

Е. А. АНКИНОВИЧ

## НОВЫЙ ВАНАДИЕВЫЙ МИНЕРАЛ — РУСАКОВИТ

Описываемый ванадиевый минерал был обнаружен в северо-западном Каратау при полевых работах в 1955 г. в своеобразном углисто-глинистом горизонте, залегающем в песчано-сланцевых отложениях среднего кембрия.

Геологическая позиция указанного горизонта неоднократно освещалась в литературе (С. Г. Анкинович, 1955; С. Г. Анкинович и Е. А. Анкинович, 1955), поэтому, не останавливаясь детально на вопросах состава, строения и внутренней структуры его, укажем только, что он представлен, в основном, закономерно чередующимися прослоями черных углисто-глинистых сланцев и лидитов, включающих в отдельных участках разреза редкие пропластки и линзы доломитового известняка.

Сланцы горизонта, не подвергшиеся процессам окисления, несут дисперсно рассеянный апатит, стяжения коллофана, ванадийсодержащие слюдки, сульфиды железа и редко сульфиды и сульфосоли меди, цинка, свинца и ванадия.

В поверхностных условиях при воздействии агентов выветривания все породы горизонта, за исключением прослоев лидитов, подвергаются интенсивному изменению с образованием широкой гаммы минералов, где ряд коллоидных и метаколлоидных образований (аллофаноиды, алюмофосфаты, ферриалюмофосфаты, ферриалюмованадаты и т. д.) играет доминирующую роль. К минералам зоны окисления относится и обнаруженный новый ванадиевый минерал, названный русаковитом по фамилии старейшего геолога Казахстана академика АН КазССР Михаила Петровича Русакова.

Обычно этот минерал развивается почти непосредственно под действием на головах прослоев, приурочиваясь к неполностью окисленным разностям углисто-глинистых сланцев. Иногда он устанавливается в контакте указанных сланцев с прослоями доломитового известняка, и в этих случаях глубина фиксации минерала резко увеличивается.

Минерал наблюдается в пустотах различного размера — от еле различимых невооруженным глазом до 2—3 см в поперечнике. Нередко он образует корочки по плоскостям сланцеватости и в трещинах, а также цементирует брекчированные участки пород. Прожилки редки и в большинстве случаев имеют непостоянную мощность. В рыхлых, дезинтегрированных породах горизонта встречаются также и стяжения размером до 1—2 см. В последних, чаще чем в перечисленных агрегатных формах, можно заметить трещины дегидратации, расположенные по радиусу или параллельно поверхности стяжений. Местами стяжения имеют почковидно-бугорчатую поверхность (рис. 1).

Минерал тесно ассоциирует с коллоидным ферриалюмофосфатом состава  $6(\text{Fe}, \text{Al})_2\text{O}_3 \cdot \text{P}_2\text{O}_5 \text{ aq}$ . Последний по времени образования является более ранним: покрывает полости выщелачивания и плоскости

отдельности пород тонкими пленками и разъедается нарастающим на нем русаковитом. В свою очередь описываемый минерал по трещинам дегидратации и на поверхностях открытых полостей замещается ферриаллофаном и гидроокислами железа, придающими русаковиту красноватую окраску.

Внешне минерал имеет неразлично зернистое строение, сходное со сложением агрегата ярозита в плотных разностях, отличаясь от последнего лишь оранжеватым или рыжеватым оттенком. Под биноклем обнаруживается весьма своеобразное губчатое строение агрегата, где отдельные тонкие пластинчатые образования минерала создают как бы



Рис. 1. Характер почковидно-бугорчатой поверхности русаковита. (Увел. 18).

перегородочки. Количественное соотношение пустот и перегородочек в агрегате минерала довольно изменчиво, как и величина пустот, однако чаще всего эти отношения имеют пределы от 2 : 1 до 3 : 1. Реже наблюдаются образования минерала плотного сложения.

Цвет минерала от желто-оранжевого, рыжевато-желтого до охряного; черта охряно-желтая. Твердость минерала 1.5—2, удельный вес, определенный гидростатическим взвешиванием в спирте, 2.73—2.80. Блеск матовый.

Минерал легко растворяется в разбавленных кислотах на холоду. При действии паров концентрированной соляной кислоты покрывается темно-вишневой корочкой, в кислоте же дает вишнево-красный ореол раствора пятивалентного ванадия. При прокаливании в закрытой трубке выделяет значительное количество воды, имеющей кислую реакцию. Сам минерал приобретает кирпично-красный цвет.

Под микроскопом в проходящем свете имеет золотисто-желтый цвет и представлен агрегатом мельчайших округлых, слабо поляризующих зерен, размером до нескольких микронов. Показатель преломления минерала, определенный сотрудником ИГЕМ АН СССР Г. А. Пашковой,  $1.833 \pm 0.004$ .

Минерал легко суспензируется в воде. Просмотр минерала под электронным микроскопом в лаборатории Института геологических наук

(ИГН) АН КазССР (Е. И. Соболева) показал, что формы его кристаллов однообразны и представлены удлиненными, грубыми, щеповидными пластиночками, с рваными неровными краями поперек удлинения (рис. 2).

Химический анализ русаковита проведен в химической лаборатории ИГН АН КазССР (аналитик С. И. Поток) на материале, тщательно отобранном под бинокулярной лупой.

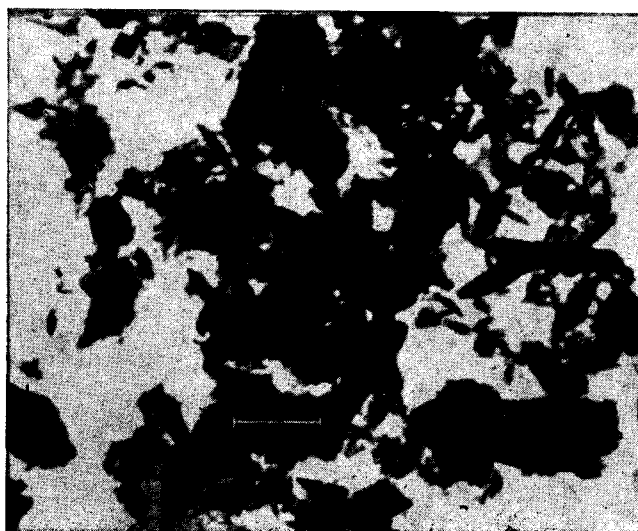


Рис. 2. Электронная микрофотография русаковита. Масштабная линейка 1 микрон.

Повторные контрольные анализы выполнены там же на аналогичном материале и материале, подвергшемся после отбора последующей обработке на центрифуге в тяжелых жидкостях (фракция с уд. весом 2.80; аналитик Т. Л. Вилешина). Данные анализов приводятся в табл. 1.

Таблица 1

Русаковит Баласаускандыкского участка СЗ Каратау

| Компоненты                               | Весовые % |          |          | Молекулярные количества |          | Молекулярные отношения |
|--|-----------|----------|----------|-------------------------|----------|------------------------|
|  | анализ 1  | анализ 2 | анализ 3 | анализ 1                | анализ 3 |                        |
| MgO . . . . .                            | 1.40      | 1.30     | Сл.      | 34                      | —        |                        |
| CaO . . . . .                            | 0.30      | 0.20     | 0.40     | 5                       | 7        |                        |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . . | 5.00      | 4.80     | 5.50     | 49                      | 73       | 5                      |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . . | 45.00     | 45.30    | 43.70    | 281                     | 273      |                        |
| SiO <sub>2</sub> . . . . .               | 1.80      | 1.60     | 2.50     | 29                      | 40       |                        |
| V <sub>2</sub> O <sub>4</sub> . . . . .  | 5.00      | 4.80     | 5.10     | 30                      | 31       |                        |
| V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .  | 16.60     | 16.40    | 16.13    | 91                      | 88       | 2                      |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .  | 6.50      | 6.40     | 5.80     | 46                      | 41       |                        |
| SO <sub>2</sub> . . . . .                | 1.00      | Не опр.  | 1.70     | 12                      | 21       |                        |
| H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> . . . . .  | 13.30     | 14.50    | 14.60    | 1016                    | 966      |                        |
| H <sub>2</sub> O <sup>-</sup> . . . . .  | 5.00      | 4.30     | 4.80     |                         |          |                        |
| Сумма . . . . .                          | 100.90    | 99.60    | 100.23   |                         |          |                        |

Как видно по результатам химических анализов, минерал представляет собой водный ферриванадат, где алюминий в какой-то части замещает железо, а группа  $[\text{PO}_4]^{3-}$  группу  $[\text{VO}_4]^{3-}$ .

При исследовании ряда минералов, встречающихся в своеобразном горизонте сланцев, содержащих ванадий и фосфор, устанавливается, что группа  $[\text{PO}_4]^{3-}$  может в определенных количественных соотношениях замещать группу  $[\text{VO}_4]^{3-}$ . Это особенно отчетливо наблюдается при изучении штейгерита, встреченного автором настоящей статьи на участке Курумсак (1956). Однако до настоящего времени на замещение  $[\text{PO}_4]^{3-}$  на  $[\text{VO}_4]^{3-}$  в литературе не обращалось должного внимания. Возможно, в связи с тем, что месторождений, в которых присутствовали бы ванадий и фосфор в значительных и почти равных соотношениях, по-видимому, мало, изучались они с недостаточной полнотой.

Основываясь на вышеприведенных анализах, формулу минерала в развернутом виде можно представить так:  $(\text{Fe}, \text{Al})_5[\text{(V,P)O}_4]_2(\text{OH})_9 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  или  $\text{Fe}_5[\text{VO}_4]_2(\text{OH})_9 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ , где железо в некоторой части замещается алюминием и группа  $[\text{VO}_4]^{3-}$  замещается  $(\text{PO}_4)^{3-}$  в отношениях, не превышающих  $\text{Fe} : \text{Al}$  как 4 : 1 и  $(\text{VO}_4)^{3-} : (\text{PO}_4)^{3-}$  как 2 : 1.

В отношении характера воды в минерале к настоящему времени мы располагаем только предварительными данными. На дифференциальной кривой нагревания русаковита (рис. 3), полученной К. А. Косенко (ИГН АН КазССР), фиксируются два эндотермических эффекта: первый — глубокий, при температуре 50—190°, и второй — более слабый, в интервале 280—366°. Первый эндотермический эффект связан, по-видимому, с выделением воды коллоида и части связанной воды минерала, тогда как второй — только с выделением последней.

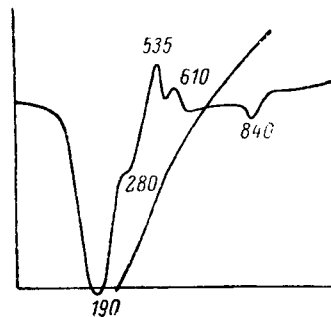


Рис. 3. Кривая нагревания русаковита.

Таблица 2

Результаты рентгенометрического исследования русаковита

(Условия съемки: Си-излучение,  $D = 57.52$  мм,  $d = 0.7$  мм, 30 kV, 10 mA, 4 часа, интенсивность по 10-балльной шкале с промером на компараторе и точностью при замерах для первых чисел таблицы  $\pm 0.03$  до  $\pm 0.004$  для последних)

| № п/п | Русаковит              |    |                       |   | Русаковит, прокаленный при 600° |    |                       |   |
|-------|------------------------|----|-----------------------|---|---------------------------------|----|-----------------------|---|
|       | $\frac{d_{\alpha}}{n}$ | I  | $\frac{d_{\beta}}{n}$ | I | $\frac{d_{\alpha}}{n}$          | I  | $\frac{d_{\beta}}{n}$ | I |
| 1     | 5.17                   | 4  | 4.63                  | 9 | —                               | —  | —                     | — |
| 2     | 4.20                   | 5  | —                     | — | —                               | —  | 3.565                 | 2 |
| 3     | 3.21                   | 10 | —                     | — | 3.258                           | 4  | 2.901                 | 1 |
| 4     | 2.945                  | 9  | —                     | — | —                               | —  | 1.837                 | 6 |
| 5     | —                      | —  | 1.786                 | 1 | 2.689                           | 7  | —                     | — |
| 6     | 2.441                  | 8  | 1.477                 | 2 | 2.384                           | 5  | 1.415                 | 1 |
| 7     | 2.140                  | 7  | —                     | — | 2.203                           | 3  | —                     | — |
| 8     | 1.887                  | 2  | —                     | — | —                               | —  | —                     | — |
| 9     | —                      | —  | —                     | — | 1.691                           | 10 | —                     | — |
| 10    | 1.569                  | 6  | —                     | — | —                               | —  | —                     | — |
| 11    | 1.527                  | 1  | —                     | — | 1.482                           | 8  | —                     | — |
| 12    | —                      | —  | —                     | — | 1.450                           | 9  | —                     | — |
| 13    | 1.366                  | 3  | —                     | — | 1.307                           | 3  | —                     | — |

Два небольших экзотермических эффекта при температурах 450°—535 и 575—610° обязаны, по-видимому, перестройке кристаллической решетки, поскольку порошковая диаграмма русаковита, прокаленного до температуры 600°, уже значительно отличается от собственно порошковой диаграммы минерала как по интенсивности линий, так и по наличию новых линий, ранее не устанавливаемых.

В табл. 2 приводятся данные порошковых диаграмм, полученные при исследовании русаковита в рентгеноструктурной лаборатории ИГН АН КазССР (Г. И. Лукьянцев, Е. М. Байгулов).

По литературным данным к настоящему времени установлено несколько ванадатов и оксисолей ванадия, содержащих в своем составе железо:

1) ферванит, отвечающий формуле  $Fe_4V_4O_{16} \cdot 5H_2O$ , изученный Гиллебрантом и Гендерсоном;

2) монтрозеит состава  $[(Fe^{+2}, V^{+4}), V^{+3}]O(OH)$ , исследованием которого в последнее время занимались А. Вискс и А. Шервуд (Weeks, Cisney a. Sherwood, 1953), Г. Еванс и С. Блок (Evans a. Block, 1953);

3) ноланит  $Fe_{2,8}^{+2}V_{1,5}^{+3}V_{5,5}^{+4}O_{16}$ , которому посвящен ряд статей А. Шервуда и А. Вискс (Weeks, Cisney a. Sherwood, 1954), С. Робинсона и Г. Еванса (Robinson, Evans, Schaller a. Fanly, 1957) и др.

Сравнение русаковита с перечисленными выше минералами указывает на резкие отличия его как по физическим, так и по химическим свойствам, что наглядно демонстрируется таблицами химического состава (табл. 3) и физических свойств (табл. 4).

Таблица 3

Сравнение химических данных русаковита с данными ферванита, монтрозеита и ноланита

| Компоненты                               | Русаковит (м-ние Баласаускандык, с.-в. Каратау) | Ферванит (р-н Гипсум-Велли, Колорадо) | Монтрозеит                  |                          | Ноланит (р-н Фипп Гук-Бай, Канада) |
|--|---|---------------------------------------|-----------------------------|--------------------------|------------------------------------|
|  |   |                                       | (р-н Биттер Крик, Колорадо) | (р-н Матчлесс, Колорадо) |                                    |
| MgO . . . . .                            | 1.40  | —                                     | —                           | —                        | —                                  |
| CaO . . . . .                            | 0.30  | —                                     | —                           | —                        | —                                  |
| FeO . . . . .                            | —   | —                                     | 8.80                        | 8.26                     | 24.0                               |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . . | 45.00   | 41.89                                 | —                           | —                        | —                                  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . . | 5.00  | —                                     | —                           | 3.00                     | —                                  |
| V <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .  | —   | —                                     | 10.50                       | 11.10                    | 16.58                              |
| V <sub>2</sub> O <sub>4</sub> . . . . .  | 5.00  | —                                     | 72.50                       | 66.90                    | 59.84                              |
| V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .  | 16.60   | 46.10                                 | —                           | —                        | —                                  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .  | 6.50  | —                                     | —                           | —                        | —                                  |
| SiO <sub>2</sub> . . . . .               | 1.80  | —                                     | —                           | 6.12                     | —                                  |
| SO <sub>3</sub> . . . . .                | 1.00  | —                                     | —                           | —                        | —                                  |
| H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> . . . . .  | 13.30   | } 12.01                               | 5.00                        | 4.82                     | —                                  |
| H <sub>2</sub> O <sup>-</sup> . . . . .  | 5.00  |                                       |                             |                          |                                    |
| Сумма . . . . .                          | 100.90  | 100.00                                | 96.80                       | 100.20                   | 100.82                             |

При рассмотрении физических свойств приведенных выше минералов бросается в глаза то обстоятельство, что с увеличением в составе четырех- и пентавалентного ванадия кристаллическая решетка соединений становится более сложной и рыхлой, на что указывает падение симметрии, а также уменьшение твердости и удельного веса.

Сравнение порошковых диаграмм монтрозеита, ноланита и ферванита с порошковой диаграммой русаковита подтверждает также своеобразие кристаллической структуры исследуемого нами минерала (табл. 5).

Таблица 4

## Сравнение физических свойств ноланита, монгрозита, фервангита и русаковита

| Название минерала и формула                              | Сингония        | Габитус и агрегаты  | Слайность  | Цвет                                      | Цвет черты        | Блеск              | Твердость | Удельный вес |
|--|-----------------|---|--|---|-------------------|--------------------|-----------|--------------|
| Ноланит<br>$Fe_{2.8}^{+2}V_{1.5}^{+3}V_{5.5}^{+4}O_{16}$ | Гексагональная. | Пластинчатые зерна, создающие слутанношлястичатые агрегаты.             | ?  | Черный до серого с синей побелюстью.      | ?                 | Полуметаллический. | 5         | 4.65         |
| Монгрозит<br>$(Fe^{+2}, V^{+4})V_3O(OH)$                 | Ромбическая.    | Вытянутые клиновобразные зерна, слагающие слутанношлястичатые агрегаты. | Средняя по 010 и 110.  | Черный.                                   | Черная.           | Полуметаллический. | ?         | 4.0 — 4.15   |
| Фервангит <sup>1</sup><br>$Fe_4V_4O_{16} \cdot 5H_2O$    | Моноклинная?    | Волокнистые зерна, образующие параллельноволокнистые агрегаты.          | Совершенная вдоль удлинения и средняя перпендикулярно удлинению. | Золотисто-коричневый до темнокоричневого. | Коричневатобурая. | Шелковистый.       | 2.5—3     | 2.64—2.70    |
| Русаковит<br>$Fe_5(V,P)O_4(OH)_9 \cdot 3H_2O$            | ?               | Метаколлоидные агрегаты губчатого сложения.                             | ?  | Рыжеватожелтый до охряножелтого.          | Охряножелтая.     | Маговый.           | 1.5—2     | 2.73—2.80    |

<sup>1</sup> По фервангиту приводятся данные, полученные при изучении последнего с участка Баласаускандык.

Таблица 5

## Сравнение рентгенометрических данных русаковита, ферванита, монрозейта и поланита

(Условия съемки: русаковит — Сг-излучение,  $D=57.52$  мм,  $d=0.7$  мм, 20 kV, 8 мА; ферванит — Сг-излучение,  $D=57.52$  мм,  $d=0.7$  мм, 25 kV, 6 мА; поланит — Си-излучение,  $D=114.7$  мм)

| № п/п | Русаковит (м-ние Баласаускандык, с.-з. Каратау) |          | Ферванит (м-ние Курумсак, с.-з. Каратау) |          | Монрозейт (Колорадо) |             | Поланит (р-н Фиш Гук-Бай, Канада) |     |
|-------|---|----------|--|----------|----------------------|-------------|-----------------------------------|-----|
|       | $d$   | $I_{10}$ | $d$                                      | $I_{10}$ | $d$                  | $I_5$       | $d$                               | $I$ |
| 1     | —   | —        | 10.20                                    | 10       | —                    | —           | —                                 | —   |
| 2     | 5.17  | 4        | —  | —        | —                    | —           | —                                 | —   |
| 3     | (4.63)  | 9        | —  | —        | 4.75                 | Сл.         | 4.63                              | 3   |
| 4     | 4.20  | 5        | —  | —        | 4.31                 | Сильн.      | —                                 | —   |
| 5     | —   | —        | 3.45                                     | 9        | 3.38                 | Ср.         | 3.43                              | 6   |
| 6     | 3.21  | 10       | (3.17)                                   | 3        | —                    | —           | —                                 | —   |
| 7     | —   | —        | 3.05                                     | 1        | —                    | —           | —                                 | —   |
| 8     | 2.945   | 9        | 2.900                                    | 3        | —                    | —           | 2.92                              | 1   |
| 9     | —   | —        | 2.753                                    | 5        | —                    | —           | —                                 | —   |
| 10    | —   | —        | 2.604                                    | 7        | 2.644                | Сильн.      | 2.64                              | 5   |
| 11    | —   | —        | —  | —        | —                    | —           | 2.54                              | 1/2 |
| 12    | —   | —        | 2.489                                    | 1        | 2.495                | Ср.         | 2.47                              | 10  |
| 13    | 2.441   | 8        | —  | —        | 2.423                | Оч. оч. сл. | 2.44                              | 6   |
| 14    | —   | —        | 2.385                                    | 1        | 2.217                | Ср.         | 2.23                              | 3   |
| 15    | 2.140   | 7        | (2.091)                                  | 5        | 2.151                | Сл.         | —                                 | —   |
| 16    | —   | —        | (1.966)                                  | 6        | 1.965                | Оч. оч. сл. | 1.962                             | 4   |
| 17    | —   | —        | 1.942                                    | 1        | 1.918                | Оч. оч. сл. | —                                 | —   |
| 18    | 1.881   | 2        | 1.820                                    | 7        | 1.841                | Сл.         | —                                 | —   |
| 19    | (1.786)   | 1        | 1.795                                    | 7        | 1.731                | Оч. оч. сл. | 1.777                             | 1/2 |
| 20    | —   | —        | —  | —        | —                    | —           | 1.718                             | 2   |
| 21    | —   | —        | —  | —        | 1.689                | Оч. оч. сл. | —                                 | —   |
| 22    | —   | —        | —  | —        | —                    | —           | 1.634                             | 4   |
| 23    | 1.569   | 6        | —  | —        | 1.603                | Оч. оч. сл. | 1.594                             | 1   |
| 24    | 1.527   | 1        | 1.527                                    | 2        | —                    | —           | 1.541                             | 1/2 |
| 25    | —   | —        | 1.510                                    | 1        | 1.512                | Ср.         | 1.503                             | 6   |
| 26    | —   | —        | 1.490                                    | 1        | 1.490                | Оч. оч. сл. | —                                 | —   |
| 27    | (1.477)   | 2        | —  | —        | 1.467                | Оч. оч. сл. | (1.470)                           | 3   |
| 28    | —   | —        | 1.451                                    | 1        | —                    | —           | —                                 | —   |
| 29    | —   | —        | 1.418                                    | 1        | —                    | —           | —                                 | —   |
| 30    | 1.366   | 3        | 1.371                                    | 1        | 1.391                | Оч. оч. сл. | —                                 | —   |
| 31    | —   | —        | 1.335                                    | 1        | —                    | —           | —                                 | —   |
| 32    | —   | —        | —  | —        | 1.302                | Сл.         | —                                 | —   |
| 33    | —   | —        | —  | —        | 1.282                | Сл.         | 1.287                             | 2   |
| 34    | —   | —        | —  | —        | —                    | —           | 1.261                             | 1   |

Все приведенные выше данные позволяют с определенностью утверждать, что русаковит является новым минералом.

Образцы русаковита находятся в минералогических музеях: Академии наук СССР, Академии наук КазССР, Ленинградского горного института, Казахского горнометаллургического института.

## Литература

- Анкинович С. Г. (1955). Горизонт ванадиеносных сланцев северо-западного Каратау и особенности его внутреннего строения. Тр. Казахск. горно-металл. инст., т. 10, стр. 84—104.
- Анкинович Е. А. (1956). Штейгерит в битуминозных сланцах Каратау. Тр. Казахск. горно-металл. инст., т. 13, стр. 77—79.
- Анкинович С. Г. и Е. А. Анкинович. (1955). Некоторые особенности накопления ванадиеносных сланцев Южного Казахстана. Тр. Казахск. горно-металл. инст., т. 10, стр. 70—83.

Дэна Дж. Д., Э. С. Дэна, Е. Пэлач, Г. Берман, И. Фрондель. (1954). Система минералогии, т. II, полутом 2. Фосфаты, арсенаты, ванадаты. Оксисоли ванадия. Изд. иностр. лит.

Варнес W. H. and M. M. Qurashi. (1952). Unit cell and space group data for certain vanadium minerals. Amer. Miner., v. 37., № 5—6, стр. 420—421.

Evans H. T. and Block. (1953). The crystal structure of montroseite, a vanadium member of the diaspore group. Amer. Miner., v. 38, № 11—12, стр. 1242—1250.

Robinson S. C., H. T. Evans, W. T. Schaller and I. I. Fanly. (1957). Nolanite, a new iron-vanadium mineral from Beaverlodge, Saskatchewan. Amer. Miner., v. 42, № 9—10, стр. 619—628.

Weeks A. D., E. A. Cisney and A. M. Sherwood. (1951). Hummerite and montroseite, two vanadium minerals from Montrose country, Colorado, Amer. Miner., v. 37, № 3—4, стр. 326—327.

Weeks A. D., E. A. Cisney and A. M. Sherwood. (1953). Montroseite, a new vanadium oxide from Colorado plateaus. Amer. Miner., v. 38, № 11—12, стр. 1235—1242.

Институт геологических наук  
АН КазССР.