

Н. Г. СУМИН

**ДЕЛАФОССИТ И ГИДРОНАКРИТ
ИЗ МЕДНОРУДИЯНСКА НА УРАЛЕ**

В настоящей статье излагаются результаты исследования конкреционных образований, встречающихся в форме шаров в зоне окисления Меднорудянского месторождения в Н. Тагиле. Эти конкреции, ранее принимавшиеся за мономинеральные образования, можно встретить в минералогических музеях Союза (Ленинградского горного института, Московского геолого-разведочного института и др.) под названием — тенорит или его землястая разновидность — мелаконит. В Минералогическом же музее Академии Наук СССР они, находясь в той же группе минералов, носят название докучаевита.

Впервые на эти шарообразные конкреции было обращено внимание в Меднорудянском месторождении еще в 1844 г. Нефедьевым и Кеммерером, которые в одно время получили их с рудника и доставили в химическую лабораторию Горного института для разложения, где они и были проанализированы Евреиновым [3] в 1847 г. Вследствие неопределенности химического анализа формула минерала не была установлена.

Затем, по словам акад. В. И. Вернадского, в 90-х годах прошлого столетия этими конкреционными образованиями заинтересовался выдающийся русский ученый почвовед В. В. Докучаев, который передал их для анализа химику М. И. Шешукову; последний сделал анализ и предложил назвать минерал, составляющий конкрецию, в честь Докучаева «докучаевитом». К сожалению, результаты анализа Шешукова автору не удалось найти ни в химической, ни в минералогической литературе. Надо полагать, что данные анализа, не увидев света, остались достоянием аналитика и немногих лиц, знавших Докучаева и Шешукова.

Исследование этих конкреций автором показало их неоднородность; они состоят из рудного и нерудного минералов, и анализ Шешукова не является результатом, соответствующим мономинеральному веществу.

Исследуемые конкреции относятся к группе рудных минералов зоны окисления Меднорудянского месторождения. Их распространение приурочено к рудной толще (Н. Трушков [4]; П. Гладкий [2]) средней части месторождения, к выходам тальковых руд и известняков, с преобладанием углекислых и кремнекислых солей меди и частично с купритом, самородной медью и ее фосфорнокислыми соединениями.

Эти руды сильно разрушены и представляют собой рыхлую каолиновую массу, благоприятную для концентрации вторичных продуктов, получающихся от распада сульфидов меди и железа.

О приуроченности конкреций только к каолинизированным породам достаточно убедительно говорят остатки белого каолинизированного вещества на неровной поверхности их, а также и минералогический состав нерудной части смеси, которая почти на 50% состоит из аналогичного материала.

По внешности конкреции представляют собой шары (рис. 1) иногда правильной округлой формы, величиной значительно больше грецкого

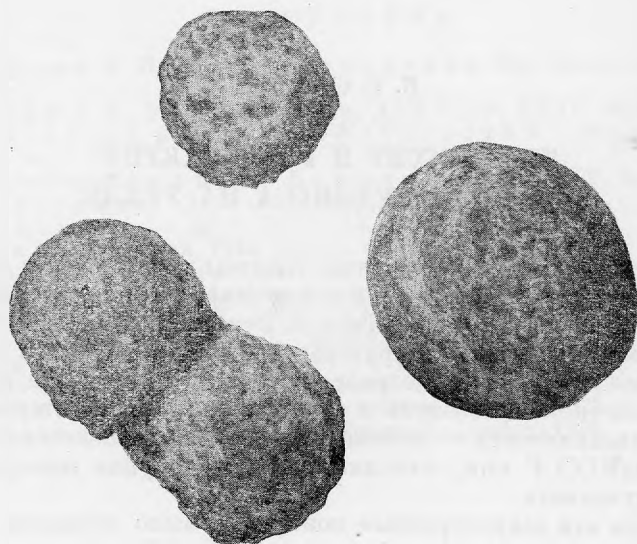


Рис. 1. Конкреции делафоссита (нат. вел.).

ореха. Они нередко имеют и яйцеобразно-вытянутую форму или форму сросшихся шариков, напоминая собой в этом случае увеличенный во много раз китайский земляной орех.

Неровная бородавчатая поверхность конкреций обычно покрыта белым каолинизированным веществом, которое, как было установлено автором впоследствии, представляет собою гидронакрит. Это вещество как бы проникает внутрь шаров с поверхности. Излом конкреции раковистый, цвет серо-черный, черта черная, сложение плотное.

Макроскопически состав конкреций представлен настолько плотной смесью двух минералов, что при небольших увеличениях микроскопа эта смесь представляется одним минералом черного цвета со слабо заметным лучистым строением.

Твердость конкреций значительная; острый конец ее оставляет на стекле черту, однако по ходу черты остается и заметный след черного порошка, что говорит о наличии здесь двух минералов с различной твердостью. Твердость общей массы, надо полагать, составляет от 5 до 5.5. Удельный вес конкреции 3.80.

Перед паяльной трубкой вещество конкреции трудно сплавляется в шарик. При прокаливании порошка на угле он приобретает буровато-коричневатый цвет и становится магнитным. При нагревании в запаянной трубке на стенках выделяется вода. Фосфорная соль разлагает ис-

следуемые минералы, оставляет скелет кремнезема и дает реакцию на железо и медь. Бура растворяет вещество конкреции с трудом, образуя бутылочно-зеленое стекло.

Для более полного изучения конкреций, последние были подвергнуты действию соляной, азотной и серной кислот, а также действию щелочей—аммиака и едкого кали. Ниже приводится краткое описание хода реакций.

1. Кусочек минерала в холодной крепкой соляной кислоте растворяется очень медленно. В горячей 10% соляной кислоте он растворяется интенсивно, окрашивая раствор в голубовато-зеленоватый цвет. Кусочки минерала при этом покрываются белым налетом. Что же касается мелко истертого порошка, то он оставляет в этих условиях большой нерастворимый осадок с слабо буроватым оттенком.

При действии аммиака из солянокислого раствора минерала в большом количестве выпадает бурый аморфный осадок гидрата окиси железа. Раствор же при этом окрашивается в интенсивный синий цвет, обусловленный присутствием меди.

2. В холодной азотной кислоте (HNO_3) минерал не растворяется; в кипящей HNO_3 он растворяется заметно. Так же как и при растворении в соляной кислоте, на кусочках минерала при растворении образуется белый налет, а при растворении порошка получается белый нерастворимый осадок. Азотнокислый раствор минерала имеет интенсивно зеленый цвет. При действии аммиака из раствора осаждается бурый аморфный осадок, а раствор окрашивается в интенсивно синий цвет.

3. В крепкой серной кислоте (H_2SO_4) минерал не растворяется. При длительном кипячении кусочка минерала в этой кислоте она помутнела и приобрела слабо буроватый оттенок. Поверхность кусочка минерала покрылась при этом тонкой пленкой с слабо сероватым налетом. От действия NH_4OH из сернокислого раствора выпал в малом количестве аморфный осадок светлобуроватого цвета.

4. Белый каолинизированный минерал, взятый с поверхности конкреций, был обработан 10% соляной кислотой. Продолжительное кипячение в ней растворения не обнаружило.

5. В щелочах конкреция почти не растворяется, однако после продолжительного кипячения в NH_4OH раствор окрашивается в слабо голубоватый цвет.

Отношение конкреций к кислотам достаточно убедительно подтверждает наличие в них двух минералов, находящихся в тесной механической смеси.

Спектральный анализ конкреций, выполненный профессором Академии Наук СССР С. А. Боровиком, показал довольно сложный состав. В них обнаружено присутствие следующих элементов (табл. 1).

Таблица 1

Сильные линии	Средние линии	Слабые линии	Следы линий
+ Cu, Fe, Si, Al	+ V, Mg, Ti	Pb, Ga, Mn, — Ca	Cr

Примечание. Знак (+) означает выше, а (—) меньше той интенсивности, что указана в графе.

Микроскопическое исследование конкреций проводилось на шлифах, приготовленных для проходящего и отраженного света.

Исследование в проходящем свете показало, что конкреция состоит в основном из рудного непрозрачного вещества с большим количеством мелких включений прозрачного анизотропного минерала. Величина его отдельных включений от 0.01 до 0.005 мм; реже встречаются сплошные

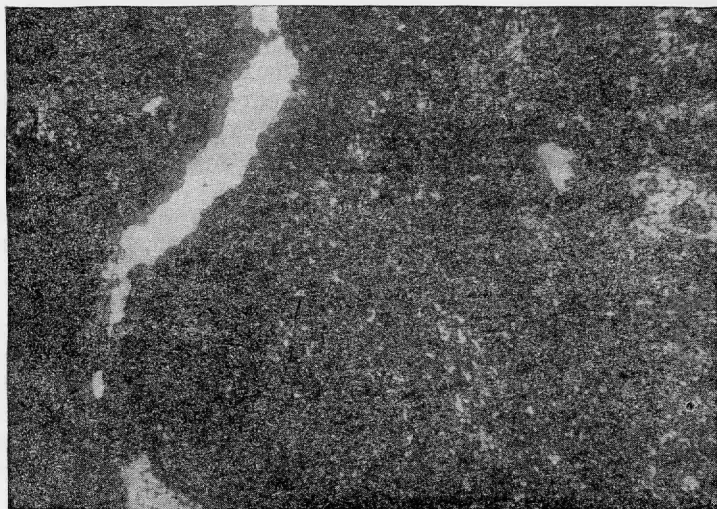


Рис. 2. Шлиф конкреции в проходящем свете: делафоссит (черный), гидроакрит (белый). Ув. 45.



Рис. 3. Аналиф конкреции: делафоссит (светлый), гидроакрит (черный). Ув. 250.

жилки среди рудного минерала (рис. 2). Благодаря тонкой смеси рудного и нерудного минерала, в прозрачном шлифе вещество конкреции представляется в виде почти мономинеральной рудной массы; нерудный прозрачный минерал маскируется и в количественном отношении составляет, как видно на фотографии, 15—20% всего шлифа. В действительности же

перудный минерал, как показали отраженные шлифы (рис. 3 и 4), составляет около 50%. Темные участки шлифа представлены перудным минералом, а серые рудным.

Оптически различия между плотной разностью гидронакрита, находящегося внутри конкреции, и рыхлой белой каолиноподобной массой на поверхности их не наблюдается. В шлифе отчетливо виден переход от плотных участков в рыхлые и, наоборот — через посредство тонких жил, которые проникают во внутрь конкреции.

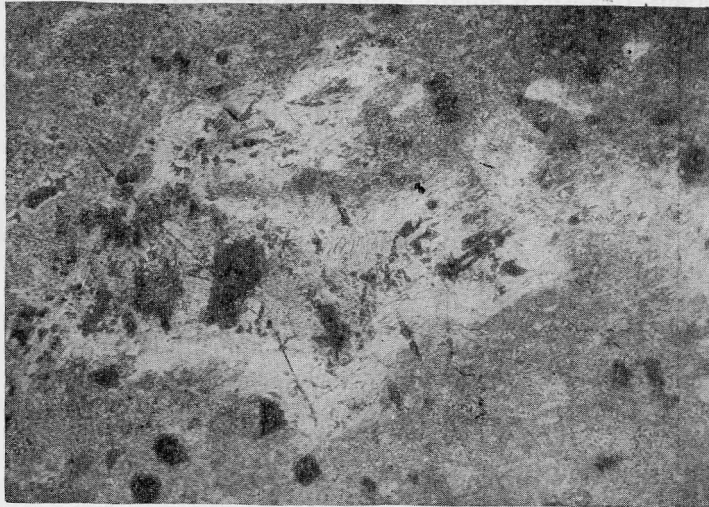


Рис. 4. Апплиф конкреции: делафоссит (серый), гидронакрит (черный). Ув. 86.

Химический анализ конкреции, хранящейся в Минералогическом музее, выполненный в химической лаборатории Института геологических наук АН СССР научным сотрудником К. П. Соковой в 1945 г. (I), и анализы конкреций, доставленных Кеммерером (II) и Нефедьевым (III, IV), произведенные еще в 1847 г. Евреиновым [3], показали следующий состав (табл. 2).

Таблица 2

	I	II	III	IV
SiO ₂	17.74	22.65	17.94	19.09
TiO ₂	0.10	—	—	—
Al ₂ O ₃	9.91	8.63	8.64	11.79
Fe ₂ O ₃	1.50	37.10	38.50	31.15
FeO	28.80			
MnO	Нет	—	—	—
MgO	0.54	—	—	—
CaO	Нет	—	—	—
Na ₂ O	0.93	—	—	—
K ₂ O		—	—	—
H ₂ O ⁺	3.96	7.13	5.81	5.62
H ₂ O ⁻	0.80			
V ₂ O ₅	0.02	—	—	—
CuO	35.80	24.87	29.30	31.88
	100.00	100.38	100.19	99.53

Сравнивая данные анализов, приведенные в табл. 2, мы наблюдаем значительную разницу в содержании CuO , Fe_2O_3 и SiO_2 . Это обстоятельство еще раз указывает на то, что непостоянство состава вызывается механической смесью двух минералов в неодинаковых или случайных пропорциях. Новый анализ показал, что железо находится в соединении в виде закиси, т. е. в двух-, а не трехвалентном состоянии, как это указывалось в старых анализах, где показаны результаты суммы окислов железа и отдельно двухвалентное железо, очевидно, не определялось.

Таким образом, исследование конкреций показало, что состав их не мономинерален: Старые и новые данные химического анализа, равно как и спектрограммы, подтверждают их сложный состав. Оптические данные в проходящем и отраженном свете указывают на смесь двух минералов,

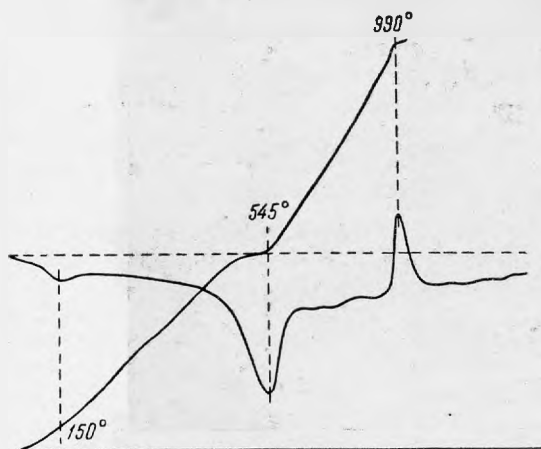


Рис. 5. Кривая нагревания гидронакрита.

Гидронакрит с поверхности конкреций представляет собой глиноподобную или землистую массу серовато-белого цвета, наощупь жирноватую, рыхлую; внутри конкреций он представляет собой плотные кристаллические массы твердостью 2.5. Удельный вес, определенный с помощью тяжелых жидкостей, составляет 2.59—2.60.

Перед паяльной трубкой гидронакрит не плавится, в запаянной трубке он выделяет воду. Реакция на алюминий положительная. В кислотах он не растворяется.

Оптическое исследование гидронакрита показало следующее: в шлифе минерал бесцветен, прозрачен, с хорошо выраженной спайностью в одном направлении; дает отчетливую фигуру двухосного кристалла с малым углом оптических осей; угасание волнистое; положительный угол между x и нормалью к (001) равен $10-13^\circ$. Дисперсия $\rho > \nu$.

Показатель преломления $N_g = 1.562$; $N_p = 1.558$; $N_g - N_p = 0.004$.

Кривая нагревания гидронакрита, произведенная научным сотрудником Г. В. Шмаковой в лаборатории экспериментальной петрографии ИГиЛ АН СССР, показала остановки: при $t^\circ = 150^\circ$, соответствующей выделению гигроскопической воды, и при $t^\circ = 545^\circ$, соответствующей эндотермической реакции каолинитовых минералов при их дегидратации. Резкий вертикальный скачок, указывающий на экзотермический характер процесса, показан на кривой при 990° (рис. 5).

Полученная таким образом кривая явилась типичной для минерала галлуазита, а оптические константы минерала и его физические свойства

а обработка соляной кислотой устанавливает, что эти два минерала можно разделить, благодаря их разной растворимости в кислотах, на два самостоятельных минерала—на нерудный и рудный.

Пользуясь различным отношением этих минералов к кислотам, автору удалось произвести исследования каждого из них в отдельности, установив по химическим анализам для каждого из них их формулы.

Ниже приводятся результаты исследования этих двух минералов.

близки каолинитовому минералу — накриту. Это несоответствие физических констант с кривой нагревания объясняется, повидимому, своеобразным химическим составом минерала, отличающимся от обычного накрита наличием гигроскопической воды и лишней молекулы кремнекислоты.

Спектральный анализ гидронакрита, выполненный С. А. Боровиком в лаборатории ИГН АН СССР, показал следующий его химический состав (табл. 3).

Таблица 3

№ п. п.		Сильные линии	Средние линии	Слабые линии	Следы линий
1	Гидронакрит с поверхности конкреций	* Al, * Si, +Mg, +Fe, Ti	Ba, Mn, Ca, +Cu	—Co, +V, Ga, Na	Pb, Sn, Sr
2	Гидронакрит тоже с поверхности, но обработанный 10% соляной кислотой	* Al, * Si, +Mg, +Fe, +Ti	+Ba, —Mn, —V	Cu, Cr, Ga, Ca	—Pb, Ni, Sr
3	Гидронакрит в нерастворимом остатке из внутренней части конкреции	* Al, Si, +Mg, +Fe, Ti	Ba, +Mn, —Ca, Cu	+V, Cr, +Ga, Na, K	Pb, Ni, Zn

Примечание. Знаки (*) — чрезвычайная интенсивность, (+) означает выше, а (—) — ниже той интенсивности, что указана в графе.

Плотная разновидность гидронакрита извлекалась путем растворения конкреции в соляной кислоте, где рудный минерал переходил в раствор, а гидронакрит оставался в качестве нерастворимого остатка.

Несмотря на сложный состав гидронакрита, данные спектрального анализа рыхлой и плотной разновидности качественно показали полную аналогию состава элементов и интенсивности их линий.

Большое разнообразие элементов, обнаруженных спектральным анализом в составе гидронакрита, объясняется очевидно механической примесью минерала из вмещающих пород. Основными же являются элементы, дающие линии чрезвычайной интенсивности.

Дебайеграмма гидронакрита, полученная И. Седлецким в рентгеновской лаборатории Почвенного института АН СССР, дала следующие результаты (табл. 4).

Данные дебайеграммы показывают значительное количество линий различной интенсивности, и из них больше всего слабых. Из значительного большинства линий средней интенсивности многие межплоскостные расстояния их (6, 11, 12 и 18) близки к расстояниям каолиновой группы минералов типа накрита и галлуазита. Что касается трех сильных линий (2, 16, 22) и такого же количества средних (17, 19, 24), то они по своим межплоскостным расстояниям не соответствуют ни одному из указанных выше минералов.

Химический анализ гидронакрита, выделенного из конкреции в виде нерастворимого остатка, был выполнен химиком-аналитиком В. М. Сендеровой в химической лаборатории ИГН АН СССР.

Анализ производился дифференцированно: вытяжка для рудного минерала и нерастворимый остаток для нерудного анализировались самостоятельно, в результате чего были получены следующие данные (табл. 5).

Таблица 4

№ п. п.	2 I найденная	2 I исправленная	δ	d	Интенсивность	Накрыт	Галлуазит
1	25.0	24.3	12°09'	3.65	Слабая		+
2	27.5	26.8	13°24'	3.32	Оч. сильная		
3	28.2	27.5	13°45'	3.23	Оч. слабая		
4	29.8	29.1	14°33'	3.06	Слабая	+	
5	32.0	31.3	15°39'	2.85	»		
6	36.0	35.3	17°39'	2.53	Средняя	+	+
7	38.6	37.9	18°57'	2.36	Слабая		+
8	39.2	38.5	19°15'	2.33	»		+
9	40.2	39.5	19°45'	2.27	»		
10	42.0	41.3	20°39'	2.18	»		+
11	43.4	42.7	21°21'	2.11	Средняя	+	+
12	46.8	46.2	23°06'	1.96	»	+	
13	50.8	50.2	25°06'	1.81	Слабая		
14	51.2	50.6	25°12'	1.80	Средняя	+	
15	54.6	54.0	27°00'	1.70	Слабая		
16	56.4	55.8	27°54'	1.64	Сильная		
17	61.2	60.6	30°18'	1.52	Средняя		
18	62.5	62.0	31°00'	1.49	»	+	
19	63.8	63.3	31°39'	1.46	»		
20	65.2	64.7	32°21'	1.44	Слабая	+	+
21	66.8	66.3	33°09'	1.40	»		
22	69.2	68.7	34°21'	1.36	Сильная		
23	71.6	71.1	35°33'	1.32	Средняя	+	
24	73.8	73.3	36°33'	1.29	»		
25	75.0	74.5	37°45'	1.27	Оч. слабая	+	
26	77.0	76.6	38°18'	1.24	Слабая		
27	78.0	77.6	38°48'	1.23	Оч. слабая		
28	79.0	78.6	39°18'	1.21	»		
29	81.0	80.4	40°18'	1.19	Слабая		
30	82.4	82.0	41°00'	1.17	»		
31	85.0	84.4	42°12'	1.14	»		
32	92.0	91.6	45°48'	1.07	»		
33	94.0	93.6	46°48'	1.05	»		
34	100.0	99.7	49°51'	1.01	»		
35	104.0	103.7	51°51'	0.98	»		
36	110.0	109.8	54°54'	0.94	Оч. слабая		
37	116.0	115.8	57°54'	0.91	»		
38	120.0	119.8	59°54'	0.89	Слабая		

Примечание. Условия съемки: Cu = излучение 40 kV × 6mA, 12.5 час.
2δ = 0.75 mm.

Таблица 5

	Вытяжка	Нераствори- мый остаток	Вытяжка + нераствори- мый оста- ток	Вытяжка	Нераствори- мый остаток
	I	II	III	IV	V
SiO ₂	1.61	17.62	19.23	—	19.23
TiO ₂	0.05	0.09	0.14	—	0.14
Al ₂ O ₃	2.96	7.34	10.30	—	10.30
Fe ₂ O ₃	1.50	0.91	32.87	32.87	—
FeO	30.46				
MnO	Следы	—	Следы	—	—
MgO	»	Следы	»	—	—
CaO	Нет	»	»	—	—
CuO	32.5	—	32.5	32.50	—
Na ₂ O	Следы	—	Следы	—	—
K ₂ O					
H ₂ O ⁻					
H ₂ O ⁺	—	0.95	0.95	—	0.95
	—	4.06	4.06	—	4.06
	69.08	30.97	100.05	65.37	34.68

Суммируя результаты (I) и (II) анализов, мы таким образом получили общий анализ (III) конкреции, из которого окислы железа и меди были отнесены за счет рудного минерала (IV), а остальные за счет нерастворимого каолинитового минерала (V).

Наличие в вытяжке окиси кремния и алюминия объясняется частично растворимостью в соляной кислоте каолинитового минерала, поэтому при пересчете анализов на минералы эти окислы были присоединены к результатам нерастворимого остатка, а полученные окислы железа в нерастворимом остатке приданы к результатам анализа вытяжки (рудного минерала).

Ниже приводим результат анализа нерастворимого остатка (табл. 6) (I), пересчитанный на 100.0 (II), затем на молекулярный вес (III).

Таблица 6

	I	II	III
SiO ₂	19.37	55.85	0.903
Al ₂ O ₃	10.30	29.71	0.291
H ₂ O	5.01	14.44	0.801

Он дает для минерала следующую формулу: Al₂O₃·3SiO₂·3H₂O.

Сравнивая исследуемый минерал с родственными ему по химизму, оптике и термическим свойствам, находим, что он входит в группу каолининовых минералов:

Накрит Al₂O₃ · 2SiO₂ · 2H₂O
 Галлуазит Al₂O₃ · 2SiO₂ · 3H₂O
 Исследуемый минерал Al₂O₃ · 3SiO₂ · 3H₂O

Формула нашего минерала фактически представляет собой тот же накрит, обогащенный молекулой SiO₂ и гидратизированный. Автор предпочитает не вводить для него нового термина, а назвать его как гидратизированную разновидность накрита — гидронакритом.

Д е л а ф о с с и т. Рудный непрозрачный минерал конкреции оказался делафосситом.

Делафоссит впервые был проанализирован в России С. Фриделем [8] из района близ Свердловска (Екатеринбурга) в 1873 г. Затем позже он был обнаружен и описан А. Ф. Роджерсом [5] в 1913 г. среди белых каолиновых минералов в Бисби Аризона, США. Минерал как в первом, так и во втором случае был встречен в зоне окисления медных месторождений вместе с белыми каолиновыми минералами в парагенезисе с железным блеском, самородной медью и купритом. Форма кристаллов по Роджерсу ромбоэдрическая; главные грани (0001) (10 $\bar{1}$ 0) и второстепенные (10 $\bar{1}$ 0) (hohl) и (ohhl). По внешнему облику они напоминают кристаллы железного блеска. Угол между гранями (0001) : (10 $\bar{1}$ 0) = 66° ± 1°, С : а = 1.94. Двойники по (0001). Спайность по (10 $\bar{1}$ 0). Цвет черный, непрозрачный, с металлическим блеском. Твердость 5.5. Магнитен только после прокалывания его на угле. Легко растворяется в соляной кислоте и плохо в серной.

Описываемый нами делафоссит из Меднорудянска в конкрециях представлен черной плотной мелкокристаллической массой, дающей раковистый излом. Он хорошо принимает полировку. Цвет полированной поверхности под микроскопом белый с розоватым оттенком и сильным блеском.

При большом увеличении хорошо наблюдается структура конкреций, состоящих из двух минералов — нерудного гидронакрита и рудного делафоссита.



Рис. 6. Волокнистая структура делафоссита. Ув. 250.

При большом увеличении делафоссит обнаруживает характерную волокнистую структуру (рис. 6), причем все слагающие конкрецию инди-

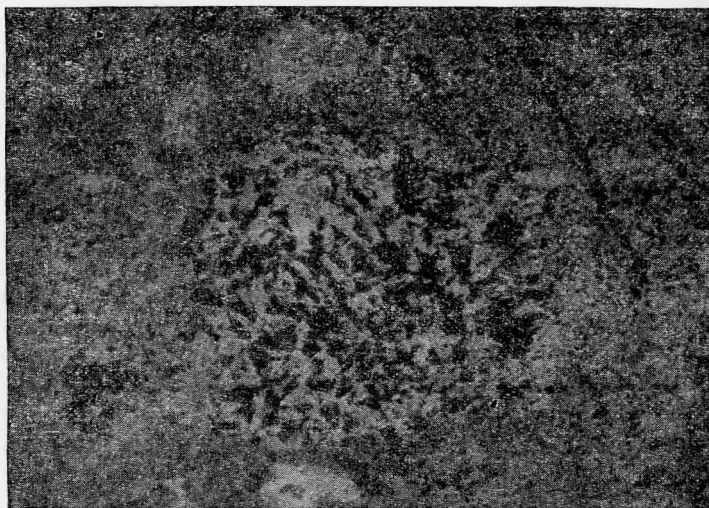


Рис. 7. Графическая структура делафоссита (серый). Ув. 250.

виды или вытянуты в одном каком-либо направлении, или чаще наблюдаются в виде беспорядочно расположенных пучков. В крупных сплошных зернах гидронакрита, представляющих собой монокристаллы, иногда наблюдаются выделения делафоссита в виде неправильных зерен или мелких червеобразных вrostков, дающих иногда графические структуры (рис. 7).

Несмотря на различные структуры конкреций, определяющиеся взаимоотношением двух составляющих их минералов, отношение рудного минерала к нерудному остается, однако, постоянным, приблизительно как 1:1. В шлифах, помимо тонких и равномерных сростков, наблюдаются также участки небольших мономинеральных скоплений как рудного, так и нерудного минерала. Величина таких зерен колеблется от 0.5 до 0.7 мм. Спайности в делафоссите не наблюдалось, но сравнительно большие участки волокнистых выделений его позволяют предполагать о наличии в нем как бы спайности.

Твердость делафоссита по Бетехтину [1] средняя, от 3 до 3.5. При прочерчивании острым ребром кристалла флюорита полированной поверхности шлифа на последней остается след. Стальной иглой минерал царапается легко; прочерчивание медной иглой и кристаллом кальцита дало отрицательные результаты. Удельный вес делафоссита, ввиду невозможности получить этот минерал в чистом виде даже и в небольших количествах, пришлось вычислить путем расчета из удельного веса гидронакрита. В результате удельный вес делафоссита оказался равным 5.09.

Для более полного изучения отношения минерала к реактивам последний был подвергнут действию HNO_3 концентрированной; HNO_3 1:1; H_2O_2 30%; FeCl_3 , KCN , NH_4OH насыщенной, KOH , AgNO_3 10%; HgCl_2 , HCl и царской водки. При травлении большинство реактивов дало отрицательные результаты, за исключением HCl , царской водки и паров концентрированной HNO_3 .

1. Вокруг капли концентрированной HCl образуется серая оторочка. После снятия капли остается резко очерченное пятно серого цвета. Что касается внутреннего строения конкреций, то ввиду незначительной величины зерен оно выявляется в слабой степени. Вскипания не наблюдается. Капля HCl становится желтовато-зеленой. Смоченная ею фильтровальная бумага также принимает желтовато-зеленый цвет. Бумажка, смоченная каплей KCN , окрашивается в цвет берлинской лазури.

2. Царская водка на рудный минерал оказывает более слабое действие, чем HCl , но нерудный минерал она больше разъедает. От капли царской водки также тускнеет полированная поверхность шлифа, и кислота становится желтовато-зеленой.

3. Капля концентрированной HNO_3 на периферии образует коричневатую полоску, а ее пары образуют вокруг капли серый налет, который после травления легко вытирается сукном или даже фильтровальной бумагой. Действие реактивов при травлении конкреции продолжалось одну минуту.

Отношение делафоссита к поляризованному свету достаточно хорошо выражено в четкой и сильной его анизотропности. Эффект поляризации в значительной степени зависит от неоднородности внутреннего строения исследуемого объекта в пределах исследуемого шлифа. Угасание наблюдается неодновременно, очевидно благодаря разнообразной ориентировке зерен.

Наиболее отчетливое погасание наблюдается на участках, сложенных крупными мономинеральными скоплениями волокнистого сложения, и менее ясно на участках, состоящих из мелких, относительно изометричных, пластинчатых зерен. При вращении на 360° минерал обнаруживает два погасания.

В связи с невозможностью выделить из конкреции чистую разность рудного минерала, рентгенографическое исследование производилось над всей конкрецией. Дебайеграмма, выполненная в рентгенографической лаборатории Института кристаллографии АН СССР членом-корреспонден-

том Н. В. Беловым (табл. 7), показала результаты, межплоскостные расстояния которых соответствуют двум минералам, делафосситу и гидронакриту.

Таблица 7

№ п. п.	2) найденная	2) исправленная	ϑ	$\sin \vartheta$	d	Интенсивность	Делафоссит	Гидронакрит
1	31	30.3	15°09'	0.261	3.43	Средняя		+
2	36	35.3	17°39'	0.303	2.96	Сильная	+	
3	41	40.4	20°12'	0.348	2.58	Оч. сильная	++	+
4	46	45.4	22°42'	0.386	2.32	В. средняя	+	+
5	49	48.4	24°12'	0.410	2.18	Оч. слабая		
6	52	51.4	25°42'	0.435	2.05	»		
7	55	54.4	27°12'	0.458	1.96	Слабая		+
8	58	57.4	28°42'	0.480	1.87	»		
9	64	63.5	31°45'	0.528	1.70	Сильная	+	
10	66	65.5	32°45'	0.540	1.66	Слабая		+
11	71	70.5	35°15'	0.576	1.55	Сильная	+	+
12	76	75.5	37°45'	0.617	1.46	» (ср.)	+	+
13	79	78.5	39°15'	0.631	1.42	Очень слабая		
14	82	81.6	40°78'	0.668	1.34	Средняя	+	+
15	85	84.6	42°18'	0.672	1.32	»	++	+
16	89	88.6	44°18'	0.697	1.28	Слабая (ср.)	+	+
17	96	95.7	47°51'	0.742	1.20	»		
18	100	99.7	49°51'	0.765	1.17	Оч. слабая		
19	104	103.7	51°51'	0.787	1.14	Слабая	+	
20	116	116.0	58°00'	0.848	1.06	Средняя	++	

Примечание. Условия съемки: $\lambda_{Co} = 1.79 \text{ \AA}$; $Co =$ излучение 50 mA часов.

Для выяснения химического состава делафоссита последний растворился в соляной кислоте и раствор был обработан избытком аммиака. Полученный при этом осадок (1) прокален, а раствор (2) выпарен и оба остатка подвергнуты спектральному анализу. При этом получены следующие результаты (табл. 8).

Таблица 8

№ п. п.		Сильные линии	Средние линии	Слабые линии	Следы линий
1	Осадок, полученный от обработки солянокислого раствора избытком NH_4OH	* Fe	+Cu, Al, Mg, —Si	—Pb, Zn, Ca, Mn	V
2	Сухой остаток от синего аммиачного раствора после осаднения железа	* Cu	+Mg	Ca, Si, —Ni, —Al	Na, Mn, Fe

Примечание. Знак (*) означает — чрезвычайная интенсивность; (+) означает — выше, а (—) ниже той интенсивности, которая указана в соответствующей графе.

Таким образом, данные спектрального анализа указывают на качественный химический состав делафоссита, состоящего из Fe и Cu.

Химический анализ солянокислой вытяжки (I), приведенный к 100% (II) и пересчитанный на молекулярный вес (III), произведен В. М. Сенде-ровой (табл. 5, IV):

	I	II	III
FeO	32.87	50.28	0.699
CuO	32.50	49.72	0.624

Результаты пересчета дают следующую формулу: CuO , FeO или CuFeO_2 .

К такой же формуле делафоссита пришел и А. Ф. Роджерс, устанавливая этот минерал по анализу Г. С. Бахарта из медного месторождения Бисби Аризона. В анализе было определено содержание меди, железа и кислорода. Путем теоретического пересчета была выведена следующая формула делафоссита: CuFeO_2 .

Если полученную формулу делафоссита CuFeO_2 удвоить, то мы получим химическое соединение, которое по своему составу может быть отнесено по классификации В. И. Вернадского и Э. Дана [7] к солям кислородных кислот, т. е. $\text{Cu}_2\text{O} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$.

Вопрос о валентности меди и железа в делафоссите до сих пор еще не разрешен, так как обычным химическим анализом мокрым путем трудно определить естественную первоначальную валентность железа в минерале, когда мы его переводим в раствор, благодаря тому, что железо, подобно марганцу, имеет стремление к образованию неустойчивых соединений, которые свободно могут переходить из закисных в окисные и наоборот. Не менее трудно решить вопрос и относительно степени окисления меди, особенно в таком соединении. Однако можно утверждать с несомненностью, что полученные окислы в природных условиях устойчивы, и возможность их наличия в природном процессе не исключена.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. А. Г. Бетехтин и Л. В. Радугина. Определение рудных минералов под микроскопом. Горгеолиздат.
2. П. Г л а д к и й. Химико-геологические заметки о Меднорудянском и Высокогорском месторождениях в Н. Тагиле. Горн. журн., 1888, т. I, стр. 96—123.
3. Е в р е и н о в. Разложение черных валунов и медной черни, найденных в округе Н. Тагильских заводов на Урале. Горн. журн., 1847, ч. I, стр. 369—373.
4. Н. Т р у ш к о в. Краткий очерк месторождения Рудянского рудника в Н. Тагиле. Горн. журн., 1905, № 4.
5. A. F. R o g e r s. Delafossite a Cuprous Metoferrite in Besbee Arisone. Amer. Journ. of Sci., 1913, 35, p. 290—294.
6. Н. Е. В о с к е. Ref. N. Jh. Min. etc., 1914, II, 12.
7. Э. С. Д а н а. Описательная минералогия. 1937, 105.
8. C. F r i e d e l. C. R., 1873, 77, 211. Von Jekaterinburg (Sibirien).