

Почетный член *Е. А. АНКИНОВИЧ, С. Г. АНКИНОВИЧ, А. А. ДАРА,*  
*Ф. А. КУРМАКАЕВА*

## ЖЕЛЕЗИСТЫЙ МОНТГОМЕРИТ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО КАРАТАУ

В 1960 г. в коре выветривания углеродисто-кремнистой ванадиеносной формации нижнего палеозоя северо-западной части хребта Каратау (Южный Казахстан) был обнаружен водный фосфат. По рентгенометрическим данным и физическим свойствам он был определен как монтгомерит — редкий минерал, установленный к тому времени только в Ферфильде, штат Юта (Дэна, Дэна 1953). Однако химический состав установленного минерала отличался от типичного состава монтгомерита наличием значительных количеств железа и магния, что вызвало необходимость дополнительного его исследования.

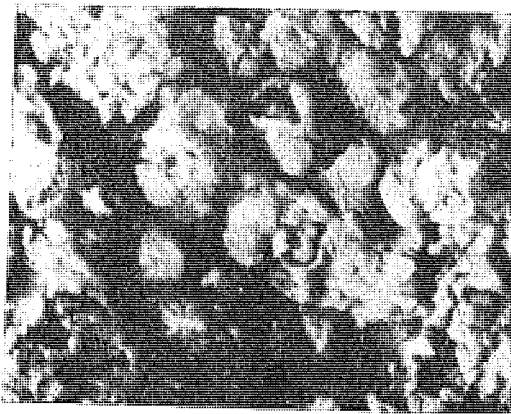


Рис. 1. Корки железистого монтгомерита пузырчатого сложения. Увел. 18, обр. 1-51, участок Талдык.

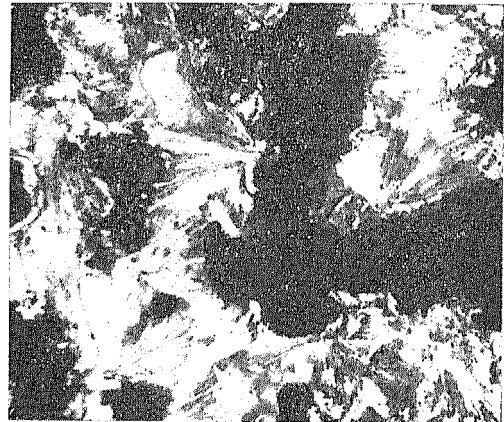


Рис. 2. Агрегат железистого монтгомерита, выполняющего пустоты выщелачивания сланцев (черное). Николи скрещены, увел. 210, шл. М-285, участок Талдык.

В конце 70-х годов при повторном химическом и структурном исследовании монтгомерита из Ферфильда было установлено наличие магния, а также положение этого элемента в кристаллической решетке минерала:  $\text{Ca}_4\text{Mg}(\text{H}_2\text{O})_{12} [\text{Al}_4(\text{OH})_4(\text{PO}_4)_6]$  (Moore, Ataki, 1974; Fanfani и др., 1976). Позднее рядом исследований химического состава новых находок монтгомерита (Peneaud, Semet, 1977; Schmidt, 1980) постоянное присутствие магния в составе минерала неизменно подтверждалось. Наличие значительного количества железа в монтгомерите отмечено впервые.

Условия нахождения, морфология. Железистый монтгомерит обычен для верхних участков зоны выветривания углеродисто-кремнисто-глинистых ванадиеносных сланцев, содержащих дисперсно рассеянный фторапатит, сульфиды железа, ванадия, меди и цинка (Анкинович, Анкинович, 1955). Минерал нередок, но скопления его незначительны (до  $20 \times 10 \times 1$  мм), образует прожилки, почки, инкрустирует трещины и пустоты. В рыхлых продуктах коры выветривания встречается в форме мелких стяжений или субпараллельных по (010) сростков тонких шести- и восьмиугольных пластинок (0.01—0.05 мм). Почки часто имеют пузырчатое сложение (рис. 1). Под микроскопом наблюдаются веерообразные скопления тонких расщепленных кристаллов (рис. 2). Встречается в тес-

## Оптические константы железистого монтгомерита и монтгомерита

Минерал	Осность, знак	$2V$ (град)	$N_g$	$N_m$	$N_p$	Дисперсия оптических осей
Монтгомерит (Ферфильд, Юта)	Двуосный, отри- цательный	75	1.582	1.578	1.572	$r < v$ заметная
Железистый монтгоме- рит (Талдык, Каратау)	Та же	70—80	1.583	1.579	1.572	$r < v$ сильная

Примечание. Показатели преломления измерены с точностью  $\pm 0.002$ .

Таблица 2

Результаты расчета дебаеграмм монтгомерита  
и железистого монтгомерита

Монтгомерит		(ASTM № 13-463)	Железистый монтгомерит	
$I$	$d/n$	$hkl$	$I$	$d/n$
		020	10	12.10
90	12.0	110	4	9.55
10	9.2	001, 130	4	6.33
2	6.3	040	6	6.05
6	6.04	021	2	5.40
20	5.53	200, 111	6	5.173
100	5.09	200, 041	4	4.370
20	4.35	240	—	—
2	3.82	151	4	3.613
2	3.55	—	3	3.488
—	—	061	4	3.346
10	3.37	310, 241	6	3.262
6	3.293	241, 170	3	3.216
16	3.252	260, 002	7	3.149
20	3.124	311, 112	2	2.979
25	2.952	171, 311	9	2.903
50	2.882	261, 331	2	2.843
2	2.796	202	—	—
2	2.689	190	9	2.652
40	2.605	280	9	2.592
25	2.572	420	4	2.492
6	2.456	281, 191	4 ш.	2.388
16	2.384	312, 421	—	—
2	2.299	312, 371	1 ш.	2.268
16	2.236	441	—	—
6	2.162	460	1	2.150
2	2.130	352	2	2.103
6	2.081	461	—	—
2	2.034	510, 461	5	2.014
6	2.006	203, 422	—	—
10	1.911	481	—	—
6	1.826	392, 570	5	1.725
10	1.734	—	—	—
10	1.651	—	9 ш.	1.578
6	1.569	—	1 ш.	1.542
6	1.537	—	—	—

ном парагенезисе с гидроксиланатитом, доломитом — минералами конечной стадии выветривания пород формации. Эта ассоциация указывает на щелочные условия и повышенную концентрацию фосфора в поверхностных растворах (Nriagu, 1976).

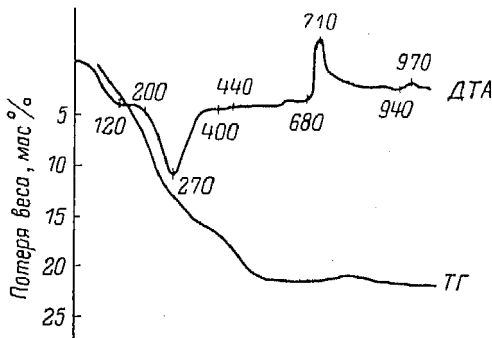
Физические свойства. Железистый монтгомерит зеленый: от фишашково-зеленого до травяно-зеленого. Черта белая. Обладает совершенной спайностью по (010). Под электронным микроскопом по на-

Параметры элементарной ячейки монтгомерита и железистого монтгомерита

Минерал	$a$ ( $\pm 0.02 \text{ \AA}$ )	$b$ ( $\pm 0.02 \text{ \AA}$ )	$c$ ( $\pm 0.02 \text{ \AA}$ )	$\beta$	$V, \text{ \AA}^3$	$\rho_{\text{рентг.}}$
Монтгомерит (ASTM, № 13-463)	10.01	24.15	6.26	$91^\circ 30'$	1513.30	2.33
Железистый монтгомерит (обр. 1-51)	10.34	24.20	6.31	$91^\circ 30'$	1578.40	2.49—2.50

лично в ряде зерен прямолинейных сколов устанавливается еще два направления спайности. Блеск стеклянный, на плоскостях спайности перламутровый. Твердость 2.5—3. Плотность, измеренная методом гидростатического взвешивания, 2.44 (обр. 1-51) и 2.51 (обр. М-70). При нагревании становится пепельно-серым, почти не оплавляется. Оптические константы железистого монтгомерита приведены в табл. 1. Плеохроизм:  $N_g = N_m$  — бесцветный,  $N_p$  — бледно-зеленый,  $N_g = v$ . Обладая сильной дисперсией оптических осей, минерал в скрещенных николях имеет аномальные чернильно-синие цвета интерференции.

Электроное и рентгеновское исследование. Кристаллы железистого монтгомерита (обр. 1-51) имеют форму тонких,



иногда слегка вытянутых, просвечивающих пластинок. Большинство кристаллов дает одинаковую точечную электронограмму, что также подтверждает совершенную спайность по наиболее развитому пинаконду

Рис. 3. ДТА железистого монтгомерита.

(010). Лишь часть кристаллов железистого монтгомерита ориентируется под углом к подложке. При этом на микродифракционной картине наблюдаются Лауэ-зоны. Расчет точечной электронограммы дает следующее значение параметров элементарной ячейки:  $a = 10.20 \pm 0.10 \text{ \AA}$ ,  $c = 6.33 \pm 0.10 \text{ \AA}$ ,  $\beta = 91^\circ$ . Порошковый рентгеновский анализ обр. 1-51 проведен фотометодом в камерах РКД-57 и РКУ-114 и дифрактометрически (Дрон-1.5). Рентгенограмма железистого монтгомерита оказалась идентичной таковой монтгомерита (табл. 2, 3). Значение рентгеновской плотности железистого монтгомерита весьма близко измеренному. Значение параметров элементарной ячейки железистого монтгомерита выше, чем у монтгомерита, что, видимо, связано с изоморфным замещением алюминия железом в структуре изученного минерала.

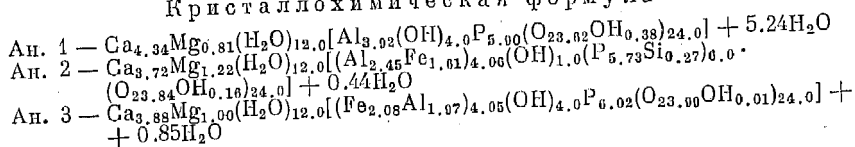
Термическое исследование. Дифференциальный термический и термовесовой анализы железистого монтгомерита (обр. 1-51) проведены на приборе ТП-1 ( $P = 50 \text{ мг}$ ). На ДТА железистого монтгомерита выявляются сложный эндотермический эффект при  $120$  и  $270^\circ$ , слабые эндотермические реакции в интервале  $450$ — $600^\circ$  и два отчетливых экзотермических эффекта с максимумами при  $710$  и  $970^\circ$  (рис. 3). Термовесовой анализ минерала показывает, что первая эндотермическая реакция происходит с потерей воды 15 мас. % и с разрушением его кристаллической решетки. Небольшие эндотермические эффекты при  $450$ — $600^\circ$  сопровождаются также дополнительным выделением воды (6.2%). При экзотер-

Химический состав (мас.%) железистого монтгомерита и монтгомерита

Компоненты	Монтгомерит (Peneaud, Semet, 1977), ан. 1	Железистый монтгомерит	
		обр. 1-51, ан. 2	обр. М-70, ан. 3
CuO	—	—	0.35
CaO	19.75	17.35	17.30
MgO	2.69	4.10	3.20
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.02	10.40	8.00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	10.75	12.80
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	—	0.50
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	33.70	33.80	34.00
SiO <sub>2</sub>	—	1.38	0.10
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	27.85	22.20	22.10
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	—	0.53	1.50
Сумма	100.08	100.51	99.85

Примечание. Анализ обр. 1-51 выполнен Р. И. Зайцевой, обр. М-70 — Т. Л. Вышевиной (Ин-т геологических наук АН КазССР).

## Кристаллохимическая формула



мических реакциях лишь вторая идет с потерей незначительного количества веса (рис. 3). Общая потеря веса 22.3% подтверждается данными химического анализа (табл. 4).

**Химический состав.** Полный химический анализ железистого монтгомерита проведен на двух образцах из участков Талдык и Курумсак (навески соответственно 0.630 и 0.580 г). Спектральным анализом в минерале установлены следующие элементы-примеси (мас. %): цинк 0.1—0.3, мышьяк 0.3—0.5, никель 0.01, хром до 1.0%. Исследование железистого монтгомерита методом ИК спектроскопии показало отсутствие в его составе групп  $\text{CO}_3^{2-}$  и  $\text{SO}_4^{2-}$ . В табл. 4 видно, что для всех образцов монтгомерита устанавливается избыток воды, особенно он велик для образца из Восточных Пиреней (Peneaud, Semet, 1977). Излишек воды в образцах железистого монтгомерита представляет собой низкотемпературную адсорбционную воду (рис. 3, табл. 4). Характерным является также непостоянство содержания кальция и магния в составе монтгомерита. Так, в монтгомерите из Восточных Пиреней количество кальция значительно выше, чем в монтгомерите из Ферфилд, Юта (Дэна и др., 1953), а магния ниже. Для железистого монтгомерита Каратау наблюдается обратная картина. Особенность состава изученного минерала, по-видимому, можно объяснить пониженным содержанием кальция в черносланцевой толще. Дефицит кальция, очевидно, компенсируется магнием, поскольку, по данным Р. Б. Мюра и Т. Араки (Moore, Araki, 1974), в кристаллической решетке монтгомерита ионы магния неупорядочены.

Образцы железистого монтгомерита переданы в геологический музей Института геологических наук АН КазССР, учебно-минералогический музей Казахского политехнического института, минералогический музей Ленинградского горного института.

## Литература

А н к и н о в и ч С. Г., А н к и н о в и ч Е. А. (1955). Горизонт ванадиеносных сланцев СЗ Каратау и особенности его внутреннего строения. Тр. Казахского горно-металлургического института, № 10.

Д э н а Дж. Д., Д э н а Э. С., П э л а ч Ч., Б е р м а н Г. (1953). Система минералогии. Т. 2, полутом 1. ИЛ.

F a n f a n i L., N u n z i A., Z o n a z z i P. F., Z a n z a r i A. R. (1976). Additional data of the crystal structure of montgomeryite. Amer. Miner., v. 61, N 1—2.

М о о г е Р. В., А р а к и Т. (1974). Montgomeryite,  $\text{Ca}_4\text{Mg}(\text{H}_2\text{O})_{12}\text{Al}_4(\text{OH})_4(\text{PO}_4)_6$  its crystal structure and relation to vanoxite.  $(\text{Fe}_2^{3+}(\text{H}_2\text{O})_4[\text{Al}_4(\text{OH})_4(\text{H}_2\text{O})_4(\text{PO}_4)_4] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  Amer. Miner., v. 59, N 7—8.

N r i a g u J. O. (1976). Phosphate-clay mineral relations in soils and sediments. Canad. J. Earth. Sci., v. 13, N 6.

P e n e a u d P., S e m e t M. (1977). Paragenese phosphatee dans les sediments du riss de la grotte de la Caune de l'Arago-Pyrences Orientales. 5th. Reun. annu. terre, Rennes, 1977 [Rennes], v. 370.

S c h m i d t F. X. (1980). Zwei weitere secundare Phosphatminerale vom Huhnerkolel, Bayerischer Wald. Aufschluss, Bd 31, H. 2.

Казахский политехнический институт  
МВССО КазССР,  
Институт геологических наук  
АН КазССР,  
Волковская экспедиция  
МГ СССР.

---