

УДК 549.755.345(470.5)

ХАЛЬКОСИДЕРИТ ИЗ ЗОНЫ ОКИСЛЕНИЯ МЕДНОРУДЯНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (СРЕДНИЙ УРАЛ)

В.С. Пономарев¹, Д.А. Клейменов²

¹*Институт геологии и геохимии РАН*

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

Примечание: 1, 2 - Меднорудянское м-е, аналитик Н.Н. Кононкова, 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 H₂O рассчитанное из формулы халькосидерита.

наблюдается высокое содержание P₂O₅ 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).

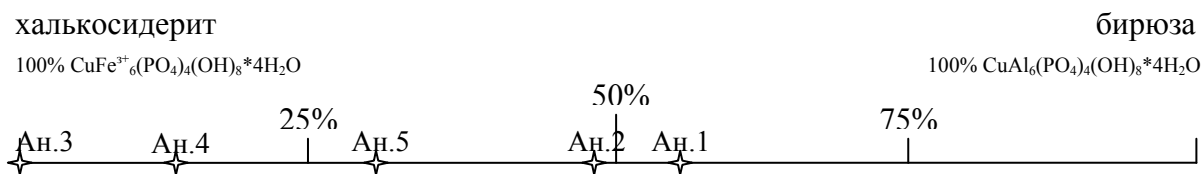


Рис. 1. График минерального состава двухкомпонентной изоморфной смеси халькосидерита и бирюзы.

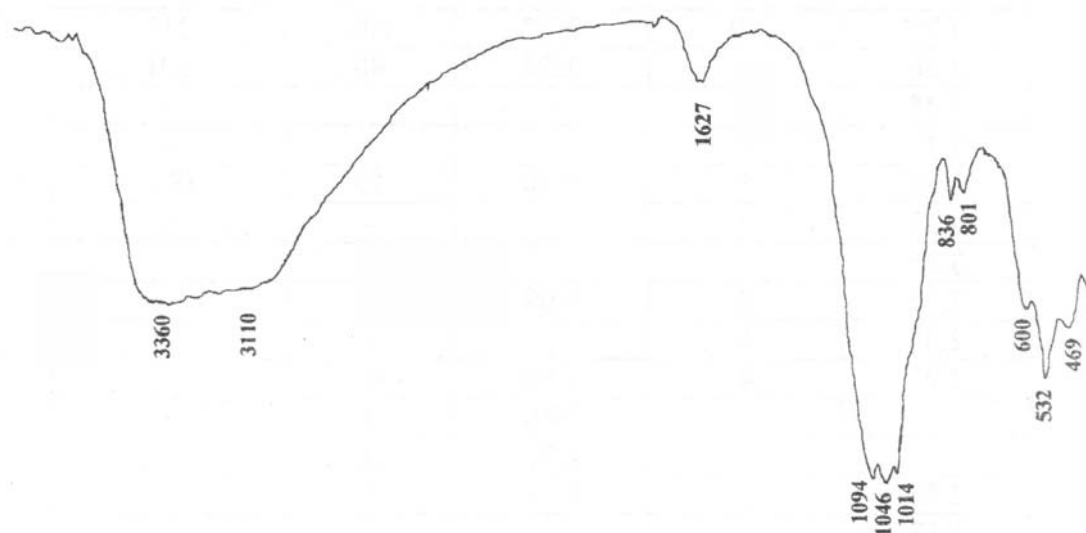


Рис. 2. ИК-спектр халькосидерита из зоны окисления Меднорудянского месторождения.

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 см^{-1} ; деформационные колебания P-O: 532 и 600 см^{-1} . На присутствие H_2O и OH^- в структуре халькосидерита указывает присутствие валентных колебаний молекулярной воды – 3360 см^{-1} и колебания OH^- групп: деформационные – 1627 см^{-1} , валентные – 3110 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.