

УДК 549.38:553.44(6)

МАЙКАИНИТ $\text{Cu}_{20}(\text{Fe}, \text{Cu})_6\text{Mo}_2\text{Ge}_6\text{S}_{32}$ И ОВАМБОИТ $\text{Cu}_{20}(\text{Fe}, \text{Cu}, \text{Zn})_6\text{W}_2\text{Ge}_6\text{S}_{32}$ – НОВЫЕ МИНЕРАЛЫ КОЛЧЕДАННО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ РУД*

© 2003 г. Э. М. Спиридонов

Представлено академиком А.А. Маракушевым 10.07.2003 г.

Поступило 10.07.2003 г.

Наряду с молибденитом, тунгстенитом и иордзитом в гидротермальных месторождениях установлены сложные сульфиды Mo и W: хемусит, киддкрикит, кастаньит, фемолит, молибден- и вольфрамсодержащие колусит, германоколусит и германит; стандартные розовые германиты содержат следы Mo и W, германиты с желтоватым оттенком до 1–3% W и/или Mo [2–15]. В рудах колчеданно-полиметаллических месторождений Цумеб (Намибия) и Майкаин (Казахстан) установлены сложные сульфиды $\text{Cu}(\text{Fe}, \text{Zn})\text{--Ge}(\text{As}, \text{Ga})\text{--Mo}, \text{W}$ [4, 12], которые ассоциируют с борнитом, сфалеритом, теннантитом, германитом $\text{Cu}_{20}(\text{Cu}, \text{Fe}, \text{Zn})_6\text{Fe}_2(\text{Ge}, \text{As}, \text{Ga})_6\text{Se}_{32}$ [3], германоколуситом $\text{Cu}_{20}(\text{Cu}, \text{Fe}, \text{Zn})_6\text{V}_2(\text{Ge}, \text{As})_6\text{S}_{32}$ [5], реньеритом, Ge-моусонитом, Ge-бриартитом, сульванитом и иными. Мо-доминантный минерал назван майкаинитом по месту первой находки, W-доминантный – овамбоитом по региону Овамболенд (Ovamboland, Намибия), где расположен Цумеб.

М а й к а и н и т. В золото-колчеданно-полиметаллическом месторождении Майкаин минерал слагает мелкие от первых до 45 мкм овальные выделения и изредка кристаллы (по форме близкие к октаэдру или ромбододекаэдру) в сфалерите и борните среди агрегатов барита. В германий-колчеданно-полиметаллическом месторождении Цумеб майкаинит развит в скоплениях германита, где слагает четко отграниченные от германита округлые выделения и эмульсионную вкрапленность, а также отдельные зоны кристаллов, выросших на германоколусит. Майкаинит в зональных кристаллах слагает центральные зоны, овамбоит – внешние зоны, подобно тому как молибдошеелит слагает ядерные зоны кристаллов шеелита. Раз-

мер выделений цумебского майкаинита до 150, обычно 3–40 мкм. В отраженном свете цвет минерала насыщенный светло-желтый, серо-желтоватый. Отражение ниже теннантита, выше сфалерита и германита. Изотропен, без спайности и внутренних рефлексов. Относительный рельеф близок к германиту. $VHN_{30} = 275\text{--}345$, в среднем 305 кг/мм². Содержания Cu, Fe, Zn, S довольно устойчивы (табл. 1). Между содержаниями Mo и W, как и Ge и As, существует отрицательная корреляция, суммы тех и других в атомных количествах примерно постоянны. Состав майкаинита отвечает формуле $\text{Cu}_{20}(\text{Fe}, \text{Cu}, \text{Zn})_6(\text{Mo}, \text{W}, \text{V})_2(\text{Ge}, \text{As}, \text{Ga})_6\text{S}_{32}$, в идеализированном виде – $\text{Cu}_{20}(\text{Fe}, \text{Cu})_6\text{Mo}_2\text{Ge}_6\text{S}_{32}$. Рентгенограмма майкаинита близка к рентгенограммам германита по [13] и германоколусита по [5]. Сильнейшие отражения на рентгенограмме порошка 3.07 Å (10)(222)–1.884. (8) (440)–1.603 (4) (622) (табл. 2). Параметр кубической решетки $a_0 = 10.64$ (1) Å, $V = 1205$ (3) Å³, $Z = 1$, рентгеновская плотность 4.453 г/см³. Спектры отражения сложного профиля, с широким пологим максимумом в желтой области (табл. 3).

О в а м б о и т. Слагает четко отграниченные округлые выделения и эмульсионную вкрапленность в агрегатах германита, а также внешние зоны кристаллов майкаинита, выросших на германоколусит. Обычно развит в участках, где германит активно замещается Zn-теннантитом. Германит в ассоциации с овамбоитом содержит ламелли распада галлита, в овамбоите вростков галлита нет. Размер выделений овамбоита до 100, обычно 1–20 мкм. В отраженном свете цвет минерала белесый, бледно-желтый, розовато-серо-белесый. Отражение ниже теннантита, выше сфалерита и германита. Изотропен, без спайности и внутренних рефлексов. Относительный рельеф близок к германиту. $VHN_{30} = 265\text{--}340$, в среднем 295 кг/мм². Содержания Cu, Fe, Ge, S довольно устойчивы (табл. 1). Между содержаниями W и Mo, как и Ge и As, существует отрицательная корреляция, суммы тех и других в атомных количествах примерно постоянны. Состав овамбоита отвечает формуле

* Майкаинит 92-038 и овамбоит 92-039 утверждены КНМ ММА 29 января 1993 г., извещение от председателя КНМ ММА Эрнста Бюрке от 23 февраля 2003 г.

Таблица 1. Химический состав майкаинита (1–3) и овамбоита (4–7) месторождения Цумеб, Намибия, мас. %

Элемент	1	2	3	4	5	6	7
Cu	42.55	41.40	41.45	38.35	39.85	40.05	38.65
Ag	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.05
Fe	6.35	6.45	6.06	6.69	4.75	4.72	6.32
Zn	0.56	0.39	0.35	3.12	3.34	2.20	1.81
Mo	5.21	4.73	3.88	0.35	1.01	1.64	1.73
W	1.24	2.41	3.32	9.94	9.83	8.21	7.42
Sn	0.00	0.00	0.00	0.02	0.04	0.00	0.03
V	0.12	0.12	0.00	0.16	0.09	0.10	0.14
Ge	10.86	10.18	11.44	9.70	10.01	9.86	9.94
Ga	0.15	0.10	0.00	1.67	0.48	0.50	0.60
As	2.28	2.51	1.86	1.18	2.58	0.87	1.93
S	31.40	31.30	30.95	30.35	29.65	29.90	30.15
Сумма	100.72	99.59	99.31	101.53	101.63	99.42	98.77
Формульные единицы в расчете на 66 атомов							
Cu	21.91	21.62	21.83	20.41	21.41	21.67	20.87
Ag	–	–	–	–	–	–	0.01
Fe	3.72	3.83	3.63	4.05	2.91	2.91	3.89
Zn	0.28	0.20	0.18	1.61	1.74	1.16	0.95
Сумма	25.91	25.65	25.64	26.07	26.06	25.74	25.72
Mo	1.79	1.64	1.35	0.12	0.36	0.59	0.62
W	0.22	0.43	0.61	1.83	1.83	1.54	1.39
Sn	–	–	–	0.01	0.01	–	0.01
V	0.08	0.08	–	0.10	0.06	0.07	0.09
Сумма	2.09	2.15	1.96	2.06	2.26	2.20	2.11
Ge	4.90	4.65	5.27	4.52	4.70	4.67	4.70
Ga	0.07	0.05	–	0.81	0.24	0.92	0.30
As	0.99	1.11	0.83	0.53	1.17	0.40	0.88
Сумма	5.96	5.81	6.10	5.86	6.11	5.99	5.88
S	32.04	32.39	32.30	32.01	31.57	32.07	32.28

Примечание. Электронный микрозонд “Camebax”, аналитик Э.М. Спиридонов. Эталоны – халькостибит (Cu, S), борнит (Fe), синтетические ZnSe (Zn), WS₂(W), MoS₂(Mo), SnS₂(Sn), Ge (Ge), GaAs (Ga, As), гессит (Ag). Te, Se, Bi, Sb не обнаружены.

Cu₂₀(Fe, Zn, Cu)₆(W, Mo, V)₂(Ge, As, Ga)₆S₃₂, в идеализированном виде – Cu₂₀(Fe, Zn, Cu)₆W₂Ge₆S₃₂. Рентгенограмма овамбоита близка к рентгенограммам германита по [13] и германоколусита по [5]. Сильнейшие отражения на рентгенограмме порошка 3.08 Å (10)(222)–1.887(7)(440)–1.612(5)(622) (табл. 2). Параметр кубической решетки $a_0 = 10.68$ (2) Å, $V = 1216$ (4) Å³, $Z = 1$, рентгеновская плотность 4.736 г/см³. Спектры отражения сложного профиля, в целом относительно близки к горизонтальной линии, что определяет близкую к нейтральной окраску минерала (табл. 3).

Майкаинит и овамбоит по химическому составу и рентгенометрическим характеристикам образу-

ют непрерывный ряд. От германита эти минералы отличаются существенно меньшими содержаниями Fe, от германоколусита – ничтожными содержаниями V, от германита и германоколусита – значительно большими содержаниями Mo и W. Майкаинит отличается от оптически сходных хемусита, станнина и бриартита по составу и спектрам отражения; аналогично овамбоит – от киддкрикита и колусита.

Рентгенограммы и состав майкаинита, овамбоита, германита и колусита близки, состав этих минералов отвечает Me₃₄S₃₂. Структура корректно расшифрована только у колусита [9]: в ней одна позиция занята (Cu + Fe + Zn)₂₆, другая (As + Sn + Ge...)₆,

Таблица 2. Рентгенограммы майкаинита и овамбоита месторождения Цумеб (Fe/Mn; $D = 114.7$ мм)

<i>hkl</i>	Майкаинит (анализ 1)			Овамбоит (анализ 5)		
	<i>I</i>	$d_{\text{изм}}$	$d_{\text{расч}}$	<i>I</i>	$d_{\text{изм}}$	$d_{\text{расч}}$
211	–	–		1	4.36	4.358
310	–	–		1	3.38	3.376
222	10	3.07	3.072	10	3.08	3.082
400	2	2.66	2.660	2	2.67	2.669
440	8	1.884	1.881	7	1.887	1.887
622	4	1.603	1.604	5	1.612	1.609
444	0.5	1.536	1.5359	1	1.543	1.5408
800	1	1.331	1.3301	1	1.333	1.3344
662	2	1.220	1.2206	1.5	1.225	1.2245
840	1	1.190	1.1897	0.5	1.192	1.1935
$a_0, \text{Å}$		10.64 ± 0.01			10.68 ± 0.02	
Рентгенов. плотность, г/см ³		4.543			4.736	

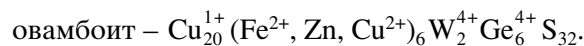
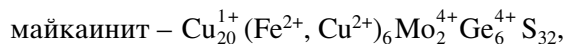
Примечание. Образец для съемки – “резиновый шарик”, диаметр около 0.2 мм. Внутренний эталон – NaCl.

Таблица 3. Спектры отражения (*R*, %) в воздухе майкаинита и овамбоита

$\lambda, \text{нм}$	Майкаинит	Овамбоит	
	анализ 1	анализ 4	анализ 5
400	22.3	22.1	23.0
420	22.7	22.4	23.3
440	23.4	22.8	23.7
460	23.4	23.2	24.1
470	23.7	23.1	24.0
480	24.1	23.1	23.9
500	24.8	23.2	24.1
520	24.9	23.5	24.2
540	25.4	23.6	24.3
546	25.5	23.7	24.3
560	25.6	23.8	24.4
580	25.7	24.0	24.5
589	25.7	24.0	24.4
600	25.6	24.0	24.3
620	25.1	24.3	24.1
640	25.4	23.9	24.3
650	25.6	23.8	24.0
660	25.7	23.8	23.7
680	25.0	23.7	23.9
700	23.8	23.9	24.2

Примечание. Микрорефлектометр “Блеск” ГОИ, аналитик Т.Н. Чвилева. Эталон – металлический кремний, аттестованный в ГОИ по карбиду вольфрама–титана, аттестованному в НФЛ, Англия.

третья – (S)₃₂, четвертая особенная – (V)₂. Позиции ванадия в структуре колусита, вероятно, отвечает позиция Fe³⁺ в структуре германита [3]. У майкаинита и овамбоита сумма атомных количеств Cu + Fe + Zn = 26, Ge + As + Ga = 6, Mo + W = 2; возможно, молибден и вольфрам занимают в их структуре ту же позицию, что и ванадий в структуре колусита. С учетом требований электронейтральности формулы новых минералов, вероятно, имеют следующий вид:



Майкаинит и овамбоит можно рассматривать как молибденовый и вольфрамовый аналоги германита или германоколусита.

Образцы этих минералов находятся в Горном музее Санкт-Петербурга и Минералогическом музее им. А.Е. Ферсмана в Москве.

Автор благодарен РФФИ, при финансовой поддержке которого (грант 01–05–64051) завершена эта работа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Логинова Л.А.* // Тр. ИМГРЭ. 1960. В. 4. С. 224–234.
2. *Рамдор П.* Рудные минералы и их сростания. М.: Изд-во иностр. лит., 1962. 1167 с.
3. *Спиридонов Э.М.* // ДАН. 1987. Т. 285. № 2. С. 477–481.
4. *Спиридонов Э.М.* // Геология руд. месторождений. 1994. Т. 36. № 4. С. 370–376.
5. *Спиридонов Э.М., Качаловская В.М., Ковачев В.В.* // Вестн. МГУ. Сер. геол. 1992. № 6. С. 50–54.

6. Чвилева Т.Н., Безсмертная М.С., Спиридонов Э.М. и др. Справочник-определитель рудных минералов в отраженном свете. М.: Недра, 1988. 505 с.
7. Geier B.H., Otteman I. // *Miner. deposita*. 1970. V. 5. P. 20–40.
8. Harris D.C., Roberts A.C., Thorpe R.I. et al. // *Can. Miner.* 1984. V. 22. P. 227–232.
9. Orlandi P., Merlino S., Duchi G. et al. // *Can. Miner.* 1981. V. 19. P. 423–427.
10. Schneiderhöhn G. // *Neues Jahrb. Mineral. Monatsh.* 1958. H. 6. S. 85–116.
11. Sclar C.B., Geier B.H. // *Econ. Geol.* 1957. V. 52. P. 612–631.
12. Springer G. // *Neues Jahrb. Mineral. Monatsh.* 1969. S. 435–441.
13. Tettenhorst R.T., Corbato Ch.E. // *Amer. Miner.* 1984. V. 69. P. 943–947.
14. Viaene W., Moreau I. // *Ann. Soc. géol. Belg. Bull.* 1968. V. 91. P. 127–143.