

А. Ф. Бушмакин, Л. Ф. Баженова

**АВДОНИНИТ $K_2Cu_5Cl_8(OH)_4$ — НОВЫЙ МИНЕРАЛ ИЗ ЗОНЫ ТЕХНОГЕНЕЗА
УРАЛЬСКИХ КОЛЧЕДАНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

A. Ph. Bushmakin, L. Ph. Bazhenova

**AVDONINITE $K_2Cu_5Cl_8(OH)_4$, A NEW MINERAL FROM THE ZONE OF TECHNOGENESIS
OF THE URALS MASSIVE SULFIDE DEPOSITS**

Avdoninite has been found in the open pit of Blyava and in the old dump of Degtyarskoe deposits. It forms pseudomorph after steel(?) thing and oval flattened accumulations. The mineral is accompanied by mitcherlichite, atacamite, nantokite and others copper chlorides. It is present as transparent green grains and tabular crystals of 0.05 mm and less in size. Hardness is 3. Perfect cleavage on {100}. Dencity – 2.86 g/cm³. Monoclinic. The mineral was formed from copper-containing solutions, named by name of the Urals' mineralogist V. N. Avdonin.

Осенью 1988 года Т. В. Авдонина на поверхности одного из старых заброшенных отвалов Дегтярского медноколчеданного месторождения (Свердловская область) встретила выделения ярко-зеленого минерала. Первичные исследования, выполненные тогда же В. Н. Авдоным и А. Ф. Бушмакиным в лаборатории Свердловского горного института, показали что он является содержащим воду хлоридом меди и имеет порошкограмму, отличающуюся от рентгенограмм известных в то время минералов подобного состава.

В 1990 году в лабораторию минералогии техногенеза Института минералогии УрО РАН В. Г. Кориневским передан для изучения образец, сложенный, в основном, веществом зеленого цвета, извлеченный в сентябре 1988 года из высохшей лужи на поверхности одного из средних уступов карьера Блявинского месторождения (Оренбургская область). Оказалось, что в обоих случаях зеленое вещество представлено одним и тем же гидроксилхлоридом меди и калия. При поисках, проведенных с помощью сотрудника ИЗК СО РАН Е. К. Васильева, такой фазы в рентгеновских картотеках минералов и искусственных соединений не найдено.

Новый минерал назван авдонинитом по имени уральского минералога В. Н. Авдонина (р. 1925 г.), внесшего существенный вклад в изучение экзогенных процессов на разрабатываемых колчеданных месторождениях.



Рис. 1. Общий вид образца, содержащего авдонинит, из Блявы.

Авдонинит на дегтярском отвале слагает массивные округлые, часто уплощенные, скопления величиной до 10—15 см в поперечнике. Образец из Блявы (рис. 1) имел размеры 11×7×4.5 см и весил 340 г. Вероятнее всего он сформировался при замещении какого-то стального (?) предмета, тень которого хорошо видна в центре образца. Кроме главной составляющей — авдонинита,

присутствуют митчерлихит, атакамит, нантокит и ряд других недиагностированных хлоридов меди, а в блявинском материале — также и рыхлые остаточные продукты минерализации предмета, содержащие Fe, Ti, Cr и Zr, характерные для легированных сталей.

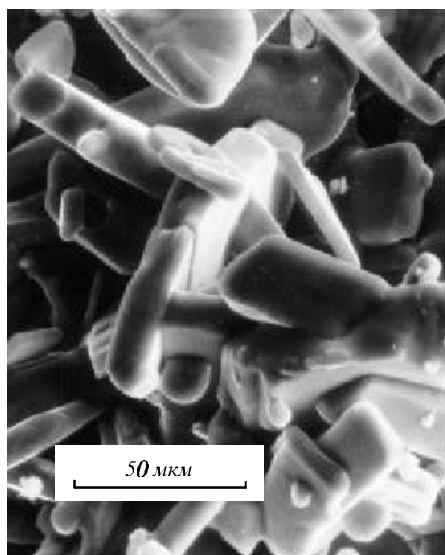


Рис. 2. Агрегат кристаллов авдонинита. Электронномикроскопический снимок

Авдонинит образует зерна и несовершенные пластинчатые кристаллы (рис. 2), редко достигающие по величине 0.1 мм, обычно 0.05 мм и менее. Встречающиеся относительно хорошо оформленные индивиды имеют простую огранку, сглаженные вершины и сильно уплощены по (100). На рис. 3 показаны некоторые из характерных типов кристаллов.

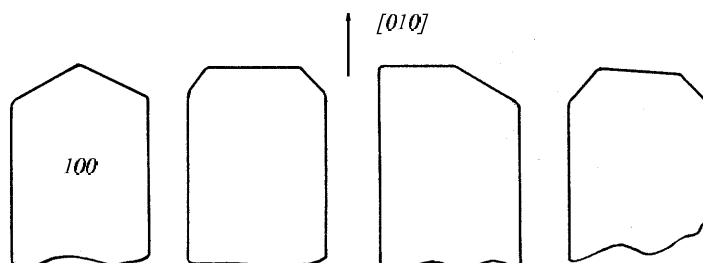


Рис. 3. Облик кристаллов авдонинита, лежащих на грани (100)

Цвет авдонинита от ярко- до темно-зеленого. Черта бледно-зеленая. Прозрачный. Блеск стеклянный. Твердость 3. Хрупкий, излом неровный. Спайность совершенная по {100}, есть несовершенная спайность по другим направлениям. Плотность 2.86 г/см³ (определена уравниванием в бромформе с этанолом).

Легко плавится в пламени свечи, окрашивая его в интенсивный лазурный цвет. При нагревании в закрытой трубке выделяет много воды, затем плавится. Расплав застывает при охлаждении в красновато-бурную зернистую массу, на стенках трубки отлагаются игольчатые буровато-красные кристаллы.

В воде мгновенно становится светло-голубым и непрозрачным, после чего растворяется с образованием тонкой мути, придающей капле слабую молочно-белую окраску. В разбавленных HCl и HNO₃ ведет себя сначала так же как в воде, затем медленно и полностью растворяется, окрашивая раствор в первом случае в зеленовато-желтоватый, а во втором — в голубоватый цвет. В концентрированной H₂SO₄ теряет прозрачность, становясь желтовато-коричневым, и медленно растворяется. С разбавленной H₂SO₄ реагирует так же как с соляной и азотной кислотами. С этанолом и ацетоном не взаимодействует, в иммерсионных жидкостях устойчив.

Умеренно гигроскопичен. В сухих условиях не изменяется, при повышенной влажности бумажные пакеты с авдонинитом слабо намокают. От образцов с этим минералом, хранящихся в закрытом сосуде, чувствуется неприятный «химический» запах.

Под микроскопом авдонинит имеет светло-зеленый цвет разной интенсивности в зависимости от толщины зерен. Обладает плеохроизмом в зеленых тонах: от бледного желтовато-зеленого по N_m

до светло-зеленого по N_g ; $N_g > N_m$. Двуосный; $n_g \approx 1.74$, $n_m = 1.712$. N_m совпадает с осью b , $cN_g \approx 30^\circ$. Плоскость оптических осей параллельна (010). Удлинение кристаллов отрицательное.

ИК-спектр авдонинита (рис. 4), снятый Н. В. Чукановым (ИФХ РАН в г. Черноголовке), близок к спектрам основных хлоридов меди, отличаясь от них более высокочастотными полосами ОН- групп.

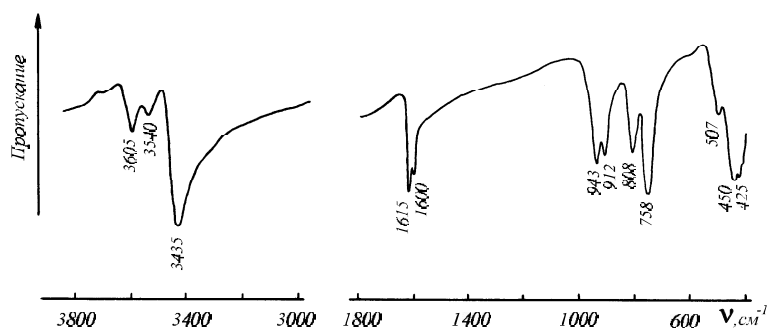


Рис. 4. ИК-спектр авдонинита. Спектрометр Specord-75IR, таблетка с KBr

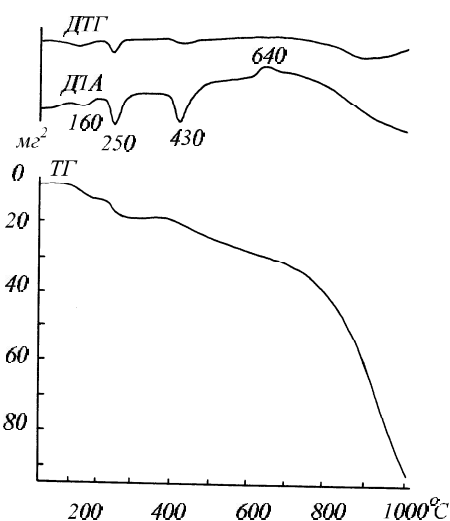


Рис. 5. Дериватограмма авдонинита. Навеска 104 мг. Дериватограф Паулик, Паулик и Эрдеи

На кривой ДТА (рис. 5) присутствуют эндотермические пики, связанные с дегидратацией минерала: пологий около 160°C — улетучивание адсорбированной воды (3.8 % веса) и два четких с максимумами 250 и 420°C — удаление в две стадии гидроксильной воды. Полное обезвоживание происходит, видимо, до 500°C , причем на его окончание накладывается начало испарения (сублимации) пробы, особенно интенсивного после 700°C . Сублимация отражается на термограмме широким эндотермическим эффектом и резкой потерей веса, составляющей в конечном счете 85 %. Слабый экзотермический эффект при 640°C может быть объяснен, по аналогии с атакамитом [2], кристаллизацией тенорита и нантокита или, как в случае паномаревита $\text{K}_4\text{Cu}_4\text{OCl}_{10}$ [1], сильвина.

Химический анализ авдонинита (табл. 1) выполнен Л. Ф. Ба-женовой в лаборатории ИМин УрО РАН. Вода определена по разности. Излишнее по сравнению с теоретическим содержание воды (1.22 %), получающееся из результатов анализа, связано с повышенной влажностью химически анализировавшегося материала. Эмпирическая формула $\text{K}_{2.00}\text{Cu}_{4.98}\text{Cl}_{8.00}(\text{OH})_4$ практически не отличается от идеальной $\text{K}_2\text{Cu}_5\text{Cl}_8(\text{OH})_4$.

Рентгенограмма авдонинита, проиндицированная на основе моноклинной ячейки, приведена в табл. 2. Вычисленная плотность 2.89 г/см^3 при $z = 4$.

Авдонинит в обычных условиях открытой атмосферы из-за прекрасной растворимости в воде — эфирное соединение, могущее существовать только в сухую погоду. Об источнике слагающих его компонентов можно сказать, что один из них (медь) имеет естественное происхождение, т. к. насыщенные медью растворы обычны на отвалах и в карьерах медноколчеданных месторождений. Природа калия и хлора не ясна, однако несомненно, что описываемое вещество не является искусственным химическим продуктом, неким образом

попавшее туда, где оно найдено, а возникло на месте в результате самопроизвольного процесса. Свидетельством тому служит псевдоморфоза по стальному (?) предмету из Блявы. Процесс формирования скоплений авдонинита был неоднократным, о чем говорит обрастание этим минералов более ранних его же выделений, наблюдаемое на дегтярских образцах.

Таблица 1

Химический состав авдонинита, мас. %

Компоненты	Содержания, мас. %		Атомные количества	Отношения при Cl=8.00	K ₂ Cu ₅ Cl ₈ × (OH) ₄ , теорет.
	1	2			
K	9.96	10.35	0.2647	2.00	10.46
Cu	40.26	41.84	0.6586	4.98	42.50
Cl	36.07	37.49	1.0574	8.00	37.94
H ₂ O	13.71	10.32	-	-	9.10
Сумма	100.00	100.00			100.00

Примечание: 1 — исходный анализ, 2 — пересчитано с учетом адсорбированной воды (3.8 %), определенной по термограмме. Количество H₂O взято по разности.

Таблица 2

Порошкограмма авдонинита

I	d _{изм} , А	d _{выч} , А	hkl	I	d _{изм} , А	d _{выч} , А	hkl
8	12.741	12.784	001	31	2.152		
100	11.540	11.564	200	5	2.137		
13	5.848	5.838	202	2	2.115		
14	5.773	5.781	010	2	2.080		
		5.784	400	6	2.041		
3	5.271	5.266	011	1	2.010		
11	5.104	5.090	111	1	1.931		
2	4.077	4.088	410	5	1.908		
7	3.854	3.856	312	4	1.886		
		3.857	600	2	1.862		
1	3.353	3.354	113	6	1.834		
2	3.269	3.278	701	5	1.822		
12	3.210	3.207	104	1	1.803		
		3.206	610	3	1.773		
7	3.182	3.171	611	1	1.727		
		3.195	004	2	1.692		
11	3.046	3.045	313	1	1.678		
9	2.923	2.920	404	2	1.660		
4	2.867	2.867	710	2	1.626		
		2.868	120	2	1.613		
5	2.828	2.823	702	2	1.605		
4	2.770	2.772	214	2	1.592		
5	2.635	2.633	022	4	1.540		
3	2.612	2.606	414	1	1.520		
7	2.572	2.569	900	1	1.462		
		2.568	105	1	1.426		
8	2.553	2.555	005,421	5	1.407		
10	2.511	2.512	421	3	1.399		
		2.513	105	2	1.287		
7	2.450	2.451	520	a=23.25(2) b=5.78(1) c=12.84(1) β=95.69(3) V=1717 Å ³			
1	2.395	2.392	123				
		2.391	023				
15	2.310	2.313	305				
5	2.169	2.168	423				

Примечание: Условия съемки: дифрактометр ДРОН – 2.0, FeK_α-излучение, монохроматор. Аналитик Т. М. Рябухина.

Авдонинит может быть найден в продуктах вулканической деятельности, подобно близкому по составу пономаревиту, обнаруженному в возгонах Большого трещинного Толбачинского извержения на Камчатке [1]. В таких возгонах основные хлориды меди известны [3].

Образцы авдонинита переданы в Уральский геологический музей (г. Екатеринбург) и в музей Ильменского государственного заповедника (г. Миасс).

Авторы выражают свою благодарность Е. К. Васильеву и Н. В. Чуканову за помощь в исследованиях.

Литература

1. *Вегасова Л. П., Филатов С. К., Серафимова Е. К., Семенова Т. Ф.* Пономаревит $K_4Cu_{14}OCl_{10}$ — новый минерал из вулканических возгонов // Докл. АН СССР. 1988. Т. 300, № 5. С. 1197—1200.

2. *Иванова В. П., Касатов Б. К., Красавина Т. Н., Розинова Е. Л.* Термический анализ минералов и горных пород. Л.: Недра, 1974. 399 с.

3. *Серафимова Е. К.* Минералогия возгонов вулканов Камчатки. М.: Наука, 1979. 168 с.