

## ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА ТЕЛЛУРСОДЕРЖАЩИХ БЛЁКЛЫХ РУД

С.Н. Ненашева

Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, Москва, [nenashevasn@mail.ru](mailto:nenashevasn@mail.ru)

В статье обосновывается возможность существования новых минеральных видов оптически и химически близких к блёклым рудам, анализы которых пересчитываются на формулы с 32, 33 атомами в элементарной ячейке. Их идеализированные формулы:  $\text{Cu}_{11}^+\text{Me}_{1,00}^{2+}\text{Me}_{1,00}^{3+}\text{PMe}_{4,00}\text{S}_{15}$  и  $\text{Cu}_{10}^+\text{Me}_{3,00}^{2+}\text{PMe}_{4,00}\text{S}_{16}$ . Предполагается, что это не содержащие германия аналоги сложных сульфидов германия (германита, реньерита, бриаррита). Кроме того, рассматривается характер примесей теллура в теллуросодержащих блёклых рудах вулканогенных и гидротермальных кварцево-сульфидных жильных месторождений золото-сульфидной формации. Показывается, что в голдфилдите и Те-содержащем тетраэдрите теллур может входить как в позицию катионов ( $\text{Te}^{4+}$ ), так и в позицию серы ( $\text{Te}^{2-}$ ). Кроме того, голдфилдиты, содержащие больше 24 мас.% теллура, как правило, неоднородны. Они содержат самородный теллур в виде очень тонкой механической примеси. В теллуросодержащих блёклых рудах с большим содержанием серебра (7–13 мас.%) могут быть механические примеси тонкозернистого кервеллита  $\text{Ag}_4\text{TeS}$ .

В статье 7 таблиц, список литературы из 12 наименований.

Ключевые слова: блёклые руды, изоморфизм, голдфилдит, тетраэдрит, сложные сульфиды германия, кервеллит.

Теллуросодержащие блёклые руды характерны для многих вулканогенных и гидротермальных кварцево-сульфидных жильных месторождений золото-сульфидной формации. Образцы из таких месторождений изучались многими исследователями: Ф.Л. Рансомом с соавторами (Ransome *et al.*, 1909), Г. Френцелем с соавторами (Frenzel *et al.*, 1975), М.И. Новгородовой с соавторами (1978), Н.Н. Мозговой и А.И. Цепиным (1983), Э.М. Спиридоновым (1987), Э.М. Спиридоновым и А.С. Бадаловым (1983), М.С. Сахаровой с соавторами (1984), В.А. Коваленкером с соавторами (1980, 1986), Е.А. Борисовой с соавторами (1986). Это месторождения: Голфилд (Невада, США), Калабона (о. Сардиния, Италия), Бьют (США), Кочбулак (Кураминский хр., Узбекистан), Кунашир (Курильские о-ва, Россия), месторождения Камчатки (Россия), Болгарии — Челопеч, Радка, Елшица. Схожесть геологической позиции и строения рудных тел некоторых из перечисленных месторождений показаны в таблице 1.

При исследовании образцов руд из медноколчеданного месторождения Челопеч (см. статью С.Н. Ненашевой в этом же выпуске) оказалось, что микрорентгеноспектральные анализы оптически идентифицированных блёклых руд дают неэлектронейтральные формулы при пересчете их на 29 атомов в элементарной ячейке. Среднестатистической формулой блёклой руды считается формула  $\text{Cu}_{12}\text{PMe}_4\text{S}_{13}$ , общепринятой —  $\text{Cu}_{10}^+\text{Me}_2^{2+}\text{PMe}_4\text{S}_{13}$  (Мозгова, Цепин, 1983). Электронейтральной считалась формула с балансом валентности ( $\Delta$  — абсолютная ве-

личина отклонения от нуля) не выше 3%. Электронейтральность была достигнута только при пересчете на большее количество атомов в элементарной ячейке, а именно на: 32, 33, 34 (см. табл. 8 статье С.Н. Ненашевой в этом же выпуске), т.е. на формулы:  $\text{Cu}_8^+\text{Cu}_2^{2+}\text{Fe}_3^{2+}\text{As}_4\text{S}_{15}$ ,  $\text{Cu}_8^+\text{Cu}_3^{2+}\text{Fe}_2^{2+}\text{As}_4\text{S}_{15}$ ,  $\text{Cu}_{11}^+\text{Me}_2^{2+}\text{Me}^{3+}\text{PMe}_3^+\text{S}_{15}$ ,  $\text{Cu}_{11}^+\text{Me}_3^{2+}(\text{PMe}^{3+}, \text{Te}^{4+})_4\text{S}_{16}$ . Возможно, что это новые минеральные виды. В связи с этим были пересчитаны имеющиеся в литературе анализы теллуросодержащих блёклых руд из других месторождений (всего 102 анализа). Выяснилось, что некоторые из них также пересчитываются на неэлектронейтральные формулы. К сожалению, авторы не приводят результатов расчета баланса валентности. Этому может быть два объяснения: либо на баланс валентности не обращалось внимания и, следовательно, он не считался; либо пренебрегали этими данными. На мой взгляд, могут быть опубликованы только анализы, формулы которых электронейтральны. Если формула неэлектронейтральна, необходимо объяснение этого явления. Поскольку почти все пересчитанные анализы приведены без сопровождения рентгеновских характеристик, возникло сомнение либо в их принадлежности к блёклым рудам, либо в однородности анализируемого материала. В некоторых случаях при пересчете формул и расчете баланса валентности теллур принимался не только как  $\text{Te}^{4+}$  в позиции  $\text{PMe}$ , но и как  $\text{Te}^{2-}$ , входящий в позицию серы. Основанием для этого является тот факт, что количество атомов в позиции  $\text{PMe}$  в этих ана-

Таблица 1. Краткая характеристика месторождений, в которых обнаружены теллуросодержащие блёклые руды

Месторождение	Геологическая позиция месторождения	Характеристика рудных тел
Голдфилд, Невада, США	Руды расположены в пределах раннетретичной вулканической постройки центрального типа среди окварцованных дацитов	Обилие сульфидов, самородное золото, теллуриды. Блёклые руды ряда тетраэдрит-голдфилдит характерны для поздней минеральной ассоциации
Калабона, Италия о. Сардиния,	Месторождение медно-порфиоровое, связанное с посттриасовым доолигоценым диоритовым штоком, расположенным среди окварцованных известняков триаса	Субвертикальные интенсивно выветрелые линзы медных руд
Бьют, Монтана, США	Гидротермальное кварцево-сульфидное жильное месторождение	Сульфидные руды содержат минералы: пирит, халькопирит, халькозин, блёклые руды, борнит, энаргит и др.
Кайрагач, Кураминский хр., Восточный Узбекистан	Месторождение приурочено к карбоновой кальдере, выполненной вулканитами, с которыми связаны вторичные кварциты (Спиридонов и др., 1983)	Рудные тела представлены секущими кальцит-кварцевыми с баритом умеренно сульфидными жилами среди вторичных кварцитов
Коч-Булак, Кураминский хр., Узбекистан	Рудное поле располагается в пределах одного из сателлитов многоканального палеовулкана центрального типа, сложенного вулканогенными породами андезитового и фельзитового состава	Золото-сульфидно-кварцевая минерализация связана с заключительной стадией нижнетриасового кислого вулканизма, протекавшего после формирования крупных батолитоподобных интрузий средне- и верхнекарбонового возраста
Месторождения вулканического пояса Центр. Камчатки	Жилы и минерализованные зоны дробления приурочены к вулканической структуре неогенового возраста (Сахарова и др., 1984)	Золотоносные кварцевые жилы с сульфидами и теллуридами. Голдфилдит встречается в ассоциации с халькопиритом, пиритом, самородным теллуридом
Челопеч, Радка, Елшица, Болгария	Медноколчеданные месторождения расположены в центральной части структурно-металлогенической зоны Средна-Гора. Они формировались в позднем мелу в тесной связи с андезит-дацитовым вулканизмом и относятся к вулcano-гидротермальному типу (Богданов, 1984)	Рудные тела лентовидной и штокообразной формы пространственно круто погружаются и приурочены к дацитовым и андезитовым агломератовым туфам, содержат около 50 гипогенных рудных минералов, среди которых, кроме обычных сульфидов есть блёклые руды, редкие минералы германия, теллуриды
Озёрное, Камчатка	Вулканогенное месторождение (Спиридонов, Округин, 1985)	Селенисто-теллуристая блёклая руда образует метасоматические вроски размером до 0.1 мм в кварце в ассоциации с теллуроселенидами и селенидами Bi, Ag
Золоторудное месторождение Востока СССР	Рудовмещающие породы – олигоцен-миоценовые туфы андезитов и андезито-базальтов и руды их раннемиоценовые габбро-диориты субвулканического массива (Борисова и др., 1986)	Гидротермальные кварцевые и кварц-сульфидные жилы и прожилки с сульфидами: сфалеритом, галенитом, блёклыми рудами, халькопиритом

лиза значительно превышает 4, а количество S очень низкое.

В блёклые руды – голдфилдите и высокотеллуристом тетраэдрите, содержащих более 20 мас.% теллура, распределение теллура в разные позиции не противоречит кристаллохимическим особенностям теллура. Известны минералы, содержащие  $Te^{2-}$  в позиции серы, например, кервеллит –  $Ag_4^+Te^{2-}S$ , алексит –  $PbBi_2(Te_2S_2)_{\Sigma 4}$ , седлебакит –  $Pb_2Bi_2Te_2S_3$ , поубаит –  $Pb_3Bi_6(Te_4Se_6S_2)_{\Sigma 12}$  и минералы, в которых теллур входит в пози-

цию и катионов, и анионов, например, наигангит- $(Te^{4+}) - Au_{2.5+x}Pb_{22+y}Te_6^{4+} \square_2(S,Te^{2-})_{35.25+0.5x+y}$

## Результаты пересчетов

В таблице 2 приведены пересчеты анализов и результаты подсчета баланса валентности формул Te-содержащих блёклых руд месторождения Кочбулак, приведенных М.И. Новгородовой с соавторами (1978). Оказалось, что 15 анализов из 32 приведенных в таблице 2 (ан. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 14,

Таблица 2. Пересчет анализов блёклых руд месторождения Кочбулак, приведенных в работе М.И. Новгородовой с соавторами (1978), на формулы и расчет их баланса валентности

№ ан.	Cu	Fe	Zn	Sn	Ag	Sb	As	Te	S	Σ
1	42.99	4.01	0.23	1.58	0.20	19.95	7.24	0.07	26.12	102.40
2	38.93	1.13	6.39	0.00	0.28	25.03	3.50	0.11	25.21	100.59
3	43.08	2.95	0.19	2.42	0.23	20.77	6.68	0.19	25.70	102.21
4	41.13	5.76	0.70	0.43	0.08	19.70	7.66	0.19	26.29	101.94
5	42.79	2.56	0.15	2.81	0.26	21.13	6.52	0.21	25.46	101.88
6	41.13	0.38	6.99	0.00	0.16	16.83	9.19	0.22	26.85	101.86
7	40.17	2.29	4.41	0.00	0.37	25.02	3.50	0.42	25.43	101.61
8	43.65	2.39	0.13	2.95	0.18	19.25	7.43	0.69	25.72	102.38
9	40.46	0.60	5.71	0.00	0.14	25.57	2.69	1.45	24.33	100.95
10	40.84	0.55	5.56	0.00	0.15	24.84	2.75	1.87	24.17	100.73
11	43.48	0.32	4.23	0.00	0.25	15.85	5.30	6.83	25.44	101.70
12	42.59	1.35	1.64	0.00	0.09	17.86	2.76	7.49	24.56	98.34
13	43.02	1.47	1.50	0.00	0.21	17.55	3.56	7.61	24.32	99.24
14	43.91	0.65	3.37	0.00	0.25	12.58	6.44	8.41	26.72	102.23
15	44.46	1.25	1.05	0.00	0.26	16.35	3.15	9.41	25.44	101.37
16	45.41	0.37	1.62	0.00	0.15	15.29	2.64	11.48	25.39	102.35
17	41.80	0.25	1.12	0.00	0.26	14.26	2.53	12.49	23.79	96.50
18	36.53	5.44	1.28	0.00	7.81	10.66	3.23	12.55	22.19	99.69
	36.53	5.44	1.28	0.00	0.00	10.66	3.23	10.24	21.61 + Te <sub>сам.</sub>	88.99
19	37.49	5.40	1.05	0.00	6.34	10.40	3.01	12.81	22.15	98.65
	37.49	5.40	1.05	0.00	0.00	10.40	3.01	10.94	21.68 + Te <sub>сам.</sub>	89.97
20	44.94	0.33	0.29	0.00	0.18	12.88	2.80	14.04	25.57	101.03
21	47.04	0.65	0.00	0.00	0.21	10.99	3.96	14.51	24.52	101.88
22	45.96	0.05	0.11	0.00	0.00	11.63	1.63	14.98	26.03	100.42
23	44.63	2.22	0.15	0.00	0.52	9.06	2.93	15.50	25.70	100.71
24	46.68	0.10	0.16	0.00	0.09	11.00	2.90	15.57	24.98	101.48
25	47.68	0.04	0.00	0.00	0.06	7.76	4.90	16.32	24.54	101.29
26	45.98	0.06	0.05	0.01	0.86	7.93	4.65	16.79	25.36	101.69
27	44.82	0.82	0.00	0.00	0.20	7.97	2.54	19.11	25.63	101.09
28	44.93	0.17	0.00	0.04	0.60	6.87	2.88	21.76	25.32	102.57
29	42.98	0.39	0.06	0.00	1.03	7.15	1.28	22.21	24.52	99.62
30	44.49	0.31	0.00	0.00	0.71	5.23	2.60	23.06	24.34	100.74
31	44.36	0.29	0.00	0.03	0.94	6.32	2.31	23.69	25.25	103.20
32	44.51	0.45	0.00	0.00	1.49	5.40	2.21	24.09	24.41	102.55

  

№ ан	Формула	Te <sub>сам.</sub> а.ф.	Δ, %
1	(Cu <sub>10.65</sub> Ag <sub>0.03</sub> ) <sub>10.68</sub> (Fe <sub>1.13</sub> Zn <sub>0.05</sub> Sn <sub>0.21</sub> ) <sub>1.36</sub> (Sb <sub>2.58</sub> As <sub>1.52</sub> Te <sub>0.01</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>4.11</sub> S <sub>12.82</sub>	0.00	0.6
2	(Cu <sub>10.02</sub> Ag <sub>0.04</sub> ) <sub>10.06</sub> (Fe <sub>0.33</sub> Zn <sub>1.60</sub> ) <sub>1.93</sub> (Sb <sub>3.36</sub> As <sub>0.76</sub> Te <sub>0.01</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>4.13</sub> S <sub>12.86</sub>	0.00	2.3
3	(Cu <sub>10.81</sub> Ag <sub>0.03</sub> ) <sub>10.84</sub> (Fe <sub>0.84</sub> Zn <sub>0.05</sub> Sn <sub>0.32</sub> ) <sub>1.21</sub> (Sb <sub>2.72</sub> As <sub>1.42</sub> Te <sub>0.02</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>4.16</sub> S <sub>12.78</sub>	0.00	0.5
4	(Cu <sub>10.14</sub> Ag <sub>0.01</sub> ) <sub>10.15</sub> (Fe <sub>1.62</sub> Zn <sub>0.17</sub> Sn <sub>0.06</sub> ) <sub>1.85</sub> (Sb <sub>2.54</sub> As <sub>1.60</sub> Te <sub>0.02</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>4.16</sub> S <sub>12.85</sub>	0.00	2.4
5	(Cu <sub>10.83</sub> Ag <sub>0.04</sub> ) <sub>10.87</sub> (Fe <sub>0.74</sub> Zn <sub>0.04</sub> Sn <sub>0.38</sub> ) <sub>1.16</sub> (Sb <sub>2.79</sub> As <sub>1.40</sub> Te <sub>0.03</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>4.22</sub> S <sub>12.77</sub>	0.00	1.3
6	(Cu <sub>10.07</sub> Ag <sub>0.02</sub> ) <sub>10.09</sub> (Fe <sub>0.11</sub> Zn <sub>1.66</sub> ) <sub>1.77</sub> (Sb <sub>2.15</sub> As <sub>1.91</sub> Te <sub>0.04</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>4.10</sub> S <sub>13.03</sub>	0.00	0.3
7	(Cu <sub>10.23</sub> Ag <sub>0.06</sub> ) <sub>10.29</sub> (Fe <sub>0.66</sub> Zn <sub>1.09</sub> ) <sub>1.75</sub> (Sb <sub>3.32</sub> As <sub>0.76</sub> Te <sub>0.05</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>4.13</sub> S <sub>12.83</sub>	0.00	2.2
8	(Cu <sub>10.93</sub> Ag <sub>0.03</sub> ) <sub>10.96</sub> (Fe <sub>0.68</sub> Zn <sub>0.03</sub> Sn <sub>0.40</sub> ) <sub>1.11</sub> (Sb <sub>2.52</sub> As <sub>1.58</sub> Te <sub>0.09</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>4.19</sub> S <sub>12.76</sub>	0.00	1.2
9	(Cu <sub>10.54</sub> Ag <sub>0.02</sub> ) <sub>10.56</sub> (Fe <sub>0.18</sub> Zn <sub>1.45</sub> ) <sub>1.63</sub> (Sb <sub>3.48</sub> As <sub>0.59</sub> ) <sub>4.07</sub> (S <sub>12.56</sub> Te <sub>0.19</sub> <sup>2+</sup> ) <sub>12.75</sub>	0.00	2.0
10	(Cu <sub>10.66</sub> Ag <sub>0.02</sub> ) <sub>10.68</sub> (Fe <sub>0.16</sub> Zn <sub>1.41</sub> ) <sub>1.57</sub> (Sb <sub>3.38</sub> As <sub>0.61</sub> Te <sub>0.01</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>4.00</sub> (S <sub>12.51</sub> Te <sub>0.23</sub> <sup>2+</sup> ) <sub>12.74</sub>	0.00	1.4
11	(Cu <sub>10.99</sub> Ag <sub>0.04</sub> ) <sub>11.03</sub> (Fe <sub>0.09</sub> Zn <sub>1.04</sub> ) <sub>1.13</sub> (Sb <sub>2.09</sub> As <sub>1.14</sub> Te <sub>0.86</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>4.09</sub> S <sub>12.75</sub>	0.00	3.5
	(Cu <sub>10.99</sub> Ag <sub>0.04</sub> ) <sub>11.03</sub> (Fe <sub>0.09</sub> Zn <sub>1.04</sub> ) <sub>1.13</sub> (Sb <sub>2.09</sub> As <sub>1.14</sub> Te <sub>0.77</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>4.00</sub> (S <sub>12.75</sub> Te <sub>0.09</sub> <sup>2+</sup> ) <sub>12.84</sub>	0.00	1.5
12	(Cu <sub>11.25</sub> Ag <sub>0.01</sub> ) <sub>11.26</sub> (Fe <sub>0.42</sub> Zn <sub>0.41</sub> ) <sub>0.83</sub> (Sb <sub>2.46</sub> As <sub>0.62</sub> Te <sub>0.99</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>4.07</sub> S <sub>12.85</sub>	0.00	1.6
13	(Cu <sub>11.30</sub> Ag <sub>0.03</sub> ) <sub>11.33</sub> (Fe <sub>0.44</sub> Zn <sub>0.38</sub> ) <sub>0.82</sub> (Sb <sub>2.41</sub> As <sub>0.75</sub> Te <sub>0.80</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>4.07</sub> (S <sub>12.66</sub> Te <sub>0.2</sub> <sup>2+</sup> ) <sub>12.86</sub>	0.00	0.2

Особенности состава теллурсодержащих блёклых руд

14	$(\text{Cu}_{10,86}^+\text{Ag}_{0,04})_{10,90}(\text{Fe}_{0,81}\text{Zn}_{0,19})(\text{Sb}_{1,62}\text{As}_{1,35}\text{Te}_{1,01}^{4+})_{4,01}\text{S}_{13,10}$	0.00	0.9
15	$(\text{Cu}_{11,37}^+\text{Ag}_{0,04})_{11,41}(\text{Fe}_{0,36}\text{Zn}_{0,26})_{0,62}(\text{Sb}_{2,18}\text{As}_{0,68}\text{Te}_{1,20}^{4+})_{4,06}\text{S}_{12,90}$	0.00	0.9
16	$(\text{Cu}_{11,58}^+\text{Ag}_{0,02})_{11,60}(\text{Fe}_{0,11}\text{Zn}_{0,40})_{0,51}(\text{Sb}_{2,03}\text{As}_{0,57}\text{Te}_{1,40}^{4+})_{4,00}(\text{S}_{12,83}\text{Te}_{0,06}^{2-})_{12,89}$	0.00	2.3
17	$(\text{Cu}_{11,41}^+\text{Ag}_{0,04})_{11,45}(\text{Fe}_{0,08}\text{Zn}_{0,30})_{0,38}(\text{Sb}_{2,03}\text{As}_{0,59}\text{Te}_{1,38}^{4+})_{4,00}(\text{S}_{12,87}\text{Te}_{0,32}^{2-})_{13,19}$	0.00	3.0
	$(\text{Cu}_{11,41}^+\text{Ag}_{0,04})_{11,45}(\text{Fe}_{0,08}\text{Zn}_{0,30})_{0,38}(\text{Sb}_{2,03}\text{As}_{0,59}\text{Te}_{1,57}^{4+})_{4,17}(\text{S}_{12,87}\text{Te}_{0,13}^{2-})_{13,00}$	0.00	1.1
18	$(\text{Cu}_{9,89}^+\text{Ag}_{1,25})_{11,14}(\text{Fe}_{1,68}\text{Zn}_{0,34})_{2,02}(\text{Sb}_{1,51}\text{As}_{0,74}\text{Te}_{1,69}^{4+})_{3,94}\text{S}_{11,91}$	0.00	17.0
	$\text{Cu}_{10,57}^+(\text{Fe}_{1,79}\text{Zn}_{0,36})_{2,15}(\text{Sb}_{1,61}\text{As}_{0,79}\text{Te}_{1,40}^{4+})_{3,88}\text{S}_{12,40} + 10.7 \text{ мас. \% Ag}_4\text{TeS}$	0.00	11.4
19	$(\text{Cu}_{10,20}^+\text{Ag}_{1,02})_{11,22}(\text{Fe}_{1,67}\text{Zn}_{0,28})_{1,95}(\text{Sb}_{1,48}\text{As}_{0,69}\text{Te}_{1,74}^{4+})_{3,91}\text{S}_{11,94}$	0.00	16.5
	$\text{Cu}_{10,76}^+(\text{Fe}_{1,76}\text{Zn}_{0,29})_{2,05}(\text{Sb}_{1,55}\text{As}_{0,73}\text{Te}_{1,56}^{4+})_{3,84}\text{S}_{12,33} + 8.68 \text{ мас. \% Ag}_4\text{TeS}$	0.00	11.7
20	$(\text{Cu}_{11,59}^+\text{Ag}_{0,03})_{11,62}(\text{Fe}_{0,10}\text{Zn}_{0,07})_{0,17}(\text{Sb}_{1,73}\text{As}_{0,61}\text{Te}_{1,80}^{4+})_{4,14}\text{S}_{13,07}$	0.00	0.08
21	$(\text{Cu}_{12,09}^+\text{Ag}_{0,03})_{12,12}\text{Fe}_{0,19}(\text{Sb}_{1,47}\text{As}_{0,86}\text{Te}_{1,67}^{4+})_{4,00}(\text{S}_{12,49}\text{Te}_{0,19}^{2-})_{12,68}$	0.00	3.1
22	$\text{Cu}_{11,83}^+(\text{Fe}_{0,01}\text{Zn}_{0,03})_{0,04}(\text{Sb}_{1,56}\text{As}_{0,36}\text{Te}_{1,92}^{4+})_{3,84}\text{S}_{13,28}$	0.00	4.6
	$\text{Cu}_{10,00}^+(\text{Cu}_{1,83}^{2+}\text{Fe}_{0,01}\text{Zn}_{0,03})_{1,87}(\text{Sb}_{1,56}\text{As}_{0,36}\text{Te}_{1,92}^{4+})_{3,84}\text{S}_{13,28}$	0.00	2.3
23	$(\text{Cu}_{11,47}^+\text{Ag}_{0,08})_{11,55}(\text{Fe}_{0,65}\text{Zn}_{0,04})_{0,69}(\text{Sb}_{1,21}\text{As}_{0,64}\text{Te}_{1,57}^{4+})_{3,82}\text{S}_{13,02}$	0.00	0.9
24	$(\text{Cu}_{12,04}^+\text{Ag}_{0,01})_{12,05}(\text{Fe}_{0,03}\text{Zn}_{0,04})_{0,07}(\text{Sb}_{1,48}\text{As}_{0,63}\text{Te}_{1,89}^{4+})_{4,00}(\text{S}_{12,77}\text{Te}_{0,11}^{2-})_{12,88}$	0.00	1.2
	$(\text{Cu}_{12,08}^+\text{Ag}_{0,01})_{12,09}(\text{Fe}_{0,03}\text{Zn}_{0,04})_{0,07}(\text{Sb}_{1,49}\text{As}_{0,64}\text{Te}_{1,89}^{4+})_{4,02}\text{S}_{12,81} + \text{Te}_{\text{сам}}$	0.11	2.1
25	$(\text{Cu}_{12,27}^+\text{Ag}_{0,01})_{12,28}\text{Fe}_{0,01}(\text{Sb}_{1,04}\text{As}_{1,07}\text{Te}_{1,89}^{4+})_{4,00}(\text{S}_{12,51}\text{Te}_{0,20}^{2-})_{12,71}$	0.00	2.9
26	$(\text{Cu}_{11,77}^+\text{Ag}_{0,13})_{11,90}(\text{Fe}_{0,02}\text{Zn}_{0,01})_{0,03}(\text{Sb}_{1,06}\text{As}_{1,01}\text{Te}_{1,93}^{4+})_{4,00}(\text{Te}_{0,21}^{2-}\text{S}_{12,86})_{13,07}$	0.00	1.0
	$(\text{Cu}_{11,85}^+\text{Ag}_{0,13})_{11,98}(\text{Fe}_{0,02}\text{Zn}_{0,01})_{0,03}(\text{Sb}_{1,07}\text{As}_{1,02}\text{Te}_{1,94}^{4+})_{4,03}\text{S}_{12,96} + \text{Te}_{\text{сам}}$	0.21	0.6
27	$(\text{Cu}_{11,55}^+\text{Ag}_{0,03})_{11,58}\text{Fe}_{0,24}(\text{Sb}_{1,07}\text{As}_{0,56}\text{Te}_{2,45}^{4+})_{4,06}\text{S}_{13,10}$	0.00	2.0
28	$(\text{Cu}_{11,58}^+\text{Ag}_{0,09})_{11,67}(\text{Fe}_{0,05}\text{Sn}_{0,01})_{0,06}(\text{Sb}_{0,92}\text{As}_{0,63}\text{Te}_{2,45}^{4+})_{4,00}(\text{S}_{12,93}\text{Te}_{0,34}^{2-})_{13,27}$	0.00	1.1
	$(\text{Cu}_{11,72}^+\text{Ag}_{0,09})_{11,81}(\text{Fe}_{0,05}\text{Sn}_{0,01})_{0,06}(\text{Sb}_{0,94}\text{As}_{0,64}\text{Te}_{2,48}^{4+})_{4,06}\text{S}_{13,08} + \text{Te}_{\text{сам}}$	0.34	1.6
29	$(\text{Cu}_{11,48}^+\text{Ag}_{0,16})_{11,64}(\text{Fe}_{0,12}\text{Zn}_{0,02})_{0,14}(\text{Sb}_{1,00}\text{As}_{0,29}\text{Te}_{2,71}^{4+})_{4,00}(\text{S}_{12,98}\text{Te}_{0,24}^{2-})_{13,22}$	0.00	0.7
	$(\text{Cu}_{11,58}^+\text{Ag}_{0,16})_{11,74}(\text{Fe}_{0,12}\text{Zn}_{0,02})_{0,14}(\text{Sb}_{1,00}\text{As}_{0,29}\text{Te}_{2,71}^{4+})_{4,03}\text{S}_{13,09} + \text{Te}_{\text{сам}}$	0.24	2.5
30	$(\text{Cu}_{11,87}^+\text{Ag}_{0,11})_{11,98}\text{Fe}_{0,09}(\text{Sb}_{0,73}\text{As}_{0,59}\text{Te}_{2,60}^{4+})_{3,92}(\text{S}_{12,87}\text{Te}_{0,13}^{2-})_{13,00} + \text{Te}_{\text{сам}}$	0.33	2.0
31	$(\text{Cu}_{11,45}^+\text{Ag}_{0,14})_{11,59}\text{Fe}_{0,08}(\text{Sb}_{0,85}\text{As}_{0,51}\text{Te}_{2,64}^{4+})_{4,00}(\text{S}_{12,92}\text{Te}_{0,40}^{2-})_{13,32}$	0.00	0.9
	$(\text{Cu}_{11,61}^+\text{Ag}_{0,14})_{11,75}\text{Fe}_{0,09}(\text{Sb}_{0,86}\text{As}_{0,51}\text{Te}_{2,69}^{4+})_{4,06}\text{S}_{13,09} + \text{Te}_{\text{сам}}$	0.40	2.3
32	$(\text{Cu}_{11,63}^+\text{Ag}_{0,23})_{11,86}\text{Fe}_{0,13}(\text{Sb}_{0,74}\text{As}_{0,49}\text{Te}_{2,77}^{4+})_{4,00}(\text{S}_{12,64}\text{Te}_{0,37}^{2-})_{13,01}$	0.00	3.2

Примечание: здесь и далее в таблицах  $\text{Te}_{\text{сам}}$ , а.ф. — количество атомов  $\text{Te}$  в формуле, исключенное из анализа, после чего анализ пересчитан. Результат пересчета представлен в графе «формула».  $\Delta$ , % — баланс валентности

15, 20, 22, 23, 27) пересчитываются на электронейтральную общепринятую формулу —  $\text{Cu}_{10}^+\text{Me}_2^+\text{PMe}_4\text{S}_{13}$ , Формулы 5 анализов (ан. 11, 18, 19, 21, 32) неэлектронейтральные. Из них формулы анализов (11, 21 и 32) имеют баланс валентности 3.5, 3.1 и 3.2%, а анализов (18 и 19) — 17 и 16.5% соответственно. В них большой недостаток серы (менее 12 а.ф.) и много Ag. Попытка представить серебро в виде квервеллита —  $\text{Ag}_4\text{TeS}$  и пересчитать анализы была безуспешной. Баланс валентности стал немного лучше, но был соответственно 11.4 и 11.7%, т.е. за пределами нормы — 3.0%. Остальные анализы пересчитываются на электронейтральные формулы при разных условиях: 1) при учете части теллура в виде  $\text{Te}^{2-}$  в позиции серы (ан. 9, 10, 13, 16, 17, 25), причем, 17 анализ пересчитывался двойко. В одном случае за  $\text{Te}^{2-}$  принималось то количество  $\text{Te}$ , на которое превышает 4 атома в формуле в позиции  $\text{PMe}$ , в другом — недостающее до 13 атомов в формуле в позиции анионов.; 2) при вычете части теллура, превышающей 4 а.ф. в позиции  $\text{PMe}$ , считая его механической примесью самородного теллура, и пересчете ана-

лиза (ан. 30). Формулы для анализов 24, 26, 28, 29, 31 электронейтральны при том и при другом условии.

В таблице 3 представлены анализы теллурсодержащих блёклых руд из разных месторождений. Кроме обычно встречающихся в блёклых рудах элементов, здесь есть анализы, содержащие  $\text{Au}$ ,  $\text{V}$ ,  $\text{Pb}$ . Свинец, по данным Н.Н. Мозговой и А.И. Цепина (1983), входит в положение полуметаллов. Анализы 1, 3, 6, 7, 9, 14 хорошо рассчитываются на формулу блёклой руды. Формулы для анализов 5, 8, 10, 11 становятся электронейтральными, если предположить, что часть теллура входит в позицию серы, двух анализов (ан. 2 и 4) — при условии исключения из них самородного теллура в количестве, превышающем 4 а.ф. В анализах 12, 13 и 15 много Ag, что не характерно для голдфилдита. Формулы становятся электронейтральными, если посчитать, что всё серебро присутствует в виде включений квервеллита —  $\text{Ag}_4\text{TeS}$ , который плохо диагностируется в шлифах и по отражению очень похож на блёклую руду (голубовато-белый с зеленоватым оттенком, изотропный).

Таблица 3. Пересчет анализов блёклых руд из разных месторождений, приведенных в работах Н.Н. Мозговой, А.И. Цепина (1983) и В.А. Коваленкера с соавторами (1980), на формулы и расчет их баланса валентности

№ ан.	Cu	Fe	Zn	Sn	Ag	Sb	As	Te	S	Σ	Автор, месторождение	
1	47.60	—	—	—	—	1.30	8.10	17.00	26.00	100.00	Springer, Бьют.	
2	46.54	0.04	0.76	—	0.30	5.08	7.09	15.59	25.13	100.53	Мозгова и др., 1983. Кунашир	
3*	45.39	0.20	0.20	—	0.02	9.44	3.25	15.48	25.52	100.30	Коваленкер, 1980. Кочбулак	
4 <sup>2</sup> *	43.15	1.06	0.24	—	0.03	11.66	2.27	15.47	24.39	100.32	— / —	
5	46.41	0.13	0.58	—	0.56	6.71	5.38	15.45	24.62	99.84	Мозгова и др., 1983. Кунашир	
6	47.1	0.3	—	—	—	9.90	3.0	15.2	25.9	101.4	Frenzel <i>et al.</i> , 1975	
7 <sup>3</sup> *	44.85	1.18	0.22	0.04	0.52	13.46	1.67	14.77	25.57	102.14	Коваленкер, 1980. Кочбулак	
8 <sup>4</sup> *	42.55	1.08	0.64	0.04	—	11.98	3.10	14.71	24.91	100.70	— / —	
9 <sup>5</sup> *	43.94	0.45	0.37	0.04	—	11.35	2.43	14.71	24.90	98.91	— / —	
10 <sup>6</sup> *	42.53	2.60	0.78	0.03	0.05	10.22	3.59	14.62	24.90	101.57	— / —	
11	46.06	0.04	1.02	—	0.09	7.80	5.41	14.04	24.86	99.32	Мозгова и др., 1983; Кунашир	
12 <sup>7</sup> *	36.59	4.68	1.14	—	7.76	11.40	2.71	13.48	23.32	101.26	Коваленкер, 1980. Кочбулак	
13 <sup>8</sup> *	34.91	6.63	1.09	0.27	8.14	9.73	3.35	13.03	22.90	100.63	— / —	
14	44.17	0.98	1.00	—	0.48	17.00	—	12.10	25.06	100.86	— / —	
15 <sup>9</sup> *	30.05	7.24	1.64	0.11	12.92	11.70	2.46	11.17	20.08	98.96	— / —	
№	Формула										Te <sub>сам.</sub> а.ф.	Δ, %
1	Cu <sub>11.99</sub> <sup>+</sup> (Sb <sub>0.17</sub> As <sub>1.73</sub> Te <sub>2.13</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>4.03</sub> S <sub>12.98</sub>										0.00	0.9
2	(Cu <sub>11.87</sub> Ag <sub>0.04</sub> ) <sub>11.93</sub> (Fe <sub>0.01</sub> Zn <sub>0.19</sub> ) <sub>0.20</sub> (Sb <sub>0.68</sub> As <sub>1.53</sub> Te <sub>1.98</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>4.19</sub> S <sub>12.70</sub>										0.00	4.4
	(Cu <sub>11.95</sub> <sup>+</sup> Ag <sub>0.04</sub> ) <sub>11.99</sub> (Fe <sub>0.01</sub> Zn <sub>0.19</sub> ) <sub>0.20</sub> (Sb <sub>0.68</sub> As <sub>1.54</sub> Te <sub>1.79</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>4.01</sub> S <sub>12.79</sub> + Te <sub>сам.</sub>										0.20	2.4
3	Cu <sub>11.75</sub> <sup>+</sup> (Fe <sub>0.06</sub> Zn <sub>0.03</sub> ) <sub>0.11</sub> (Sb <sub>1.28</sub> As <sub>0.71</sub> Bi <sub>0.06</sub> Te <sub>2.00</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>4.05</sub> S <sub>13.09</sub>										0.00	0.2
4	(Cu <sub>11.45</sub> Au <sub>0.09</sub> ) <sub>11.54</sub> (Fe <sub>0.32</sub> Zn <sub>0.06</sub> ) <sub>0.38</sub> (Pb <sub>0.02</sub> Sb <sub>1.61</sub> As <sub>0.51</sub> Bi <sub>0.06</sub> Te <sub>2.04</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>4.22</sub> S <sub>12.82</sub>										0.00	5.2
	(Cu <sub>11.54</sub> Au <sub>0.09</sub> ) <sub>11.63</sub> (Fe <sub>0.32</sub> Zn <sub>0.06</sub> ) <sub>0.38</sub> (Pb <sub>0.02</sub> Sb <sub>1.63</sub> As <sub>0.51</sub> Bi <sub>0.06</sub> Te <sub>1.84</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>4.06</sub> S <sub>12.92</sub> + Te <sub>сам.</sub>										0.22	2.2
5	(Cu <sub>12.02</sub> Ag <sub>0.08</sub> ) <sub>12.10</sub> (Fe <sub>0.04</sub> Zn <sub>0.14</sub> ) <sub>0.18</sub> (Sb <sub>0.91</sub> As <sub>1.18</sub> Te <sub>1.99</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>4.08</sub> S <sub>12.63</sub>										0.00	5.4
	(Cu <sub>12.02</sub> Ag <sub>0.08</sub> ) <sub>12.10</sub> (Fe <sub>0.04</sub> Zn <sub>0.14</sub> ) <sub>0.18</sub> (Sb <sub>0.91</sub> As <sub>1.18</sub> Te <sub>1.81</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>3.90</sub> (S <sub>12.63</sub> Te <sub>0.18</sub> <sup>2-</sup> ) <sub>12.81</sub>										0.00	1.3
6	Cu <sub>11.98</sub> Fe <sub>0.09</sub> (Sb <sub>1.31</sub> As <sub>0.65</sub> Te <sub>1.92</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>3.88</sub> S <sub>13.05</sub>										0.00	1.4
7	(Cu <sub>11.48</sub> Ag <sub>0.08</sub> Au <sub>0.01</sub> ) <sub>11.57</sub> (Fe <sub>0.34</sub> Zn <sub>0.05</sub> Sn <sub>0.01</sub> ) <sub>0.40</sub> (Sb <sub>1.80</sub> As <sub>0.36</sub> Te <sub>1.88</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>4.04</sub> S <sub>12.98</sub>										0.00	1.6
8	(Cu <sub>11.16</sub> Au <sub>0.14</sub> ) <sub>11.30</sub> (Fe <sub>0.32</sub> Zn <sub>0.16</sub> Sn <sub>0.01</sub> ) <sub>0.49</sub> (Sb <sub>1.64</sub> As <sub>0.66</sub> Te <sub>1.82</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>4.25</sub> S <sub>12.95</sub>										0.00	3.9
	(Cu <sub>11.16</sub> Au <sub>0.14</sub> ) <sub>11.30</sub> (Fe <sub>0.32</sub> Zn <sub>0.16</sub> Sn <sub>0.01</sub> ) <sub>0.49</sub> (Sb <sub>1.64</sub> As <sub>0.66</sub> Te <sub>1.87</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>4.20</sub> (S <sub>12.95</sub> Te <sub>0.05</sub> <sup>2-</sup> ) <sub>13.00</sub>										0.00	2.2
9	(Cu <sub>11.67</sub> Au <sub>0.06</sub> ) <sub>11.73</sub> (Fe <sub>0.14</sub> Zn <sub>0.10</sub> Sn <sub>0.01</sub> ) <sub>0.25</sub> (Sb <sub>1.56</sub> As <sub>0.54</sub> Te <sub>1.94</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>4.01</sub> S <sub>13.04</sub>										0.00	0.8
10	(Cu <sub>11.01</sub> Ag <sub>0.01</sub> Au <sub>0.19</sub> ) <sub>11.21</sub> (Fe <sub>0.76</sub> Zn <sub>0.20</sub> ) <sub>0.96</sub> (Sb <sub>1.38</sub> As <sub>0.79</sub> Te <sub>1.88</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>4.05</sub> S <sub>12.77</sub>										0.00	6.0
	(Cu <sub>11.01</sub> Ag <sub>0.01</sub> Au <sub>0.19</sub> ) <sub>11.21</sub> (Fe <sub>0.76</sub> Zn <sub>0.20</sub> ) <sub>0.96</sub> (Sb <sub>1.38</sub> As <sub>0.79</sub> Te <sub>1.65</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>3.82</sub> (S <sub>12.77</sub> Te <sub>0.23</sub> <sup>2-</sup> ) <sub>13.0</sub>										0.00	0.9
11	(Cu <sub>11.92</sub> Ag <sub>0.01</sub> ) <sub>11.93</sub> (Fe <sub>0.01</sub> Zn <sub>0.26</sub> ) <sub>0.27</sub> (Sb <sub>1.05</sub> As <sub>1.19</sub> Te <sub>1.81</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>4.05</sub> S <sub>12.75</sub>										0.00	3.5
	(Cu <sub>11.92</sub> Ag <sub>0.01</sub> ) <sub>11.93</sub> (Fe <sub>0.01</sub> Zn <sub>0.26</sub> ) <sub>0.27</sub> (Sb <sub>1.05</sub> As <sub>1.19</sub> Te <sub>1.76</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>4.00</sub> (S <sub>12.75</sub> Te <sub>0.05</sub> <sup>2-</sup> ) <sub>12.80</sub>										0.00	2.4
12	(Cu <sub>10.40</sub> Ag <sub>1.22</sub> Au <sub>0.01</sub> ) <sub>10.98</sub> (Fe <sub>1.42</sub> Zn <sub>0.30</sub> ) <sub>1.72</sub> (Sb <sub>1.58</sub> As <sub>0.61</sub> Te <sub>1.79</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>3.98</sub> S <sub>12.32</sub>										0.00	12.5
	(Cu <sub>10.40</sub> Au <sub>0.01</sub> ) <sub>10.41</sub> (Fe <sub>1.51</sub> Zn <sub>0.32</sub> ) <sub>1.83</sub> (Sb <sub>1.69</sub> As <sub>0.66</sub> Te <sub>1.49</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>3.74</sub> (S <sub>12.81</sub> Te <sub>0.19</sub> <sup>2-</sup> ) <sub>13.00</sub> + 10.57 мас.% Ag <sub>4</sub> TeS										0.00	2.9
13	(Cu <sub>9.34</sub> Ag <sub>1.28</sub> Au <sub>0.03</sub> ) <sub>10.67</sub> (Fe <sub>2.02</sub> Zn <sub>0.28</sub> Sn <sub>0.04</sub> ) <sub>2.34</sub> (Sb <sub>1.36</sub> As <sub>0.76</sub> Te <sub>1.74</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>3.86</sub> S <sub>12.14</sub>										0.00	15.3
	Cu <sub>10.00</sub> (Fe <sub>2.16</sub> Zn <sub>0.30</sub> ) <sub>2.46</sub> (Sb <sub>1.45</sub> As <sub>0.81</sub> Te <sub>1.17</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>3.43</sub> (S <sub>12.66</sub> Te <sub>0.34</sub> <sup>2-</sup> ) <sub>13.00</sub> + 11.15 мас.% Ag <sub>4</sub> TeS										0.00	1.4
14	(Cu <sub>11.53</sub> Ag <sub>0.07</sub> ) <sub>11.60</sub> (Fe <sub>0.29</sub> Zn <sub>0.25</sub> ) <sub>0.54</sub> (Sb <sub>2.32</sub> Te <sub>1.57</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>3.89</sub> S <sub>12.96</sub>										0.00	0.0
15	(Cu <sub>8.58</sub> Ag <sub>2.17</sub> Au <sub>0.07</sub> ) <sub>10.82</sub> (Fe <sub>2.35</sub> Zn <sub>0.45</sub> Sn <sub>0.02</sub> ) <sub>2.82</sub> (Sb <sub>1.74</sub> As <sub>0.60</sub> Bi <sub>0.08</sub> Te <sub>1.50</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>4.01</sub> S <sub>11.35</sub>										0.00	24.5
	(Cu <sub>8.68</sub> Au <sub>0.07</sub> ) <sub>9.75</sub> (Fe <sub>2.63</sub> Zn <sub>0.51</sub> Sn <sub>0.02</sub> ) <sub>3.18</sub> (Sb <sub>1.97</sub> As <sub>0.67</sub> Bi <sub>0.08</sub> Te <sub>1.44</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>3.06</sub> (S <sub>12.16</sub> Te <sub>0.84</sub> <sup>2-</sup> ) <sub>13.0</sub> + 17.32 мас.% Ag <sub>4</sub> TeS										0.00	1.4

Примечание: в том числе в \* ) Bi 0.80; <sup>2</sup>) Bi 0.81, Au 1.03, Pb 0.21; <sup>3</sup>) Au 0.12; <sup>4</sup>) Au 1.69; <sup>5</sup>) Au 0.72; <sup>6</sup>) Au 2.26; <sup>7</sup>) Au 0.15; <sup>8</sup>) Au 0.58; <sup>9</sup>) Au 0.72, Bi 0.87

Открыт он в 1990 году в виде тончайших ~30 мкм каёмок вокруг акантита в гессите, от которых микроскопически отличается с трудом. Конечно, однозначно нельзя говорить о том, что всё серебро в теллуросодержащих блёклых рудах присутствует в виде кервеллита, но некоторые основания для этого есть: 1) в анализах 12, 13 и 15, содержащих теллур более 10 мас.%, много меди и серебра, много  $Me^{2+}$  и мало серы; 2) трудная диагностика кервеллита, его сходство по оптике с блёклой рудой. Это позволяет предположить, что анализы 12, 13, 15 сделаны на материале с мельчайшими включениями какого-то минерала, возможно, кервеллита.

Анализы теллуросодержащих блёклых руд (табл. 4) из месторождений Кайрагач (ан. 1–7, Спиридонов, Бадалов, 1983) и Озёрное

(ан. 8–11, Спиридонов, Окрутин, 1985), кроме обычно встречающихся в блёклых рудах элементов, содержат Bi, Sn и Se. Если их переписать так, как предлагает Э.М. Спиридонов, т.е. на формулу  $(Cu,Ag)_{10,00}(Cu^{2+},Fe,Zn)_{2,00}(Sb,As,Te^{4+},Bi,Sn)_{4,00}S_{13,00}$ , то только для двух анализов (ан. 1 и 7) формулы электронейтральные. Баланс валентности остальных превышает 3%. Восемь анализов (ан. 3–6, 8–11) приводят к электронейтральным формулам, если считать всю медь одновалентной. Формула для анализа 2 неэлектронейтральная, в нем большой недостаток серы. По мнению Э.М. Спиридонова и А.С. Бадалова (1983), высокомышьяковистые и высоковисмутистые теллуристые руды Кайрагача возникли в «специфических условиях из гидротермальных растворов, обогащенных как теллуrom,

Таблица 4. Пересчет анализов блёклых руд из месторождений Кайрагач (ан. 1–7, Спиридонов и др., 1983) и Озёрное (ан. 8–11, Спиридонов и др., 1985) на формулы и расчет их баланса валентности

№ ан.	Cu	Fe	Zn	Sn	Ag	Sb	As	Te	Bi	Ge	S	Σ
1	43.86	4.77	0.62	0.04	0.16	14.14	6.91	2.58	1.58	0.13	27.00	101.79
2	40.73	5.01	0.57	0.07	0.17	14.76	6.85	2.73	1.61	0.06	24.95	97.51
3	42.84	3.73	0.71	0.11	1.12	14.63	4.89	5.02	1.74	0.14	25.21	100.24
4	42.13	3.77	0.72	0.15	1.32	13.94	5.33	5.39	3.96	0.14	25.64	102.69
5	41.25	3.82	0.67	0.12	1.27	14.47	5.74	5.59	3.18	0.15	25.76	102.02
6	41.94	3.86	0.50	0.15	2.11	12.88	4.50	6.38	5.78	0.17	25.24	102.50
7	42.18	2.04	0.49	0.16	1.90	12.39	4.12	7.27	5.24	0.18	25.51	101.48
8	44.6	—	—	—	0.1	2.7	6.2	16.2	0.2	—	20.7	101.0
9	43.6	0.1	0.8	—	0.2	2.9	6.1	16.0	1.2	12.2	20.0	103.1
10	44.4	—	—	—	0.1	3.5	6.0	15.9	0.1	11.5	19.5	101.1
11	44.1	0.1	—	—	—	2.7	7.5	14.7	0.3	9.9	20.1	99.4
№ ан.	Формула											Δ, %
1	$(Cu_{9,98}^{+}Ag_{0,02})_{10,00}(Cu_{0,74}^{2+}Fe_{1,33}Zn_{0,15})_{2,22}(Sb_{1,80}As_{1,43}Bi_{0,12}Te_{0,31}^{4+}Ge_{0,03}Sn_{0,01})_{3,70}S_{13,08}$											1.0
2	$(Cu_{9,97}^{+}Ag_{0,03})_{10,00}(Cu_{0,66}^{2+}Fe_{1,49}Zn_{0,14})_{2,22}(Sb_{2,01}As_{1,52}Bi_{0,13}Te_{0,35}^{4+}Ge_{0,01}Sn_{0,01})_{4,03}S_{12,68}$											6.2
	$(Cu_{10,63}^{+}Ag_{0,03})_{10,66}(Fe_{1,49}Zn_{0,14})_{1,63}(Sb_{2,01}As_{1,52}Bi_{0,13}Te_{0,35}^{4+}Ge_{0,01}Sn_{0,01})_{4,03}S_{12,68}$											3.9
3	$(Cu_{9,83}^{+}Ag_{0,17})_{10,00}(Cu_{1,13}^{2+}Fe_{1,08}Zn_{0,18})_{2,39}(Sb_{1,95}As_{1,06}Bi_{0,14}Te_{0,64}^{4+}Ge_{0,03}Sn_{0,01})_{3,83}S_{12,78}$											5.2
	$(Cu_{10,96}^{+}Ag_{0,17})_{11,13}(Fe_{1,08}Zn_{0,18})_{1,26}(Sb_{1,95}As_{1,06}Bi_{0,14}Te_{0,64}^{4+}Ge_{0,03}Sn_{0,01})_{3,83}S_{12,78}$											1.0
4	$(Cu_{9,80}^{+}Ag_{0,20})_{10,00}(Cu_{0,84}^{2+}Fe_{1,08}Zn_{0,18})_{2,10}(Sb_{1,84}As_{1,18}Bi_{0,30}Te_{0,68}^{4+}Ge_{0,03}Sn_{0,02})_{4,05}S_{12,84}$											5.2
	$(Cu_{10,64}^{+}Ag_{0,20})_{10,84}(Fe_{1,08}Zn_{0,18})_{1,26}(Sb_{1,84}As_{1,18}Bi_{0,30}Te_{0,68}^{4+}Ge_{0,03}Sn_{0,02})_{4,05}S_{12,84}$											2.1
5	$(Cu_{9,81}^{+}Ag_{0,19})_{10,00}(Cu_{0,65}^{2+}Fe_{1,10}Zn_{0,16})_{1,91}(Sb_{1,91}As_{1,23}Bi_{0,24}Te_{0,70}^{4+}Ge_{0,03}Sn_{0,02})_{4,13}S_{12,94}$											4.0
	$(Cu_{10,46}^{+}Ag_{0,19})_{10,65}(Fe_{1,10}Zn_{0,16})_{1,26}(Sb_{1,91}As_{1,23}Bi_{0,24}Te_{0,70}^{4+}Ge_{0,03}Sn_{0,02})_{4,13}S_{12,94}$											1.6
6	$(Cu_{9,68}^{+}Ag_{0,32})_{10,00}(Cu_{1,12}^{2+}Fe_{0,84}Zn_{0,12})_{2,08}(Sb_{1,73}As_{0,98}Bi_{0,45}Te_{0,82}^{4+}Ge_{0,04}Sn_{0,02})_{4,04}S_{12,88}$											5.2
	$(Cu_{10,80}^{+}Ag_{0,32})_{11,12}(Fe_{0,84}Zn_{0,12})_{0,96}(Sb_{1,73}As_{0,98}Bi_{0,45}Te_{0,82}^{4+}Ge_{0,04}Sn_{0,02})_{4,04}S_{12,88}$											1.1
7	$(Cu_{9,71}^{+}Ag_{0,29})_{10,00}(Cu_{1,20}^{2+}Fe_{0,66}Zn_{0,12})_{1,82}(Sb_{1,67}As_{0,90}Bi_{0,41}Te_{0,94}^{4+}Ge_{0,04}Sn_{0,02})_{3,98}S_{13,08}$											2.2
8	$(Cu_{11,89}^{+}Ag_{0,02})_{11,91}(Sb_{0,38}As_{1,40}Bi_{0,02}Te_{2,15}^{4+})_{3,95}(S_{0,94}Se_{2,20})_{13,14}$											1.4
9	$(Cu_{11,59}^{+}Ag_{0,03})_{11,62}(Fe_{0,03}Zn_{0,21})_{0,26}(Sb_{0,40}As_{1,38}Bi_{0,10}Te_{2,12}^{4+})_{4,00}(S_{10,53}Se_{2,61})_{13,14}$											0.7
10	$(Cu_{12,00}^{+}Ag_{0,02}Au_{0,01})_{12,03}(Sb_{0,50}As_{1,38}Bi_{0,01}Te_{2,13}^{4+})_{4,02}(S_{10,45}Se_{2,50})_{12,95}$											1.2
11	$Cu_{11,93}^{+}Fe_{0,03}(Sb_{0,38}As_{1,72}Bi_{0,02}Te_{1,98}^{4+})_{4,02}(S_{10,79}Se_{2,15})_{12,94}$											1.6

Примечание: ан. 1, 2 – центральная часть зерна, ан. 3–5 – внешняя часть зерна, ан. 6, 7 – самая внешняя часть зерна. В том числе в ан. 3: Mn 0.02, Cd 0.03, Co 0.03, V 0.02 мас. %, в ан. 8 – 10.3 мас. % Se, в ан. 9 – 12.2 мас. % Se, и ан. 10 – 11.5 мас. % Se, в ан. 11 – 9.9 мас. % Se, в ан. 10 Au 0.1 мас. %, в ан. 8–11 Hg, Cd, Pb, Sn, Ge не обнаружены

так и висмутом, с очень высокой активностью серы и одновременно при повышенном окислительном потенциале».

Пересчет анализов блёклых руд из месторождений вулканического пояса Центральной Камчатки, приведенных в работе М.С. Сахаровой с соавторами (1983) (табл. 5), и расчет баланса валентности показал, что электронейтральными являются формулы для четырех анализов из шести (ан 1, 4, 5, 6). Формула для анализа 2 становится электронейтральной при условии исключения из него 0.14 а.ф. самородного теллура. Это составляет 1.06 мас.%. Формула для анализа 3 неэлектронейтральна из-за избытка катионов и становится электронейтральной после вычета 0.05 а.ф. самородного теллура и пересчета анализа с учетом  $Te^{2-}$  в позиции серы, добавленного до 13 атомов. Голдфилдит в этом месторождении встречается в кварцевых жилах, в виде мелких ксеноморфных обособлений в ассоциации с халькопиритом, пиритом и самородным теллуrom, образующем ксеноморфные каплевидные и прожилковые выде-

ления в халькопирите и голдфилдите. Наличие голдфилдита в составе золотоносных кварц-сульфидно-теллуридных жил вулканогенного пояса Центральной Камчатки и сходство минеральных ассоциаций с таковыми месторождений Восточного Узбекистана и Голдфилд (Невада) свидетельствуют о том, что голдфилдит типоморфный минерал месторождений золото-теллуридного типа в вулканогенных областях. Об этом же говорят результаты изучения блёклых руд одного из золоторудных месторождений Востока СССР Е.А. Борисовой с соавторами (1986), которые обнаружили теллурсодержащие блёклые руды, оказавшиеся голдфилдит-теннантитами и голдфилдит-тетраэдритами. Их анализы (табл. 5, ан. 7–10,) хорошо рассчитываются на формулу с 29 атомами.

Интересны результаты исследований В.А. Коваленкера с соавторами (1986) теллурсодержащих блёклых руд (табл. 6) месторождений Центрального Среднегорья Болгарии (Челопеч и Елшица), являющихся месторождениями этого же типа, что и приведенные

Таблица 5. Пересчет анализов блёклых руд из вулканического пояса Центральной Камчатки (ан. 1–6) (Сахарова и др., 1983) и одного из месторождений Востока СССР (ан. 7–10) (Борисова и др., 1986) на формулы и расчет их баланса валентности

№ ан.	Cu	Ag	Fe	Au	Sb	As	Bi	Te	S	Se	Σ
1	43.0	0.1	0.7	0.3	6.5	0.2	7.0	15.2	23.3	1.9	98.2
2	45.3	—	0.1	0.2	6.6	4.4	1.5	16.1	24.5	—	98.7
3	42.9	0.9	2.0	0.9	7.7	2.9	0.8	17.4	24.5	—	100.00
4	45.0	2.3	0.3	0.2	6.8	0.9	0.8	17.6	25.0	—	98.9
5	46.5	—	0.1	0.4	5.4	4.1	0.9	18.2	26.1	—	101.7
6	44.4	0.4	0.1	0.4	5.3	2.3	0.5	20.2	25.3	—	98.9
7	45.8	—	—	Zn	3.8	6.7	1.2	18.0	26.2	—	101.2
8	44.0	3.0	0.5	0.2	5.6	1.3	0.5	16.6	26.2	0.3	97.3
9	46.4	1.0	0.2	0.5	6.0	3.5	0.3	15.6	25.7	0.3	99.5
10	45.6	1.4	0.1	0.2	6.3	1.3	0.1	17.6	25.5	0.1	98.3
№ ан.	Формула									Te <sub>сам.</sub> а.ф.	Δ, %
1	$(Cu_{11.91}^{+}Ag_{0.01})_{11.92}(Fe_{0.20}Au_{0.03})_{0.23}(Sb_{0.94}As_{0.05}Te_{2.10}Bi_{0.59})_{3.68}(S_{12.73}Se_{0.42})_{13.15}$									0.00	2.8
2	$Cu_{11.98}^{+}(Fe_{0.03}Au_{0.02})_{0.05}(Sb_{0.91}As_{0.99}Te_{2.12}Bi_{0.12})_{4.14}S_{12.83}$									0.00	3.6
	$Cu_{12.03}^{+}(Fe_{0.03}Au_{0.02})_{0.05}(Sb_{0.92}As_{0.99}Te_{1.99}Bi_{0.12})_{4.02}S_{12.90} + Te_{сам.}$									0.14	1.4
3	$(Cu_{11.32}^{+}Ag_{0.14})_{11.46}(Fe_{0.60}Au_{0.08})_{0.68}(Sb_{1.06}As_{0.65}Te_{2.28}Bi_{0.06})_{4.05}S_{12.81}$									0.00	6.0
	$(Cu_{11.34}^{+}Ag_{0.14})_{11.48}(Fe_{0.60}Au_{0.08})_{0.68}(Sb_{1.06}As_{0.65}Te_{2.23}Bi_{0.06})_{4.00}S_{12.81} + Te_{сам.}$									0.05	5.3
	$(Cu_{11.34}^{+}Ag_{0.14})_{11.48}(Fe_{0.60}Au_{0.08})_{0.68}(Sb_{1.06}As_{0.65}Te_{2.06}Bi_{0.06})_{3.83}(S_{12.83}Te_{0.17})_{13.0} + Te_{сам.}$									0.05	1.5
4	$(Cu_{11.64}^{+}Ag_{0.14})_{12.00}(Cu_{0.26}^{2+}Fe_{0.09}Au_{0.02})_{0.37}(Sb_{0.94}As_{0.20}Te_{2.32}Bi_{0.06})_{3.52}S_{13.11}$									0.00	1.3
5	$(Cu_{11.82}^{+}Ag_{0.03})_{11.85}(Fe_{0.03}Au_{0.03})_{0.06}(Sb_{0.72}As_{0.88}Te_{2.30}Bi_{0.07})_{3.97}S_{13.15}$									0.00	0.4
6	$(Cu_{11.69}^{+}Ag_{0.06})_{11.75}(Fe_{0.09}Au_{0.03})_{0.12}(Sb_{0.73}As_{0.51}Te_{1.65}Bi_{0.04})_{3.93}S_{13.20}$									0.00	0.1
7	$Cu_{11.57}^{+}(Sb_{0.50}As_{1.44}Te_{2.27}Bi_{0.09})_{4.30}S_{13.13}$									0.00	1.8
8	$(Cu_{9.54}^{+}Ag_{0.46})_{10.00}(Cu_{2.15}^{2+}Fe_{0.17}Zn_{0.06})_{2.36}(Sb_{0.78}As_{0.29}Te_{2.20}Bi_{0.03})_{3.30}(S_{13.25}Se_{0.06})_{13.31}$									0.00	0.8
9	$(Cu_{10.10}^{+}Ag_{0.15})_{10.25}(Cu_{1.82}^{2+}Fe_{0.06}Zn_{0.12})_{2.00}(Sb_{0.81}As_{0.76}Te_{2.00}Bi_{0.03})_{3.60}(S_{13.08}Se_{0.06})_{13.14}$									0.00	2.8
10	$(Cu_{10.10}^{+}Ag_{0.20})_{10.30}(Cu_{1.85}^{2+}Zn_{0.07}Fe_{0.03}Cd_{0.03})_{2.00}(Sb_{0.87}As_{0.29}Te_{2.26}Bi_{0.03})_{3.45}(S_{13.25}Se_{0.03})_{13.28}$									0.00	1.4

Примечание: в ан. 10 – Au 0.1 мас. %, Cd 0.1 мас. %

выше. Анализы 1, 2 образцов из месторождения Челопеч и 21, 22, из месторождения Елшица, принятых В.А. Коваленкером за блёклые руды, пересчитываются на электронейтральную формулу, содержащую 33 атома в элементарной ячейке. Только анализы 3–5 и 19, 20 пересчитываются на электронейтральную формулу с 29 атомами в элементарной ячейке. Особенности положения занимают анализы блёклых руд из месторождения Елшица, содержащие большое количество теллура (ан. 6–18). Семь анализов (ан. 6–11, 14) хорошо пересчитываются на 29 атомов в формуле только при исключении из анализов самородного теллура в количестве, превышающем 4 атома в формуле. Предположение, что в образцах присутствуют мельчайшие включения самородного теллура, основано на указаниях В.А. Коваленкера с соавторами (1986) о том, что теннантит в этом месторождении замещает голдфилдит, при этом появляется самородный теллур. К такому же выводу приходит и Э.М. Спиридонов (1987) на основе изучения блёклых руд некоторых вулкано-генных месторождений Казахстана. Автор отмечал, что голдфилдит замещается тетраэдритом, самородным теллуrom, халькопиритом. Формулы для шести анализов (ан. 12, 13, 15–18) становятся электронейтральными после исключения из них теллура самородного, а также при условии, что вся медь одновалентная. Однако, как видно из таблицы 6, формулы для четырёх анализов (ан. 12, 13, 15, 16), пересчитанных после вычета самородного теллура, имеют лучший баланс валентности. Предположение, что вся медь в анализах (ан. 12, 13, 15–18) одновалентная основано на указаниях М.И. Новгородовой с соавторами (1978), что в теллурсодержащих блёклых рудах компенсация избыточного заряда, возникающего при замещении  $(As, Sb)^{3+} \rightarrow Te^{4+}$ , происходит путём образования вакансий. Н.Н. Мозгова и А.И. Цепин (1983) считают, что более вероятно объяснение компенсации избыточного заряда «деполяризацией за счёт восстановления меди до  $Cu^+$ , что и ограничивает входжение двухвалентных металлов в них». Так как формулы для указанных анализов электронейтральны как при одном, так и при другом условии, можно сделать вывод, что при больших содержаниях теллура –10–24 мас.% в формуле блёклых руд вся медь одновалентная. На эту же формулу можно пересчитывать блёклые руды, содержащие более 24 мас.% теллура при условии исключения из анализа теллура самородного, т.е. не более 24 мас.% теллура может входить изоморфно в блёклые руды. Формулы для

двух оставшихся анализов (ан. 21, 22) становятся электронейтральными только при пересчете их на 33 атома в элементарной ячейке. Итак, из 22 анализов теллурсодержащих блёклых руд месторождений Челопеч и Елшица 18 анализов (табл. 6, ан 3–20) пересчитываются на формулу с 29 атомами в элементарной ячейке, 4 анализа (табл. 6, ан 1, 2, 21, 22) – с 32 и 33 атомами в элементарной ячейке. Их идеализированные формулы –  $Cu_{11}^+Me_{1,00}^{2+}Me_{1,00}^{3+}PMe_{4,00}S_{15}$  и  $Cu_{10}^+Me_{3,00}^{2+}PMe_{4,00}S_{16}$ .

В теллурсодержащих блёклых рудах встречаются зональные кристаллы. Зональность кристаллов говорит об изменении физико-химических условий (концентрации растворённых компонентов, температуры, давления, окислительно-восстановительного потенциала) во время их роста. Зоны хорошо видны в отраженном свете. Как правило, ядра тетраэдритового состава имеют зеленоватый оттенок, внешняя розовая зона голдфилдитового состава иногда имеет также тонкозональное строение. Бледно-розовые тончайшие зоны сменяются зонами розового цвета и наоборот. Вероятно, интенсивность розового оттенка в блёклых рудах обусловлена увеличением количества теллура в составе. Исследование такого зонального кристалла проведено Э.М. Спиридоновым (1987). Пересчет 13 анализов, представленных в этой работе (табл. 7), показал, что формулы для девяти анализов (ан. 1–7, 11, 13) из разных зон кристалла блёклой руды вулкано-генного золото-кварцевого месторождения Дальнего Востока России электронейтральные, для двух (ан. 6 и 10) – становятся электронейтральными, если часть  $Te^{2+}$  поместить в позицию серы. Формула для одного анализа (ан. 8) неэлектронейтральная. Сумма в анализе 12 сильно превышает 100% (104.36%) и при этом его формула неэлектронейтральная (баланс валентности 3.3%). Если отнести всё серебро за счёт квервеллита, то сумма и баланс валентности становятся значительно лучше (98.34% и 0.4%) соответственно. Блёклые руды с высоким содержанием  $Te$  и  $Ag$ , как отмечал Э.М. Спиридонов (1987), представляют поздние генерации. Квервеллит образуется также на поздней стадии формирования оруденения.

Сопоставление неэлектронейтральных формул, полученных при пересчете анализов на общепринятую для блёклых руд формулу –  $Cu_{10}^+Me_2^{2+}PMe_5S_{13}$ , а затем пересчитанных на электронейтральные формулы (табл. 2, ан. 11, 18, 19, 21, 32; табл. 4, ан. 2; табл. 5, ан. 3; табл. 6, ан. 1, 2, 21, 22 и табл. 7, ан. 8), показало, что пять формул из двенадцати стано-

Таблица 6. Пересчет анализов блёклых руд из месторождений Челопеч (ан. 1–5) и Елшица (ан. 6–22), приведенных в работе В.А. Коваленкера с соавторами (1986) на формулы и расчет их баланса валентности

№ ан.	Cu	Fe	Zn	Sb	As	Te	Bi	Se	S	Σ
1	39.64	4.06	н.об.	2.01	2.48	26.16	0.34	н.об.	24.79	99.48
2	40.30	3.87	н.об.	1.45	4.29	24.38	0.21	н.об.	24.90	99.40
3	43.19	0.41	н.об.	7.50	2.73	17.64	н.об.	н.об.	24.91	99.27
4	45.34	0.51	0.45	2.26	6.42	17.64	0.69	0.19	25.82	99.32
5	43.67	1.35	5.59	1.95	17.38	1.81	н.об.	н.об.	27.49	99.24
6	42.48	0.27	н.об.	0.23	4.05	26.44	2.62	н.об.	25.68	101.77
7	44.95	0.16	н.об.	0.27	4.32	25.85	0.47	н.об.	25.43	101.45
8	43.38	0.39	н.об.	0.23	5.30	25.74	0.10	н.об.	25.55	100.69
9	43.62	0.42	н.об.	0.31	5.33	25.64	0.31	н.об.	25.69	100.32
10	42.71	0.64	н.об.	0.15	4.75	24.52	3.38	н.об.	25.25	101.40
11	42.49	0.55	н.об.	0.38	5.66	24.38	1.38	н.об.	25.51	100.35
12	44.72	0.15	н.об.	0.20	5.23	23.97	0.17	н.об.	26.43	100.87
13	43.35	0.20	н.об.	0.39	5.04	23.75	0.23	н.об.	26.13	99.09
14	43.07	1.03	н.об.	0.16	5.26	23.01	1.30	н.об.	25.71	99.74
15	45.15	0.63	0.04	0.20	6.39	22.31	0.14	н.об.	26.72	101.58
16	43.83	0.74	н.об.	0.16	6.44	22.07	н.об.	н.об.	26.14	99.38
17	44.83	0.13	н.об.	0.36	6.84	21.26	1.49	н.об.	26.51	101.42
18	44.47	0.26	н.об.	0.18	5.47	21.24	2.96	н.об.	26.52	101.40
19	46.56	0.20	н.об.	0.14	6.84	19.83	0.27	н.об.	26.35	100.19
20	46.33	4.76	0.25	н.об.	20.11	1.39	н.об.	н.об.	29.00	101.84
21	46.07	4.56	0.26	н.об.	20.04	0.13	н.об.	н.об.	29.26	100.32
22	46.17	4.61	0.23	н.об.	20.35	0.23	н.об.	н.об.	30.34	102.27

№ ан.	Формула	Te <sub>сам.</sub> а.ф.	Δ, %
1	Cu <sub>10.48</sub> <sup>+</sup> Fe <sub>1.22</sub> <sup>2+</sup> (Sb <sub>0.28</sub> As <sub>0.36</sub> Bi <sub>0.03</sub> Te <sub>3.44</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>4.31</sub> S <sub>12.99</sub>	0.00	11.3
1	Cu <sub>10.48</sub> <sup>+</sup> Fe <sub>1.22</sub> <sup>2+</sup> (Sb <sub>0.28</sub> As <sub>0.36</sub> Bi <sub>0.03</sub> Te <sub>3.13</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>4.00</sub> (S <sub>12.96</sub> Te <sub>0.31</sub> <sup>2-</sup> ) <sub>13.30</sub>	0.00	5.2
1*	Cu <sub>10</sub> <sup>+</sup> (Cu <sub>1.93</sub> <sup>2+</sup> Fe <sub>1.07</sub> <sup>3+</sup> ) <sub>3.00</sub> Fe <sub>0.32</sub> <sup>3+</sup> (Sb <sub>0.32</sub> As <sub>0.63</sub> Bi <sub>0.03</sub> Te <sub>4.00</sub> <sup>4+</sup> (S <sub>14.78</sub> Te <sub>0.9</sub> <sup>2-</sup> ) <sub>15.68</sub>	0.00	1.9
2	Cu <sub>10.96</sub> <sup>+</sup> Fe <sub>1.15</sub> <sup>2+</sup> (Sb <sub>0.20</sub> As <sub>0.95</sub> Bi <sub>0.02</sub> Te <sub>4.00</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>4.00</sub> (S <sub>12.93</sub> Te <sub>0.35</sub> <sup>2-</sup> ) <sub>13.28</sub>	0.00	4.1
2*	Cu <sub>10</sub> <sup>+</sup> (Cu <sub>2.02</sub> <sup>2+</sup> Fe <sub>0.98</sub> <sup>3+</sup> ) <sub>3.00</sub> Fe <sub>0.33</sub> <sup>3+</sup> (Sb <sub>0.22</sub> As <sub>1.08</sub> Bi <sub>0.02</sub> Te <sub>2.68</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>4.00</sub> (S <sub>14.72</sub> Te <sub>0.94</sub> <sup>2-</sup> ) <sub>15.66</sub>	0.00	1.1
3	Cu <sub>10</sub> <sup>+</sup> (Cu <sub>1.43</sub> <sup>2+</sup> Fe <sub>0.12</sub> <sup>3+</sup> ) <sub>1.55</sub> (Sb <sub>1.04</sub> As <sub>0.61</sub> Te <sub>2.32</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>3.97</sub> (S <sub>13.07</sub> Se <sub>0.40</sub> ) <sub>13.47</sub>	0.00	1.4
4	Cu <sub>11.60</sub> <sup>+</sup> (Fe <sub>0.15</sub> Zn <sub>0.11</sub> ) <sub>0.26</sub> (Sb <sub>0.30</sub> As <sub>1.39</sub> Bi <sub>0.05</sub> Te <sub>2.25</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>3.99</sub> (S <sub>13.10</sub> Se <sub>0.04</sub> ) <sub>13.14</sub>	0.00	0.2
5	Cu <sub>10</sub> <sup>+</sup> (Cu <sub>2.0</sub> <sup>2+</sup> Fe <sub>0.35</sub> <sup>3+</sup> Zn <sub>1.29</sub> ) <sub>2.05</sub> (Sb <sub>0.24</sub> As <sub>3.51</sub> Te <sub>4.00</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>4.00</sub> (S <sub>12.97</sub> Te <sub>0.31</sub> <sup>2-</sup> ) <sub>13.30</sub>	0.00	1.0
6	Cu <sub>11.30</sub> <sup>+</sup> Fe <sub>0.08</sub> (Sb <sub>0.03</sub> As <sub>0.91</sub> Bi <sub>0.21</sub> Te <sub>2.92</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>4.05</sub> S <sub>13.54</sub> + Te <sub>сам.</sub>	0.57	2.0
7	Cu <sub>11.74</sub> <sup>+</sup> Fe <sub>0.05</sub> (Sb <sub>0.04</sub> As <sub>0.96</sub> Bi <sub>0.04</sub> Te <sub>3.01</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>4.05</sub> S <sub>13.17</sub> + Te <sub>сам.</sub>	0.35	2.4
8	Cu <sub>11.44</sub> <sup>+</sup> Fe <sub>0.12</sub> (Sb <sub>0.03</sub> As <sub>1.19</sub> Bi <sub>0.01</sub> Te <sub>2.85</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>4.08</sub> S <sub>13.36</sub> + Te <sub>сам.</sub>	0.52	0.2
9	Cu <sub>11.44</sub> <sup>+</sup> Fe <sub>0.12</sub> (Sb <sub>0.06</sub> As <sub>1.19</sub> Bi <sub>0.02</sub> Te <sub>2.81</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>4.08</sub> S <sub>13.35</sub> + Te <sub>сам.</sub>	0.53	0.1
10	Cu <sub>11.30</sub> <sup>+</sup> Fe <sub>0.19</sub> (Sb <sub>0.02</sub> As <sub>1.07</sub> Bi <sub>0.27</sub> Te <sub>2.71</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>4.07</sub> S <sub>13.34</sub> + Te <sub>сам.</sub>	0.54	0.3
11	Cu <sub>11.30</sub> <sup>+</sup> Fe <sub>0.17</sub> (Sb <sub>0.05</sub> As <sub>1.28</sub> Bi <sub>0.11</sub> Te <sub>2.65</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>4.09</sub> S <sub>13.44</sub> + Te <sub>сам.</sub>	0.57	1.2
12	Cu <sub>11.40</sub> <sup>+</sup> Fe <sub>0.04</sub> (Sb <sub>0.03</sub> As <sub>1.13</sub> Bi <sub>0.01</sub> Te <sub>2.84</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>4.21</sub> S <sub>13.35</sub>	0.00	1.6
	Cu <sub>11.48</sub> <sup>+</sup> Fe <sub>0.04</sub> (Sb <sub>0.03</sub> As <sub>1.14</sub> Bi <sub>0.01</sub> Te <sub>2.85</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>4.03</sub> S <sub>13.44</sub> + Te <sub>сам.</sub>	0.21	1.4
13	Cu <sub>11.35</sub> <sup>+</sup> Fe <sub>0.06</sub> (Sb <sub>0.05</sub> As <sub>1.12</sub> Bi <sub>0.02</sub> Te <sub>2.84</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>4.03</sub> S <sub>13.56</sub>	0.25	2.6
	Cu <sub>11.25</sub> <sup>+</sup> Fe <sub>0.06</sub> (Sb <sub>0.05</sub> As <sub>1.11</sub> Bi <sub>0.02</sub> Te <sub>3.07</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>4.25</sub> S <sub>13.44</sub> + Te <sub>сам.</sub>	0.00	1.1
14	Cu <sub>11.29</sub> <sup>+</sup> Fe <sub>0.31</sub> (Sb <sub>0.02</sub> As <sub>1.17</sub> Bi <sub>0.10</sub> Te <sub>2.75</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>4.04</sub> S <sub>13.36</sub> + Te <sub>сам.</sub>	0.26	0.9
15	Cu <sub>11.33</sub> <sup>+</sup> Fe <sub>0.18</sub> Zn <sub>0.01</sub> (Sb <sub>0.03</sub> As <sub>1.36</sub> Bi <sub>0.01</sub> Te <sub>2.79</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>4.19</sub> S <sub>13.29</sub>	0.00	1.8
	Cu <sub>11.41</sub> <sup>+</sup> Fe <sub>0.18</sub> Zn <sub>0.01</sub> (Sb <sub>0.03</sub> As <sub>1.37</sub> Bi <sub>0.01</sub> Te <sub>2.62</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>4.03</sub> S <sub>13.38</sub> + Te <sub>сам.</sub>	0.19	0.9
16	Cu <sub>11.24</sub> <sup>+</sup> Fe <sub>0.22</sub> (Sb <sub>0.02</sub> As <sub>1.40</sub> Te <sub>2.82</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>4.24</sub> S <sub>13.29</sub>	0.00	2.4
	Cu <sub>11.34</sub> <sup>+</sup> Fe <sub>0.22</sub> (Sb <sub>0.02</sub> As <sub>1.41</sub> Te <sub>2.60</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>4.03</sub> S <sub>13.40</sub> + Te <sub>сам.</sub>	0.24	1.2
17	Cu <sub>11.35</sub> <sup>+</sup> Fe <sub>0.04</sub> (Sb <sub>0.05</sub> As <sub>1.47</sub> Bi <sub>0.11</sub> Te <sub>2.68</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>4.31</sub> S <sub>13.30</sub>	0.00	1.6
	Cu <sub>11.47</sub> <sup>+</sup> Fe <sub>0.04</sub> (Sb <sub>0.05</sub> As <sub>1.48</sub> Bi <sub>0.12</sub> Te <sub>2.40</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>4.05</sub> S <sub>13.44</sub> + Te <sub>сам.</sub>	0.31	2.9
18	Cu <sub>11.36</sub> <sup>+</sup> Fe <sub>0.06</sub> (Sb <sub>0.02</sub> As <sub>1.18</sub> Bi <sub>0.23</sub> Te <sub>2.58</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>4.13</sub> S <sub>13.42</sub>	0.00	0.8
	Cu <sub>11.41</sub> <sup>+</sup> Fe <sub>0.06</sub> (Sb <sub>0.02</sub> As <sub>1.19</sub> Bi <sub>0.23</sub> Te <sub>2.58</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>4.02</sub> S <sub>13.48</sub> + Te <sub>сам.</sub>	0.13	2.0
19	Cu <sub>11.26</sub> <sup>+</sup> Fe <sub>0.06</sub> (Sb <sub>0.02</sub> As <sub>1.46</sub> Bi <sub>0.02</sub> Te <sub>2.90</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>3.99</sub> S <sub>13.19</sub>	0.00	0.15
20	Cu <sub>10</sub> <sup>+</sup> (Cu <sub>0.56</sub> <sup>2+</sup> Fe <sub>1.23</sub> Zn <sub>0.06</sub> ) <sub>1.85</sub> (As <sub>3.89</sub> Te <sub>0.16</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>4.05</sub> S <sub>13.10</sub>	0.00	0.7
21	Cu <sub>10</sub> <sup>+</sup> (Cu <sub>2.65</sub> <sup>2+</sup> Fe <sub>1.10</sub> Zn <sub>0.06</sub> ) <sub>1.81</sub> (As <sub>3.89</sub> Te <sub>0.01</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>3.99</sub> S <sub>13.29</sub>	0.00	4.7
21*	Cu <sub>11</sub> <sup>+</sup> (Cu <sub>2.01</sub> <sup>2+</sup> Fe <sub>1.35</sub> Zn <sub>0.07</sub> ) <sub>1.43</sub> Fe <sub>1.00</sub> <sup>3+</sup> (As <sub>4.43</sub> Te <sub>0.02</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>4.45</sub> S <sub>15.12</sub>	0.00	0.0
22	Cu <sub>10</sub> <sup>+</sup> (Cu <sub>0.36</sub> <sup>2+</sup> Fe <sub>1.10</sub> Zn <sub>0.05</sub> ) <sub>1.39</sub> (As <sub>3.90</sub> Bi <sub>0.02</sub> Te <sub>0.01</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>3.89</sub> S <sub>13.49</sub>	0.00	7.4
22*	Cu <sub>11</sub> <sup>+</sup> (Cu <sub>0.79</sub> <sup>2+</sup> Fe <sub>0.34</sub> Zn <sub>0.05</sub> ) <sub>1.18</sub> Fe <sub>1.00</sub> <sup>3+</sup> (As <sub>4.41</sub> Bi <sub>0.05</sub> Te <sub>0.03</sub> <sup>4+</sup> ) <sub>4.47</sub> S <sub>15.35</sub>	0.00	2.9

Примечание: анализы 1\* и 2\*, 21\*, 22\* пересчитаны на формулу с 33 атомами в элементарной ячейке, остальные с 29 атомами

вятся электронейтральными, при пересчете с учетом возможного  $\text{Te}^{2-}$  в позиции серы (табл. 2, ан. 11) и при их пересчете на 33 атома в элементарной ячейке (табл. 6, ан. 1, 2, 21, 22). Одна формула для анализа образца из месторождения вулканического пояса Центральной Камчатки (табл. 5, ан. 3) становится электронейтральной после вычета 0.05 а.ф. самородного теллура и пересчета с учетом  $\text{Te}^{2-}$  в позиции серы, добавленного до 13 атомов. Три формулы для анализов (табл. 2, ан.

21, 32 и табл. 4, ан. 2) почти электронейтральные, их баланс валентности 3.1, 3.2 и 3.2% соответственно. Неэлектронейтральными остаются три формулы соответствующие двум анализам из Кочбулака (табл. 2, ан. 18, 19) и одному анализу из вулканогенного золото-кварцевого месторождения Дальнего Востока (табл. 7, ан. 8).

Читатель может возмутиться столь, казалось бы, вольным, пересчетом анализов. Но если внимательнее отнестись к этому, то

Таблица 7. Пересчет анализов зонального кристалла блёклой руды из золото-кварцевого вулканогенного месторождения Дальнего Востока (Спиридонов, 1987) на формулы и расчет их баланса валентности

№ ан.	Cu	Ag	Zn	Fe	Cd	As	Sb	Te	S	Se	Σ
1	38.17	0.99	6.32	1.66	0.07	4.20	23.13	Сл.	25.33	0.04	99.91
2	39.22	0.90	6.58	0.08	0.33	3.96	23.48	Сл.	25.52	0.32	100.39
3	39.46	0.66	6.55	0.07	0.46	3.70	24.09	0.01	25.08	0.35	100.45
4	43.27	1.39	0.84	0.05	0.35	3.28	9.98	14.52	22.89	4.90	101.48
5	42.70	0.94	2.27	0.02	Сл.	3.87	15.99	6.77	24.17	2.04	98.78
6	43.46	0.66	0.62	0.07	0.03	1.73	6.39	20.88	22.82	4.14	100.81
7	43.07	1.50	0.99	0.01	0.08	2.97	9.92	14.15	23.49	2.44	98.63
8	43.23	1.85	0.21	0.05	0.36	1.14	4.87	23.08	22.60	3.92	101.36
9	42.94	0.96	2.25	Сл.	0.30	3.92	13.32	9.77	23.73	2.44	99.67
10	45.19	0.73	0.65	0.05	0.09	1.28	6.20	21.23	22.70	4.70	102.22
11	42.57	0.92	2.18	0.02	0.05	2.43	12.18	13.35	22.64	4.54	100.90
12	43.32	4.37	0.18	0.15	Сл.	2.59	3.15	22.63	23.27	4.66	104.36
12*	43.32	0.00	0.18	0.15	Сл.	2.59	3.15	21.34	22.95	4.66	98.34
13	40.79	2.72	2.60	0.39	Сл.	2.61	11.63	13.37	23.52	2.54	100.17
№ ан.	Формула										Δ, %
1	$(\text{Cu}_{9.82}^+ \text{Ag}_{0.15})_{9.97} (\text{Zn}_{1.58} \text{Fe}_{0.49} \text{Cd}_{0.01})_{2.06} (\text{Sb}_{3.11} \text{As}_{0.92})_{4.03} (\text{S}_{12.92} \text{Se}_{0.01})_{12.93}$										1.4
2	$(\text{Cu}_{9.79}^+ \text{Ag}_{0.14})_{9.93} (\text{Cu}_{0.29}^{2+} \text{Fe}_{0.02} \text{Zn}_{1.64} \text{Cd}_{0.05})_{2.00} (\text{Sb}_{3.15} \text{As}_{0.86})_{4.01} (\text{S}_{12.99} \text{Se}_{0.07})_{13.06}$										1.7
3	$(\text{Cu}_{9.90}^+ \text{Ag}_{0.10})_{10.00} (\text{Cu}_{0.29}^{2+} \text{Fe}_{0.02} \text{Zn}_{1.64} \text{Cd}_{0.07})_{2.02} (\text{Sb}_{3.25} \text{As}_{0.81})_{4.06} (\text{S}_{12.84} \text{Se}_{0.07})_{12.91}$										1.4
4	$(\text{Cu}_{10.43}^+ \text{Ag}_{0.22})_{10.65} (\text{Fe}_{0.02} \text{Zn}_{0.22} \text{Cd}_{0.05})_{0.29} (\text{Sb}_{1.38} \text{As}_{0.74} \text{Te}_{1.91}^{4+})_{4.03} (\text{S}_{11.99} \text{Se}_{1.04})_{13.03}$										0.6
5	$(\text{Cu}_{11.26}^+ \text{Ag}_{0.14})_{11.40} (\text{Fe}_{0.01} \text{Zn}_{0.58})_{0.59} (\text{Sb}_{2.20} \text{As}_{0.86} \text{Te}_{0.89}^{4+})_{3.95} (\text{S}_{12.62} \text{Se}_{0.43})_{13.05}$										3.0
	$(\text{Cu}_{9.86}^+ \text{Ag}_{0.14})_{10.00} (\text{Cu}_{1.40}^{2+} \text{Fe}_{0.01} \text{Zn}_{0.58})_{1.99} (\text{Sb}_{2.20} \text{As}_{0.86} \text{Te}_{0.89}^{4+})_{3.95} (\text{S}_{12.62} \text{Se}_{0.43})_{13.05}$										2.3
6	$(\text{Cu}_{11.64}^+ \text{Ag}_{0.10})_{11.74} (\text{Fe}_{0.02} \text{Zn}_{0.16})_{0.18} (\text{Sb}_{0.89} \text{As}_{0.39} \text{Te}_{2.78}^{4+})_{4.06} (\text{S}_{12.10} \text{Se}_{0.89})_{12.99}$										4.0
	$(\text{Cu}_{11.64}^+ \text{Ag}_{0.10})_{11.74} (\text{Fe}_{0.02} \text{Zn}_{0.16})_{0.18} (\text{Sb}_{0.89} \text{As}_{0.39} \text{Te}_{2.72}^{4+})_{4.0} (\text{S}_{12.10} \text{Se}_{0.89} \text{Te}_{0.06}^{2-})_{13.05}$										2.7
7	$(\text{Cu}_{11.54}^+ \text{Ag}_{0.24})_{11.78} (\text{Zn}_{0.26} \text{Cd}_{0.01})_{0.27} (\text{Sb}_{1.39} \text{As}_{0.67} \text{Te}_{1.89}^{4+})_{3.95} (\text{S}_{12.47} \text{Se}_{0.53})_{13.00}$										0.2
8	$(\text{Cu}_{11.64}^+ \text{Ag}_{0.29})_{11.93} (\text{Fe}_{0.02} \text{Zn}_{0.05} \text{Cd}_{0.05}^{2+})_{0.12} (\text{Sb}_{0.68} \text{As}_{0.26} \text{Te}_{3.00}^{4+})_{3.94} (\text{S}_{12.06} \text{Se}_{0.85} \text{Te}_{0.09}^{2-})_{13.00}$										3.7
9	$(\text{Cu}_{11.32}^+ \text{Ag}_{0.15})_{11.47} (\text{Zn}_{0.58} \text{Cd}_{0.04})_{0.62} (\text{Sb}_{1.83} \text{As}_{0.88} \text{Te}_{1.28}^{4+})_{3.99} (\text{S}_{12.40} \text{Se}_{0.52})_{12.92}$										0.8
10	$(\text{Cu}_{11.91}^+ \text{Ag}_{0.11})_{12.02} (\text{Fe}_{0.01} \text{Zn}_{0.17} \text{Cd}_{0.01}^{2+})_{0.19} (\text{Sb}_{0.85} \text{As}_{0.29} \text{Te}_{2.79}^{4+})_{3.93} (\text{S}_{11.86} \text{Se}_{1.00})_{12.86}$										4.7
	$(\text{Cu}_{11.91}^+ \text{Ag}_{0.11})_{12.02} (\text{Fe}_{0.01} \text{Zn}_{0.17} \text{Cd}_{0.01}^{2+})_{0.19} (\text{Sb}_{0.85} \text{As}_{0.29} \text{Te}_{2.65}^{4+})_{3.79} (\text{S}_{11.86} \text{Se}_{1.00} \text{Te}_{0.14}^{2-})_{13.00}$										1.6
11	$(\text{Cu}_{11.34}^+ \text{Ag}_{0.14})_{11.48} (\text{Cd}_{0.01} \text{Zn}_{0.56} \text{Fe}_{0.01})_{0.58} (\text{Sb}_{1.69} \text{As}_{0.55} \text{Te}_{1.77}^{4+})_{4.01} (\text{S}_{11.95} \text{Se}_{0.97})_{12.92}$										2.3
12	$(\text{Cu}_{11.36}^+ \text{Ag}_{0.67})_{11.97} (\text{Zn}_{0.04} \text{Fe}_{0.04})_{0.06} (\text{Sb}_{0.43} \text{As}_{0.57} \text{Te}_{2.94}^{4+})_{3.94} (\text{S}_{12.02} \text{Se}_{0.99})_{13.00}$										3.3
12*	$\text{Cu}_{11.70}^+ (\text{Zn}_{0.05} \text{Fe}_{0.05})_{0.10} (\text{Sb}_{0.44} \text{As}_{0.59} \text{Te}_{2.87}^{4+})_{3.90} (\text{S}_{12.26} \text{Se}_{1.01})_{13.29} + 5.99\% \text{Ag}_4\text{TeS}$										0.4
13	$(\text{Cu}_{10.86}^+ \text{Ag}_{0.43})_{11.29} (\text{Zn}_{0.67} \text{Fe}_{0.12})_{0.79} (\text{Sb}_{1.62} \text{As}_{0.59} \text{Te}_{1.77}^{4+})_{3.96} (\text{S}_{12.40} \text{Se}_{0.54})_{12.94}$										2.6

Примечание: в том числе Мп: в ан. 1, 2, 10, 12 – сл., в ан. 3 и 11 – 0.02, в ан. 4, 5, 6, 7 – 0.01, в ан. 8 – 0.05, в ан. 9 – 0.04 мас. %. \*Анализ рассчитан при условии отнесения всего Ag за счёт квервеллита –  $\text{Ag}_4\text{TeS}$ . Соответственно уменьшено количество Te на 1.29% и Sn на 0.32%

можно понять, что всё достаточно надежно обусловлено широкими возможностями изоморфизма блёклых руд и сложными, часто изменяющимися условиями кристаллизации, что ведёт к появлению зональных кристаллов с разным содержанием элементов в зонах.

## Выводы

1. Теллурсодержащие блёклые руды по элементному составу и физическим свойствам очень похожи на блёклые руды другого состава. В отраженном свете они имеют розовый оттенок, т.е. оптически похожи на сложный сульфид германия — германит. В вулканогенных и гидротермальных кварцево-сульфидных жильных месторождениях золото-сульфидной формации Кочбулак, Челопеч, Елшица обнаружены изотропные минералы, по окраске похожие на германит, анализы которых не содержат германия. Их формулы незлектронейтральны при пересчете на 29 атомов в элементарной ячейке, т.е. на формулу блёклой руды. Формулы становятся электронейтральными только при пересчете на 32 или 33 атома в элементарной ячейке. Такое же количество атомов содержится в формулах сложных сульфидов германия. Это говорит о том, что существуют новые минеральные виды оптически и химически близкие к блёклым рудам с идеализированными формулами:  $\text{Cu}_{11}^+\text{Me}_{1,00}^{2+}\text{Me}_{1,00}^{3+}\text{PMe}_{4,00}\text{S}_{15}$  и  $\text{Cu}_{10}^+\text{Me}_{3,00}^{2+}\text{PMe}_{4,00}\text{S}_{16}$ . Возможно, это не содержащие германия аналоги сложных сульфидов германия (германита и реньерита).

2. В теллурсодержащих блёклых рудах: голдфилдите и высокотеллуристом тетраэдрите теллур может входить как в позицию катионов  $\text{Te}^{4+}$ , так и в позицию серы  $\text{Te}^{2-}$ .

3. Голдфилдиты, с содержанием теллура более 24 мас.%, как правило, неоднородные. Они содержат самородный теллур в виде очень тонкой механической примеси. Об этом свидетельствует тот факт, что анализы становятся электронейтральными только при исключении из них самородного теллура в количестве, превышающем 4 атома, которые занимают атомы полуметаллов в формуле.

4. В теллурсодержащих блёклых рудах с большим содержанием серебра (7–13 мас.%) могут быть механические примеси тонкозернистого кервелеита —  $\text{Ag}_4\text{TeS}$ .

## Литература

- Богданов Б.* Болгария // Минеральные месторождения Европы. Юго-Восточная Европа. М.: Мир. **1984**. Т. 2. С. 294–318.
- Борисова Е.А., Борогаев Ю.С., Бочарова Г.И.* Редкие разновидности блёклых руд одного из золотурных месторождений // ЗВМО. **1986**. № 3. С. 85–94.
- Коваленкер В.А., Тронева Н.В., Доброниченко В.В.* Особенности состава главных рудообразующих минералов трубообразных рудных тел Кочбулакского месторождения // Методы исследования рудообразующих сульфидов и их парагенезисов. М.: Наука. **1980**. С. 140–164.
- Коваленкер В.А., Цонев Д., Бресковска В.В., Малов В.С., Тронева Н.В.* Новые данные по минералогии медноколчеданных месторождений Центрального Среднегорья Болгарии // Метасоматизм, минералогия и вопросы генезиса золотых и серебряных месторождений. М.: Наука. **1986**. С. 91–110.
- Мозгова Н.Н., Цепин А.И.* Блёклые руды // М.: Наука. **1983**. 279 с.
- Новгородова М.И., Цепин А.И., Дмитриева М.Т.* Новый изоморфный ряд в группе блёклых руд // ЗВМО. **1978**. № 1. С. 100–110.
- Сахарова М.С., Лебедева Н.В., Чубаров В.М.* Первая находка редких минералов теллура — голдфилдита, раклиджита, самородного теллура // ДАН СССР. **1984**. Т. 278. № 5. С. 1217–1220.
- Спиригонов Э.М.* Типоморфные особенности блёклых руд некоторых плутогенных, вулканогенных, телетермальных месторождений золота // Геология рудных месторождений. **1987**. № 6. С. 83–92.
- Спиригонов Э.М., Багалов А.С.* Эволюция состава блёклых руд вулканогенного месторождения Кайрагач в Восточном Узбекистане // Геология рудных месторождений. **1983**. № 4. С. 108–114.
- Спиригонов Э.М., Округин В.М.* Селенистый голдфилдит — новая разновидность блёклых руд // ДАН СССР. **1985**. Т. 280. № 2. С. 476–478.
- Frenzel G., Ottemann J., Manhal Al-Tabaqchali, Huber B.* The Calabona copper ore deposit of Alghero, Sardinia // N. Jb. Miner. **1975**. H. 2. S. 107–155.
- Ransome F.L., Emmons W. H., Carrey G.H.* The geology and ore deposits of Goldfield, Nevada // Geol. Surv. Prof. Paper. **1909**. № 66.