УДК 549.5

ДЕЛАФОССИТ ИЗ ЗОН ОКИСЛЕНИЯ КОЛЧЕДАННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАЛА

Е.В. Белогуб¹, П.И. Пирожок², И.А. Блинов¹, В.И. Попова¹

¹Институт минералогии УрО РАН, г. Muacc; belogub@mineralogy.ru ² г. Учалы, ул. Ленина, 2-12

DELAFOSSITE FROM THE OXIDATION ZONES OF MASSIVE SULFIDE DEPOSITS OF THE URALS

E.V. Belogub¹, P.I. Pirozhok², I.A. Blinov¹, V.I. Popova¹

¹Institute of mineralogy UB RAS, Miass; belogub@mineralogy.ru ²Uchaly, Lenina street, 2-12

В статье обобщена информация о находках делафоссита в зонах окисления рудных месторождений Урала: Меднорудянском, Учалинском, XIX Партсъезда, Гайском, Бакр-Узяк. Приведены данные о морфологии, минеральных ассоциациях и химическом составе делафоссита. Показано более широкое распространение этого минерала, чем это считается традиционно.

Илл. 7. Табл. 2. Библ. 13.

Ключевые слова: делафоссит, зона окисления, колчеданные месторождения, Урал.

The paper summarizes the data on the findings of delafossite in oxidation zones of the Urals ore deposits: Mednorudyanskoe, Uchaly, XIX Parts'yezda, Gay, and Bakr-Uzyak. The morphology, mineral assemblages, and chemical composition of delafossite are presented. It is shown that this mineral is much more abundant that it was considered before.

Figures 7. Tables 2. Referenses 13.

Key words: delafossite, oxidation zone, massive sulfides, Urals.

Введение

Делафоссит CuFeO₂ впервые в мире был определён и назван Шарлем Фриделем (С. Friedel) в 1873 г. при анализе чёрных конкреций из глин зоны окисления, вероятно, Меднорудянского месторождения у юго-восточного подножия горы Высокой в Нижнем Тагиле на Среднем Урале, где такие конкреции ранее были найдены в 1844 г. и анализированы П.И. Евреиновым (1847). Название минералу дано в честь французского минералога и кристаллографа Габриэля Делафосса (Митчелл, 1982).

Делафоссит является одним из минералов-концентраторов меди в окисленных рудах, вовлечение которых в эксплуатацию актуально для Урала и в настоящее время. Однако, делафоссит редко диагностируется при рутинных работах из-за того, что этот минерал обычно образует очень мелкие выделения, сходные с теноритом и гидроксидами марганца. Наш опыт работы с природными объектами показывает более широкое распространение делафоссита, чем считается обычно. нения структурного типа делафоссита АВО,, где $A = R^+(H, Cu, Ag, Au, Pb и др.)$ являются объектом пристального внимания благодаря специфике электрической проводимости. Как было показано ещё в 1946 г. А. Пабстом (Pabst, 1946), медь в структуре делафоссита формирует слои, в которых расстояния между атомами меди (и другими одновалентными катионами) сопоставимы с таковыми в металлах; медь имеет при этом формальную степень окисления +1. Катион В (Fe³⁺, Al³⁺, Ga³⁺ и др.) координируется шестью атомами кислорода. Октаэдры, соединённые посредством общих пар атомов кислорода, образуют слои, разделяющие слои одновалентных катионов. Эти кристаллохимические особенности структуры приводят к повышенной электрической проводимости в плоскости, перпендикулярной L₃, а также к другим электрическим эффектам (Безносиков, Александров, 2007). Повышенная и анизотропная проводимость природного делафоссита около 10⁻⁷ Ом/м (Dordor et al., 1988), сопоставимая с проводимостью сульфидов и на 15-25 порядков

Тригональная структура делафоссита и соеди-

превышающая проводимость обычных породообразующих минералов, по-видимому, может влиять на интерпретацию результатов электроразведки, методы которой широко используются при поисково-разведочных работах на колчеданные руды.

Цель нашей работы – систематизировать данные об известных на Урале находках делафосссита и провести доизучение доступных образцов делафоссита современными методами оптической микроскопии (AxioScope A.1) и рентгеноструктурного анализа (Shimadzu XRD-6000, CuK α -излучение, аналитик П.В. Хворов). Состав делафоссита исследован на сканирующем электронном микроскопе Vega3 Tescan с энергодисперсионным анализатором (аналитик И.А. Блинов); в качестве эталонов использованы гематит (Fe), CuO (Cu), Zn металлический, Al₂O₃ (Al), диопсид (Si, Ca).

Делафоссит рудных месторождений Урала

Впервые минерал, позднее названный делафосситом, встречен в 1844 г. на Среднем Урале в шарообразных чёрных конкрециях до 5-8 см в Меднорудянском месторождении, в северной части которого добывалась железная руда с халькопиритом («северные колчеданы»), а в средней и южной частях – преимущественно медные руды, содержащие оксиды, сульфиды и карбонаты меди. Зона окисления развита с поверхности до 20-60 м, а карстовые глины отмечены до глубины 200 м. Месторождение прославилось находкой «огромной глыбы» малахита (и стало известным как месторождение малахита), а также «сопками» халькопирита с основаниями до 10-20 м и высотой до 5-13 м (Попов и др., 2015). Первый анализ чёрных конкреций из карстовых глин средней части месторождения, выполненный П.И. Евреиновым в 1847 г. в Горном Институте в Санкт-Петербурге, показал преобладание в них оксидов меди и железа, а также алюминия и кремния. По данным Ш. Фриделя 1873 г. (Минералы, 1967), в составе чёрных конкреций делафоссита также выявлена примесь Al₂O₂ 3.52 мас. % (табл. 1, ан. 1). Биминеральные конкреции делафоссита с «гидронакритом» (рис. 1а) в соотношении ~ 1:1 («докучаевита») из Меднорудянского месторождения были изучены Н.Г. Суминым (1949) в образцах коллекции ФММ – Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана (Москва).

В 1973–1988 гг. медные руды месторождения отрабатывались карьером (с попутной добычей поделочного малахита). В отвале в образце пористого («ноздреватого») лимонита из зоны окисления месторождения были встречены синевато-чёрные сферолиты делафоссита в пустотках с гётитом, малахитом и купритом (Бушмакин, Кобяшев, 1998). Исследованный ими сферолит делафоссита величиной 8 мм сложен тончайшими волокнистыми индивидами толщиной до 5 мкм (см. рис. 1б). В центре сферолита есть пустотка от растворения какого-то минерала, вероятно, кальцита, как и отдельные пустотки в лимоните. А.Ф. Бушмакин и Ю.С. Кобяшев в своей краткой заметке не указали, что (судя по рисунку) делафоссит отлагался частично одновременно с кальцитом и гётитом (и кальцит был растворён позднее). В составе этого делафоссита, кроме преобладающих оксидов меди и железа, определены малые примеси SiO₂, Al₂O₂ и P₂O₅ (см. табл. 1, ан. 2); дебаеграмма делафоссита близка эталонной.

Позднее при изучении минералов Меднорудянского месторождения из коллекции Н.И. Козина (Попов и др., 2015) встречено несколько образцов с делафосситом в тонких прожилках и пустотках среди кавернозного лимонита с самородной медью. Сферолиты делафоссита на стенках каверн очень мелкие (до 1-2 мм), с почти идеальной сферической поверхностью (см. рис. 1в); на них отложился агрегат мелких кристалликов куприта в форме куба с меньшими гранями октаэдра. В куприте есть мельчайшие включения самородной меди, а с периферии зёрен (в полости) куприт частично замещён гётитом. Микрозондовые анализы разных участков сферолитов этого делафоссита показали повышенное содержание меди относительно железа (см. табл. 1, ан. 3-7) и примеси SiO₂ 0.78–1.11 мас. % и SO₂ 0.70–0.98 %, возможно, из-за микровключений других минералов. Так, в одном из образцов в полости кавернозного лимонита встречен длиннопризматический кристаллик делафоссита длиной около 0.2 мм в сростке с медью (см. рис. 1г), с более поздним отложением радиально-лучистого гётита. В огранении кристаллика делафоссита преобладают грани гексагональной призмы $\{10\,\overline{1}\,0\}$ с крохотными гранями двух ромбоздров и пинакоида. Такой длиннопризматический делафоссит встречен впервые; ранее в месторождениях Германии и США известны таблитчатые его кристаллы, а в Австрии – короткопризматические (http://www.mindat.org/ min-1248.html).

На Южном Урале делафоссит впервые обнаружил Пётр Иванович Пирожок в 1960 г. при вскрыше Учалинского месторождения. Минерал был найден в трещинах диабазовых и пироксен-плагиоклазовых порфиритов, вмещающих полуокисленные колчеданные руды, на глубине 47–50 м от поверх-



Рис. 1. Формы выделения делафоссита Меднорудянского месторождения.

а – сросток двух конкреций (ФММ, № 32958: Л.И. Крыжановский, 1928 г.); б – сечение радиально-лучистого сферолита делафоссита (по: Бушмакин, Кобяшев, 1998); в – сечение почек делафоссита (*1*) с наросшим купритом (*2*), медью (*3*) и поздним гётитом (*4*), частично заместившим куприт (обр.: Н.И. Козин); г – кристалл делафоссита (*1*) в сростке с медью (*3*) и поздним гётитом (*4*). Фото: М.Б. Лейбов (а), И.А. Блинов (в, г; SEM).

Fig. 1. Morphology of delafossite from Mednorudyanskoe deposit.

a – intergrowth of two nodules (FMM, N_{2} 32958: L.I. Krzhizhanovskii, 1928 г.); 6 – section of the radiating spherulite of delafossite (*after* Buchmakin, Kobyashev, 1998); B – section of nodular aggregate of delafossite (*I*) with accreting cuprite (2), copper (3) and latest goethite (4), partly replaced cuprite (*sample*: N.I.Kozin); Γ – delafossite crystal (*I*) with copper intergrowth (3) and accreting goethite (4). *Photo*: M.B. Leybov (a), I.A. Blinov (B, r; SEM).

Таблица 1

Table 1

Химический состав (мас. %) делафоссита Меднорудянского месторождения

				,				V I
№ ан.	Cu ₂ O	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	Сумма	Формула (на O = 2)
1	47.45*	47.99	3.52	-	_	_	98.96	$Cu_{0.99}Fe_{0.90}Al_{0.10}O_{2.00}$
2	45.70	53.00	0.10	0.80	0.10	_	99.70	$Cu_{0.95}Fe_{0.98}Si_{0.02}O_{2.00}$
3	49.61	48.46	_	1.03	-	0.87	99.97	$Cu_{105}Fe_{092}Si_{003}S_{002}O_{200}$
4	49.20	48.70	_	0.96	-	0.70	99.56	$Cu_{104}Fe_{0.93}Si_{0.02}S_{0.01}O_{2.00}$
5	49.44	48.17	_	1.11	-	0.82	99.54	$Cu_{105}Fe_{092}Si_{003}S_{002}O_{200}$
6	49.19	48.20	_	0.78	_	0.98	99.15	$Cu_{105}Fe_{0.92}Si_{0.02}S_{0.02}O_{2.00}$
7	49.62	48.15	-	1.06	-	0.89	99.72	$Cu_{1.05}Fe_{0.91}Si_{0.03}S_{0.02}O_{2.00}$

Chemical composition (wt. %) of delafossite from Mednorudyanskoe deposit

Примечание. Аналитики: 1 – химический анализ, Ш. Фридель, 1873 (Минералы, 1967) (*в оригинале ошибочно указано CuO); 2–8 – микрозонд: 2 – Е.И. Чурин, JXA-733 JEOL (Бушмакин, Кобяшев, 1998), 3–7 – И.А. Блинов, Vega3 Tescan. Прочерк – не обнаружено.

Note. Analysts: 1 – chemical analysis, C. Fridel, 1873 (Минералы, 1967) (*in original paper CuO was indicated in error); 2–8 – microprobe: 2 – E.I. Churin, JXA-733 JEOL (Buchmakin, Kobyashev, 1998), 3–7 – I.A. Blinov, Vega3 Tescan. Dash – not detected.

Таблица 2

Химический состав (мас. %) и эмпирические формулы делафоссита месторождений Учалинского (1–4) и XIX Партсъезда (5–11)

Table 2

Chemical composition (mas.%) and empirical formulae of delafossite from Uchaly (1–4) and XIX Parts'yezd (5–11) deposits

№ ан.	№ лаб.	Fe ₂ O ₃	Cu ₂ O	ZnO	Al ₂ O ₃	Сумма	Формула (на O = 2)
1	16073a	48.53	47.44	0.36	4.50	100.30	$Cu_{0.963}Fe_{0.882}Zn_{0.006}Al_{0.128}O_{2.00}$
2	16073b	47.95	47.20	_	4.80	99.95	$Cu_{0.962}Fe_{0.875}Al_{0.137}O_{2.00}$
3	16073c	48.02	47.16	1.00	3.96	100.13	$Cu_{0.973}Fe_{0.888}Zn_{0.018}Al_{0.115}O_{2.00}$
4	16073d	48.53	46.26	0.93	3.57	99.29	$Cu_{0.961}Fe_{0.903}Zn_{0.017}Al_{0.104}O_{2.00}$
5	16074a	50.61	46.38	_	2.70	99.69	$Cu_{0.957}Fe_{0.936}Al_{0.078}O_{2.00}$
6	15272a	52.41	46.18	0.50	0.38	99.46	$Cu_{0.979}Fe_{0.995}Zn_{0.009}Al_{0.003}O_{2.00}$
7	15272b	49.27	46.90	_	3.08	99.24	$Cu_{0.962}Fe_{0.905}Al_{0.022}O_{2.00}$
8	15272c	51.62	47.17	0.32	0.63	99.74	$Cu_{0.993}Fe_{0.973}Zn_{0.006}Al_{0.005}O_{2.00}$
9	15272e	51.25	46.55	0.70	0.69	99.19	$Cu_{0.985}Fe_{0.971}Zn_{0.013}Al_{0.005}O_{2.00}$
10	15272f	52.48	46.07	_	0.59	99.14	$Cu_{0.977}Fe_{0.997}Al_{0.004}O_{2.00}$
11	15272i	51.32	46.81	0.48	0.52	99.13	$Cu_{0.993}Fe_{0.975}Zn_{0.009}Al_{0.004}O_{2.00}$

Примечание. 1–5 – делафоссит из корочек в трещинах слабо изменённых пород; 6–11 – из агрегата с купритом и гётитом. Прочерк – не обнаружено. Аналитик И.А. Блинов, Vega 3 Tescan.

Note. 1-5 – delafossite from the incrustation at fissures of slightly altered rocks; 6-11 – from the aggregate with cuprite and goethite. Dash – not detected. Analyst I.A. Blinov, Vega 3 Tescan.

ности при документации северо-западного фланга карьера. Делафоссит формировал пластинчатые агрегаты, ассоциирующие с желтоватым гипсом в прожилках мощностью от 1 до 20 см. Позднее делафоссит в виде сростков игольчатых кристаллов и сплошных агрегатов, выполняющих прожилки, а также гроздьевидных, сферолитовых выделений и плёнок в ассоциации с самородной медью, купритом, малахитом, лимонитом и глинистыми минералами встречался среди продуктов окисления вмещающих пород преимущественно основного состава на глубинах от 32 до 40 м. В зоне окисления Учалинского месторождения делафоссит, повидимому, был довольно широко распространённым минералом – ореол его распространения превышал 100 м, а находки этого минерала сделаны с 1960 по 1966 гг. Первоначальная диагностика и всестороннее описание делафоссита с использованием передовых на то время минералогических методов было предпринято П.Ф. Андрущенко (Андрущенко, Пирожок, 1974). Авторы работы указывали на довольно широкую распространённость делафоссита и редкость находок сколько-нибудь значительных его скоплений.

Нами исследован образец делафоссита, отобранный в 1960 г. в северном борту VI уступа Учалинского карьера. Делафоссит формирует микрощётки и примазки на эпидотизированном диабазе (рис. 2а, б), состоящие из отдельных чешуек и расщеплённых по призме субиндивидов размером первые десятые миллиметра (см. рис. 2в, д), иногда – сферолитовые агрегаты (см. рис. 2г). В химическом составе минерала, определённом методом локального микроанализа, присутствует постоянная примесь алюминия, иногда – цинка (табл. 2, ан. 1–5).

На месторождении имени XIX Партсъезда образцы делафоссита отобраны П.И. Пирожком при отработке месторождения в 1966 гг. Делафоссит был обнаружен в зоне контакта дайки эпидотизированных диабазов (рис. 3) с полуокисленными рудами, а также в бурых железняках, развитых по кварцевым порфиритам в юго-восточной части эксплуатационного карьера.

Делафоссит образует агрегаты, аналогичные описанным ранее (Андрущенко, Пирожок, 1974). В трещине в эпидотизированном кварцевом порфирите делафоссит образует налёты с волнистым отблеском «спайности», состоящие из отдельных слабо расщеплённых по призме чешуйчатых кристаллов (рис. 4а, 5а). В трещинах с делафосситом ассоциируют и нарастают на него сульфиды меди, ртути, образующие сростки изометричных кристалликов размером в первые микроны – десятые доли микрона (см. рис. 5 б–г). Также встречены субмикронные округлые выделения золота (см. рис. 5г, д).

В бурых железняках среди массы гётита встречаются изометричные и пластинчатые индивиды



Рис. 2. Делафоссит Учалинского месторождения.

а – агрегаты кристаллов в трещине слабо изменённого диабазового порфирита; б – строение «плоскости спайности»; в – агрегат тонкотаблитчатых кристаллов; г – сферолитовый сросток; д – деталь строения агрегата и точки анализов 16073а и 16073b (см. табл. 2). Фото: В.А. Попов (а, б), И.А. Блинов (в–д; СЭМ).

Fig. 2. Delafossite of the Uchaly deposit.

a – crystal aggregates in a fissure of slightly altered porphyritic diabase, scale bar is 1 cm; 6 – structure of the «cleavage plane», scale bar is 5 mm; B – crystal table aggregates; r – spherolitic intergrowth; π – detail of the aggregate and points of analyses 16073a and 16073b (see Table 2). *Photo*: V.A. Popov (a, 6), I.A. Blinov (B– π ; SEM).



Рис. 3. Положение делафоссита на схематическом разрезе юго-восточного участка карьера месторождения им. XIX Партъезда.

перекрывающие глинистые отложения;
лавобрекчии кварцевых порфиритов;
кварцевый порфирит гематитизированный;
дайка диабазов;
кварц-серицитовые метасоматиты;
серноколчеданные руды;
вкрапленные медные руды;
вкрапленные медные руды;
полуокисленные;
разлом;
кора выветривания;
массивные бурые железняки;
ожелезнение;
делафоссит;
скважины и их номера. Вертикальный и горизонтальный масштабы совпадают.

Fig. 3. Location of delafossite in schematic cross-section of the southeast area of the open pit of the XIX Parts'yezda deposit.

1 – overlapping clayey sediments; 2 – lava breccias of porhyrytic quartz volcanic rocks; 3 – hematitized porhyrytic quartz volcanic rock; 4 – diabase dike; 5 – quartz-sericite metasomatite; 6 – pyrite ore; 7 – disseminated copper ore; 8 – massive copper ore: a – primary, b – semioxidized; 9 – fault; 10 – weathering mantle; 11 – massive ironstone; 12 – limonitization; 13 – delafossite; 14 – boreholes and their numbers. Vertical and horizontal scale are the same.



Рис. 4. Делафоссит месторождения XIX Партсъезда.

а – корки в трещине кварцевого порфирита; б – масса делафоссита(*чёрное*), гётита и куприта в кавернозном буром железняке с кристаллами куприта в пустотах (*деталь*); в – реликт куприта (*красный*) в массе делафоссита;
г – замещение делафоссита гётитом (*бурый*). Фото: В.А. Попов (а, б) и Е.В. Белогуб (г, д; аншлиф, косое освещение). *Fig 4*. Delafossite of the XIX Parts'yezda deposit.

a – incrustations of a fissure of porhyrytic quartz volcanic rock; δ – delafossite (*black*), goethite and cuprite aggregates in cavernous ironstone with cuprite crystals in the cave (detail); B – relic of cuprite (*red*) in delafossite aggregate; Γ – replacement of delafossite by goethite (*brown*). Photo: V.A. Popov (a, b) and E.V. Belogub (r, π ; polished section, oblique light).

делафоссита до 0.2 мм (см. рис. 46–г). В делафоссите иногда присутствуют реликты куприта $Cu_{0.983}Fe_{0.017}O_{2.00}$ (см. рис. 4в, 5в). В пустотах бурых железняков, состоящих из куприта, делафоссита и гётита, изредка встречаются кристаллы куприта до 5 мм (см. рис. 4б). По делафосситу и после него развивается гётит как в виде полных псевдоморфоз (рис. 6а, б; см. рис. 4г), так и в виде просечек и округлых агрегатов в пустотах. В составе гётита выявлена примесь CuO 7–10 мас. %. Химический состав делафоссита соответствует стехиометрической формуле, с незначительной примесью цинка (см. табл. 2, ан. 6–11).

На Гайском месторождении делафоссит впервые найден Н.А. Читаевой в 1962 г. в зоне окисления 3-й залежи и опубликован позднее (Читаева, 1973). Делафоссит встречался только во вмещающих колчеданную залежь вулканитах основного состава на глубинах 50–90 м от поверхности, соответствующих подзонам серно-кварцевых и пиритных сыпучек. Делафоссит обнаружен в виде мелких сферолитов в алюмините и галлуазите, а также пластинок по спайности гипса и агрегатов тонкотаблитчатых кристаллов в галлуазите. Учитывая, что

МИНЕРАЛОГИЯ № 3 2016

зона окисления Гайского месторождения, развитая непосредственно по рудам, была обеднена медью, можно предположить, что делафоссит, также как куприт, атакамит и паратакамит, ассоциировавшие с делафосситом, был одной из минеральных форм фиксации меди, вынесенной из зоны окисления сульфатными растворами.

На Бабарыкинском месторождении делафоссит был диагностирован в образце из керна скважины 5890 на глубине 66.3 м при проведении оценочных работ (Белогуб, Новосёлов, 2005ф). Минерал формировал таблитчатые и пластинчатые кристаллики и сферолитовые сростки зеленовато-чёрных кристаллов до 0.2 мм на лимонитовой охре. Минерал был определён на основании дебаеграммы. В сходной геологической позиции встречался куприт, но взаимоотношения двух оксидов меди установить не удалось.

В окисленных рудах месторождения Бакр-Узяк текущей добычи 2013 г. делафоссит был определён в одной из лабораторных технологических проб исследовательской лаборатории Сибайского ГОКа по дифрактограмме (рис. 7). Диагностика минерала была подтверждена оптически и энерго-дисперсионным спектром. Состав кристаллической составляющей ус-



Рис. 5. Минеральная ассоциация делафоссита из трещины в кварцевом порфирите, месторождение им. XIX Партсъезда.

а – слабо расщеплённые по базопинакоиду агрегаты делафоссита; б – сросток микрокристаллов сульфида меди; в – микрокристаллы сульфида ртути (точка а) на сульфиде меди (точка b); г – округлое выделение золота (точка g) на силикатной матрице и сульфид ртути (точка h); д–е – ЭДС золота (д) и сульфида ртути на сульфиде меди (е). СЭМфото: И.А. Блинов.

Fig. 5. Mineral assemblage of delafossite from a fissure in porhyrytic quartz volcanic rock, the XIX Parts'yezda deposit. a – delafossite aggregates slightly split by base pinacoid; 6 – intergrowth of Cu sulfide microcrystals; B – Hg sulfide microcrystals (*point* a) on a Cu sulfide (*point* b); Γ – round gold grain (*point* g) on a silicate matrix and Hg sulfide (*point* h); π -e – EDS of gold (π) and Hg sulfide on a Cu sulfide (e). SEM-photo, I.A. Blinov.



Рис. 6. Делафоссит (точки a, b, c, e, f, i) месторождения им. XIX Партсъезда.

а, б – с оторочками гидроксидов железа (точки d, g); в – с оторочкой гётита (точка j) в ассоциации с купритом (точка h). СЭМ-фото: И.А. Блинов.

Fig. 6. Delafossite (points a, b, c, e, f, i) of the XIX Parts'yezda deposit.

a, δ – with rims of Fe hydroxide (*points* d, g); B – with rim of Fe hydroxide (*point* j) in assembalge with cuprite (*point* h). SEM-photo, I.A. Blinov.



Рис. 7. Фрагмент дифрактограммы делафосситовой окисленной руды месторождения Бакр-Узяк.

Fig. 7. Fragment of X-ray diffraction pattern of delafossite oxidized ore from the Bakr-Uzyak deposit.

реднённой пробы, по данным количественного рентгеноструктурного анализа методом Ритвельда, следующий (мас. %): кварц 30, делафоссит 29, гематит 11, хлорит гидратированный 12, мусковит гидратированный (иллит) 19. Содержание рентгеноаморфного вещества не превышает 15 %. Оптически в этой пробе был также определён куприт, но его количество, по сравнению с делафосситом, ничтожно мало, т. е. в изученной пробе именно делафоссит являлся основным концентратором меди.

Заключение

Приведённые данные свидетельствуют о значительной распространённости делафоссита в окисленных и полуокисленных рудах колчеданных месторождений и необходимости учитывать присутствие такой минеральной формы меди при планировании обогащения окисленных руд. Кроме Меднорудянского месторождения на Среднем Урале, делафоссит надёжно установлен ещё в зонах окисления пяти колчеданных месторождений на Южном Урале. Находки этого минерала сделаны в нижней части образований железной шляпы и во вмещающих породах, залегающих на одном гипсометрическом уровне с полуокисленными сульфидными рудами, т.е. примерно на уровне сезонных и многолетних колебаний уровня грунтовых вод, о чём свидетельствует также ассоциация делафоссита с вторичными сульфидами меди и ртути (Самама, 1989).

Авторы благодарны М.Б. Лейбову за предоставленную фотографию образца делафоссита Меднорудянского месторождения. Работа поддержана грантом Президиума УрО РАН, проект 15-11-5-23.

Литература

Андрущенко П.Ф., Пирожок П.И. Первая находка делафоссита на Южном Урале // Кора выветривания. М.: Наука, 1974. С. 146–157.

Безносиков Б.В., Александров К.С. Кристаллы семейства делафоссита. Препринт № 843ф. Красноярск: Институт физики им. Киренского, 2007. 32 с.

Белогуб Е.В., Новоселов К.А. Минералогическое изучение руд и продуктов гипергенеза Бабарыкинского рудопроявления в Александринском рудном районе / Отчёт о результатах тематических работ. Миасс: ИМин УрО РАН, 2005ф. 91 с.

Бушмакин А.Ф., Кобяшев Ю. С. Необычная для Меднорудянского месторождения форма выделения делафоссита // Минералогия Урала. Матер. III регион. совещ. Миасс: ИМин УрО РАН, 1998. T. 1. C. 65–66.

Евреинов П.И. Разложение чёрных валунов и медной черни, найденных в округе Н. Тагильских заводов на Урале // Горный журнал. 1847. Ч. 1. С. 369–373.

Минералы: Справочник. Т. II. Вып. 3. М.: Наука, 1967. 676 с.

Митчелл Р.С. Названия минералов. Что они означают? Перев. с англ. В.И. Кудряшовой. М.: Мир, 1982. 248 с.

Попов В.А., Попова В.И., Блинов И.А., Пономарев В.С. Минералы Меднорудянского месторождения // Минералогический Альманах. 2015. Т. 20. Вып. 3. 116 с.

Самама Ж.-К. Выветривание и рудные поля. М.: Мир, 1989. 448 с.

Сумин Н.Г. Делафоссит и гидронакрит из Меднорудянска на Урале // Труды Минералог. музея АН СССР. 1949. Вып. 1. С. 93–105.

Читаева Н.А. Делафоссит в зоне гипергенеза Гайского медноколчеданного месторождения // Зап. РМО. 1973. Вып. 2. С. 207–211.

Dordor P., Chaminade J.P., Wichainchai A., Marquestaut E., Doumerc J.P., Pouchard M., Agenmuller P., Ammar A. Crystal growth and electrical properties of CuFeO₂ single crystals // Journal of solid state chemistry. 1988. V. 75. P. 105–112.

Pubst A. Notes on structure of delafossite // Amer. Min. 1946. V. 31. P. 11–12.

Поступила в редакцию 5 сентября 2016 г.