

УДК 549.75

**ФОЛЬБОРТИТ И ШТРЕНГИТ – РЕДКИЕ МИНЕРАЛЫ
МЕДНОРУДЯНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ МАЛАХИТА (УРАЛ)**

В.И. Попова, В.А. Попов, В.А. Котляров, П.В. Хворов, М.В. Штенберг
Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс, popov@mineralogy.ru

**VOLBORTHITE AND STRENGITE – RARE MINERALS
FROM THE MEDNORUDYANSKOE MALACHITE DEPOSIT (URALS)**

V.I. Popova, V.A. Popov, V.A. Kotlyarov, P.V. Khvorov, M.V. Shtenberg
Institute of Mineralogy UB RAS, Miass, popov@mineralogy.ru

Рассмотрена история находок фольбортиита и штрэнгита в России и мире. Впервые охарактеризованы химический состав этих минералов из Меднорудянского месторождения, форма кристаллов фольбортиита, рентгенограмма штрэнгита и его ИК-спектр.

Илл. 8. Библ. 15.

Ключевые слова: фольбортиит, штрэнгит, Меднорудянское месторождение, Урал.

History of volborthite and strengite findings in Russia and the World is discussed. The chemical composition of these minerals from the Mednorudyanskoe deposit, as well as morphology of volborthite crystals, X-ray pattern of strengite and its IR spectrum are characterized for the first time.

Figures 8. References 15.

Key words: volborthite, strengite, Mednorudyanskoe deposit, Urals.

Введение

Водный ванадат меди – фольбортиит $\text{Cu}^{2+}_3\text{V}^{5+}_2\text{O}_7(\text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – впервые в мире был встречен в России на Урале, в медистых песчаниках близ города Перми. На этот неизвестный минерал из Софроновского рудника в коллекции Д.П. Саломирского обратил внимание русский палеонтолог Александр Фёдорович фон Фольборт, определивший его как ванадат меди «кнауфит» (Планер, 1840; 1847). В 1834 году минерал проанализировал профессор Горного института в Санкт-Петербурге, химик Герман Иванович Гесс, назвавший его фольбортиитом (Volborth, Hess, 1838; Pekov, 1998). Теперь фольбортиит найден во многих месторождениях мира (<http://www.mindat.org>). В России он известен на Урале в бывших Александровском, Воскресенском, Софроновском, Бершетском, Благовещенском и Ключевском медных рудниках Пермского края, в медистых песчаниках Белебеевского и Стерлитамакского районов Башкирии (Юшкин и др., 1986), а также на Кольском п-ове (Ковдор), в Хакасии (Потехина деревня) и Якутии (близ пос. Усть-Нера). Отмечен

он и в Киргизии (гора Кара-Чагыр), Узбекистане (Уч-Кудук, карьер Верхний Ходжа-Ахмет) и Казахстане (Баласаускандык).

Водный фосфат железа – штрэнгит $\text{Fe}^{3+}(\text{PO}_4) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – был найден в железном руднике близ города Гиссен в Германии; назван в честь Иоганна Августа Штрэнга, с 1867 года профессора минералогии Университета г. Гиссен (Nies, 1877). Штрэнгит указан в 30-ти месторождениях Германии – кристаллы его до 2 см встречены в пегматитах Хагендорфа в Баварии. Распространён в некоторых месторождениях США, Канады, Аргентины, Боливии, Бразилии, Чили, Французской Гвианы и других стран мира (<http://www.mindat.org>). На территории России отмечен на Кольском п-ове (Ковдор), в Архангельской области (в хребте Пай-Хой) и в Якутии (Аляскитовое, Кулар).

Ниже дано описание этих минералов, известных и в рудах Меднорудянского месторождения на Среднем Урале (рис. 1), их фотографии (В.А. Попов, М.Б. Лейбов) с приведением дополнительных данных о минеральных ассоциациях (В.И. Попова), форме кристаллов фольбортиита, гониометрически

измеренных на фёдоровском столике СФ-4 с построением в программе Shape 7.1 (В.А. Попов). Химический состав минералов определён электронно-зондовым анализом (РЭММА-202М, аналитик В.А. Котляров). Для штрэнгита получены рентгенограмма (дифрактометр Shimadzu XRD-6000, аналитик П.В. Хворов) и ИК-спектр (в таблетке с KBr, ИК Фурье спектрометр Nicolet-6700 Thermo Scientific в диапазоне 400–4000 см⁻¹ с разрешением 4 см⁻¹, аналитик М.В. Штенберг), уточняющие диагностику минерала.

Результаты исследований

Фольбортит из Меднорудянского месторождения отмечал Густав Розе (Rose, 1842) – мелкие тонкие зелёные таблички и их сростки в жёздах бурого железняка. Позднее Н.И. Кокшаров (1870) отмечал шестиугольную форму табличек минерала в небольших друзочках и пучках на лимоните. Подобные желтовато-зелёные мягкие таблички и пучки в немногих образцах встречал Ю.С. Соловьёв (1953), указавший на лёгкое разложение их в кислотах и положительную реакцию на ванадий. В.А. Пелепенко передал нам из своей коллекции образец фольбортита из Меднорудянского месторождения, поступивший от А.А. Канонерова (диагностирован, вероятно, А.Ф. Бушмакиным). Это чёрно-зелёные с жёлто-зелёной чертой псевдогексагональные тонкие таблички до 1–2 мм моноклинной симметрии (с твёрдостью 3.5 по Моосу), выросшие на лимонит и малахит (рис. 2). Гониометрическим измерением нескольких блестящих граней на табличках фольбортита определены формы: габитусные – пинакоиды {001} и {100}; менее проявлена призма {110}; грани других форм – пинакоидов {201}, {401} и ромбической призмы {22 $\bar{1}$ } – очень малы (рис. 3). По сравнению с фольбортитом из ванадиевоносных сланцев Уч-Кудука в Узбекистане (Карпенко, 1993), кристаллики фольбортита из Меднорудянского месторождения более просты по форме.

В составе фольбортита определены, мас. %: CuO 50.33; V₂O₅ 37.62; сумма 87.95 (РЭММА-202М, аналитик В.А. Котляров); H₂O_{расч.} 11.40, что даёт эмпирическую формулу Cu_{3,06}V₂O₇(OH)_{2,12}·2H₂O при незначительном избытке Cu (возможно, обусловленном примесью микровключений малахита в этом образце).

Штрэнгит среди меднорудянских образцов встречен Анатолием Филипповичем Бушмакиным (1998) вместе с халькосидеритом на лимоните в

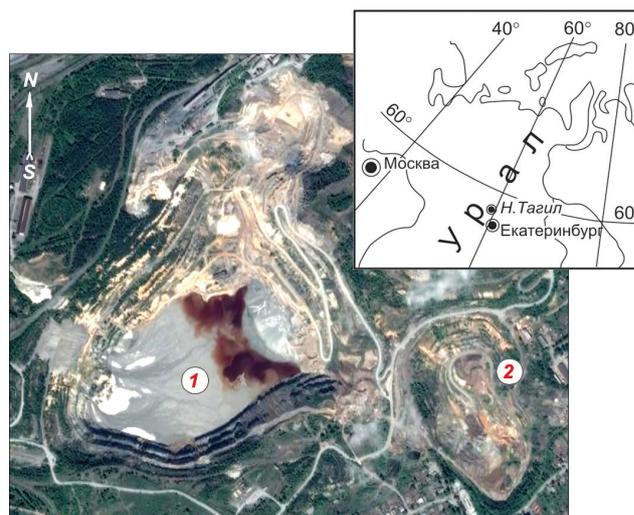


Рис. 1. Местоположение Нижнего Тагила (схема) и карьеров на горе Высокой: 1 – Главный карьер Высокогорского железорудного месторождения, 2 – Меднорудянский карьер (Google, 2007).

Fig. 1. Location of Nizhny Tagil (scheme) and the quarries on the Mt. Vysokaya: 1 – the Glavnyi (Central) quarry of the Vysokogorsky iron ore deposit, 2 – Mednorudyansky quarry (Google, 2007).

Рис. 2. Фольбортит (указан стрелками) с малахитом на лимоните, 4 мм. Образец: В.А. Пелепенко. Фото: В.А. Попов.



Fig. 2. Volborthite (indicated by arrows) with malachite on limonite, 4 mm. Specimen: V.A. Pospelenko. Photo: V.A. Popov.

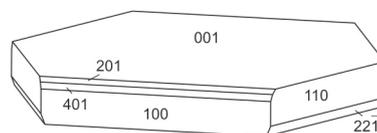


Рис. 3. Форма кристалла фольбортита Меднорудянского месторождения.

Fig. 3. The shape of the volborthite crystal from the Mednorudyanskoe deposit.

виде радиально-лучистых шаровидных сростков игольчатых кристаллов величиной до 1–2 мм, розового цвета с фиолетовым оттенком. Указывалось, что минерал был диагностирован на основании ИК-спектра и рентгенограммы (не найден-



Рис. 4. Штренигит по трещине в агрегате железной руды, 92 мм. Образец: Н.И. Козин. Фото: В.А. Попов.

Fig. 4. Strenigite on the crack in the assembly of iron ore, 92 mm. Specimen: N.I. Kozin. Photo: V.A. Popov.



Рис. 5. Сферолиты штренигита (до 1 мм) в лимонитовой жеде. Образец ПВ-3: В.А. Пелепенко. Фото: В.А. Попов.

Fig. 5. Spherulites of strenigite (up to 1 mm) in the limonite geode. Specimen PV-3: V.A. Pelepenko. Photo: V.A. Popov.



Рис. 6. Штренигит (до 2 мм) на халькосидерите. Образец ПВ-3 (деталь). Фото: В.А. Попов.

Fig. 6. Strenigite (up to 2 mm) on the chalcociderite. Specimen PV-3 (detail). Photo: V.A. Popov.



Рис. 7. Сферолиты штренигита (до 2 мм) на корке халькосидерита в жеде лимонита. Образец: В.А. Пелепенко. Фото: М.Б. Лейбов.

Fig. 7. Spherulites of strenigite (up to 2 mm) on the chalcociderite crust in the limonite geode. Specimen: V.A. Pelepenko. Photo: M.B. Leybov.

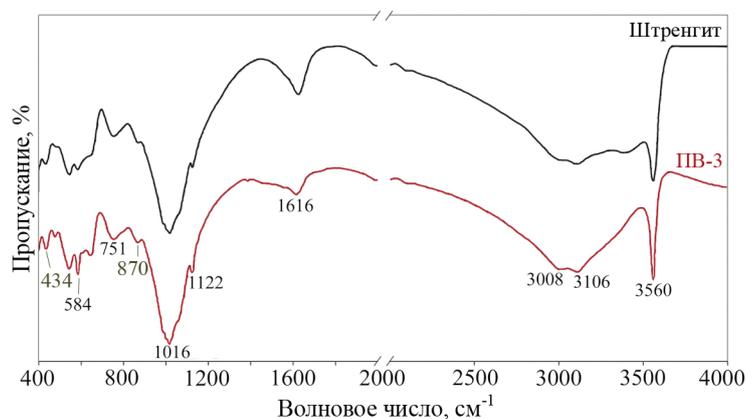


Рис. 8. ИК-спектр штренигита Меднорудянского месторождения (образец ПВ-3) в сопоставлении со штренигитом из базы данных OMNIC, Teskov, Czech Republic.

Fig. 8. The IR spectrum of strenigite from the Mednorudyanskoe deposit (specimen PV-3) in comparison with strenigite from the database OMNIC, Teskov, Czech Republic.

ных среди оставшихся разрозненных материалов А.Ф. Бушмакина после его трагической кончины).

В исследованных нами образцах штрэнгит из коллекции В.А. Пелепенко образует фиолетово-розовую плёнку на агрегате маггемит-магнетитовой руды (рис. 4), но более эффектны мелкие и мельчайшие множественные сферолиты удлинённо-пластинчатых индивидов штрэнгита с твёрдостью 3–3.5 (по Моосу) на лимоните и халькосидерите (рис. 5–7) в ассоциации со столбчатыми кристалликами гипса из коллекции Н.И. Козина. Рентгенограмма штрэнгита содержит главные отражения (d, Å; I): 5.456 (30); 4.347 (99); 3.969 (62); 3.695 (26); 3.098 (48); 2.986 (21); 2.936 (19); 2.529 (25); 2.433 (33); 2.125 (23); 1.995 (24); 1.956 (12); 1.620 (17) (образец ПВ-3, аналитик П.В. Хворов).

Химический состав меднорудянского штрэнгита исследован в сечении сферолита в нескольких точках, с вариацией содержаний, мас. %: Fe₂O₃ 40.62–42.16; Al₂O₃ 0.3–1.35; P₂O₅ 37.71–38.21; повышенные содержания Al₂O₃ отмечены локально в средней части и на периферии сферолита. Результаты анализа наиболее контрастных участков (мас. %, соответственно): Fe₂O₃ 42.08 и 40.62; Al₂O₃ 0.30 и 1.35; P₂O₅ 37.71 и 37.92; сумма 80.09 и 79.89; H₂O_{расч.} 19.10 и 19.25; эмпирические формулы (Fe_{0.99}Al_{0.01})(PO₄)·2H₂O и (Fe_{0.95}Al_{0.05})(PO₄)·2H₂O. ИК-спектр штрэнгита аналогичен эталонному из базы данных OMNIC (рис. 8) и близок спектру P310 алюминийсодержащего штрэнгита из Швеции (Chukanov, 2014). В ИК-спектре меднорудянского образца проявлены полосы поглощения (см⁻¹): 3008, 3160 и 3560 см⁻¹ – валентные колебания ОН-групп в разных структурных позициях; 1616 см⁻¹ – деформационные колебания молекул H₂O; 1122 см⁻¹, 1016, 1000 и 985 – валентные антисимметричные (ν₁) колебания [PO₄]³⁻; 870, 750, 650 – либрационные (медленные) колебания H₂O; 600–450 – деформационные (ν₄) колебания [PO₄]³⁻; полоса 434 см⁻¹ относится к деформационным (ν₂) колебаниям [PO₄]³⁻ (Farmer, 1974; Frost et al., 2004).

Приведённые данные дополняют сведения о фольбортите и штрэнгите Меднорудянского месторождения. Впервые охарактеризован химический состав этих минералов, форма кристаллов фольбортита и уточнена диагностика штрэнгита.

Авторы признательны Н.И. Козину и В.А. Пелепенко за предоставление образцов для изучения, а также В.А. Карпенко, И.В. Пекову, М.Б. Лейбову и Е.Н. Мурдасову за содействие в работе.

Аналитические исследования выполнены по проекту УрО РАН № 15-11-5-23.

Литература

Бушмакин А.Ф. Новые для Меднорудянского месторождения минералы // Минералогия Урала. Матер. III регион. совещ. Миасс, 1998. Т. 1. С. 66–67.

Карпенко В.Ю. Фольбортит из Центральных Кызылкумов, Узбекистан // Записки ВМО. 1993. № 6. С. 56–60.

Кокшаров Н.И. Материалы для минералогии России // Горный журнал. 1870. Ч. 4. № 10. С. 78–162.

Планер Д.И. О вновь открытых и вновь исследованных минералах с 1832 г. (кнауфит или фольбортит) // Горный журнал. 1840. Т. 4. Кн. 9.

Планер Д.И. О новом образе нахождения фольбортита или ванадо-кислой меди // Горный журнал. 1847. Т. 3. Кн. 7. С. 122.

Соловьёв Ю.С. К минералогии зоны окисления Меднорудянского месторождения // Труды горно-геологического института, вып. 20. Минералогический сборник № 2. М.: АН СССР, 1953. С. 87–106.

Юшкин Н.П., Иванов О.К., Попов В.А. Введение в топоминералогия Урала. М.: Наука, 1986. 294 с.

Chukanov N.V. Infrared Spectra of Mineral Species: Extended Library. Dordrecht: Springer Verlag, 2014. 1726 p.

Farmer V.C. The Infrared spectra of minerals / Mineralogical Society, London, 1974. 539 p.

Frost R.L., Weier M.L., Erickson K.L., Carmody O., Mills S. Raman spectroscopy of phosphates of the variscite mineral group // Journal of Raman Spectroscopy. 2004. V. 35. No 12. P. 1047–1055.

Nies A. Neues Jahrbuch für Mineralogie, 1877.

Pekov I.V. Minerals First Discovered on the Territory of the former Soviet Union. Moscow: Ocean Pictures Ltd, 1998. 369 p.

Rose G. Mineralogisch-geognostische Reise nach dem Ural, dem Altai und dem Kaspischen Meere von A. Humboldt, G. Ehrenberg und Gustaw Rose. Berlin, 1842. Bd. 2. 606 s.

Volborth A., Hess H. Ueber den Volborthit, ein neues vanadinhaltiges Mineral // Jb. Prakt. Chem. 1838. Bd. 14. S. 52–53.

<http://www.mindat.org> (volborthite, strengite).

Поступила в редакцию 10 мая 2015 г.