

УДК 549.755.345(470.5)

## ХАЛЬКОСИДЕРИТ ИЗ ЗОНЫ ОКИСЛЕНИЯ МЕДНОРУДЯНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (СРЕДНИЙ УРАЛ)

*В.С. Пономарев<sup>1</sup>, Д.А. Клейменов<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Институт геологии и геохимии РАН*

<sup>2</sup>*Уральский геологический музей*

Халькосидерит является редким минералом в зоне окисления Меднорудянского месторождения. Первая для месторождения находка халькосидерита сделана Бушмакиным А.Ф. в 1998 году [1]. Он отмечал, что халькосидерит вместе со штрэнгитом нарастает на лимонит, образуя тонкую темно-зеленую корочку, сложенную изометричными кристаллами размером не более 0,1 мм. В 2003 году была опубликована статья Д.А. Клейменова с соавторами, в которой приведены данные химического состава халькосидерита из Меднорудянского месторождения [3]. В настоящей статье представлен фактический материал по диагностике минерала в ИК-области излучения и рентгеноструктурного анализа, а также рассмотрен его химический состав в сравнении с другими месторождениями. Изученные образцы халькосидерита представлены в монографической коллекции по Меднорудянскому месторождению в отделе минералогии Уральского геологического музея при УГГГА.

Халькосидерит из зоны окисления Меднорудянского месторождения представляет собой скопление радиально-лучистых, сферических агрегатов нарастающих на массивный гетит. Размер таких агрегатов изменяется от 0,5 до 2,0 мм. Минерал окрашен в яблочно-зеленый, зеленовато-серый цвет, просвечивает, имеет восковой блеск. Твердость около 4,5 по шкале Мооса.

На кафедре минералогии МГУ на микроанализаторе Camebax SX-50 (аналитики Н.Н. Кононкова, И.В. Пеков) был получен химический состав халькосидерита. Сравнение химического состава халькосидерита из Меднорудянского месторождения с литературными данными приводится в таблице 1.

Полученные данные химического состава халькосидерита из Меднорудянского месторождения отличаются от теоретического состава халькосидерита и от литературных данных. В анализах халькосидерита наблюдается повышенное содержание  $Al_2O_3$  до 16,49 мас.% (ан. 2) и пониженное –  $Fe_2O_3$  до 16,49 мас.% (ан. 1), это обусловлено тем, что халькосидерит и бирюза образуют между собой непрерывную изоморфную серию. Так же

Таблица 1

**Сравнение химического состава халькосидерита из зоны окисления  
Меднорудянского месторождения с литературными данными**

Компоненты	1	2	3	4	5
CaO	0.02	0.02	-	-	0.87
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	34.27	34.75	28.78	29.93	33.82
F	1.61	1.52	-	-	-
SiO <sub>2</sub>	0.04	-	-	-	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.71	16.49	-	4.45	10.45
MgO	0.02	-	-	-	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23.65	28.07	48.56	42.81	34.26
CuO	9.36	8.42	8.06	8.15	6.82
As <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	0.63	-	0.61	-
ZnO	0.19	0.03	-	-	-
H <sub>2</sub> O	14.60*	14.60*	14.60	15.00	13.70
Поправка, O≡F <sub>2</sub>	-0.68	-0.64	-	-	-
Сумма	102.78	103.89	100.00	100.95	99.92

*Примечание:* 1, 2 - Меднорудянский м-е, аналитик Н.Н. Кононова, 3 - теоретический состав халькосидерита с формулой  $\text{CuFe}^{3+}_6(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  [4], 4 - халькосидерит Виил-Феникс, Корнуолл [2], 5 - халькосидерит (глиноземистый), Шнекенштейн, Германия [2]; 14,60\* - теоретическое содержание H<sub>2</sub>O рассчитанное из формулы халькосидерита.

наблюдается высокое содержание P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> до 34,75 мас.% (ан. 2). Помимо этого в полученных анализах присутствует F до 1,61 мас.% (ан. 1), в то время как в литературе данные о содержании фтора в халькосидерите не указываются.

После обработки данных химического состава халькосидерита из Меднорудянского месторождения и литературных источников были рассчитаны следующие кристаллохимические формулы:

1.  $(\text{Cu}_{1.03}\text{Zn}_{0.02})_{1.05}(\text{Al}_{3.38}\text{Fe}_{2.59})_{5.97}(\text{PO}_4)_{4.21}(\text{OH}_{7.26}\text{F}_{0.74})_{8.00} \cdot 6.15\text{H}_2\text{O}$  - (анализ 1)
2.  $\text{Cu}_{0.92}(\text{Fe}_{3.07}\text{Al}_{2.83})_{5.90}[(\text{PO}_4)_{4.27}(\text{AsO}_4)_{0.05}]_{4.32}(\text{OH}_{7.30}\text{F}_{0.70})_{8.00} \cdot 6.15\text{H}_2\text{O}$  - (анализ 2)
3.  $\text{Cu}_{0.98}(\text{Fe}_{5.11}\text{Al}_{0.83})_{5.94}[(\text{PO}_4)_{4.02}(\text{AsO}_4)_{0.05}]_{4.07}(\text{OH})_{8.00} \cdot 7.87\text{H}_2\text{O}$  - (анализ 4)
4.  $(\text{Cu}_{0.80}\text{Ca}_{0.14})_{0.94}(\text{Fe}_{4.90}\text{Al}_{1.91})_{5.81}(\text{PO}_4)_{4.44}(\text{OH})_{8.00} \cdot 6.17\text{H}_2\text{O}$  - (анализ 5)

Кристаллохимическая формула 1 соответствует железистой бирюзе (ан. 1), так как содержание алюминия в ней достигает 56,62 молек.%. Формула 2 соответствует глиноземистому халькосидериту (ан. 2), так же как и формулы 3 и 4, соответственно анализы 4 и 5. Более наглядно это показано на рисунке 1. Звездочкой на рисунке показаны местонахождения халькосидерита из Меднорудянского и других месторождений.

Рентгеноструктурное исследование халькосидерита из Меднорудянского месторождения было проведено в рентгеноструктурной лаборатории УГГА, аналитик

Н.Г. Сапожникова. Рентгенограмма минерала почти полностью соответствует эталону халькосидерита из картотеки ASTM (табл. 2).

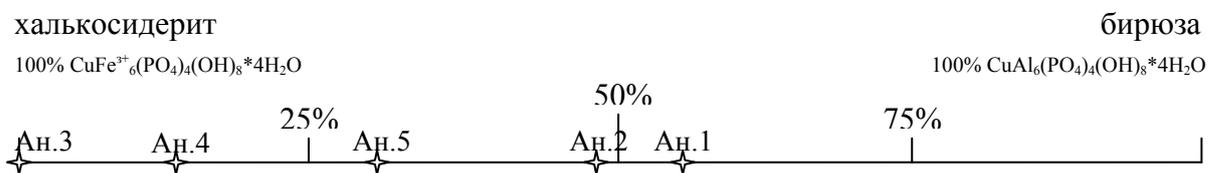


Рис. 1. График минерального состава двухкомпонентной изоморфной смеси халькосидерита и бирюзы.

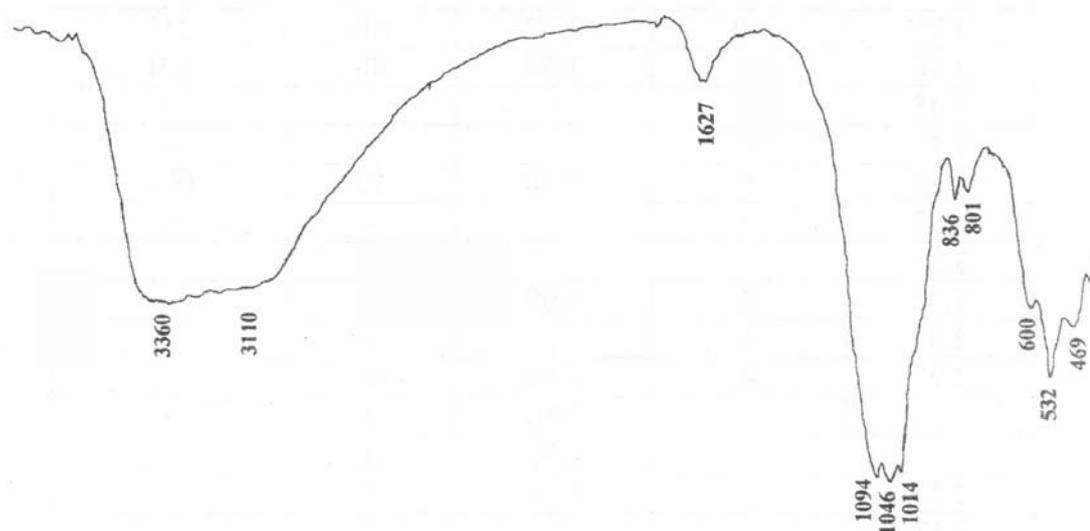


Рис. 2. ИК-спектр халькосидерита из зоны окисления Меднорудянского месторождения.

Инфракрасный спектр халькосидерита из Меднорудянского месторождения был снят в ИФХ РАН пос. Черноголовка, аналитик Н.В. Чуканов. ИК-спектр минерала соответствует его эталонной кривой (рис. 2). В нем отмечают валентные колебания P-O: 1014, 1046 и 1094  $\text{см}^{-1}$ ; деформационные колебания P-O: 532 и 600  $\text{см}^{-1}$ . На присутствие  $\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{OH}^-$  в структуре халькосидерита указывает присутствие валентных колебаний молекулярной воды – 3360  $\text{см}^{-1}$  и колебания  $\text{OH}^-$  групп: деформационные – 1627  $\text{см}^{-1}$ , валентные – 3110  $\text{см}^{-1}$ .

В образце халькосидерит ассоциирует с бирюзой, от которой внешне практически не отличается. Радиально-лучистый агрегат халькосидерита и бирюзы совместно нарастают на плотный агрегат гетита.

Таблица 2

## Рентгенограмма халькосидерита из Меднорудянского месторождения

Обр. М607		Эталон из картотеки ASTM (card 8-127)		
d, Å	I*	d, Å	I	hkl
7.19	1	-	-	-
6.91	1	-	-	-
6.41	2	6.40	30	-111
6.15	1	-	-	-
5.68	1	-	-	-
4.94	2	4.96	10	1-11
4.19	1	4.18	10	101
4.02	1	-	-	-
3.89	1	-	-	-
3.76	10	3.77	100	211
3.56	1	3.54	40	201
3.45	1	-	-	-
3.40	1	-	-	-
3.35	5	3.38	70	021
3.33	2	-	-	-
3.25	1	-	-	-
3.10	2	3.09	60	-
2.98	3	-	-	-
2.97	4	2.96	40	-
-	-	2.86	10	-
-	-	2.71	10	-
2.56	1	2.58	5	-
2.53	1	-	-	-
2.44	2	2.46	5	-
2.39	2	2.39	30	-
2.29	1	2.31	5	-
2.26	1	-	-	-
2.21	1	-	-	-
2.13	1	2.14	40	-
2.07	1	2.07	40	-
-	-	2.00	10	-
1.984	3	-	-	-
1.962	1	1.96	30	-
1.950	1	-	-	-
1.873	1	1.87	20	-
1.856	1	1.85	20	-

Примечание: I\*-интенсивность определена по десятибалльной шкале

Работа проведена при финансовой поддержке РФФИ (грант № НШ-85.2003.5).

### Литература

1. *Бушмакин А.Ф.* Новые для Меднорудянского месторождения минералы // Минералогия Урала. Миасс: ИМин РАН, 1998. Т. 1. С. 66-67.
2. *Дэна Дж.Д., Дэна Э.С., Пэлач Ч., Берман Г., Фрондель К.* Система минералогии. М.: ИЛ, 1954. Т. 2. Ч. 2. 380 с.
3. *Клейменов Д.А., Пеков И.В., Ерохин Ю.В., Чуканов Н.В.* Новые данные о бирюзе, планерите, халькосидерите и халькосидерите Уральских месторождений и проявлений // Вестник Уральского отделения Минералогического общества. Екатеринбург. УГГГА, 2003. № 2. С. 53-56.
4. *Флейшер М.* Словарь минеральных видов. М.: Мир, 1990. 206 с.