

И. В. ГИНЗБУРГ, В. М. НЕКРАСОВА

МАГНЕЗИАЛЬНЫЙ ГАСТИНГСИТ И АКТИНОЛИТ
ИЗ МЕТАГАББРО-АНОРТОЗИТОВ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ
КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА

В литературе имеется много указаний о замещении зеленой роговой обманки бесцветным актинолитом. В ряде работ дается сопоставление их оптических свойств, при этом исходят как из теоретического состава (Vose, 1959, и др.), так и из разрозненных анализов этих минералов (Сердюченко, 1960, и др.). В метагаббро-анортозитах северо-востока Кольского полуострова превращения роговой обманки в актинолит непосредственно не наблюдалось. Это амфиболы сопоставляются здесь по результатам их химических анализов и ряду других данных.

Кристаллохимические формулы¹, изоморфные замещения, оптические и физические константы актинолита и роговой обманки, представленной магнезиальным гастингситом² (табл. 1—4), указывают на принадлежность их к разным подгруппам группы амфиболов. Меньшее содержание Fe^{2+} и Fe^{3+} в актинолите привело к исчезновению плеохроизма и отразилось на значениях светопреломления, которые уменьшились³; различия в значениях n_{Ng} и $2V$ у этих амфиболов не обнаруживают связи с изменением содержания Fe^{2+} , Fe^{3+} . Таким образом, связь «состав — свойства» проявлена только между содержанием ($Fe^{2+} + Fe^{3+}$), плеохроизмом и показателями преломления. Следует иметь в виду, что таким изменениям подвержены как актинолиты, так и роговые обманки, и, следовательно, по одним оптическим свойствам нельзя уверенно судить о принадлежности светло-зеленого в шлифе амфибола к роговой обманке, а бесцветного — к актинолиту.

Оба эти минерала точно диагностируются по структурному типу порошкограмм (Гинзбург, Сидоренко, Рогачев, 1961). Они отличаются и по величинам параметров ячейки: меньшее a_0 и b_0 у актинолита обязано меньшему содержанию Fe^{2+} , а большее c_0 — выходу Al из тетраэдров. Изменение линейных параметров сопровождается изменением углового параметра β .

Роговая обманка и актинолит распознаются и по характеру инфракрасного спектра в области колебаний Si — O тетраэдра (соответственно образцы № 5 и 2 — Гинзбург, Юхневич, 1962): у актинолита, не содержащего Al в тетраэдрах, спектр четкий с узкими линиями, а у роговой обманки,

¹ Химические анализы приведены дальше в табл. 5. Образцы обоих минералов находятся в Минералогическом музее АН СССР.

² До специального изучения этого светло-зеленого в шлифе амфибола, по оптическим константам он назывался актинолитом, или роговой обманкой, близкой к актинолиту, или, по предложению Соболева (1950), актинолитовой роговой обманкой.

³ Уменьшение ($Fe^{2+} + Fe^{3+}$) почти вдвое вызвало понижение примерно вдвое магнитной восприимчивости.

Таблица 1

Формула амфиболов* (расчет И. В. Гинзбург по способу Борнеман-Старынкевич, 1960)

Структурные	группы позиции	X ₂₋₃						Y ₅					Z ₆			O ₂₂	OH ₂			Осно- ва рас- чета	Делитель	100	
		A					M ₄		M ₁ , M ₂ , M ₃							O	OH						
		H ₃ O	K	Na	Ca	Mg	Ca	Mg	Mg	Fe ²⁺	Al	Fe ³⁺	Mn	Si	Al	Ti	O	O	OH				F
Магнезиальный гас- тингсит		0,60	0,08	0,27	0,05	0,00	1,95	0,05	2,76	1,18	0,78	0,22	0,06	6,80	1,16	0,04	22,0	0,89	1,11	0,00	$\frac{O, OH}{24}$	$\frac{27738}{1156}$	5
Актинолит		0,11	0,02	0,09	0,05	0,53	2,00	0,00	3,77	0,71	0,44	0,06	0,02	8,00	0,00	0,00	22,0	1,88	0,11	0,01	$\frac{Si}{8}$	$\frac{9204}{1150,5}$	2

* Здесь дано другое возможное положение Ti (у роговой обманки), Mn, части Ca и Mg (у актинолита), чем ранее (Гинзбург, Юхневич, 1962, соответственно обр. 5 и 2).

Таблица 2

Расчет изоморфных замещений (по Гинзбург, 1961)

Магнезиальный гас- тингсит	$Si_{1,00}^{4+} \rightarrow Al_{1,00}^{3+}$ $Mg_{1,00}^{2+} \rightarrow (Al_{0,78}^{3+} Fe_{0,22}^{3+})_{1,00}$	$Si_{0,16}^{4+} \rightarrow Al_{0,16}^{3+}$ $[\] \rightarrow Na_{0,16}^{1+}$	$OH_{0,29}^{1-} \rightarrow O_{0,29}^{2-}$ $[\] \rightarrow (Na_{0,11}^{1+} K_{0,08}^{1+} Ca_{0,05}^{2+})_{0,29}$	$OH_{0,60}^{1-} \rightarrow O_{0,60}^{2-}$ $[\] \rightarrow H_3O_{0,60}^{1+}$
Актинолит	$Fe_{0,06}^{2+} \rightarrow Fe_{0,06}^{3+}$ $OH_{0,06}^{1-} \rightarrow O_{0,06}^{2-}$	$Mg_{0,44}^{2+} \rightarrow Al_{0,44}^{3+}$ $OH_{0,44}^{1-} \rightarrow O_{0,44}^{2-}$	$OH_{1,27}^{1-} \rightarrow O_{1,27}^{2-}$ $[\] \rightarrow (Na_{0,09}^{1+} K_{0,02}^{1+} Ca_{0,05}^{2+} Mg_{0,53}^{2+})_{1,27}$	$OH_{0,11}^{1-} \rightarrow O_{0,11}^{2-}$ $[\] \rightarrow H_3O_{0,11}^{1+}$

содержащей Al в тетраэдрах, спектр с наложенными широкими линиями, образующими некоторую область поглощения.

Таким образом, отличить актинолит от роговой обманки можно по структурному типу порошкограмм или по инфракрасному спектру Si — O тетраэдров, или по вычисленным из анализов формулам минералов, или же тремя этими путями. Оптические константы могут ввести в заблуждение.

В классификации амфиболов, предложенной В. С. Соболевым (1949), формула роговой обманки дана с Al в тетраэдрах и, подобно формуле актинолита, без него. Теперь представляется возможным четко разграничить эти минералы: роговой обманки без Al в тетраэдрах не бывает, а актинолит иногда может содержать до 0,50—0,75 Al в тетраэдрах.

Название «роговая обманка» применяется:

1) как синоним амфибола; 2) как групповое обозначение Ca-Mg-Fe-силикатных и алюмосиликатных амфиболов, 3) только Ca-Mg-Fe-алюмосиликатных амфиболов и 4) как разновидность последних. Правильное употребление этого термина лишь в значении Ca-Mg-Fe-алюмосиликатных амфиболов.

Описанная нами роговая обманка является магнезиальным гастингситом или маггастингситом. Такое название было ранее использовано для роговой обманки плагиоамфиболита (Белянкин, Лаврова, 1939).

Некоторые особенности состава и структуры описанных амфиболов позволяют оттенить различие физических условий их образования. Так, отсутствие Al в тетраэдрах актинолита, видимо, отражает образование его при более низком давлении, чем образование маггастингсита. Такое заключение было сделано ранее (Miyashiro, 1957) при сравнении глаукофана и рибекита. Далее, согласно опытам с искусственными щелочными амфиболами (Ernst, 1958), меньшее содержание Fe^{3+} в актинолите указывает на относительно более низкое парциальное давление кислорода при его образовании, чем в период образования маггастингсита. Вместе с тем, большее содержание O на месте OH в актинолите — показатель более высокой насыщенности системы кислородом при его кристаллизации, чем при кристаллизации маггастингсита. У актинолита очень мало OH, но тем не менее минерал не окислен.

Рассмотренный маггастингсит входит в состав метагаббро-анортозитов, а актинолит (рис. 1) слагает в нем мономинеральный участок.

Метагаббро-анортозиты, образованные при региональном метасоматозе из первичноинтрузивных габбро-анортозитов, сохранили местами таблитчатую форму зерен плагиоклаза и грубополосчатое строение с полосами, обогащенными плагиоклазом (Гинзбург, 1959). Пироксены (и оливины?) в этих условиях разрушались. Устойчивый с ними битовнит-лабрадор (№ 80—55) остался в виде реликтов в лабрадор-андезине (№ 55—30), имеющем прежнюю таблитчатую форму, или в неправильных зернах среди мелкозернистого андезина (№ 45—30). Плагиоклаз № 55—30 находится в парагенезисе с маггастингситом, судя по показателям преломления, имеющим разное содержание $FeO + Fe_2O_3$, причем с более железистым амфиболом находится более натриевый плагиоклаз (рис. 2). В шлифах видно развитие маггастингсита по плагиоклазу. Следовательно, можно принять, что в состав маггастингсита вошли не только Ca, Mg и Fe первичных пироксенов (Mg и Fe оливинов?), но Al и Ca, освобождающиеся при замене более кальциевого плагиоклаза более натриевым. Очевидно, преобразование габброанортозитов в породы амфиболовой фации регионального метасоматоза сопровождалось повышением активности щелочей и воды.

Актинолит был встречен внутри тела метагаббро-анортозитов на глубине 80 м от дневной поверхности, но в керне не было видно ни нижнего, ни верхнего контакта, так как они выкрошились при бурении. Из-за

Свойства химически

	Плеохроизм			Ng	Nm	Np	Ng-Np
	Ng	Nm	Np				
Маггастингсит	Светло-голубовато-зеленый	Светло-зеленый	Светло-зеленовато-желтый	1,662	1,651	1,636*	0,026
Актинолит	Отсутствует			1,653	1,637	1,623*	0,030

* Светопреломление определено В. В. Колесниковой методом хроматической вариации на игле Колотушкина в Na свете с λ 589 м μ ; cNg и 2V определены И. В. Гинзбург в белом свете; ввиду прозрачности у актинолита яркие интерференционные окраски типа мусковитовых.

** Определена В. А. Амелиной на весах Вестфали.

Таблица 4

Значения межплоскостных расстояний амфиболов

Маггастингсит						Актинолит					
d/n *	I	d/n	I	d/n	I	d/n	I	d/n	I	d/n	I
8,79	4	1,811	4	1,124	1	8,17	9	1,861	2	1,158	1
8,11	4	1,746	4	1,114	1	4,85	3	1,810	3	1,125	1
4,92	3	1,687	3	1,097	2	4,47	3	1,734	3	1,111	1
4,50	2	1,648	7	1,080	5ш	4,23	2	1,686	3	1,106	1
3,72	1	1,617	4	1,061	1	3,86	2	1,645	6	1,081	6
3,61	1	1,582	7	1,048	7ш	3,35	5	1,611	2	1,060	1
(3,41)	4	1,553	1	1,040	1	3,25	4	1,571	6	1,051	2
3,26	3	1,533	2	1,029	5ш	3,12	9	1,547	1	1,047	8
3,10	9	1,515	4	1,013	1	2,99	2	1,527	2	1,037	1
2,99	3	1,503	4	1,008	2	2,94	3	1,508	5	1,030	2
2,93	3	1,469	3	1,003	2	2,80	1	1,498	5	1,028	5
2,84	1	1,452	1	0,985	4	2,70	10	1,465	1	1,023	1
2,79	2	1,437	9	0,982	3	2,58	3	1,431	9	1,011	1
2,709	10	1,363	5	—	—	2,53	6	1,397	1	1,007	3
2,595	5	1,338	4	—	—	2,38	1	1,358	6	1,001	3
2,541	6	1,322	1	—	—	2,32	7	1,333	4	0,992	1
2,380	1	1,309	5	—	—	2,27	1	1,318	1	0,982	6
2,339	6	1,295	5	—	—	2,21	1	1,305	5	0,979	5
2,284	2	1,279	2	—	—	2,15	7	1,293	6	—	—
2,160	7	1,268	1	—	—	2,04	1	1,277	3	—	—
2,045	2	1,228	1	—	—	2,00	6	1,264	2	—	—
2,013	5	1,197	5	—	—	1,958	1	1,227	1	—	—
1,888	2	1,170	1	—	—	1,934	1	1,197	6	—	—
1,862	2	1,162	2	—	—	1,878	2	1,191	1	—	—

Условия съемки:

Минерал	D	d	Экспоз.	Излучен.	Аналитик
Маггастингсит . .	66 мм	0,5 мм	34 часа	Fe	Д. Л. Рогачев
Актинолит . . .	57,3	0,4 мм	1,5 часа	Fe	Г. А. Сидоренко

* Значения d/n даны в kX

Таблица 3

анализированных амфиболов

cNg	(-) $2V$	Уд. вес	Средняя магнитная восприимчивость***	Структурный тип****	a_0	b_0	c_0	β
$14^\circ \pm 2^\circ$	$80^\circ \pm 3^\circ$	—	$9,42 \cdot 10^{-6}$ см ³ /г	гастингсита	9,91	18,12	5,31 Å	$73^\circ 50'$
$15^\circ 30' \pm 30'$	$78^\circ \pm 1^\circ$	2,85**	$4,94 \cdot 10^{-6}$ см ³ /г	актинолита	9,80	18,02	5,39 Å	$74^\circ 53'$

*** Найдена Г. Л. Адян.

**** Установлен Г. А. Сидоренко по порошкограммам; параметры на основе порошкограмм вычислены для маггастингсита Д. Л. Рогачевым, для актинолита Г. А. Сидоренко.

отсутствия наблюдений над контактами метагаббро-анортозитов и актинолитита, генезис актинолитита остался неясным. Не исключена, однако, возможность образования актинолитита за счет метагаббро-анортозита. Такое предположение основывается на отличии актинолитита от других, на первый взгляд близких к нему пород изученного района, ассоциирующихся с метагаббро-анортозитами: 1) от бесплагноклазовых амфиболитов, в которых амфибол (судя по порошкограмме и светопреломлению) является гастингситом; 2) от метаперидотитов, содержащих (судя по оптике) тремолит черный в зернах, который присутствует в качестве примеси в серпентиновых или хлорит-серпентиновых породах.

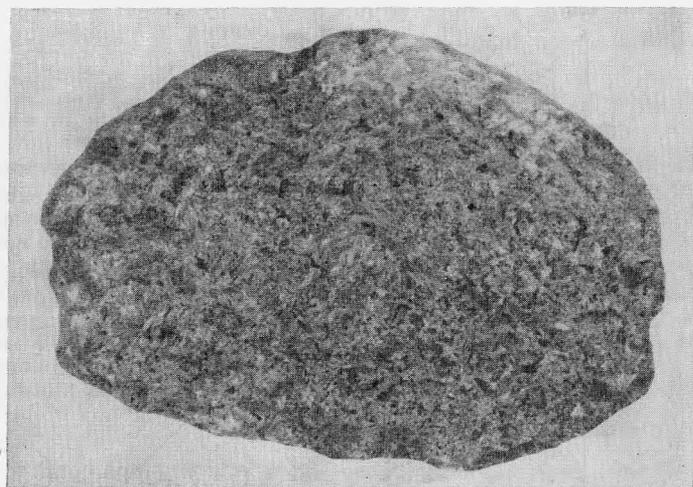


Рис. 1. Внешний вид актинолитита, М. 1 : 1

Генезис существенно актинолитовых пород в настоящее время трактуется не однозначно. Так, тремолит-актинолитовые породы Западного Приазовья относятся к продуктам изменения ультрабазитов; они считаются образованиями высокотемпературной амфиболовой фации, одновременными с амфиболитизированными базитами (Усенко, 1960). На Таймыре актинолитовые породы рассматриваются как среднетемпературная фация зеленых

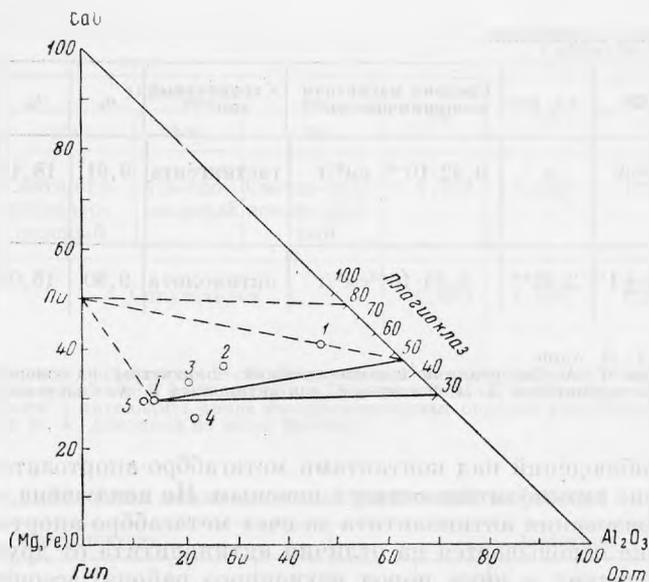


Рис. 2. Диаграмма состав — парагенезис метагаббро-анортозитов. Точки 1—5 — разновидности габбро-анортозитов (соответствуют № 1—5 анализов табл. 2 в статье Гинзбург, 1959), точка I соответствует анализу 1 табл. 5 настоящей статьи

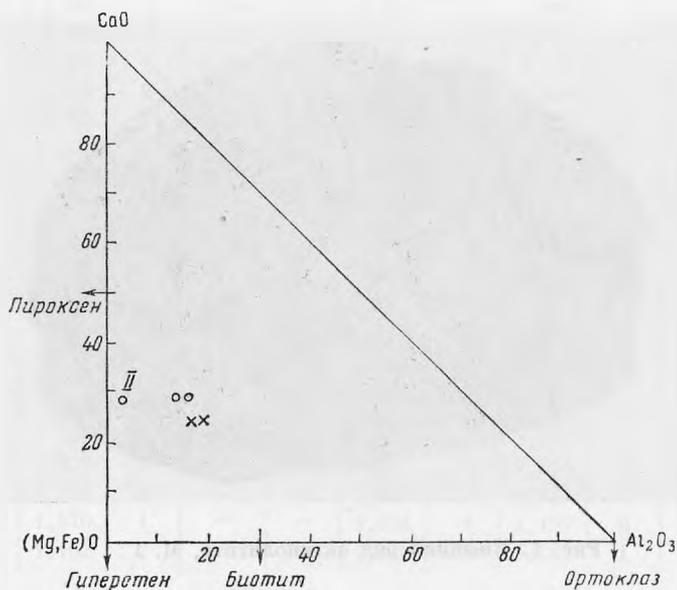


Рис. 3. Положение точки актинолита (II) в системе CaO — (Mg, Fe)O — Al₂O₃ (см. табл. 5, анализ 2 настоящей статьи). Для сравнения показаны: точками — роговая обманка из плагиоамфиболитов, крестиками — роговая обманка из гранитоидов

сланцев, возникшая при метаморфизме эффузивов среднего и основного состава (Равич, 1961). На Алдане появление актинолитовых пород связывается с более поздним преобразованием ранее существовавших пород типа амфиболовой фации (Сердюченко, 1960).

Если верно наше предположение о развитии чистейшего актинолитита (рис. 3) в результате преобразования метагаббро-анортозитов, то химизм процесса (табл. 5) может выглядеть следующим образом. Возникновение актинолитита (анализ 2) связывается с изменением содержания окислов в системе за счет относительного привноса и выноса: уменьшением Al_2O_3 ,

Таблица 5

Химический состав некоторых пород и минералов массива метагаббро-анортозитов (Кольский п-ов)

Окислы	1		2		3	
	Вес. %	Мол. кол.	Вес. %	Мол. кол.	Вес. %	Мол. кол.
SiO ₂	47,30	7861	55,28	9204	48,69	811
TiO ₂	0,43	54	Следы	—	0,32	4
Al ₂ O ₃	11,51	1129	2,57	252	18,49	181
Fe ₂ O ₃	2,00	125	0,59	37	4,88	30
FeO	9,78	1361	5,85	814	4,41	61
MgO	13,12	3252	20,02	4964	6,99	174
MnO	0,49	69	0,14	20	Следы	—
CaO	13,00	2318	13,22	2357	13,00	232
Na ₂ O	0,98	158	0,32	51	2,88	47
K ₂ O	0,42	45	0,10	11	0,17	2
H ₂ O ⁻ }	1,70	943	0,08	4	—	—
H ₂ O ⁺ }			1,96	1087	0,70	—
F	—	—	0,06	32	—	—
Сумма	99,73	—	100,19	—	100,53	—

1 — маггастингсит, извлеченный из метагабброанортозита (ан. 3).

2 — актинолит. Анализ этого минерала практически соответствует анализу породы, содержащей, помимо актинолита, сотые доли % бесцветной слюды, сфена и гидроокислов железа.

3 — метагаббро-анортозит.

Аналитики: 1, 2 — В. М. Некрасова, 3 — Е. В. Кульчицкая.

В анализах 1 и 2 молекулярные количества вычислены по молекулярным весам, приведенным у Гровса (1953), в ан. 3 — взяты из таблиц Заварицкого 1941 г.

Элементы-примеси: ан. 1 — Cu, Ni, V, Ga, Co, Cr, Ba; ан. 2 — Cu (аналитик С. И. Егорова). Эти данные отражают известное явление очищения минералов при метасоматозе.

Fe₂O₃, Na₂O, K₂O (TiO₂, CaO) и увеличением SiO₂, MgO, FeO, MnO, по сравнению с исходной породой, содержащей поровну плагиоклаз и маггастингсит (анализ 3).

По сравнению с существенно амфиболитовыми разновидностями пород (которым близок анализ 1) должно произойти уменьшение FeO, а по сравнению с существенно плагиоклазовыми — увеличение FeO, в обоих случаях сопровождаемое накоплением MgO и SiO₂. Образование актинолитита из существенно амфиболовых или плагиоклаз-амфиболовых разностей представляется более вероятным, так как требовало меньшего количества привнесенных и вынесенных веществ. Пренебрегая присутствием плагиоклаза, рассмотрим баланс элементов при превращении

маггастингсита в актинолит, исходя из цифр их кристаллохимических формул (табл. 1):

Mg (+) 1,54	Fe ²⁺ (-) 0,47	K (-) 0,06
Al (-) 1,50	Si (+) 0,20	Ca (+) 0,05
OH (-) 1,00	Na (-) 0,18	Mn (-) 0,04
O (+) 0,99	Fe ³⁺ (-) 0,16	Ti (-) 0,04
H ₂ O (-) 0,49		F (+) 0,01

Отсюда следует наибольшая подвижность Mg, Al, O, OH, Fe²⁺, меньшая — щелочей и Fe³⁺ и практически инертность Ca.

Если процесс образования актинолитита действительно происходил так, как здесь предполагается, то он был метасоматическим. Мономинеральность актинолитита служит тому подтверждением.

ЛИТЕРАТУРА

- Белянкин Д. С., Лаврова М. А. Кристаллические горные породы района города Онеги.— Труды Геол. музея АН СССР, т. 8, 1939.
- Борнеман-Старынкевич И. Д. Химическая формула минералов. IV. Амфиболы.— Зап. Всес. минерал. об-ва, ч. 89, вып. 2, 1960.
- Гинзбург И. В. О признаках магматического происхождения пород амфиболитового комплекса свиты Воронья — Поросозеро (Кольский п-ов).— Сов. геол., № 6, 1959.
- Гинзбург И. В. Гастингсит зоны щелочногранитного метасоматоза и изоморфизм в моноклинных амфиболитах.— Труды Минерал. музея АН СССР, вып. 10, 1961.
- Гинзбург И. В., Сидоренко Г. А., Рогачев Д. Л. О зависимости между главными изоморфными замещениями и некоторыми параметрами кристаллической структуры амфиболов.— Труды Минерал. музея АН СССР, вып. 11, 1961.
- Гинзбург И. В., Юхневич Г. В. О ионе гидроксония в амфиболах.— Геохимия, № 1, 1962.
- Гровс А. В. Анализ силикатов. Изд-во иностр. лит-ры. М., 1953.
- Равич М. Г. Анализ парагенезиса минералов в протерозойских метаморфических породах Таймыра. В кн.: Физико-химические проблемы формирования горных пород и руд. Изд-во АН СССР, т. I, 1961.
- Сердюченко Д. П. Амфиболы из магнетитовых и флогопитовых месторождений Алдана. Сб. «Железные руды южной Якутии». Изд-во АН СССР, 1960.
- Соболев В. С. Введение в минералогию силикатов. Изд. Львовского гос. ун-та, 1949.
- Соболев В. С. Значение железистости фемических минералов и.....— Минерал. сб. Львовск. геол. об-ва, № 4, 1950.
- Усенко И. С. Основные и ультраосновные породы Западного Приазовья. Изд-во АН УССР, Киев, 1960.
- Bose M. K. A note on «bleached hornblende».— Min. Mag., 32, № 245, 1959.
- Ernst W. G. Alkali amphiboles. Carnegie institution of Washington (1957—1958 jb.), 1958.
- Miyashiro A. The chemistry, optics and genesis of alkali amphiboles.— J. Fac. Sci. Univ. Tokyo, sec. 2, 11, pt. 2, 1957.