

СРАВНЕНИЕ МИНЕРАЛОГИИ ВУЛКАНОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ РАДКА, ЧЕЛОПЕЧ, ЕЛШИЦА (БОЛГАРИЯ) И МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЛЕБЕДИНОЕ (ЦЕНТРАЛЬНЫЙ АЛДАН, РОССИЯ)

С.Н. Ненашева

Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана, РАН, Москва, penashevasn@mail.ru

Образование руд на вулканогенных месторождениях Радка, Челопеч, Елшица (Болгария) и плутогенном месторождении Лебедино (Центральный Алдан) проходило в сходных геологических условиях. Для месторождения Радка характерна редкометальная минерализация, а на Елшице присутствуют в основном минералы теллура, в то время как минерализация Челопеча и Лебедино включает минералы как редких металлов (V, Ge, Ga, In), так и теллура. Для месторождения Радка характерен более глубокий эрозионный срез, чем для Челопеча и Лебедино. В Елшице обрабатывается и, следовательно, изучена только ближайшая к поверхности зона. Это позволяет сделать вывод о возможности находок на более глубоких горизонтах месторождений Лебедино и Елшица минералов Ge, Ga, In, известных на Радке.

В статье 2 таблицы, 1 рисунок, список литературы из 12 наименований.

Ключевые слова: блёклые руды, минералы теллура, месторождения Лебедино, Радка, Челопеч, Елшица.

Введение

Вулканогенные месторождения золото-сульфидной формации (Челопеч, Радка, Елшица) образовались в сходных геологических условиях и обладают похожими минералогическими характеристиками. В близких условиях образовалось и плутогенное месторождение Лебедино. Все они представляют собой сложную рудно-магматическую систему, которую можно рассматривать как модель совместного формирования субвулканических медноколчеданных, меднопорфировых и жильных полиметаллических месторождений. Их возникновение обусловлено магматизмом верхнеюрского – мелового возраста. Рудоносные флюиды поступали из глубинных зон, сложенных породами кристаллического фундамента, проникали в высокопористые, проницаемые, приповерхностные вулканогенные (Радка, Челопеч, Елшица) или осадочные (Лебедино) образования. Это способствовало активному формированию рудных тел. Среди нерудных минералов в перечисленных месторождениях встречаются: кварц, гематит, сульфаты – барит, ангидрит; карбонаты – доломит, кальцит, азурит, малахит; арсенаты – байлдонит, страшимирит, клинотиролит, корнваллит, дуфтит, клиноклаз, оливинит, леогангит. Наиболее обычные в рудах парагентические ассоциации: пирит + гематит, пирит + борнит, теллур самородный + теллуриды + фаматинит. Для халькогенидов часто наблюдаются повышенные содержания Se. Редкие металлы – Ag, Bi, Sn, V, Mo, Ge, W, In – представлены простыми и сложными сульфидами (молибденит, моусонит, станин, бриартит) и сульфосолями (люционит, колусит, германит, хемусит, висмутовые и сурьмяные сульфосоли). Обычны блёклые руды: аргентотетраэдрит, голдфидит, теннантит, тетраэдрит; теллуриды: нагиагит, костовит, теллурантимонит, колорадоит, алтаит, сивьянит, петцит, гессит; самородный теллур.

солями (люционит, колусит, германит, хемусит, висмутовые и сурьмяные сульфосоли). Обычны блёклые руды: аргентотетраэдрит, голдфидит, теннантит, тетраэдрит; теллуриды: нагиагит, костовит, теллурантимонит, колорадоит, алтаит, сивьянит, петцит, гессит; самородный теллур.

Методы и результаты исследований

Полированные шлифы изучались под микроскопом OPTON. Химический состав исследовался на сканирующем электронном микроскопе CamScan-4D с использованием энергодисперсионного спектрометра Link ISIS. Ускоряющее напряжение 20 кВ, поглощенный ток на металлическом Co 4 нА.

По литературным и собственным данным (Коваленкер и др., 1986; Ненашева, 2009₂; Ненашева, Карпенко, 2010; Ненашева и др., 2010) составлена таблица минералов, обнаруженных в рудах указанных месторождений (табл. 1). На месторождениях Болгарии (Челопеч, Радка, Елшица) В.А. Коваленкер с соавторами (1986) выделяют четыре зоны глубинности, характеризующиеся разными минеральными ассоциациями, а именно: халькопирит-теннантит-пиритовая, люционит-энаргит-пиритовая, халькопирит-теннантитовая, борнит-пиритовая. Ассоциации сменяют друг друга с глубиной в указанном выше порядке.

На Радке первая зона эродирована, вторая и третья обработаны и только по четвертой, наиболее глубокой зоне, есть данные исследований. Из редких минералов в ней установлены блёклые руды (теннантит, тетраэдрит), минералы германия (бриартит,

Таблица 1. Рудные минералы месторождений Радка (1), Елшица (2), Челопеч (3), по данным В.А. Коваленкера с соавторами (1986), и Лебедино (4) (Центральный Алдан), по данным С.Н. Ненашевой, Карпенко, (2010); С.Н. Ненашевой с соавторами (2010; 2011)

№ п/п	Минерал	Формула	Месторождение			
			1	2	3	4
1	Азурит	$Cu_3(OH)_2[CO_3]_2$				+
2	Айкинит	$CuPbBiS_3$			+	+
3	Алтаит	$PbTe$		+	+	+
4	Англезит	$Pb[SO_4]$				+
5	Анилит	$Cu^+Cu^{2+}S_4$				+
6	Арсеносульфани	$Cu_2V_2As_5S_{32}$	+		+	+
7	Беегерит	Анизотропный галенит, обогащенный висмутом	+			
8	Бетехтинит	$Cu_{10}PbS_6$	+	+	+	
9	Борнит	$Cu_{5-x}Fe^{3+}S_{4+x}$	+	+	+	+
10	Бриаргит	$Cu^+Fe^{2+}_4Ge^{4+}_4S_{16}$	+			
11	Бурнонит	$CuPbSbS_3$				+
12	Винсьеннит	$Cu^+_7Cu^{2+}_3Fe^{3+}Sn^{4+}AsS_{16}$	+			
13	Висмутин	Bi_2S_3			+	
14	Виттихенит	Cu_3BiS_3	+		+	
15	Галенит	PbS	+	+	+	+
16	Галенобисмутит	$PbBi_2S_4$				+
17	Галлит	$CuGaS_2$	+		+	
18	Гематит	Fe_2O_3				+
19	Германит	$Cu^+_5Cu^{2+}_3Fe^{3+}_2Ge^{4+}_2S_{16}$	+			
20	Гессит	Ag_2Te				+
21	Голдфилдит	$Cu^+_{12-x}Sb^{3+}_xTe^{4+}_{2+x}S_{13}$, (0<x<2)		+	+	+
22	Джирит	$Cu^+_2Cu^{2+}S_2$				+
23	Дигенит	$Cu^+_8Cu^{2+}S_5$	+		+	+
24	Золото сам.	Au	+	+	+	+
25	Идаит	$Cu^+Cu^{2+}_2Fe^{3+}S_4$	+		+	
26	Касситерит	SnO_2		+		
27	Клаусталит	$PbSe$			+	
28	Кобальтин	$Co[AsS]$				+
29	Ковеллин	$3CuS \rightarrow Cu^+_2S \cdot Cu^{2+}S_2$	+	+	+	+
30	Колорадоит	HgS			+	
31	Колусит	$Cu^+_{26}V^{5+}_2As^{5+}_5S_{32}$	+		+	
32	Костовит	$AuCuTe_4$			+	
33	Кубанит	$Cu^+Fe^{2+}Fe^{3+}S_3$				+
34	Людонит	$Cu^+Cu^{2+}AsS_4$			+	
35	Малахит	$Cu_2(OH)_2[CO_3]$				+
36	Марказит	FeS_2	+	+	+	+
37	Молибденит	MoS_2	+			
38	Моусонит	$Cu^+_6Fe^{3+}Sn^{4+}S_8$			+	
39	Нагиагит	$Au_{25}Pb_{25+y}(Sb,Te)_8(S,Te)_{35.25+0.5x+y}$			+	
40	Некрасовит	$Cu^+_{18}Cu^{2+}_8V^{3+}_2Sn^{4+}_6S_{32}$			+	
41	Петцит	$AuAg_3Te_2$				+
42	Пирит	FeS_2	+	+	+	+
43	Пирротин	$Fe_{1-x}S$, где x = от 0 до 0.1			+	+
44	Реньерит	$Cu^+_{10}(Cu^{2+},Zn)Fe^{3+}_4Ge^{4+}_2S_{16}$	+		+	
45	$Cu^+_{10}Fe^{3+}_4As^{5+}_2S_{16}$	$Cu^+_{10}Fe^{3+}_4As^{5+}_2S_{16}$	+			
46	$Cu^+_{11}Fe^{3+}_4Ge^{4+}As^{5+}S_{16}$	$Cu^+_{11}Fe^{3+}_4Ge^{4+}As^{5+}S_{16}$	+			
47	Рутил	TiO_2				+
48	Рокезит	$CuInS_2$	+			
49	Сильванит	$Au_{1+x}Ag_{1-x}Te_4$ (0 ≤ x ≤ 0.25)		+	+	
50	Спионколит	$Cu^{2+}_2Cu^{2+}_7S_{28}$				+
51	Станнин	Cu_2FeSnS_4	+		+	
52	Сульфани	$Cu^+_8Cu^{2+}_{16}V_8S_{32}$				+
53	Сфалерит	ZnS	+	+	+	+
54	Теллур самор	Te		+	+	+
55	Теллуrowисмутит	Bi_2Te_3		+	+	
56	Теннантит	$Cu_{10}Cu_2As_4S_{13}$	+	+	+	+
57	Тетрадимит	$BiTe_2S$	+	+	+	
58	Тетраэдрит	$Cu_{10}Cu_2Sb_4S_{13}$	+		+	+
59	Фаматинит	$Cu^+Cu^{2+}_2SbS_4$			+	+
60	Халькозин	Cu_2S	+	+	+	+
61	Халькопирит	$CuFeS_2$	+	+	+	+
62	Хемусит	$Cu^+_7Cu^{2+}_2MO^{4+}_4Sn^{4+}AsS_8$			+	
63	Эвкайрит	$AgCuSe$			+	
64	Энардит	$Cu^+Cu^{2+}_2AsS_4$	+	+	+	
65	Ярроуит	$Cu^+_2Cu^{2+}_7S_8$				+

германит, реньерит, неназванные минералы $\text{Cu}_{10}^+\text{Fe}_4^{3+}\text{As}_2^{5+}\text{S}_{16}$ и $\text{Cu}_{11}^+\text{Fe}_4^{3+}\text{Ge}^{4+}\text{As}^{5+}\text{S}_{16}$, рокезит, галлит, арсеносульванит, колусит и другие (табл. 1), то есть, согласно Коваленкеру и соавторам (1986), минералы редкометалльной линии.

На месторождении Елшица отрабатываются и, следовательно, изучены только ближние к поверхности зоны, где развиты минералы теллуридной линии, отсутствующие в Радке, блеклые руды (теннантит, голдфилдит) и энаргит.

На месторождении Челопеч описаны все четыре зоны. В рудах установлены многие, известные и на Радке, минералы редкометалльной линии: сульфиды галлия, индия, сульфосоли семейства энаргита (энаргит, люционит, арсеносульванит, колусит), реньерит, висмутовые сульфосоли, блеклые руды, а также отсутствующие в Радке редкие минералы теллура: голдфилдит, алтаит, сильванит, теллуровисмутит, тетрадимит (теллуридная линия), самородный теллур. То есть на месторождении Челопеч наиболее полно представлена минерализация описываемых месторождений Болгарии.

Месторождение Лебедино мало изучено. При сравнении его с месторождениями Радка, Челопеч, Елшица, обращает на себя внимание присутствие в рудах месторождения Лебедино минералов как редкометалльной, так и теллуридной линии, что позволяет сделать вывод о большем сходстве минерализации Лебедино с минерализацией Челопеча, чем с минерализацией Радки и Елшицы. Однако заметны и отличия. На месторождении Лебедино редкометалльная линия значительно беднее, чем на Челопече (отсутствуют минералы германия, галлия, молибдена, олова). Для Челопеча характерны мышьяковые, висмутовые сульфосоли меди, а также висмутовые сульфосоли меди и свинца, сульфиды висмута. На Лебедино очень редко встречается единственная висмутовая сульфосоль меди и свинца — галеновисмутит. В Челопече наиболее распространенными являются сульфосоли семейства энаргита: энаргит и люционит, редко встречаются арсеносульванит и колусит, не обнаружен сульванит, а в рудах месторождения Лебедино отсутствуют энаргит и люционит, колусит, редко встречается сульванит, но довольно широко распространен арсеносульванит. Кроме того, в месторождении Лебедино обнаружены минералы полисоматической серии халькозина: дигенит, анилит, жирит, спионкопит, ярруит, ковеллин (Ненашева и др., 2011), которые, за исключением дигенита и ковеллина, не бы-

ли отмечены в рудах Радки, Челопеча, Елшицы. Эти минералы, возможно, были там пропущены, поскольку они очень похожи на дигенит и ковеллин (табл. 1).

Наличие в вулканогенных месторождениях минералов As, Hg, S, Se, вероятно, обусловлено присутствием этих компонентов в вулканических газах, а V, Sn, Ge, Ga, In, Mo — выщелачиванием из вмещающих пород (Спиридонов, 2009). Возможно, разница в минералах редкометалльной линии этих месторождений (в Радке, Челопече — висмутовые сульфосоли, в Лебедино — сурьмяные) заключается в некотором отличии вмещающих пород месторождений Челопеч и Лебедино. Минерализация Радки, Челопеча и Елшицы генетически связана с верхнемеловым магматизмом. Рудные тела (штокверки, штоки, линзы) расположены «среди вулканогенно-туфогенных и дайковых пород андезитово-дацитового состава, подвергнутых гидротермальным изменениям (окварцевание, серицитизация, пиритизация)» (Коваленкер и др., 1986). Основные породообразующие минералы: плагиоклазы, калиевые полевые шпаты, биотит, мусковит, эпидот, хлорит, карбонаты, кварц. На месторождении Лебедино толща гранитов и лежащая на них толща слабо метаморфизованных осадочных пород, в основном доломитов кембрия, прорывается штоками, лакколитами, дайками среднего состава и повышенной щелочности верхнеюрского — нижнемелового возраста. Метасоматические залежи сульфидно-карбонатного состава, иногда, как ответвления жил, развивающиеся в доломитах, состоят из анкерита, кварца, кальцита, пирита, халькопирита, галенита, тетраэдрита, сфалерита, иногда чешуйчатого гематита (Фасталович, Петровская, 1940).

Теллуридная линия очень хорошо прослеживается в рудах месторождений Лебедино (табл. 1), Челопеча и Елшицы. Однако набор минералов теллура в месторождениях Челопеч (алтаит, нагиагит, голдфилдит, костовит, сильванит, теллуровисмутит, тетрадимит, теллур самородный) разнообразнее, чем в месторождениях Лебедино (алтаит, петцит, гессит, голдфилдит, теллур самородный) и Елшица (алтаит, голдфилдит, сильванит, теллуровисмутит, тетрадимит, теллур самородный). Тем не менее, в Челопече и Елшице нет, распространенных в Лебедино, гессита — теллурида серебра и петцита — теллурида золота и серебра, в котором серебро преобладает над золотом. Это можно объяснить недостатком серебра во время формирования руд месторождений Челопеч и Елшица. В рудах месторождения Челопеч обнаружены только

два минерала, содержащие серебро. Это сильванит — теллурид золота и серебра, в котором золото преобладает над серебром, и селенид Ag и Cu — эвкэйрит. С этим же, очевидно, связано отсутствие примесей серебра в блеклых рудах и других сульфидах и сульфосолях болгарских месторождений. В Челопече есть теллурувисмутит — теллурид висмута и тетрадимит — теллуридо-сульфид висмута, отсутствующие в Лебединоме, для которого не характерна висмутовая минерализация. В то же время на всех трёх месторождениях отмечаются блеклые руды, содержащие Те.

Для вулканогенных месторождений золотосульфидной формации характерны разнообразные блеклые руды разных генераций, различающиеся по составу. Блеклые руды с высоким содержанием теллура представляют позднюю генерацию.

На месторождении Радка первая зона эродирована, две следующие отработаны, поэтому анализы блеклых руд известны только для самой глубокой зоны (борнит-пиритовой ассоциации). Это мышьяково-сурьмяные блеклые руды. Содержание Те в них не превышает 0.07 а.ф. (атомов в формуле) (Ненашева, 20091).

Блеклые руды самой глубокой зоны месторождения Челопеч (борнит-пиритовая ассоциация) — сурьмяно-мышьяковые, с содержанием сурьмы до 0.3 а.ф., двух следующих зон, расположенных ближе к поверхности (людонит-энаргит-пиритовая и халькопирит-теннантитовая ассоциации), также мышьяково-сурьмяные, но содержание Sb в них доходит до 1.5 а.ф. Блеклые руды верхней зоны (халькопирит-теннантит-пиритовая ассоциация) содержат Те от 0.21 до 2.32 а.ф., Sb от 0.24 до 1.0 а.ф., As от 0.61 до 3.51 а.ф. Согласно номенклатуре блеклых руд, предложенной Н.Н. Мозговой и Цепиным (1983), это голдфилдит-теннантит-тетраэдриты, голдфилдит-тетраэдрит-теннантиты и теллуросодержащие тетраэдрит-теннантиты. Кроме того, из руд верхней зоны Челопеча известен анализ тетраэдрит-теннантита без Те (Коваленкер и др., 1986; Ненашева, 20091).

На месторождение Елшица изучена только верхняя зона, в которой установлены мышьяково-теллуровые блеклые руды с содержанием Те от 0.16 до 3.07 а.ф., As от 0.91 до 3.90 а.ф., Sb до 0.06 а.ф. (Коваленкер и др., 1986; Ненашева, 20091).

При нашем изучении руд Челопеча теллуросодержащих блеклых руд не было обнаружено (табл. 2). Тем не менее, пересчет анали-

зов на формулы показал интересные особенности. Выявлены минералы, которые оптически выглядят как блеклые руды, имеют такой же элементный состав, но их формулы отличаются по валентности меди. Анализы 1–9 (табл. 2, рис. 1а, б, с) пересчитываются на электронейтральные формулы только, если часть меди, дополняющая сумму двухвалентных катионов до величины 2, в них двухвалентная. Формулы для четырёх анализов из тринадцати оказались не электронейтральными при пересчете на 29 атомов в элементарной ячейке и при условии, что двухвалентных элементов в формуле 2 атома, согласно принятой для теннантита формуле — $\text{Cu}_{10}^+(\text{Cu}, \text{Fe}, \text{Zn})_2^{2+}(\text{As}, \text{Sb})_4^{3+}\text{S}_{13}$ (табл. 2, ан. 10–13, первая строка формул, рис. 1д). При пересчете их на формулу $\text{Cu}_8^+\text{Cu}_4^{2+}(\text{Fe}, \text{Zn})_2^{2+}(\text{As}, \text{Sb})_4^{3+}\text{S}_{13}$, которая приводится в справочнике Флейшера (Back, Mandarino, 2008), формулы также не электронейтральны с еще большим превышением баланса валентности ($\Delta \gg 3\%$). При пересчете их на 29 атомов в элементарной ячейке и при условии, что вся медь одновалентная, формулы становятся электронейтральными (табл. 2, ан. 10–13, вторая строка формул). Однако количество одновалентной меди в формуле в этом случае превышает принятые значения. Ранее такое превышение было известно для блеклых руд, содержащих много (более 7 мас.%) теллура, и объяснялось тем, что при замещении четырехвалентным теллуром трёхвалентных полуметаллов возникает избыточный заряд, деполаризация которого происходит за счет восстановления катиона Cu^{3+} , заполняющего вакансии в каркасе, до Cu^+ (Мозгова, Цепин, 1983). Но в анализах 10–13 нет теллура, и всё-таки медь в них одновалентная. Только при пересчете этих анализов на формулу с большим количеством атомов в элементарной ячейке (32, 33, 34) формулы становятся электронейтральными (табл. 2, ан. 10–13).

В ранней работе (Ненашева, 20091) приведены пересчеты анализов блеклых руд из месторождений Челопеч, Радка и Елшица, опубликованных В.А. Коваленкером с соавторами (1986). Для 14 из 49 анализов (8 — из Челопеча, 4 — из Радки, 2 — из Елшицы) формулы при пересчете на 29 атомов в элементарной ячейке были не электронейтральными. Они становились электронейтральными только при пересчете на большее количество атомов (32, 33, 34). Там же было сделано предположение, что существуют новые минеральные виды, оптически и химически близкие к блеклым рудам, но с суммой атомов в элементарной ячейке равной 32, 33 и 34. Таким образом,

Таблица 2. Микронзондовые анализы блёклых руд месторождения Челопеч (данные автора)

№ ан.	Cu	Fe	Zn	Pb	As	Sb	S	Сумма
1	43.96	5.32	Н.о.	Н.о.	20.11	1.32	27.93	98.64
2	44.22	5.55	0.52	1.82	19.16	1.65	27.38	100.30
3	43.96	5.47	0.51	1.60	18.53	1.61	28.12	99.81
4	43.97	5.70	0.70	1.89	18.60	1.81	28.23	100.89
5	45.13	5.50	0.75	0.00	19.69	1.57	27.59	99.23
6	45.46	4.37	0.68	1.15	18.87	1.81	27.18	99.52
7	45.54	5.45	0.65	1.52	19.02	1.36	27.70	101.24
8	44.48	4.93	0.51	1.75	19.64	1.21	27.68	100.22
9	45.15	4.81	0.65	1.49	19.30	1.49	27.54	100.43
10	47.13	3.65	0.57	1.34	19.40	1.67	27.27	101.03
11	48.08	3.25	0.50	2.12	19.97	1.68	27.81	103.41
12	45.79	3.62	0.68	1.82	20.26	0.90	27.34	100.42
13	47.79	3.64	0.66	1.99	20.03	1.03	27.31	102.46
№ ан.	Формула (расчет на сумму атомов в эл. ячейке)						Сумма ат. в эл. ячейке	Δ, %
1	$Cu_{9.79}^{2+}(Cu_{0.57}^{2+}Fe_{1.43}^{2+})_{2.00}(As_{4.02}Sb_{0.16})_{4.16}S_{13.04}$						29	0.9
2	$Cu_{10.17}^{+}(Cu_{0.26}^{2+}Fe_{1.49}^{2+}Zn_{0.12}Pb_{0.13})_{2.00}(As_{3.83}Sb_{0.20})_{4.03}S_{12.80}$						29	2.5
3	$Cu_{10.03}^{+}(Cu_{0.30}^{2+}Fe_{1.46}^{2+}Zn_{0.12}Pb_{0.12})_{2.00}(As_{3.69}Sb_{0.20})_{3.89}S_{13.09}$						29	1.8
4	$Cu_{10.06}^{+}(Cu_{0.19}^{2+}Fe_{1.51}^{2+}Zn_{0.16}Pb_{0.14})_{2.00}(As_{3.68}Sb_{0.22})_{3.88}S_{13.04}$						29	1.4
5	$Cu_{9.99}^{+}(Cu_{0.63}^{2+}Fe_{1.20}^{2+}Zn_{0.17})_{2.00}(As_{3.93}Sb_{0.19})_{4.12}S_{12.87}$						29	2.3
6	$Cu_{10.20}^{+}(Cu_{0.58}^{2+}Fe_{1.18}^{2+}Zn_{0.16}Pb_{0.08})_{2.00}(As_{3.80}Sb_{0.22})_{4.02}S_{12.78}$						29	2.6
7	$Cu_{10.30}^{+}(Cu_{0.30}^{2+}Fe_{1.44}^{2+}Zn_{0.15}Pb_{0.11})_{2.00}(As_{3.76}Sb_{0.16})_{3.92}S_{12.78}$						29	1.9
8	$Cu_{10.03}^{+}(Cu_{0.43}^{2+}Fe_{1.32}^{2+}Zn_{0.12}Pb_{0.13})_{2.00}(As_{3.92}Sb_{0.15})_{4.07}S_{12.90}$						29	1.7
9	$Cu_{10.14}^{+}(Cu_{0.48}^{2+}Fe_{1.29}^{2+}Zn_{0.15}Pb_{0.08})_{2.00}(As_{3.85}Sb_{0.18})_{4.03}S_{12.83}$						29	2.2
10	$Cu_{10.26}^{+}(Cu_{0.80}^{2+}Fe_{0.97}^{2+}Zn_{0.13}Pb_{0.10})_{2.00}(As_{3.86}Sb_{0.20})_{4.06}S_{12.68}$						29	4.1
	$Cu_{11.06}^{+}(Fe_{0.97}^{2+}Zn_{0.13}Pb_{0.10})_{1.20}(As_{3.86}Sb_{0.20})_{4.06}S_{12.68}$						29	1.1
	$Cu_{12.20}^{+}(Fe_{1.07}^{2+}Zn_{0.14}Pb_{0.11})_{1.32}(As_{4.26}Sb_{0.22})_{4.48}S_{13.99}$						32	1.1
	$Cu_{12.38}^{+}(Fe_{1.10}^{2+}Zn_{0.14}Pb_{0.11})_{1.33}(As_{4.39}Sb_{0.23})_{4.62}S_{14.43}$						33	1.0
	$Cu_{12.96}^{+}(Fe_{1.13}^{2+}Zn_{0.14}Pb_{0.11})_{1.38}(As_{4.52}Sb_{0.24})_{4.76}S_{14.86}$						34	0.9
11	$Cu_{10.19}^{+}(Cu_{0.89}^{2+}Fe_{0.85}^{2+}Zn_{0.11}Pb_{0.15})_{2.00}(As_{3.90}Sb_{0.20})_{4.10}S_{12.70}$						29	4.1
	$Cu_{11.08}^{+}(Fe_{0.85}^{2+}Zn_{0.11}Pb_{0.15})_{1.11}(As_{3.90}Sb_{0.20})_{4.10}S_{12.70}$						29	0.8
	$Cu_{12.22}^{+}(Fe_{0.94}^{2+}Zn_{0.12}Pb_{0.16})_{1.22}(As_{4.30}Sb_{0.22})_{4.52}S_{14.01}$						32	0.7
	$Cu_{12.60}^{+}(Fe_{0.97}^{2+}Zn_{0.12}Pb_{0.16})_{1.25}(As_{4.43}Sb_{0.23})_{4.66}S_{14.45}$						33	0.6
	$Cu_{12.98}^{+}(Fe_{1.00}^{2+}Zn_{0.12}Pb_{0.16})_{1.28}(As_{4.56}Sb_{0.24})_{4.80}S_{14.89}$						34	0.5
12	$Cu_{10.08}^{+}(Cu_{0.72}^{2+}Fe_{0.97}^{2+}Zn_{0.16}Pb_{0.13})_{2.00}(As_{4.05}Sb_{0.11})_{4.16}S_{12.78}$						29	3.8
	$Cu_{10.80}^{+}(Fe_{0.97}^{2+}Zn_{0.16}Pb_{0.13})_{1.26}(As_{4.05}Sb_{0.11})_{4.16}S_{12.78}$						29	0.9
	$Cu_{11.92}^{+}(Fe_{1.07}^{2+}Zn_{0.18}Pb_{0.14})_{1.39}(As_{4.47}Sb_{0.12})_{4.59}S_{14.10}$						32	0.9
	$Cu_{12.29}^{+}(Fe_{1.10}^{2+}Zn_{0.18}Pb_{0.14})_{1.42}(As_{4.60}Sb_{0.12})_{4.72}S_{14.54}$						33	0.7
	$Cu_{12.66}^{+}(Fe_{1.13}^{2+}Zn_{0.18}Pb_{0.14})_{1.45}(As_{4.74}Sb_{0.12})_{4.86}S_{14.98}$						34	0.6
13	$Cu_{10.35}^{+}(Cu_{0.75}^{2+}Fe_{0.96}^{2+}Zn_{0.15}Pb_{0.14})_{2.00}(As_{3.95}Sb_{0.12})_{4.07}S_{12.57}$						29	5.0
	$Cu_{11.10}^{+}(Fe_{0.96}^{2+}Zn_{0.15}Pb_{0.14})_{1.25}(As_{3.95}Sb_{0.12})_{4.07}S_{12.57}$						29	2.6
	$Cu_{12.25}^{+}(Fe_{1.06}^{2+}Zn_{0.16}Pb_{0.15})_{1.37}(As_{4.36}Sb_{0.13})_{4.49}S_{13.87}$						32	2.5
	$Cu_{12.63}^{+}(Fe_{1.09}^{2+}Zn_{0.16}Pb_{0.15})_{1.40}(As_{4.50}Sb_{0.13})_{4.63}S_{14.30}$						33	2.4
	$Cu_{13.01}^{+}(Fe_{1.12}^{2+}Zn_{0.16}Pb_{0.15})_{1.43}(As_{4.63}Sb_{0.13})_{4.76}S_{14.73}$						34	2.3

Примечание: Н.о. – не обнаружено. Аналитик Л.А. Паутов.

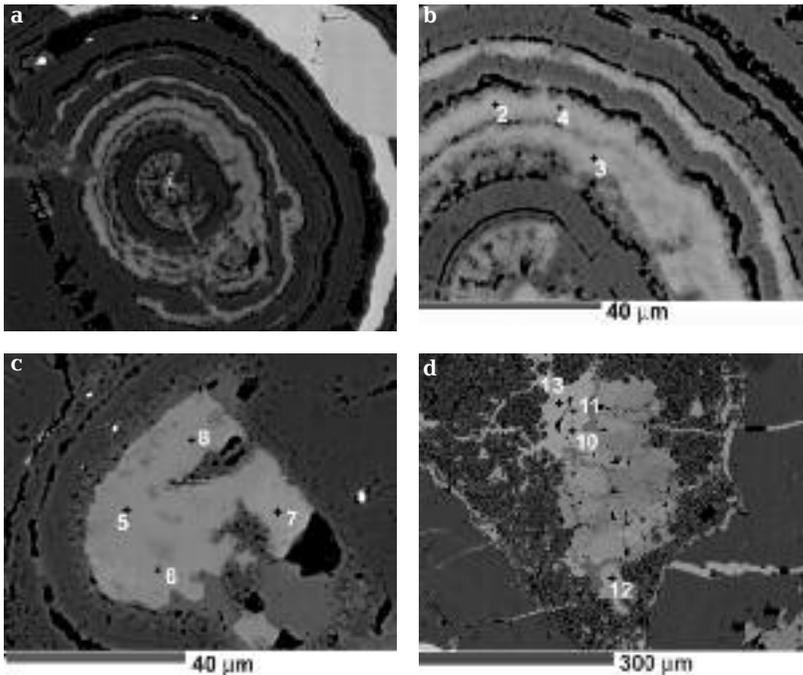


Рис. 1. Минералы в рудах месторождения Челопеч. Цифрами указаны номера точек, в которых проводился микрорентгеноспектральный анализ: а – центральная часть почки (светло-серое – блёклые руды, серое – карбонаты, темное – барит); б – один из слоев этой же почки; с – фрагмент соседней почки; д – минералы (светло-серое), близкие по составу к блёклым рудам в ассоциации с энаргитом, люццитом (серое) среди мелких выделения карбонатов и барита. В отраженных электронах. Образец Чел 992, участок 2.

получены еще 4 анализа из месторождения Челопеч (табл. 2, ан. 10–13), подтверждающие эту гипотезу.

Блёклые руды месторождения Лебединое более разнообразны, чем месторождений Челопеч, Радка, Елшица: 1) по характеру одновалентных металлов (кроме чисто медных, встречаются и медно-серебряные); 2) по составу двухвалентных металлов (цинкистые, цинкисто-железистые, железисто-цинкистые, медно-железистые, медно-цинкистые); 3) по характеру полуметаллов (существенно сурьмяные, сурьяно-мышьяковые, мышьяково-сурьмяные, сурьяно-мышьяково-теллуровые). Встречаются они также в разных ассоциациях, но во всех ассоциациях наблюдаются галенит, халькопирит, пирит, арсенаты меди. Более распространены сурьмяные блёклые руды: изотропный тетраэдрит с большим количеством Zn – зандбергерит, выделяющийся в ассоциации с фаматинитом, арсеносульванитом, англезитом, арсенатами меди и содержащий: Zn от 5.14 до 8.07 мас.%, что составляет от 1.32 до 2.04 а.ф., Ag от 0.65 до 4.37 мас.%, или от 0.1 до 0.68 а.ф., Sb от 23.53 до 28.16 мас.%, что превышает 3 а.ф. (от 3.25 до 3.85); высокоцинкистый анизотропный теннантит-тетраэдрит – зандбергерит, обладающий более ярким отражением, близким к отражению галенита (Ненашева и др., 2010). Анизотропный зандбергерит отличается от изотропного зандбергерита отсутствием при-

месей Ag, Cd, Pb. В нем также отсутствует теллур, наличие которого в теллуросодержащих блёклых рудах делает их слабо анизотропными (Ненашева и др., 2011). Вероятно, анизотропию теннантит-тетраэдрита можно объяснить воздействием давления, о чем свидетельствуют многочисленные извилистые трещины, пересекающие его выделения.

Теллуросодержащие блёклые руды с содержанием Te от 0.17 до 13.52 мас.%, что составляет от 0.02 до 1.71 а.ф. представлены: голдфиддит-теннантит-тетраэдритом, голдфиддит-тетраэдрит-теннантитом, теллуросодержащим тетраэдрит-теннантитом, теллуросодержащим теннантит-тетраэдритом. Они являются более поздней генерацией, о чем говорит их ассоциация с вторичными медными сульфидами полисоматической серии халькозина $mCu_2S \cdot nCuS$, некоторые члены которой (анилит, джирит) образуются при температуре ниже 100°C. При содержании теллура более 7 мас.% количество меди превышает 11 атомов в элементарной ячейке, достигая 11.94 а.ф. То же самое, как отмечалось выше, характерно для руд Челопеча, и Елшицы (Ненашева, 2009₁).

Выводы

Представленные выше результаты позволяют предположить, что, возможно, на более глубоких горизонтах месторождения Лебе-

диное появится более богатая редкометалльная минерализация. Такое предположение становится более обоснованным, если вспомнить, что в рудах этого месторождения обнаружены минералы ванадия (сульванит и арсеносульванит), в одном из анализов зандбергерита впервые установлен германий (0.15 мас.%) (Ненашева, Карпенко, 2010). Кроме того, в последние годы на территории Якутии в разных месторождениях обнаружены минералы, содержащие примеси редких металлов. Например, в рудах Широкинского рудно-россыпного узла Аллаха-Юньского металлогенического пояса (Восточная Якутия) Г.С. Анисимовой (2002) обнаружен минерал, по составу близкий к некрасовиту, предварительно отнесенный к цинкистому некрасовиту. Он содержит небольшое количество германия. В том же районе Г.С. Анисимовой с соавторами (2011) установлен германиевый минерал — медьсодержащий аргиродит — $(Ag_{5.9}Cu_{2.1})GeS_6$.

Более глубокие зоны месторождения Елшица не изучены. Возможно, что их исследование также позволит обнаружить редкометалльную минерализацию, подобную установленной на месторождении Радка и Челопеч.

Автор благодарен Л.А. Паутову за выполненные микрорентгеноспектральные анализы.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Минобрнауки № 16.518.11.7101.

Литература

- Анисимова Г.С. Новые данные о минералах меди, цинка, олова и ванадия // Минералогия. Минералы и парагенезисы минералов — IEM Virtual Library 2002. http://library.iem.ac.ru/spb2002/chapter_3_2.doc.
- Анисимова Г.С., Заякина Н.В., Кондратьева Л.А., Лескова Н.В. Находка медьсодержащего аргиродита $(Ag_{5.9}Cu_{2.1})GeS_6$ // Минералогические перспективы. Мат. Межд. минералогического семинара. Сыктывкар: Геопринт. 2011. С. 13—14.
- Коваленкер В.А., Цонев Д., Бресковска В.В., Малов В.С., Тронева Н.В. Новые данные по минералогии медноколчеданных месторождений Центрального Среднегорья Болгарии // Метаморфизм, минералогия и вопросы генезиса золотых и серебряных месторождений. М.: Наука. 1986. С. 91—110.
- Мозгова Н.Н., Целин А.И. Блеклые руды М.: Наука. 1983. 279 с.
- Ненашева С.Н. Некоторые особенности минералогии месторождений центральной части структурно-металлогенической зоны Среднегорья, Болгария // Новые данные о минералах. 2009, Вып. 44. С. 24—33.
- Ненашева С.Н. Особенности состава теллуросодержащих блёклых руд // Новые данные о минералах. 2009, Вып. 44. С. 34—44.
- Ненашева С.Н., Карпенко В.Ю. Особенности арсеносульванита из месторождения Лебедино (Центральный Алдан) // Новые данные о минералах. 2010. Вып. 45. С. 50—59.
- Ненашева С.Н., Карпенко В.Ю., Паутов Л.А. Сульфидная минерализация месторождения Лебедино (Центральный Алдан) // Новые данные о минералах. 2010. Вып. 45. С. 60—65.
- Ненашева С.Н., Паутов Л.А., Карпенко В.Ю. Разнообразие блёклых руд и вторичные минералы месторождения Лебедино (Центральный Алдан) // Новые данные о минералах. 2011. Вып. 46. С. 34—46.
- Спиригонов Э.М. Вулканогенные эпитеpmальные, мезотермальные, гипотермальные (ксенотермальные) месторождения золота и их минералого-геохимические особенности // Мат. IV Всерос. симпозиума по вулканологии и палеовулканологии. 2009. С. 814—817. www.kscnet.ru/ivs/conferences/symposium_4/abstr/index.html. С. 814—817.
- Фасталович А.И., Петровская Н.В. Характер оруденения Лебедино золоторудного месторождения (Алдан) // Советская геология. 1940. № 2—3. С. 54—65.
- Baek M.E., Mandarino J.A. Fleischer's glossary of mineral species 2008. Tucson: The Mineralogical Record Inc. 2008. 345 p.