

Е. А. АНКИНОВИЧ

НОВЫЙ ВАНАДИЕВЫЙ МИНЕРАЛ — ВАНАЛИТ

При рассмотрении справочной минералогической литературы по классу ванадатов и оксисолей ванадия бросается в глаза скудность перечня минералов, содержащих в своем составе такие элементы, как алюминий и железо. До 1950 г. он ограничивался лишь двумя минеральными видами: ферванитом ($\text{Fe}_4\text{V}_4\text{O}_{16} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) и штейгеритом [$\text{Al}_2(\text{VO}_4)_2 \cdot 6.5\text{H}_2\text{O}$].

Однако значительные работы по исследованию вещественного состава урано-ванадиевых месторождений, проводимые в настоящее время главным образом в США и Канаде, дают нам право ожидать в дальнейшем достаточно широкий ряд таких минералов, где железо и алюминий входят или в качестве катионной группы, или как элементы, изоморфно замещающие трех- и четырехвалентный ванадий.

С 1951 г. количество минералов рассматриваемого состава пополнилось монтрозитом — $[(\text{Fe}^{+2}, \text{V}^{+4}) \text{V}^{+3}] \text{O}(\text{OH})$ (Weeks и др. 1953), поланитом — $\text{Fe}_{2.8}^{+2} \text{V}_{1.5}^{+3} \text{V}_{5.5}^{+4} \text{O}_{16}$ (Robinson и др. 1957), шодеритом — $2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{V}_2\text{O}_5 \times \text{P}_2\text{O}_5 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$ и меташодеритом — $2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{V}_2\text{O}_5 \cdot \text{P}_2\text{O}_5 \times 12\text{H}_2\text{O}$ (Hausen, 1960), которые впервые были установлены в штате Колорадо.

Минералогические исследования окисленной части ванадиеносных сланцев, широко развитых в районе северных отрогов Тянь-Шаня и сопредельных с ним территорий, также привели к установлению таких своеобразных минералов, как: русаковит — $(\text{Al}, \text{Fe})_5(\text{OH})_9[(\text{V}, \text{P})\text{O}_4]_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, гуцевичит — $\text{Al}_3(\text{OH})_3[(\text{P}, \text{V})\text{O}_4]_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, альванит — $\text{Al}_3(\text{OH})_6(\text{VO}_4) \times 2.5\text{H}_2\text{O}$, сатпаевит — $\text{Al}_{12}\text{V}_2^{+4}\text{V}_6^{+5}\text{O}_{34} \cdot 3\text{OH}_2\text{O}$ (Анкинович, 1959а, 1959б, 1960).

Перечень рассмотренных минералов, по-видимому, далеко не исчерпывает всего многообразия сочетаний данных элементов, и, несомненно, как в месторождениях штата Колорадо, так и в коре выветривания ванадиеносных сланцев Казахстана могут быть встречены еще новые минеральные виды. Это, в частности, находит свое подтверждение в установлении нового ванадиевого минерала в северо-западном Каратау (Южный Казахстан), названного автором настоящей статьи по составу — ванаалитом (ванадий—алюминий).

Ниже даем краткое описание его. Минерал встречен в ряде участков северо-западного Каратау в верхних частях зоны выветривания, почти непосредственно под почвенным слоем, в сланцах с полностью окисленным органическим веществом.

Минерал обычно образует тонкие налеты, небольшие мучнистые корочки по плоскостям отдельности пород, а также короткие прожилки линзовидной формы и небольшие по величине стяжения. Иногда устанавливается выполнение пустот. В последнем случае минерал создает более плотные образования, не рассыпающиеся при легком надавливании, как это наблюдается для большинства перечисленных выше агрегатов. Размеры образований, как правило, незначительны, причем минерал в них находится в тесном переплетении с галлуазитом, монотермитом и другими глинистыми минералами зоны окисления. И только на правом берегу

сая Курумсак, в одной из старых горных выработок, среди своеобразных стекловидных минералов типа аллофаноидов, содержащих в значительном количестве ванадий, нами было установлено крупное, совершенно чистое от примесей скопление минерала размером $2 \times 2 \times 1$ см (рис. 1). Здесь же по стенкам пустот наблюдаются и значительные по мощности корочки, представленные более рыхлым агрегатом.

Макроскопически зернистость минерала не устанавливается, и только под биноклем можно наблюдать слабо улавливаемое кристаллическое сложение агрегата.

Внешне минерал почти не отличим от тонкозернистых агрегатов сатпаевита и поэтому при полевых работах обычно принимался за последний.

Ваналит имеет яркий яично-желтый цвет, отличающийся от цвета сатпаевита оранжевым оттенком. Цвет черты аналогичен цвету минерала. Блеск в плотных скоплениях восковой до стеклянного, в рыхлых — ма-



Рис. 1. Ваналит (белое), выполняющий пустоты и трещины в коллоидных образованиях (черное). (Увел. 2).

товый. Твердость минерала установить не удалось в связи с мелкозернистым сложением агрегата. Удельный вес минерала, определенный гидростатическим взвешиванием в спирте, 2.3—2.4.

Под микроскопом минерал представлен скоплением клиновидных зерен, размеры которых в среднем 0.025 мм с колебаниями в пределах от 0.004 до 0.04 мм. Отношение длины к ширине кристаллов 3 : 1.

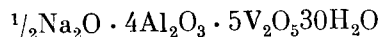
Исследованиями минерала под электронным микроскопом в лаборатории электронной микроскопии Института геологических наук АН КазССР (Е. И. Соболева, З. Г. Зламанова) установлены аналогичные формы кристаллов (рис. 2).

В связи с малыми размерами зерен знак и осьность минерала не определены. Показатели преломления минерала: по N_g 1.735 ± 0.006 , по N_p 1.710 ± 0.006 . Удлинение минерала отрицательное, погасание прямое по отношению к удлинению зерна. Минерал слегка плеохроирует в светложелтых тонах по схеме $N_g > N_e$.

Ваналит легко растворяется в разведенных кислотах на холоду. В запаянной трубке выделяет воду, имеющую кислую реакцию, и при этом становится буро-коричневым. При температуре 850° расплавляется, становится летучим, выделяя бурые пары.

Химический анализ минерала по двум навескам с последующими контрольными проверками проведен в химической лаборатории Института геологических наук АН КазССР аналитиком Т. Л. Вилешиной; результаты его приведены в табл. 1.

Согласно молекулярным отношениям, эмпирическая формула минерала будет



или

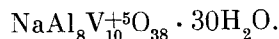


Рис. 2. Электронная микрофотография ваналита.
(Увел. 15 000).

По своему составу рассматриваемый нами минерал не может быть отнесен ни к ортованадатам, ни к метаванадатам. Сочетание элементов, входящих в его состав, по-видимому, связано с наличием в структуре сложного комплексного аниона, характер которого уяснить в настоящее время без специальных работ не представляется возможным. Как показали исследования В. Х. Беренса и М. М. Кьюреси (Вагенса а. Qurashi, 1952), Х. Г. Эванса (Evans, 1959) и др., сложность состава многих ванадиевых соединений обусловлена их кристаллохимическими особенностями. По данным указанных исследователей, кристаллохимическая структура некоторых ванадатов, особенно соединений, которые в настоящее время в справочной литературе отнесены к классу оксисолей ванадия, обязана различному сочетанию ванадий-кислородных тетраэдров, октаэдров и пр., с образованием сложных пространственных форм анионных комплексных радикалов.

Для весьма значительного количества минералов ванадия устанавливаются комплексные анионы с непрерывными сложно построенными координационными цепочками, где ванадий находится в четверной,

Таблица 1

Химический состав ваналита

Компоненты	Весовые %	Молекулярные количества	Молекулярные отношения
Na ₂ O	1.40	23	1/2
MgO	Следы	—	—
CaO	Следы	—	—
Al ₂ O ₃	21.00	206	4
Fe ₂ O ₃	0.20	1	—
SiO ₂	Следы	—	—
V ₂ O ₄	1.80	11	} 5
V ₂ O ₅	47.10	258	
H ₂ O ⁺	27.10	} 1600	30
H ₂ O ⁻	1.70		
Сумма . .	100.20		

или в пятерной координации (KVO_3 , $KVO_3 \cdot H_2O$, $Ca(VO_3)_2 \cdot 4H_2O$ и т. д.), создающими анионную группу состава $(VO_3)_n^{-n}$. Нередки и комплексные соединения, представленные

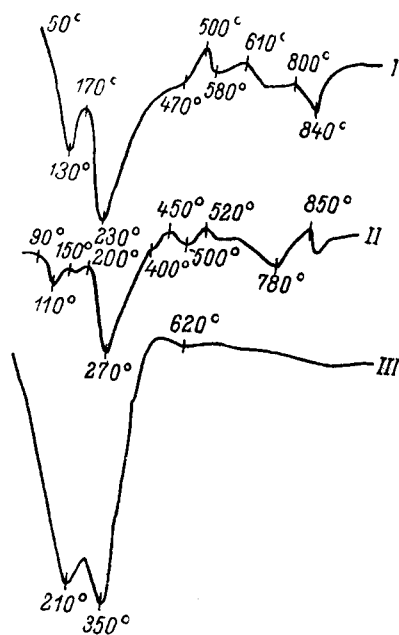


Рис. 3. Кривые нагревания ванадата (I), хромштейгерита (II), селенита (III).

двумерными слоями, образующие анионный радикал состава $(V_3O_8)_n^{-h}$ (KV_3O_8 , $CaV_6O_{16} \cdot 9H_2O$ и т. д.). Причем, как выяснено рядом лабораторных работ указанных выше авторов, характер полимеризации обязан в основном физико-химической обстановке кристаллизации, где pH раствора играет главенствующую роль. Правда, пределы границ значений pH для тех или иных комплексных анионных групп в настоящее время довольно спорны и недостаточно изучены, что можно отметить и в отношении исследований структур ванадиевых соединений, которые находятся еще в стадии изучения.

Указанное выше заставляет минералогов, занимающихся изучением минералов ванадия, с большой осторожностью относиться к написанию структурных формул. Этого же мнения придерживается и автор настоящей статьи, учитывая, что изучение структуры столь мелкозернистого агрегата представляет значительную сложность и являет собой следующий этап исследования минерала более компетентными в этом вопросе специалистами.

Термическое исследование минерала методом кривых нагревания и обезвоживания проведено в Лаборатории комплексных методов Волковской экспедиции Министерства геологии (А. Д. Дара).

Дифференциальная кривая нагревания имеет довольно сложный профиль с двумя резкими эндотипиками и тремя экзотермическими эффектами. Первый глубокий эндотипик, имеющий максимум при температуре 130° , переходит во второй с максимумом при 230° , причем, как показали исследования методом обезвоживания, и тот и другой обязаны интенсивному выделению воды из минерала (табл. 2). Значительный эндотипик в температурных интервалах $800-840^\circ$ связан с разрушением кристаллической структуры и расплавлением минерала.

Два сравнительно небольших экзотермических эффекта ($500-610^\circ$) обусловлены перестройкой структуры минерала и дополнительным выделением более прочно связанной воды.

Таблица 2

Изменение веса ванадата при нагревании

Температура (в $^\circ C$)	Потеря веса (в вес. %)	Температура (в $^\circ C$)	Потеря веса (в вес. %)
20°	—	500°	—
50	3,00	550	1,00
100	4,00	600	—
150	9,00	650	—
200	4,00	700	—
250	2,00	750	—
300	2,00	750	—
350	3,00	850	Минерал расплавился
400	—	900	
450	—		
Итого . . .			28

На рис. 3 дано сравнение дифференциальной кривой нагревания ваналита с таковыми хромштейгерита, сатпаевита, весьма сходными по внешнему виду с рассматриваемым нами новым минералом.

В табл. 2 приводятся результаты исследования минерала методом обезвоживания на торсионных весах. Отметки температур производились визуально по пирометрическому милливольтметру. Продолжительность нагрева 25—30 мин.

Таблица 3

Сравнение рентгенограмм ваналита с другими ванадиевыми минералами									
Штейгерит		Сатпаевит		Альванит		Гуцевичит		Ваналит	
<i>I</i>	$\frac{d_{\alpha}}{n}$	<i>I</i>	$\frac{d_{\alpha}}{n}$	<i>I</i>	$\frac{d_{\alpha}}{n}$	<i>I</i>	$\frac{d_{\alpha}}{n}$	<i>I</i>	$\frac{d_{\alpha}}{n}$
—	—	—	—	—	—	—	—	2	7.83
—	—	2	(6.55)	—	—	—	—	3	6.65
4	5.86	6	5.86	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	4	5.44
—	—	—	—	4	(4.975)	—	—	2	4.932
—	—	1	(4.857)	5	4.80	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	2	(4.631)	—	—
—	—	—	—	10	4.477	—	—	—	—
—	—	4	(4.425)	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	10	4.082	3	4.134
1	(3.929)	7	3.905	3	3.939	—	—	—	—
2	3.652	—	—	—	—	—	—	1	(3.772)
—	—	—	—	—	—	5	3.510	—	—
2	(3.290)	—	—	4	(3.271)	1	3.234	10	3.313
4	(3.050)	—	—	1	3.123	—	—	—	—
10	2.929	—	—	4	2.967	1	2.901	2	(2.947)
6	2.729	—	—	1	(2.729)	—	—	—	—
—	—	—	—	2	(2.673)	5	2.681	4	2.642
3	2.569	—	—	3	2.534	—	—	—	—
—	—	3	(2.506)	—	—	9	2.506	2	(2.472)
3	(2.348)	9	2.330	4	2.362	—	—	—	—
3	(2.229)	—	—	—	—	—	—	8	2.262
—	—	—	—	5	(2.203)	4	2.218	2	2.208
9	2.177	3	(2.123)	1	(2.124)	4	(2.138)	1	(2.115)
7	2.032	—	—	1	2.046	—	—	—	—
—	—	—	—	8	1.982	3	(1.953)	2	1.974
—	—	10	1.918	6	1.911	—	—	5	1.904
4	(1.888)	—	—	1	(1.855)	4	1.899	—	—
8	1.748	—	—	2	(1.783)	8	1.820	2	1.838
—	—	3	(1.721)	—	—	2	(1.773)	1	1.746
—	—	—	—	5	1.686	1	(1.727)	2	1.710
—	—	—	—	—	—	4	1.638	1	(1.672)
1	(1.616)	—	—	3	(1.614)	2	1.606	2	1.610
2	(1.578)	—	—	—	—	1	(1.571)	1	(1.565)
—	—	5	1.554	4	1.542	3	1.529	—	—
3	1.471	8	1.471	9	1.484	2	(1.475)	6	1.518
—	—	—	—	1	1.461	—	—	—	—
4	1.426	1	1.432	3	1.440	7	1.446	—	—
—	—	—	—	2	(1.404)	3	1.404	5	1.414
2	1.378	1	(1.376)	—	—	1	(1.367)	1	1.375
—	—	—	—	2	(1.340)	3	1.336	2	1.339
—	—	—	—	1	(1.303)	—	—	—	—
—	—	3	1.275	4	1.284	3	1.271	—	—
—	—	1	(1.252)	1	(1.266)	—	—	—	—
—	—	—	—	3	1.219	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	2	(1.192)	—	—
3	1.719	4	1.166	2	1.179	—	—	—	—
—	—	—	—	3	1.152	2	1.130	—	—
—	—	4	(1.102)	2	1.110	3	1.109	—	—
—	—	—	—	—	—	3	1.076	—	—
—	—	—	—	—	—	1	(1.007)	—	—
—	—	—	—	—	—	1	0.953	—	—
—	—	3	0.916	—	—	—	—	—	—
—	—	2	0.867	—	—	—	—	—	—

Таблица 4

Физические свойства ванадиевых минералов

Название	Сингония	Характер агрегата	Габитус минерала	Спайность	Цвет	Блеск	Твердость	Удельный вес	Оптические свойства		
									основность и знак	n_g	n_p
Штейгерит $Al_2(VO_4)_2 \cdot 6.5 H_2O$	Моноклинная, $a=12.92 \pm 0.03 \text{ \AA}$, $c=10.98 \pm 0.04 \text{ \AA}$, $\beta = 121^\circ 13'$.	Почковидные корочки с внутренним сферолитовым или параллельно-шестоватым сложением.	Слюдистые пластинки с ромбовидными очертаниями.	Совершенная, параллельно развиту пинокиду.	От зеленовато-желтого до оливково-зеленого.	Стеклообразный, на плоскостях спайности перламутровый.	?	2.58	-2V 30—40°	1.750 1.735	1.730 1.715
Альванит $Al_3(OH)_6(VO_4) \cdot 2.5 H_2O$	Моноклинная $\beta = 115^\circ$.	Почковидные корочки с внутренним сферолитовым строением, агрегаты типа одиночных роз.	Вытянутые пластинки шестиугольного очертания.	Совершенная по {010}.	Светло-голубовато-зеленый до голубовато-серого.	То же.	3.0—3.5	2.41	-2V 80—85°	1.714	1.658
Сатпаевит $Al_{12}V_2^{+4}V_6^{+5}O_{37} \cdot 30 H_2O$	Ромбическая?	Мучнистые налеты, заполнение пустот выщелачивания. Корки с внутренним сферолитовым строением.	Пластинки гексагональной формы.	Совершенная, параллельно развиту пинокиду.	Канареечно-желтый до шафраново-желтого.	То же.	1.5—2.0	2.40	-2V 70°	1.690	1.676

