

Д. чл. А. А. КУХАРЕНКО, В. В. КОНДРАТЬЕВА и В. М. КОВЯЗИНА

КАФЕТИТ — НОВЫЙ ВОДНЫЙ ТИТАНАТ КАЛЬЦИЯ И ЖЕЛЕЗА

Описываемый под этим названием минерал был обнаружен одним из авторов статьи в рудных пегматитах пироксенитового массива Африканда в 1938 г. Тогда же были установлены качественный химический состав минерала и некоторые его свойства, но лишь более полные сборы последних лет позволили произвести рентгенометрическое исследование (В. В. Кондратьева) и химический анализ (В. М. Ковязина) минерала, показавшие принадлежность его к водным титанатам кальция и железа. По главным химическим компонентам (Ca, Fe, Ti) минерал и получил свое название «кафетит».

В настоящей статье кратко описываются условия нахождения кафетита, его парагенетическая ассоциация, химический состав, кристаллографические особенности, главные диагностические признаки и условия образования.

Геологическое строение массива Африканда неоднократно освещалось в литературе (Куплетский, 1938; Елисеев, 1958; Кухаренко, 1958). Массив имеет концентрическизональное строение и сложен преобладающими пироксенитами, среди которых залегают отдельные тела оливинитов, жилы щелочных пегматитов и разнообразные по составу вторичные породы, возникшие в процессе аутометасоматического изменения пироксенитов. В истории формирования массива выделяются три этапа. К первому этапу относится внедрение ультраосновной магмы, образовавшей небольшую трещинную интрузию рудных (с перовскитом и титаномagnetитом) оливинитов. Во второй этап происходила кристаллизация пироксенитов и формирование главного тела массива.

Особенности кристаллизации привели к обособлению в периферической зоне массива щелочных пироксенитов и мельтейгитов, по направлению к центру массива сменяемых вначале мелко- и среднезернистыми пироксенитами, а затем крупнозернистыми пироксенитами, обогащенными перовскитом и титаномagnetитом. Кристаллизация рудных пироксенитов завершилась формированием шпиров и жилоподобных тел фузивных перовскито-титаномagnetитовых пород, содержащих ту или иную примесь силикатов.

К третьему этапу относится внедрение многочисленных жил щелочных пород, вызвавших далеко идущие процессы метасоматического преобразования во вмещающих такие жилы пироксенитах. Общая последовательность формирования пород этой группы такова:

- 1) метасоматические пироксено-флогопитовые и кальцито-амфиболо-диопсидовые породы;
- 2) нефелино-перовскито-титаномagnetитовые жилы (рудные пегматиты) и сопровождающие их метасоматические пироксено-флогопитовые породы;
- 3) порломито-пироксено-нефелиновые пегматиты;

- 4) широксено-пегматитовые пегматиты и жильные ийолиты;
- 5) разнообразные по составу гидротермальные жилы — натролитовые, кальцит-цеолит-пренитовые и др., возникшие в процессе изменения щелочных пегматитов и ийолитов.

Рудные пегматиты, в которых встречен кафетит, наиболее распространены в центральной части массива, где они образуют секущие жилы, ветвящиеся, неправильные жилоподобные тела, а также зоны тонкой инъекции в широксепитах. В краевых зонах некоторых жил нередки крупные обособленные вроски сплошного (сливного) титаномагнетита, заключающего ориентированные вроски флогопита и местами переходящего в флогопито-титаномагнетитовые породы с оригинальной графической текстурой. В качестве примесей в этих породах присутствуют перовскит, ильменит, гематит и пиннел. Такие породы часто заключают многочисленные «занорыши» и миаролитовые пустоты, стенки которых покрыты прекрасно образованными кристаллами и агрегатами позднейших минералов, в том числе и кафетита.

Титаномагнетит, слагающий основную массу описываемых пород, при изучении в полированных шлифах обнаруживает зернистую структуру. Отдельные зерна его имеют неправильные, часто округлые и каплевидные формы и цементируются либо более поздними выделениями сплошного титаномагнетита же, либо флогопитом. При больших увеличениях микроскопа в титаномагнетите различимы структуры распада твердых растворов: микропертитовые вроски ильменита, иногда более крупные пластинчатые его выделения, сопровождаемые мельчайшими зернышками плеонаста, неправильные обособления гематита. Последний обычно присутствует и в качестве вторичного минерала, развиваясь вдоль трещинок и по краям зерен титаномагнетита.

Флогопит образует причудливые скелетные выделения между зернами титаномагнетита, ориентированные субпараллельные вроски в нем, реже встречается в виде более крупных обособленных табличек и их агрегатов. В таких агрегатах обычно присутствует и перовскит в виде одиночных октаэдрических кристаллов и скоплений мелких изометрических зерен.

Наблюдения в полированных и прозрачных шлифах позволяют наметить следующий порядок выделения перечисленных выше минералов: титаномагнетит (корродированные кристаллы), перовскит и флогопит, титаномагнетит (цементирующая масса), ильменит, пиннел и гематит.

Минеральные ассоциации, наблюдающиеся в миаролитовых пустотах флогопито-титаномагнетитовых пород, отличаются большим разнообразием. Стенки этих пустот обычно покрыты плотным узором треугольных пластинчатых наростов магнетита, образующих друзовидные или полицентрические скульптуры, свидетельствующие о быстром росте или регенерации минерала. На эти первичные поверхности в определенной последовательности нарастают кристаллы ильменита, дизаналита, бадделлита, хлорита, сфена, апатаза, кафетита и других минералов.

Наблюдения показывают, что некоторые минералы выделялись неоднократно, образуя ряд генераций. Установлена такая общая последовательность выделения минералов: магнетит, дизаналит, ильменит, бадделлит, клинохлор, сфен I, неопределенный минерал, хлорит, сфен II, апатаз, кафетит, гидрохлорит, кальцит, гетит и каолин. Ниже приводится краткое описание некоторых минералов.

Дизаналит образует кубооктаэдрические кристаллы, нарастающие на стенки миарол или вросшие в титаномагнетит. Минерал имеет бурый или коричнево-бурый цвет и характерный смолистый блеск. Под микроскопом анизотропен, часто обнаруживает полисинтетическое микро-

двойникование по нескольким законам. $N=2.30-2.33$. Замещается неопределенным минералом, сфеном и кафетитом.

Ильменит наблюдался в виде мелких изометрических или таблитчатых ромбоэдрического облика кристаллов, нарастающих на магнетит и с поверхности часто покрытых корочками сфена, неопределенного минерала и волокнистыми агрегатами кафетита. Спектральный анализ ильменита показал высокое содержание Mg, что, наряду с отсутствием магнитных свойств и смолистым блеском минерала, позволяет отнести его к пикроильмениту.

Бадделейт встречается в удлиненных и пластинчатых, плохо образованных кристаллах с характерной штриховкой на гранях. Минерал имеет коричневую, иногда красновато-бурую окраску и сильный алмазный блеск. В толстых зернах под микроскопом плеохроирует в буровато-желтых и розовато-бурых тонах. $2V=-30-35^\circ$, $N_g=2.20-2.21$, $N_m=2.195$, $N_p=2.13-2.15$. Угасание относительно граней призмы косое, удлинение отрицательное.

Клинохлор образует мелкие таблитчатые буровато-зеленые кристаллы псевдогексагонального облика, часто собранные в щетки и розетки. Под микроскопом слабо плеохроирует в буровато-зеленых и желтоватых тонах. $2V=+0-5^\circ$, знак удлинения отрицательный. $N_m=1.594$, в краях табличек, вследствие гидратации минерала, снижается до $1.590-1.587$. Клинохлор является одним из ранних минералов и на кристаллы его обычно нарастают сфен, неопределенный минерал, хлорит, апатаз и др. Наблюдалась, однако, и поздняя генерация клинохлора — мелкие сферокристаллы и искривленные пакеты чешуек (гельминты), выросшие на кристаллах сфена, бадделейта и неопределенного минерала.

Хлорит образует мельчайшие искривленные (червеобразные) кристаллы, сферолитовые агрегаты и таблички, нарастающие на клинохлор, сфен, неопределенный минерал, ильменит и магнетит. Цвет от темно-бурого до зелено-серого и желтовато-серого; под микроскопом буровато-желтый со слабым плеохроизмом. $2V$ (отрицательный) малый. Показатели преломления варьируют: $N_m=1.610-1.632$, $N_p=1.606-1.624$, $N_g-N_p=-0.008-0.012$. Эти данные отвечают железистому аналогу клинохлора — диабантину, содержащему свыше 40% дафнитового и ферроантигоритового компонентов.

Сфен наблюдается в виде клиновидных и таблитчатых медово-желтых кристаллов и друз, нарастающих на магнетит и клинохлор и в свою очередь обрастаемых гельминтами хлорита, неопределенным минералом и кафетитом. Отмечена также поздняя генерация сфена — мельчайшие ромбовидные прозрачные и бесцветные кристаллики, выросшие на пластинках хлорита и неопределенный минерал.

Неопределенный минерал широко распространен в описываемых мариолах. Он образует псевдоморфозы по перовскиту и диэпапалиту, замещает ильменит, покрывает корочками кристаллы сфена, встречается в виде пластинчатых и листоватых кристаллов, собранных в субпараллельные агрегаты и розетки и часто ориентировано (по плоскостям октаэдра) нарастающие на кристаллы титаномагнетита. В свою очередь неопределенный минерал часто бывает покрыт пучками иголок кафетита, чешуйками хлорита и гидрогетитом. Минерал имеет бледно-желтый цвет и сильный алмазный блеск. Спайность совершенная по уплощению кристаллов. Твердость около 5; удельный вес $3.40-3.45$. Под микроскопом бледно-желтый, обнаруживает полисинтетическое двойникование. Двусный отрицательный, $2V=-35-40^\circ$; дисперсия угла оптических осей $r > v$ очень сильная. Погасание по отношению к границам двойников косое. N_p не совпадает с нормалью к плоскости спайности. $N_g \approx 2.24$, $N_m = 2.13$, $N_p \approx 1.950$, $N_g - N_p = 0.26$. Минерал не рас-

творим в кислотах. Потери при прокаливании около 8.5%. Спектральным анализом установлены Ti и Ca, в качестве примеси — Nb, Ce, Y, Fe. Рентгенограмма минерала (табл. 2) отличает его от всех других известных титансодержащих минералов. Эти данные позволяют считать минерал новым водным титанатом кальция, химический состав и кристаллографические параметры которого подлежат уточнению.

А н а т а з встречается в виде дипирамидальных и таблитчатых кристаллов, нарощих на клинохлор, сфен и магнетит и в свою очередь часто покрытых агрегатами кафетита. Наблюдались друзы кристаллов анатаза,



Рис. 1. Игольчатые кристаллы кафетита (Ca), нарастающие на неопределенном минерале (X).

а также зернистые его скопления в сфено-хлоритовых псевдоморфозах по флогопиту.

Кафетит является одним из наиболее поздних минералов описываемых минералов. Он нарастает на сфен, неопределенный минерал, хлорит и анатаз, нередко целиком выполняет мелкие пустотки в породе, выделяется по трещинкам в титаномagnetите, образует неполные псевдоморфозы по дизаналиту и ильмениту. Обычно кафетит встречается в спутановолокнистых (моховидных) охристо-желтых агрегатах, загрязненных гидроокислами железа и внешне часто похожих на хлопья окрашенной ваты. Реже он образует радиальнолучистые сростки игольчатых кристаллов (рис. 1 и 2) и исключительно редко наблюдается в виде одиночных длиннопризматических прозрачных кристаллов.

Изучение последних под микроскопом показало, что в большинстве случаев они также являются параллельными или субпараллельными сростками многих индивидов. Это обстоятельство весьма осложняет кристаллографическое изучение и рентгенометрическое исследование кафетита. Лишь сочетая визуальное изучение с наблюдениями в иммерсии, удалось выделить из массы индивидов монокристалльные образования и оптически параллельные сростки, на которых и были выполнены дальнейшие исследования.

Все просмотренные под бинокулярным микроскопом и на гониометре кристаллы кафетита в общем оказались одношпильными. Внешняя симметрия кристаллов указывает на принадлежность их к ромбической сингонии. Все они резко вытянуты по одной из двойных осей симметрии и в то же время сильно уплощены по другой оси. При гониометрическом и рентгенометрическом исследовании ось удлинения была принята за [001], ось уплощения кристаллов — за [100]. Вследствие исключительного раз-

вития зоны $hk0$ кристаллы приобретают шестоватый до игольчатого облик, а грани призматической зоны несут комбинационную штриховку вдоль оси c . Размеры кристаллов варьируют в пределах 1—15 мм по оси c и 0.01—0.3 мм по оси a .

Кристаллы кафетита, как правило, не имеют конечных ограничений и лишь на двух из нескольких десятков просмотренных кристаллов удалось обнаружить грани типа $Ok1$ и только на одном из них — грань типа $h0l$.

Три кристалла были измерены на двукружном гониометре В. Гольдшмидта. Юстировка производилась по зоне $[001]$. Сигналы удовлетворительного качества получались лишь от наиболее крупных граней (100) , сигналы от граней призм, вследствие развития комбинационной штри-

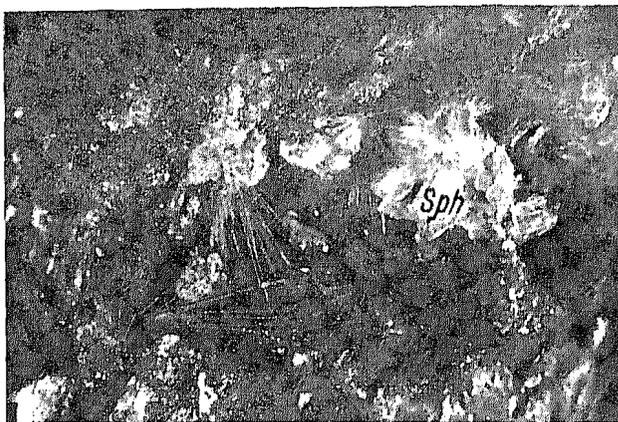


Рис. 2. Игольчатые кристаллы кафетита, парастающие на кристаллы сфена (*Sph*).

ховки и наличия параллельных паростов, часто сливались в сплошную «дорожку» крестов, и одиночные слабые сигналы можно было выделить лишь с помощью экранирующих заслонок зрительной трубы гониометра. Это снижало точность измерения и заставляло прибегать к статистическому методу: координаты граней находить по средним значениям из 8—10 отсчетов для каждой измеряемой грани. Разность между отдельными отсчетами для большинства граней зоны $hk0$ достигала 20—30', для косых граней 1°. При индцировании форм были использованы сферические координаты отсутствующей на кристаллах единичной грани, вычисленные из рентгенометрического отношения осей: $\varphi_{(111)}=21^\circ 09'$ и $\rho_{(111)}=23^\circ 42'$

В табл. 1 указаны формы, обнаруженные на трех измеренных кристаллах кафетита, средние измеренные сферические координаты этих форм и координаты их, вычисленные по рентгенометрическому отношению осей.

Учитывая приближенность единичных измерений, следует отметить в общем довольно хорошее совпадение средних измеренных и вычисленных координат, подтверждающее правильность индцирования граней.

Габитусными формами на кристаллах кафетита являются лишь первые три — $\{100\}$, $\{520\}$ и $\{210\}$. Грани остальных форм присутствуют лишь в качестве мельчайших притуплений. На рис. 3 в ортогональной и перспективной проекциях в несколько идеализированном виде изображен один из измеренных кристаллов кафетита, отличающийся наибольшим богатством кристаллографических форм.

Таблица 1
Сферические координаты граней кафетита

Формы	Общее число измеренных граней	Средние измеренные		Вычисленные	
		φ	ρ	φ	ρ
100	6	89°46'	89°45'	90°00'	90°00'
320	1	31 15	89 30	30 07	90 00
210	8	37 48	89 55	37 43	90 00
520	9	44 10	89 55	44 02	90 00
310	3	50 00	89 50	49 15	90 00
720	1	54 20	89 00	53 33	90 00
410	2	56 25	89 45	57 07	90 00
610	1	67 15	89 45	66 42	90 00
810	3	72 45	89 50	72 05	90 00
052	4	0 30	46 16	0 00	45 40
801	1	89 00	51 25	90 00	51 44

Ввиду отсутствия (001) и граней типа (hkl), вопрос о сингонии кристаллов кафетита не может быть однозначно решен гониометрическим путем. Полученные данные не противоречат представлению о ромбической симметрии кристаллов, но и не исключают возможность принадлежности их и к моноклинной сингонии.

Рентгенометрическое исследование кафетита производилось методом порошка и путем изучения монокристаллов. Дебаеграммы снимались в камере типа РКД с диаметром 57,29 мм; использовалась трубка БСВЛ с железным анодом. Условия съемки: диаметр столбика 0,5 мм, напряжение 35 кВ, сила тока 20 мА, экспозиция 7 часов. Первые опыты показали, что после тонкого растирания минерал ведет себя, как рентгеноаморфное вещество, не давая четких отражений. Ввиду этого был применен метод наклейки различно ориентированных обломков кристалликов кафетита на стеклянную нить, и съемка препарата производилась с вращением. Межплоскостные расстояния находились по дебаеграмме, исправленной по особому снимку смеси кафетита с NaCl.

В табл. 2 приведены межплоскостные расстояния и интенсивности отражений для кафетита.

Рентгенограммы кафетита не позволяют отождествить его с каким-либо из известных минералов, рентгенограммы которых были опубликованы в литературе.

Для уточнения структурной характеристики кафетита было выполнено изучение монокристаллов методами Лауэ и вращения. Съемки производились в камере Крон-2 с диаметром цилиндрической кассеты 57,3 мм с использованием медного излучения ($\lambda_{CuK\alpha} = 1,539$). Условия съемки: напряжение 35 кВ, $I = 18$ мА, экспозиция 6—15 часов.

Рентгенограммы вращения кафетита снимались вдоль осей [001], [100] и [010]. На лауэграмме, снятой вдоль [001], были обнаружены две взаимноперпендикулярные плоскости симметрии. Параметры ячейки вдоль координатных осей, перпендикулярных этим плоскостям, оказались различными. Отсюда было сделано заключение о ромбической сингонии кристаллов кафетита.

Параметры элементарной ячейки кафетита, вычисленные по рентгенограммам вращения, следующие: $a = 31,34 \pm 0,05$ кХ, $b = 12,12 \pm 0,03$ кХ,

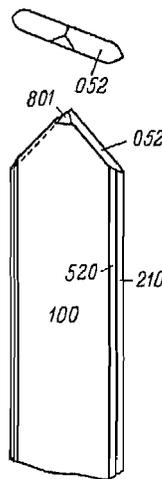


Рис. 3. Форма кристаллов кафетита.

Таблица 2

Межплоскостные расстояния $\left(\frac{d}{n}\right)$ и интенсивности отражений (I) для кафетита и неопределенного минерала

№ линий	Кафетит			Неопределенный минерал		№ линий	Кафетит			Неопределенный минерал	
	I	$\frac{d_2}{n}$	$\frac{d_3}{n}$	I	$\frac{d_2}{n}$		I	$\frac{d_2}{n}$	$\frac{d_3}{n}$	I	$\frac{d_2}{n}$
1	3	(8.68)	7.86	2р	7.7	20	1	1.646	1.492	1	1.782
2	10	7.84	(7.11)	3р	7.2	21	1	1.598	1.449	10	1.761
3	2	3.74	3.39	3	5.2	22	4	1.570	1.423	1	1.679
4	2	(3.58)	3.24	1	4.98	23	2	1.532	1.389	1	1.652
5	8	3.26	(2.96)	5	4.77	24	3р	1.417	1.285	1	1.631
6	1	3.08	2.79	1	4.53	25	2	1.389	1.259	2	1.607
7	1	2.99	2.71	1	4.17	26	—	—	—	3	1.516
8	1	(2.84)	2.57	1	3.84	27	—	—	—	4	1.501
9	3	2.78	2.52	4	(3.63)	28	—	—	—	1	1.442
10	4	2.62	2.37	10	3.30	29	—	—	—	2-3	1.359
11	8	2.557	(2.318)	1	2.90	30	—	—	—	1	1.304
12	3	2.403	2.178	2	2.63	31	—	—	—	2	1.220
13	2	(2.333)	2.115	1	(2.52)	32	—	—	—	2	1.196
14	1	2.288	2.074	1	2.41	33	—	—	—	2	1.162
15	4	2.104	(1.907)	2	2.31	34	—	—	—	1	1.149
16	7	1.910	1.731	4	2.29	35	—	—	—	1	1.139
17	2	(1.869)	1.694	3р	2.05	36	—	—	—	1	1.092
18	2	1.801	1.633	1	1.974	37	—	—	—	2	1.085
19	4	1.696	1.537	3	1.945						

$c=4.96 \pm 0.01$ кХ. Объем элементарной ячейки $V_0=1884.01$ кХ³. Эти данные, а также молекулярный вес кафетита, находимый по его кристаллохимической формуле, позволяют определить число молекул в элементарной ячейке и рентгеновскую плотность минерала: $n=6$, $d=3.192$. Отношение осей, вычисляемое на основании параметров ячейки кафетита, составляет $a : 1 : c=2.5858 : 1 : 0.4092$.

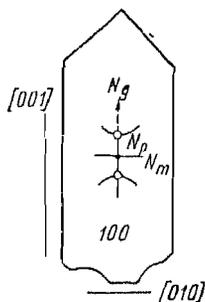


Рис. 4. Оптическая ориентировка кафетита.

Физические свойства кафетита изучены лишь для ясно кристаллической его разновидности.

Цвет минерала бледно-желтый, до бесцветного. Блеск алмазовидный. Твердость 4—5. Хрупок, по иголочки обнаруживают свойство упругости. Спайность средняя по удлинению в двух направлениях [по призме (520)]. Удельный вес, измеренный с помощью пикнометра, оказался равным 3.28.

Под микроскопом кафетит окрашен в бледно-желтый цвет, полихромизм незаметен. Двуосный отрицательный с сильной дисперсией угла оптических осей. Измерение на федоровском столике с применением светофильтров Меланхолина показало: $2V_{кр.}=39^\circ$, $2V_{сп.}=36.5^\circ$, величина дисперсии 2.5° . Оптическая ориентировка кафетита показана на рис. 4. Угасание кристаллов, расположенных в иммерсионном препарате на грани (100) — прямое. N_g совпадает с удлинением кристалла, $N_p \perp (100)$. При повороте вокруг оси c на 90° * угол угасания отличается от прямого на $2-4^\circ$. Отсюда оптическая ориентировка кафетита: $N_p N_m \parallel (010)$, $c N_g = 2-4^\circ$.

* Исследования проведены с помощью вращающейся иглы.

Таким образом, кристаллооптические данные указывают на более низкую симметрию кристаллов кафетита, чем та, которая была найдена на основании рентгенометрических определений, и позволяют считать кафетит моноклинным (псевдоромбическим).

Показатели преломления кафетита, измеренные в иммерсионных сплавах: $N_y=2.11$, $N_m=2.08$, $N_p=1.95 \pm 0.01$; $N_y-N_p=0.15$.

Не люминесцирует; парамагнитен и выделяется в электромагнитной фракции. В HCl и HNO₃ практически не растворим, в концентрированной H₂SO₄ разлагается при кипячении. Перед паяльной трубкой растрескивается, приобретает бурю окраску и становится непрозрачным. В восстановительном пламени сплавляется в темно-бурю слабомагнитную массу.

Для химического анализа материал был тщательно отобран под бинокулярной лупой. Разложение пробы при общем ходе анализа производилось путем сплавления с содой. Для осаждения кремнезема применялся видоизмененный желатиновый метод, разработанный химической лабораторией ВСЕГЕИ. При фильтровании кремневой кислоты, во избежание потери титана, в фильтрат добавлялась H₂O₂. Титан определялся объемным методом, раствор восстанавливался амальгамой ртути в приборе Сомайя. Железо определялось из отдельной навески, разлагавшейся смесью HF и H₂SO₄ в атмосфере углекислого газа, причем для предотвращения окисления железа проба предварительно не измельчалась. Щелочи определялись хлорплатинатным методом из отдельной навески, разлагавшейся сплавлением с CaCO₃ и NH₄Cl.

Результаты химического анализа кафетита представлены в табл. 3.

Таблица 3

Химический состав кафетита

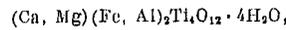
Окислы	Процентное содержание	Молекулярные количества	Атомные количества катионов	Атомные количества кислорода	Число атомов катиона на 160
SiO ₂	1.00	16	16	32	0.09
TiO ₂	54.11	675	675	1350	3.97
Ti ₂ O ₃	—	2	4	6	0.03
Al ₂ O ₃	2.02	20	40	60	0.24
Fe ₂ O ₃	22.00	141	282	423	1.68
FeO	0.49	—	—	—	—
MnO	0.20	3	3	3	0.02
MgO	1.44	36	36	36	0.21
CaO	6.23	111	111	111	0.67
Na ₂ O	0.28	5	10	5	0.06
K ₂ O	0.40	4	8	4	0.05
H ₂ O ⁻¹¹⁰	3.46	681 (676)	1352	676	8.0
H ₂ O ⁺¹¹⁰	8.83				
Сумма	100.46			2706, общий делитель 169.1	

Учитывая ненадежность определения FeO в присутствии Fe₂O₃ и TiO₂ и вероятность реакции восстановления Fe₂O₃ + Ti₂O₃ → 2FeO + 2TiO₂, при расчете данных анализа на кристаллохимическую формулу все FeO было переведено в Fe₂O₃, а эквивалентное ему количество двуокиси титана — в Ti₂O₃.

Кристаллохимическая формула кафетита:



или приближенно



причем кальций резко преобладает над магнием, а трехвалентное железо над алюминием.

Кроме отмеченных в формуле элементов, спектральным анализом в кафетите обнаружены V (~0.03%), Cr (0.01—0.03%), Zr (0.001—0.003%), Nb (0.003—0.01%) и Y (~0.1%). Присутствие Si в количествах до 0.3% подтверждено спектральным анализом тщательно отобранного материала, не содержащего видимых под микроскопом посторонних включений.

Таким образом, в первом приближении по химическому составу кафетит представляет собою водный титанат кальция и железа.

Относительно характера воды, присутствующей в кафетите, мы располагаем лишь предварительными данными. На рис. 5 приведены: дифференциальная кривая нагревания и кривая обезвоживания кафетита, полученные В. П. Ивановой (ВСЕГЕИ) при навесках около 0.1 г. График показывает, что при нагревании кафетита вода выделяется в несколько этапов.

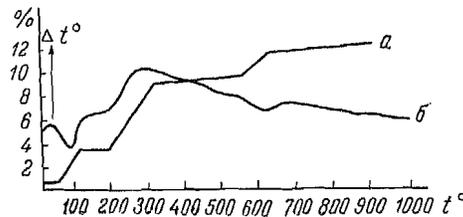


Рис. 5. Кривые обезвоживания (а) и нагревания (б) кафетита.

Около 4% H_2O выделяется в интервале 100—120° С, что отмечается соответствующим эндотермическим эффектом на дифференциальной кривой. Следующая порция воды выделяется в интервале 200—300° С. При этом, как показывает максимум около 300° С, имеет место экзотермический эффект, вероятно, обусловленный реакцией окисления $\text{Ti}_2\text{O}_3 \rightarrow 2\text{TiO}_2$. Часть воды выделяется в интервале 550—650° С, что зафиксировано небольшим минимумом и на кривой нагревания. Следует отметить, что после обезвоживания минерал не разрушается, хотя и существенно изменяет свои оптические свойства.

Данные термического анализа позволяют считать воду, присутствующую в кафетите, кристаллизационной, с различной прочностью удерживающейся в структуре минерала и выделяющейся в широком интервале температур: при 100° С — 1 молекула H_2O , в интервале 200—300° С — 2 H_2O при 550—650° С — 1 молекула H_2O . Относительно высокая температура выделения большей части воды дает основание полагать, что последняя носит «анионный» характер (Соболев, 1949), т. е. в структуре кафетита образует гидратные оболочки вокруг анионных групп, например $[\text{TiO}_4]^{-4}$.

Переходя к рассмотрению условий образования кафетита, необходимо отметить, что этот минерал является одним из наиболее поздних минералов, выполняющих миаролитовые пустоты в флогопито-титаномагнетитовых породах. Он не только нарастает на клинохлор, сфен, бадделит и другие минералы, но отчетливо разъедает и заменяет все титансодержащие минералы: неопределенный минерал, ильменит, перовскит, в меньшей степени титаномагнетит и сфен. Это свидетельствует, что Fe и Ti при образовании кафетита в основном заимствовались из более ранних минералов миарол и из самой породы, их заключающей.

Наблюдения показывают далее, что формирование минерального заполнения миарол происходило в основном в замкнутом пространстве, за счет той порции раствора, которая была заключена в пустотах породы. В большинстве случаев в непосредственной близости миарол совершенно отсутствуют какие-либо признаки процессов позднейшей гидротермальной переработки флогопито-титаномагнетитовых пород, следы минерализо-

ванных проводников и др., свидетельствовавшие бы о вторичной минерализации пустот.

Следует особо отметить редкость нахождения карбонатов среди минералов миарол, что резко отличает наблюдающиеся здесь ассоциации минералов от других вторичных ассоциаций, характерных для процессов постмагматического изменения пород массива Африканда (в том числе и щелочных пегматитов). Это свидетельствует о низкой концентрации CO_2 в системе в стадию формирования флогопито-титаноманнетитовых пород и о высоком химическом потенциале Ca, Si и паров воды, под воздействием которых в ограниченном пространстве миарол и происходило разрушение первоначально выделившихся минералов и образование вторичных титаносиликатов Ca (сфен), окислов Ti (анатаз) и водных титанатов кальция и железа (кафетит и неопределенный минерал). Лишь в более позднюю стадию, вероятно в связи с развитием трещиноватости, возникла ассоциация вторичных водосодержащих минералов — гидрохлорита, каолина, гетита, а также кальцита, характеризующих условия открытой системы и деятельности водных углекислых растворов. В эту стадию кафетит становится неустойчивым. Вначале он гидратируется, замещаясь волокнистым охристо-желтым минералом, отличающимся от кафетита более высоким содержанием воды (до 16%), показателями преломления ($N_p=2.09$, $N_g=1.92$), иной оптической ориентировкой (N_m по удлинению) и меньшим углом оптических осей. Впоследствии происходит замещение кафетита гидроокислами железа с образованием землистых скопленений лейкоксеноподобного минерала.

Литература

- Дэна Дж. Д., Э. С. Дэна, Е. Палач, Г. Берман, И. Фрондель. (1951). Система минералогии, т. II, 1. Окислы и гидроокислы. Изд. иностр. лит., М.
- Блиссев А. Н. (1958). Массив Африканда. Геология СССР, т. XXVII, ч. 1. Мурманская обл. Госгеолтехиздат.
- Куплетский В. М. (1938). Химико-петрографическая характеристика штоксеноитовой интрузии у ст. Африканда на Кольском п-ове. Тр. ГИН, вып. 2, петрографич. сер., № 1.
- Кухаренко А. А. (1958). Палеозойский комплекс ультраосновных и щелочных пород Кольского полуострова и связанные с ним редкометалльные месторождения. Зап. Всесоюз. минер. общ., ч. 87, вып. 3.
- Михеев В. И. (1957). Рентгенометрический определитель минералов. Госгеолтехиздат.
- Соболев В. С. (1949). Введение в минералогию силикатов. Львов.
- Strunz H. (1957). Mineralogische Tabellen, 3 Auflage. Leipzig.