермальных месторождений, колчеданных месторождений, представляют ранние генерации блеклых руд плутоногенных месторождений. Тетраздриты (как относительно более низкотемпературные образования) слагают, как правило, блеклые руды поздних генераций и в силу этого чаще и в большей степени, чем теннантиты, концентрируют серебро, ртуть, кадмий, марганец, теллур, селен.

Для блеклых руд плутоногенных месторождений, формирующихся в "упорядоченных" условиях, типичен постепенный рост содержаний сурьмы и серебра от ранних к поздним генерациям. Особый интерес с точки зрения рудообразования имеет ртуть в блеклых рудах. Ртуть в них охотно концентрируется, а благодаря своей летучести насыщает примерно в равной степени все блеклые руды одной минеральной ассоциации. Существенно различающиеся содержания ртути в блеклых рудах в пределах одного месторождения являются надежным индикатором многоэтапности его образования. На это впервые обратил внимание В.С. Груздев. Уровень содержаний ртути в блеклых рудах является характерным признаком рудных формаций [14]. Так, в плутоногенных золото-антимонитовых месторождениях в блеклой руде до 7% ртути (ан. 33, 34).

Установлено [41], что соотношение Zn/Fe в блеклых рудах сильно зависит от фугитивности кислорода в участках минералообразования; величина Zn/Fe максимальна в блеклых рудах в ассоциации с сульфатами — баритом, гипсом, ангидритом. Эта зависимость естественна, так как в более окислительной обстановке часть железа связывается в окислах, силикатах, халькопирите. В относительно более окислительной обстановке формируются и блеклые руды, обогащенные двухвалентной медью, — как правило, в медных месторождениях с энаргитом, лазаревичитом, фаматинитом.

Редкие висмутовые блеклые руды известны в месторождениях собственно висмутовых и пятиэлементной формации, отмечены в вулканогенных месторождениях золота (ан. 44). Редчайшие селеновые блеклые руды известны только в уран-селенидных и вулканогенных золото-селенидных и золото-селенидно-теллуридных месторождениях. Значительный интерес представляют голдфилдит и теллур—тетраздрит — типоморфные минералы вулканогенных месторождений золота. В отличие от теллуридов с Te^{2-} , в голдфилдите теллур занимает позицию X^{3+} , т.е. находится в окисленном состоянии, как и медь — позиция Me^{2+} в этих минералах почти полностью занята Cu^{2+} . Таким образом, голдфилдит возникает в обстановке с существенно повышенным (относительно обычных блеклых руд) окислительным потенциалом, что отмечено и в [11]. Не случайно в золотых рудах с голдфилдитом развит гидротермальный самородный теллур. Все эти данные свидетельствуют против "высоко- и крайневысокожелезистых голдфилдитов", — т.е. тех, в которых описаны значительные содержания золота (см. выше). Возможно, голдфилдит не столь уж редкий минерал и в медно-колчеданных месторождениях с энаргит-люционитовой ассоциацией ($As^+ Sb^{5+}$!), как показали исследования месторождения Калабора [28], где голдфилдит (ан. 50) является единственным минералом теллура.

В заключение небольшие замечания об анализах блеклых руд. Для этих минералов характерен широкий спектр элементов, поэтому корректный анализ должен включать определение Cu, Ag, Fe, Zn, Hg, Cd, Sb, As, Bi, Te, S, Se. Желательно определять и Tl, Au, Sn, Pb, Mn, Ni, Co, Ge, V, In, Ga. При анализе с помощью электронного микронзонда наибольшие ошибки обычны для серы при использовании в качестве эталонов пирита, пирротина, галенита, гринокита. Наилучшие результаты дает использование анализированной блеклой руды или халькостибита, состав которого стехиометричен. Халькостибит пригоден как эталон и для меди, и для сурьмы, и для серы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белов Н. В. Очерки по структурной минералогии. 105. Шпигованная структура блеклых руд. — Минералог. сб. Львов. ун-та, 1965, N 19, вып. 1, 3—9.
2. Белов Н. В., Годовиков А. А., Бакакин В. В. Очерки по теоретической минералогии. М.: Наука, 1982. 206 с.
3. Берман Ю. С., Ботова М. М., Сандомирская С. М. Блеклые руды кайнозойского золото-серебряного месторождения. — Тр. ЦНИГРИ, 1979, N 149, с. 43—49.
4. Болдырева М. М., Бородаев Ю. С. Микровключения висмутовых минералов в галените из месторождения Перевальное (Западный Карамазар). — В кн.: Минералы и парагенезисы минералов гидротермальных месторождений. Л.: Наука, 1974, с. 93—100.
5. Бродин Б. В., Осипов Б. С., Качаловская В. М. и др. О серебросодержащем хаките. — Зап. Всес. минерал. об-ва, 1979, ч. 108, N 5, 587—590.
6. Васильев В. И., Лаврентьев Ю. Г. Блеклые руды ртутных месторождений. — Геология и геофизика, 1977, N 3, с. 56—63.
7. Груздев В. С., Спирidonов Э. М., Чвилева Т. Н. Железистый теннантит месторождения Гал-Хая, Якутия. — В кн.: Диагностика и диагностические свойства минералов. М.: Наука, 1981, с. 84—87.
8. Дэна Дж. Д., Дэна Э. С., Пэлач Ч. и др. Система минералогии. Т. 1, 1 полутом. М.: Изд-во иностр. лит., 1951. 607 с.
9. Индолев Л. Н., Невойса Г. Г., Брызгалов И. А. Новые данные о составе сурьмяных блеклых руд и изоморфизме меди и серебра. — Докл. АН СССР, 1971, т. 199, N 5, с. 1146—1149.
10. Коваленкер В. А., Тронева И. В. О золотосодержащей блеклой руде. — В кн.: Сульфосоли, платиновые минералы и рудная микроскопия. М.: Наука, 1980, с. 75—83.
11. Коваленкер В. А., Тронева И. В., Доброничен-

- ко В.В. Особенности состава главных рудообразующих минералов трубообразных тел месторождения Кочбулак. — В кн.: Методы иссл. рудообразующих сульфидов и их парагенезисов. М.: Наука, 1980, с. 140—164.
12. Лазаренко Е.К. О блеклых рудах. — Минерал. сб. Львов, геол. об-ва, 1956, N 10, с. 171—211.
 13. Лурье Л.М., Цепин А.И., Вьясов Л.Н. Особенности состава блеклых руд месторождения Тары-Экан (Восточный Карамазар, Средняя Азия). — Геология рудн. месторождений, 1974, N 6, с. 65—70.
 14. Мозгова Н.Н., Цепин А.И. и др. Ртутьсодержащие блеклые руды. — Зап. Всес. минер. об-ва, 1979, ч. 108, вып. 4, с. 437—453.
 15. Мозгова Н.Н. Новая схема изоморфизма двухвалентных металлов в блеклых рудах. — Докл. АН СССР, 1982, т. 265, N 3, 712—716.
 16. Новгородова М.И., Цепин А.И., Дмитриева М.Т. Новый изоморфный ряд в группе блеклых руд. — Зап. Всес. минер. об-ва, 1978, ч. 107, вып. 1, с. 100—110.
 17. Радкевич Е.А. Группа блеклых руд. — В кн.: Минералы СССР, т. II. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1940, с. 497—528.
 18. Рудашевский Н.С., Григорьев Д.П., Иоффе П.А. О природе неоднородности химического состава блеклых руд. — Докл. АН СССР, 1978, т. 243, N 6, 1542—1545.
 19. Сахарова М.С. Основные вопросы изоморфизма и генезиса блеклых руд. — Геология рудн. месторождений, 1966, N 1, с. 23—41.
 20. Сергеева Нат.Е., Шатазин Н.Н. О висмутовой минерализации на Юбилейно-Снегирихинском месторождении (Рудный Алтай). — Докл. АН СССР, 1980, т. 252, N 4, с. 959—962.
 21. Спиридонов Э.М., Бадалов А.С. Эволюция состава блеклых руд вулканогенного месторождения Кайрагач в Восточном Узбекистане. — Геология рудн. месторождений, 1983, N 4.
 22. Спиридонов Э.М., Чуилева Т.Н. Сульфидный библинскит (вторая находка библинскита). — Докл. АН СССР, 1982, т. 265, N 5, с. 1243—1247.
 23. Чуилева Т.Н. Влияние примесей на оптические и некоторые другие свойства блеклых руд. — В кн.: Исследования в области рудной минералогии. М.: Наука, 1973, 67—76.
 24. Atanasov V.A. Argentinian mercurian tetrahedrite, a new variety from the Chiprovtsi ore deposit, Western Stara-Planina mountains, Bulgaria. — Miner. Mag., vol. 40, p. 233—237.
 25. Charlat M., Levy C. Substitutions multiples dans la serie tennantite — tetrahedrite. — Bull. soc. franc. mineral. cristallogr., 1974, vol. 97, N 2—3, p. 152—158, 241—249.
 26. Charlat M., Levy C. Influence des principales substitutions sur le parametre cristallin dans le serie tennantite-tetrahedrite. — Bull. soc. franc. mineral. cristallogr., 1975, vol. 98, N 2—3, p. 152—158.
 27. Feiss P.G. Reconnaissance of the tetrahedrite-tennantite enargite-famatinite phase relations as a possible geothermometer. — Econ. Geol., 1974, vol. 69, N 3, p. 383—390.
 28. Frencell G., Otteman I., Al-Tabaqchali M., Nuber B. The calabro copper ore deposit of Alghero, Sardinia. — N. Jb. Mineral. Abh., 1975, N 2, p. 107—155.
 29. Hall A.J. Substitution of Cu by Zn, Fe and Ag in synthetic tetrahedrite, $Cu_{12}Sb_4S_{13}$. — Bull. soc. franc. mineral. cristallogr., 1972, vol. 95, N 5, p. 583—594.
 30. Hall A.J., Cervelle B., Levy C. The effect of substitution of Cu by Zn, Fe and Ag on the optical properties of synthetic tetrahedrite, $Cu_{12}Sb_4S_{13}$. — Bull. soc. franc. mineral. cristallogr., 1974, vol. 97, N 1, p. 18—26.
 31. Johan Z., Kvacsek M. La Hakite un nouveau mineral du group de la tetrahedrite. — Bull. soc. franc. min. crist., 1971, vol. 94, N 1.
 32. Kvacsek M., Novak F., Drabek M. Canfieldite and silverrich tetrahedrite from the Kutna Hora ore district. — N. Jb. Mineral. Monat., 1975, N 4, p. 171—179.
 33. Kvacsek M. Selenium-bearing tetrahedrite from Bucov. — Acta univ. Carol. geol., 1977, N 3—4, p. 233—237.
 34. Levy C. Contribution a la mineralogie des sulfures de cuivre du type Cu_xX_4 . — Mem. Bur. rech. geol. minier., 1967, N 54, p. 1—178.
 35. Maske S., Skinner B.J. Studies of the sulfosalts of copper. I. Phases and phase relations in the system Cu—As—S. — Econ. Geol., 1971, vol. 66, p. 901—918.
 36. Nikitiin W.W. Parallele Vermachungen des Fahlerze und seine chemische Konstitution. — Ztschr. Krist., 1929, vol. 69.
 37. Paar W.H., Chen T.T., Gunther W. Extrem silberreicher Freibergite in Pb—Zn—Cu—Erzen des Bergbaues "Knappenstube", Hochtort, Salzburg. — Carintia II, 1978, vol. 168, p. 35—42.
 38. Patrick R.A.D. Microprobe analyses of cadmium-rich tetrahedrite from Tyndrum, Perthshire, Scotland. — Miner. Mag., 1978, vol. 42, p. 286—288.
 39. Pauling L., Neuman E.W. The crystal structure of binnite $(Cu, Fe)_{12}As_4S_{13}$, and the chemical composition and structure of mineral of the tetrahedrite group. — Ztschr. Krist., 1934, vol. 88, p. 54—62.
 40. Riley J.F. The tetrahedrite-freibergite series, with reference of the Mount Isa Pb—Zn—Ag orebody. — Miner. Dep., 1974, vol. 9, N 2, p. 117—124.
 41. Shikasono N., Kouda R. Chemical composition of tetrahedrite-tennantite minerals and the chemical environments of some Japahase ore deposits. — Mining Geol., 1979, vol. 29, N 1, p. 33—41.
 42. Shimada N., Hirowatari F. Argentinian tetrahedrites from the Taishu—Shigekuma mine, Tsuchima Island, Japan. — Miner. J., 1972, vol. 7, p. 77—87.
 43. Skinner B.J., Luce F.D., Macovicky E. Studies of the sulfosalts of copper. III. Phases and phase relations in the system Cu—Sb—S. — Econ. Geol., 1972, vol. 67, p. 924—938.

44. Springer G. Electronprobe analyses of tetrahedrite. — N. Jb. Miner. Monat., 1969, 1, p. 24—32.
45. Takeuchi Y., Sadanaga R. Structural principles and classification of sulfosalts. — Ztschr. Krist., 1969, vol. 130, p. 346—368.
46. Tatsuka K., Morimoto N. Tetrahedrite stability relations in the Cu—Fe—Sb—S system. — Amer. Miner., 1977, vol. 62, p. 1101—1109.
47. Tschermak G. Lenrbuch der Mineralogie. 1888, Viena, 379 p.
48. Wuensch B.S., Takeuchi Y., Nowacki W. Refinement of the crystal structure of binnite, $Cu_{12}As_4S_{13}$. — Ztschr. Krist., 1966, vol. 123, p. 1—20.
49. Yui S. Heterogenety within a single grain of minerals of the tennantite-tetrahedrite series. — Geoch. and Crystal. sulfide miner. Hydrotherm. dep. Tokyo, 1971, p. 22—29.
50. Basy K., Bortnikov N.S., Mookherjee A. et al. Rare minerals from Rajpura—Dariba, Rajasthan, India. Y: the first recorder occurrence of a manganooan fehlore. — (N. Jb. Miner. Abh., 1984, vol. 149, 105—112.
51. Bishop A.C., Criddle A.I., Clark A.M. Plumbian tennantite from Sark, Channel, Island. — (Miner. Mag., 1977, vol. 41, 59—63.
52. Johan Z., Picot P., Ruhlman F. Evolution paragenetique de la mineralisation uranifere de Chameane giraudite; trois seleniures nouveaux de Cu, Fe, Ag et As. T.M.P.M. — (Tschermaks Miner., Petr. Mitt, 1982, vol. 29, 151—167.
53. Patrick R.A.D., Hall A.I. Silver substitution into synthetic zinc, cadmium and iron tetrahedrites. — (Miner. Mag., 1983, vol. 47, N 345, p. 441—451.

УДК: 549.514.5; 537.312.6; 553.1

А.Б. УСПЕНСКАЯ

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ УДЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ЖИЛЬНОГО КВАРЦА ОЛОВОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

В настоящее время имеется большое количество литературы по экспериментальному исследованию электрических свойств кварца [1-7]. Однако трактовка результатов и выявление объективных типоморфных признаков требует серьезных уточнений и дополнительных исследований. Эта задача может быть решена в результате комплексных исследований электрических характеристик жильного кварца и их зависимостей от внешних факторов с выяснением физической картины происходящих явлений. В работах по изучению электрических свойств не всегда указано, как проводились измерения, каковы условия эксперимента, как они влияют на значение измеряемых величин, что весьма существенно для исследования удельной электропроводности кварцев. В силу перечисленных причин, а также и того, что не всегда учитывается и генезис образцов, за итог измерений принимаются величины удельной электропроводности, которые имеют большой разброс значений.

Измерения удельной электропроводности проводятся на постоянном и переменном токе [1, 2, 5, 6], результаты их зависят от длительности приложенного постоянного электрического поля и частоты изменения переменного тока, т.е. существенно зависят от методики измерений.

Цель нашего исследования — дифференцировать жильные кварцы разного генезиса по электрическим характеристикам. По возможности выявить особенности каждого генетического типа кварца и получить дополнительные сведения о типоморфных признаках кварца.

Изучение удельного электрического сопротивления велось нами на образцах жильного кварца оловорудных месторождений Забайкалья и Алтая, любезно предоставленных Е.И. Доломановой, проводившей их всестороннее исследование на протяжении многих лет совместно со специалистами различных областей физики и химии [8—22]. Данная работа является продолжением работы [5], где представлены результаты по удельному электрическому сопротивлению, измеренному на постоянном токе при нагревании от 20 до 1050°С. В теории диэлектриков чаще рассматриваются температурные и частотные зависимости удельной электро-