

Л. В. АГАФОНОВ, В. В. ВЕЛИНСКИЙ, Г. В. ПИНУС,
Ю. Г. ЛАВРЕНТЬЕВ, Л. Н. ПОСПЕЛОВА

**ВЫСОКОМАГНЕЗИАЛЬНЫЙ АМФИБОЛ
КУММИНГТОНИТ-ГРЮНЕРИТОВОГО РЯДА**

(Представлено академиком В. С. Соболевым 28 XII 1971)

В составе магнезиально-железистых амфиболов изоморфной серии куммингтонит-грюнеритового ряда в настоящее время выделяются две разновидности минералов: куммингтонит и грюнерит. К куммингтонитам относятся минералы с железистостью от 30 до 70% ⁽²⁾ или же от 30 до 85% ⁽³⁾, а к грюнеритам — разновидностями с содержанием железистого компонента соответственно больше 70 или 85%. Магнезиальные члены этой серии, которым было предложено название купфферит, в природных условиях до сих пор встречены не были. Имеющиеся в литературе указания на находки их оказались ошибочными, а принимаемые за них минералы либо были смесью куммингтонита с роговой обманкой ⁽³⁾, либо представляли другие разновидности амфиболов (актинолит и антофилит) ⁽²⁾. Синтетическим путем были получены куммингтониты с 85% магнезиального компонента $(\text{OH})_2\text{Mg}_7\text{Si}_8\text{O}_{22}$ при $P_{\text{H}_2\text{O}} = 1000$ бар и $T > 800^\circ$; однако синтезировать более магнезиальные члены этой серии не удалось ⁽⁴⁾. Конечный магнезиальный член ряда куммингтонит — грюнерит был синтезирован при воздействии на чистый клиноэнстатит NaF без воды и кислорода.

Т а б л и ц а 1

Характеристика грани	Символ	Ориентировка индикатрисы, град.		
		N_g	N_m	N_p
Спайность	(110)	79	62	30
Двойниковый шов	(100)	79	90	12
То же	(001)	16	88	75

Согласно последним экспериментальным данным ⁽¹⁰⁾, область устойчивости куммингтонита лежит между составом $\text{Mg}_{65}\text{Fe}_{35}$ (нижняя температура устойчивости равна 615°) и $\text{Mg}_0\text{Fe}_{100}$ (нижняя граница устойчивости 450°), что и дало основание считать, что существование магнезиальных куммингтонитов в природных условиях маловероятно, а минимальное содержание в них $(\text{OH})_2\text{Fe}_8\text{Si}_8\text{O}_{22}$ позволило ограничивать пределом 30% ⁽³⁾.

При изучении гипербазитовых массивов Анадырско-Корякской складчатой системы в одном из них (р. Лозовка, бассейн р. Анадыри), представленном серпентинизированными перидотитами, в составе широко развитых в массиве метасоматических жил энстатитов и вебстеритов нами были обнаружены тонкие жилки волокнистого асбестовидного минерала, который затем был определен в целом ряде шлифов как вторичный продукт, развивающийся по ромбическим пироксенам (энстатиту и бронзиту).

Минерал белого цвета со слабо зеленоватым оттенком игольчатого или шестоватого габитуса чаще всего образует спутанно-волокнистые или радиально-лучистые агрегаты, отдельные волокна которых достигают 1 см и более; хрупкий, удельный вес $3,044 \pm 0,006$, твердость 4–5, нерастворим в соляной и серной кислотах. Оптические свойства: $N_g = 1,632$, $N_p = 1,605$, $N_g - N_p = 0,027$ *, $2V_{N_p} = 85-89^\circ$; $c : N_g = 14^\circ$, спайность хорошая с углом 56° , двойники простые и полисинтетические по (100) и (001). Очень характерно развитие в удлиненных кристаллах двойников одновременно по двум плоскостям, при этом двойники по (001) очень тонкие с четкими резкими

* Величина двупреломления, замеренная компенсатором Берека, равна 0,029.

Таблица 2

Компо- нент	1	2	3	4	5	Компо- нент	Количество ионов в пересчете на 24 (O, OH)				
							1	2	3	4	5
SiO ₂	56,75	56,50	57,50	57,70	51,53	Si	7,764	7,704	7,975	7,914	7,364
TiO ₂	0,16	0,25	—	—	0,31	Al ^{IV}	0,148	0,296	0,025	0,086	0,635
Al ₂ O ₃	0,94	2,03	0,70	0,67	5,02	Al ^{VI}	—	0,031	0,092	0,029	0,209
Fe ₂ O ₃	0,03	0,16	—	—	0,82	Ti	0,016	0,024	—	—	0,033
Cr ₂ O ₃	0,32	—	0,50	0,46	—	Fe ³⁺	—	0,016	—	—	0,087
FeO	6,49	6,41	6,49	6,51	16,91	Mg	5,733	5,467	5,517	5,565	4,438
MnO	0,23	0,61	0,19	0,21	0,22	Fe ²⁺	0,740	0,729	0,750	0,742	2,022
MgO	28,10	26,91	26,70	27,20	20,84	Mn	0,025	0,065	0,025	0,025	0,027
CaO	1,28	2,33	1,05	1,43	1,34	Na	0,625	0,590	0,833	0,758	0,180
NiO	0,08	—	—	—	—	Ca	0,189	0,336	0,158	0,214	0,205
CoO	0,02	0,02	—	—	—	OH	2,335	2,000	2,000	2,000	2,019
Na ₂ O	2,37	2,42	2,80	2,85	0,65						
K ₂ O	0,06	0,08	—	—	—						
P ₂ O ₅	0,06	—	—	—	—	<i>M</i>	88,23	87,10	87,68	88,24	67,70
V ₂ O ₅	0,02	—	—	—	—						
H ₂ O ⁻	0,10	—	—	—	0,64						
H ₂ O ⁺	2,56	2,22	2,20	2,20	2,15						
F	0,04	—	—	—	—						
П.п.п	0,24	—	—	—	—						
Сумма	99,78	100,02	98,54	99,23	100,43						

Примечание. $M = \text{Mg} \cdot 100 / (\text{Mg} + \text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+})$; в анализах 1, 3 и 4 в составе ионов соответственно Cr₂O₃ 0,033; 0,050; 0,049; 5 — куммингтонит из кристаллического сланца (?). Анализы 1 и 2 — полные силикатные, 3 и 4 — по отдельным зернам, выполнены на микрозонде MS-46 Cameca, 4 — средний результат по данным анализов 4 и 8 в табл. 3.

границами. Характер двойникования очень специфичный и может служить одним из первых диагностических признаков минерала. В шлифе он бесцветный, не плещируется, в поперечном сечении нередко образует хорошо ограниченные шестигольники со спайностью по двум направлениям; в скрепленных николях имеет желтые, зеленые, синие цвета интерференции второго порядка.

По характеру ориентировки оптической индикатрисы (табл. 1, рис. 1) минерал относится к моноклинной спайности и принадлежит к ряду амфиболов куммингтонит-грюнеритовой серии (5), а по оптическим свойствам соответствует купффериту (6).

Встречается купфферит в ассоциации ромбический

пироксен или ромбический пироксен + оливин часто совместно с рибекитом ($N_g = 1,692$, $N_p = 1,687$, $N_g - N_p = 0,005$), с которыми обычно находится в реакционных взаимоотношениях (рибекит развизается по купффериту).

Как видно из результатов химического анализа (табл. 2, вес. %) купфферит по сравнению с высокомагнезиальным куммингтонитом (67,7%) содержит больше SiO_2 , MgO и Na_2O и меньше — Al_2O_3 , Fe_2O_3 и FeO . Учитывая, что имели место случаи, когда за купфферит принимались минералы, представленные смесью разных амфиболитов, для установления однородности исследованного материала анализ его проводился по отдельным зернам на микрозонде (см. табл. 2). С этой целью для анализируемых кристаллов проводилось профилирование, которое показало, что кривые концентраций отдельных элементов в исследуемых объектах изменяются в пределах точности метода, т. е. анализируемый материал был однородный. На это же указывают данные по содержанию главных элементов в минерале, определенных по нескольким зернам (табл. 3, вес. %) и характер распределения в них магния, железа и кальция (рис. 2).

Термический анализ купфферита показал, что на кривой ДТА минерала имеются два эндотермических эффекта — при 100 и 960° и один хорошо проявляющийся пик при 790°.

Табл. 4 показывает очень близкое сходство значений межплоскостных расстояний у купфферита и куммингтонита (4), что определенно свидетельствует о принадлежности исследованного минерала к группе магнезиально-железистых амфиболов ряда куммингтонит — грюнерит.

Таким образом, находка высокомагнезиального (с магнезиальностью $M = 87,10-88,24\%$) члена серии купфферит — куммингтонит — грюнерит в природных условиях восполняет существующий пробел в наших знаниях об этом изоморфном ряде минералов в области составов $Mg_{65}Fe_{35}$ —

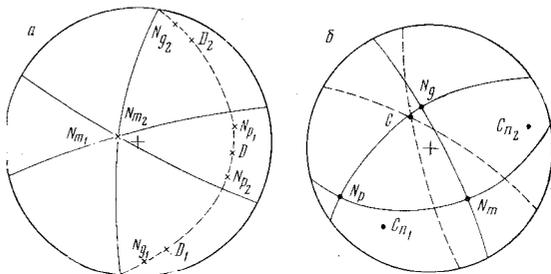


Рис. 1. Ориентировка оптической индикатрисы купфферита относительно плоскостей двойниковых швов (а) и спайности (б)

Таблица 3

Окисел	1	2	3	4	5	6	7	8
FeO	6,18	6,38	6,56	6,66	6,65	6,76	6,38	6,53
MnO	0,21	0,19	0,20	0,24	—	—	—	—
MgO	26,65	27,15	27,19	26,87	27,71	26,31	28,66	27,10
CaO	1,03	1,90	1,46	1,36	—	—	—	—
Na ₂ O	2,83	2,93	3,16	2,48	—	—	—	—
Al ₂ O ₃	0,69	0,57	0,73	0,71	—	—	—	—
Cr ₂ O ₃	0,43	0,50	0,44	0,47	—	—	—	—

Купфферит		Куммингтонит		Купфферит		Куммингтонит	
<i>d/n</i> , Å	<i>I</i>						
9,038	6	8,28	4	2,295	6	2,30	4
7,150 *	9	—	—	2,249	1	2,23	1
4,828	2	—	—	2,177	9	2,19	6
4,504	6	4,53	1	2,092	1	2,10	2
4,159	4	4,14	1	2,031	3	2,04	2
3,848	2	3,86	2	1,951	1	1,956	2
3,593	2	3,59	1	1,906	1	—	—
3,418	8	3,44	3	1,862	4	1,876	1
3,250	8	3,27	4	1,831	1	—	—
3,148	5	—	—	1,785	2	—	—
3,064	10	3,06	3	1,755	1	—	—
2,983	5	2,98	1	1,695	1	1,693	1
2,728	10	2,76	8	1,657	8	1,660	5
2,661	1	2,62	5	1,633	4	—	—
2,603	7	—	—	1,634	4	1,632	3
2,537	1	—	—	1,557	1	1,552	1
2,500	7	2,51	5	1,509	8	1,519	5
2,405	1	2,41	1	1,481	1	—	—
2,349	1	—	—	1,456	2	1,461	1
1,380	4	1,383	2	1,441	2	—	—
1,298	1	1,298	6	1,426	1	1,433	1
1,287	6	1,287	3	1,403	8	1,406	7

Примечание. Условия съемки: УРС-70, излучение Co , 32 кв, 10 ма, экспозиция 36 час., камера $D = 114,5$ мм. Рефлекс 7,150, отмеченный звездочкой соответствует каолиниту (⁶); в исследованном образце наличие каолинита подтверждается данными и.к.с.: после отжига в течение 2 час. при 630° этот и другие характерные для каолинита рефлексы исчезли.

$\text{Mg}_2\text{Fe}_{100}$. Между отдельными разновидностями купфферита по железистости должны существовать такие же постепенные переходы, как и в куммингтонитах. На это указывают находки маложелезистых куммингтонитов с M 67–71,3% в ультраосновных породах Кольского полуострова (⁷).

Вместе с тем следует отметить, что описанный минерал является натровой разновидностью купфферита, в которой содержание Na_2O достигает 2,85% (табл. 2), определяя в составе минерала от 16 до 30% молекулы $\text{Na}_2\text{CaMg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$. Образование его, вероятно, возможно только в особых условиях при натровом метасоматозе гипербазитов, что подтверждается его парагенезисом с рибекитом и хорошо согласуется с экспериментальными работами Боуэна и Шейрера (⁹). Е. А. Костюк (³) было показано, что принадлежность куммингтонита к моноклинной сингонии минералов в значительной мере обусловлена вхождением в его структуру кальция, замещающего в решетке двухвалентное железо. Для описанной разновидности купфферита аналогичную роль, по-видимому, играет натрий.

Авторы приносят искреннюю благодарность акад. В. С. Соболеву за полученные консультации.

Институт геологии и геофизики
Сибирского отделения Академии наук СССР
Новосибирск

Поступило
20 XII 1971

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ И. В. Гинзбург, Г. А. Сидоренко, Д. Л. Рогачев, Тр. минералогич. музея, в. 12 (1961). ² У. А. Дир, Р. А. Хауи, Дж. Зусман, Породообразующие минералы, 2, М., 1965. ³ Е. А. Костюк, Статистический анализ и парагенетические типы амфиболов метаморфических пород, «Наука», 1970. ⁴ В. И. Михеев, Рентгенометрический определитель минералов, М., 1957. ⁵ В. С. Соболев, Федоровский метод, М., 1964. ⁶ В. Е. Трегер, Оптическое определение порообразующих минералов, М., 1968. ⁷ А. К. Яковлева, В. В. Колесникова, Зап. Всесоюз. мин. общ., 96, в. 6 (1967). ⁸ F. R. Royd, Carnegie Inst. Washington, Ann. Rep. Dir. Geophys. Lab., 1955. ⁹ N. L. Bowen, J. F. Schairer, Am. Mineral., 20 (1935). ¹⁰ K. Schürmann, Neues Jahrbuch Mineral. Monatsh., 9/10 (1967).

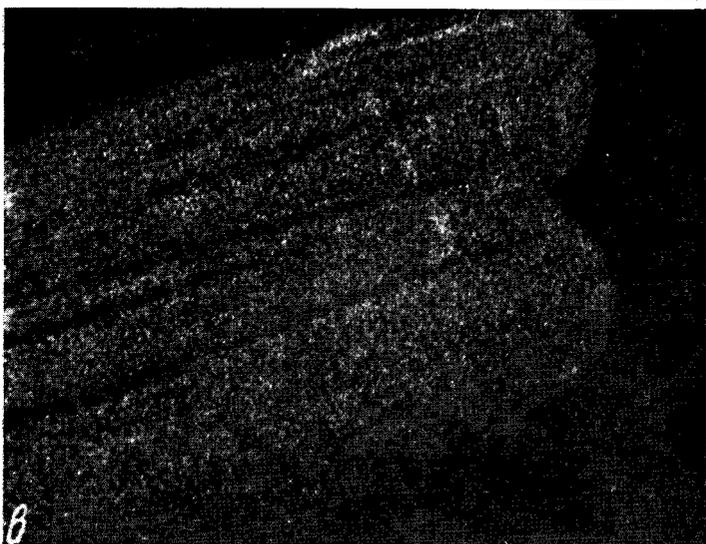
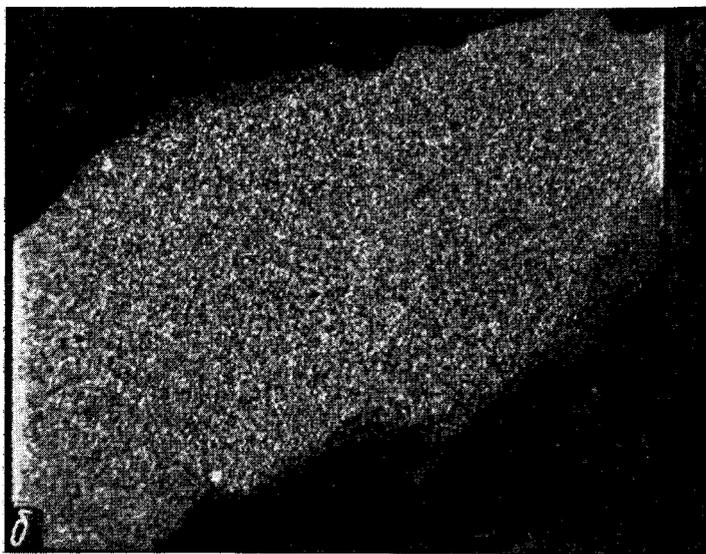
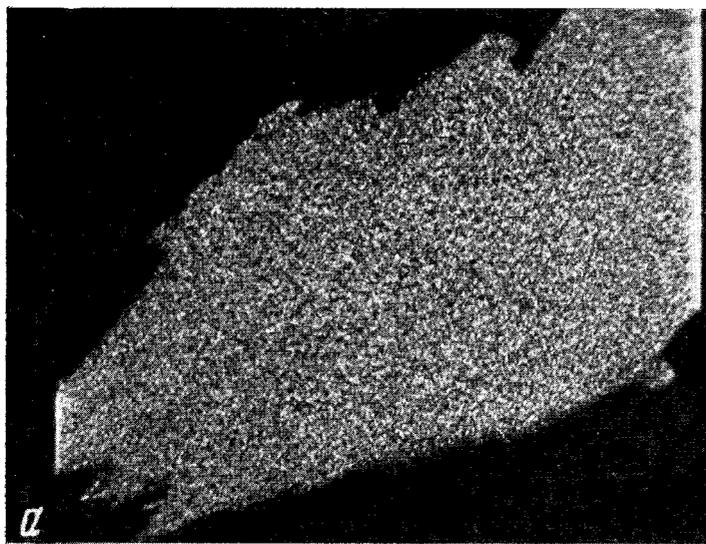


Рис. 2. Распределение магния (а), железа (б) и кальция (в) в кристалле кyanита. Съемка проводилась в $(Mg, Ca, Fe)K_{\alpha}$ -излучении

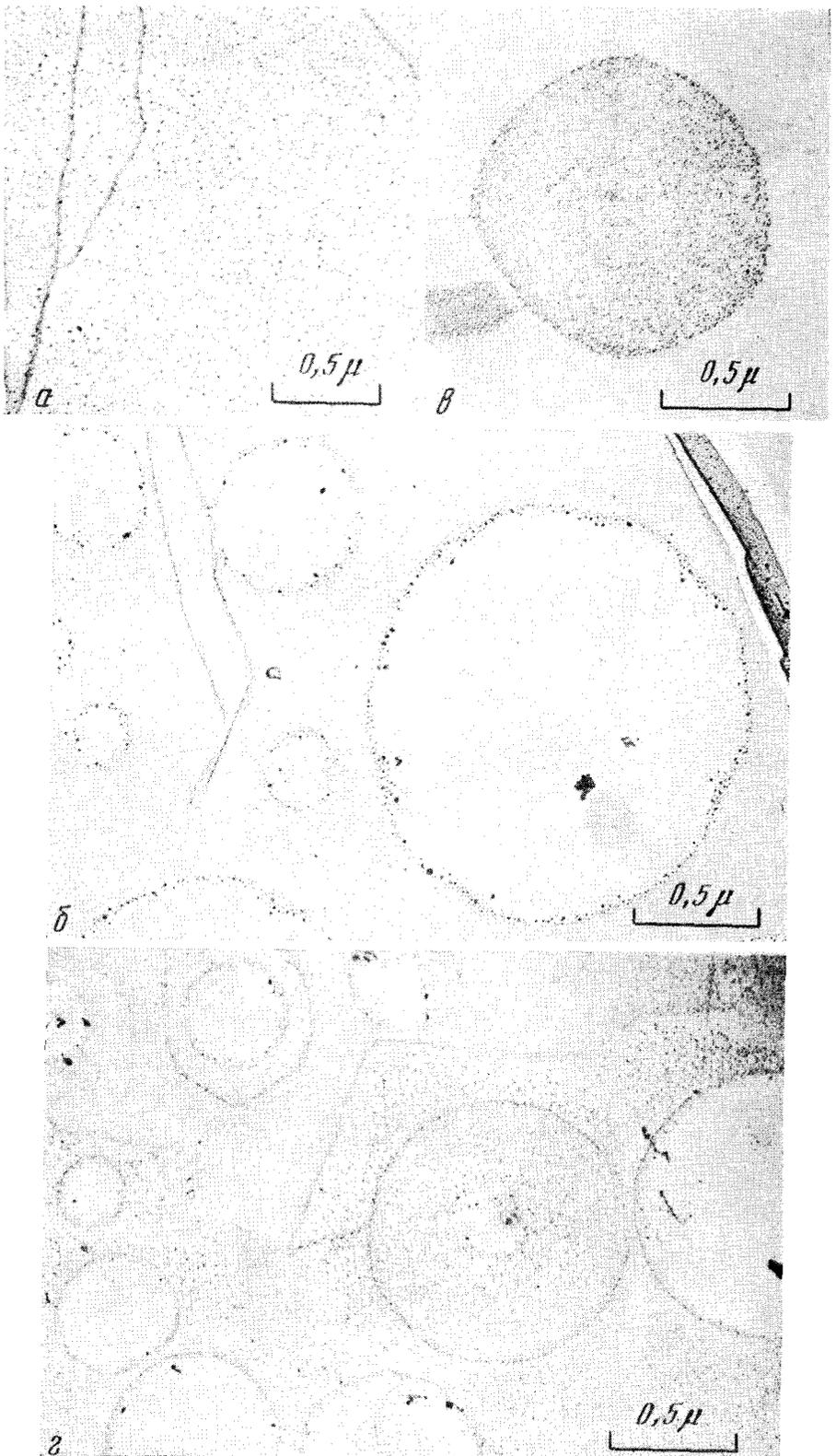


Рис. 1. а — равномерное распределение декорирующих частиц на поверхности скола нелюминесцирующего сфалерита; б — округлые участки, свободные от декорирующих частиц, на поверхности скола люминесцирующего сфалерита; в — округлые участки с повышенной плотностью частиц на поверхности скола люминесцирующего сфалерита; г — поверхность скола люминесцирующего синтетического сфалерита. Видны участки, лишенные декорирующих частиц, и участки с повышенной их плотностью