

УДК 549.643

МИНЕРАЛОГИЯ

Н. Л. ДОБРЕЦОВ, Е. А. КОСТЮК, Ю. Г. ЛАВРЕНТЬЕВ, Л. Г. ПОНОМАРЕВА,
Л. Н. ПОСПЕЛОВА, академик В. С. СОБОЛЕВ

НЕСМЕСИМОСТЬ В РЯДУ Na — Ca-АМФИБОЛОВ И ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ

Несмесимость между Na-амфиболами ряда глаукофан — рибекит и Na—Ca-амфиболами (актинолитом, роговой обманкой) в настоящее время не вызывает сомнения, однако величина интервала несмесимости и влияние на него различных факторов нуждаются в уточнении. На основании отдельных анализов предполагалось (^{3, 6-8}) и др.), что этот разрыв велик, в

глаукофане растворяется немного кальциевого компонента, а содержание глаукофана в кальциевом амфиболе растет с температурой.

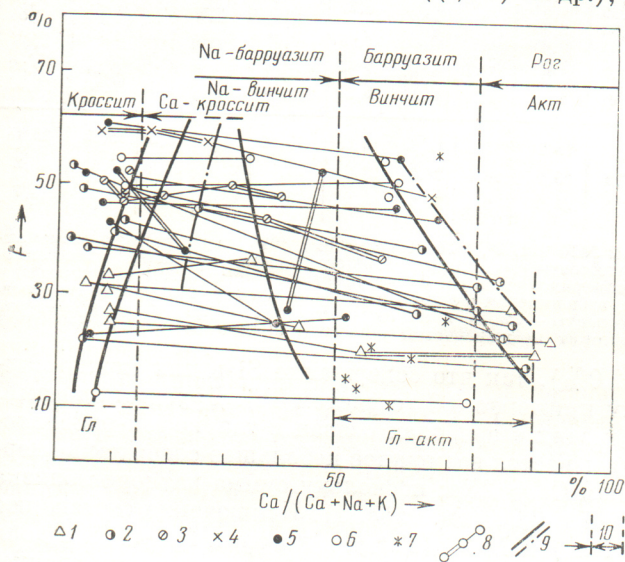


Рис. 1

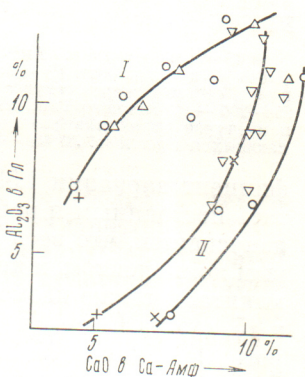


Рис. 2

Рис. 1. Сосуществующие Na- и Na — Ca-амфиболы (по данным табл. 1 и работ (^{3, 6-8}) из различных глаукофансланцевых комплексов). I — максютовский комплекс; 2 — францисканская формация Калифорнии; 3 — Южный Тянь-Шань (№№ 294в и 25а — 26б в табл. 1); 4 — Пенжинский пояс (№ 850 в табл. 1); 5 — пояс Санбогава, Япония; 6 — прочие комплексы; 7 — винчит из (³); 8 — зональные амфиболы; 9 — границы полей несмесимости для разных условий; 10 — границы минеральных видов и разновидностей

Рис. 2. Зависимость содержания СаО в Na — Са-амфиболе от содержания Al₂O₃ в глаукофане. Обозначения те же, что на рис. 1. Объяснение в тексте

Новые анализы сосуществующих амфиболов, выполненные рентгено-спектральным методом нами (табл. 1) и Клейном (⁷), позволяют уточнить этот вопрос и наметить более сложные зависимости. Приводимые в таблице анализы выполнены на микрозонде MS-46 по методике, охарактеризованной в (⁵). В сумму анализа добавлены 2% H₂O в соответствии с теоретическим составом амфиболов, а содержание Fe₂O₃ определено по молекулярному соотношению Fe³⁺ = Na — Al для всех амфиболов ряда глаукофан — крассит — актинолит, у которых содержание Si в формуле составляет 7,80—8,08; такие колебания соответствуют точности метода (коэф-

Компонент	№ 27д		№ 28			№ 313б			№ 164		№ 294в		
	Рог ₁	Гл ₂	Гл ₁	Гл ₂	Рог ₃	Гл ₁	Акт ₂	Акт ₃	Гл	Акт	Гл ₁	Кр ₂	Кр ₃
SiO ₂	51,4	57,1	58,3	58,4	54,4?	58,4	58,3	57,1	57,6	55,9	55,1	55,1	55,3
TiO ₂	—	—	—	—	—	0,0	0,0	0,0	—	—	0,03	0,07	0,08
Al ₂ O ₃	10,6	9,2	11,0	9,9	9,6	11,1	2,8	1,6	10,8	1,9	8,7	7,7	6,9
Fe ₂ O ₃	4,4*	3,7	2,4	3,2	2,9*	1,0	4,4	—	1,4*	—	5,0	5,6	5,0
FeO	8,5	7,3	6,9	5,9	5,7	6,8	4,1	8,9	7,1	10,1	11,7	12,1	12,9
MnO	0,07	0,05	0,02	0,04	0,04	0,04	0,03	0,08	—	—	0,17	0,3	0,37
MgO	12,2	12,2	10,8	10,9	14,0	12,0	16,6	18,5	13,3	18,6	9,0	9,6	9,8
CaO	5,6	1,3	0,7	1,2	6,5	1,4	7,6	11,8	1,3	11,2	1,1	1,6	2,5
Na ₂ O	5,5	7,0	7,6	7,1	4,8	7,1	3,4	1,0	7,1	0,8	7,2	6,9	6,1
K ₂ O	0,0	0,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
H ₂ O+	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Сумма	100,27	99,85	99,72	98,64	99,94	99,84	99,26	100,98	100,6	100,5	100,0	100,97	100,95
Si + Ti	7,18	7,85	7,95	8,03	7,57	7,90	8,08	7,93	7,86	7,8	7,85	7,8	7,83
Al	1,77	1,48	1,77	1,60	1,57	1,77	0,45	0,27	1,73	0,32	1,45	1,29	1,16
Fe ³⁺	0,47*	0,38	0,25	0,33	0,30*	0,10	0,47	—	0,15*	—	0,53	0,60	0,54
Fe ²⁺ + Mn	1,00	0,84	0,79	0,68	0,66	0,78	0,48	1,03	0,80	1,17	1,40	1,43	1,54
Mg	2,53	2,48	2,20	2,23	2,89	2,42	3,43	3,83	2,68	3,84	1,93	2,01	2,06
Ca	0,84	0,19	0,10	0,17	0,96	0,20	1,10	1,75	0,18	1,67	0,17	0,24	0,88
Na + K	1,48	1,85	2,01	1,91	1,28	1,87	0,92	0,27	1,75	0,22	1,98	1,88	1,67
Сумма	15,27	15,07	15,07	14,95	15,21	15,04	14,93	15,08	15,14	15,02	15,34	15,25	15,18
F	36,5	33,3	31,3	30,9	25,1	26,4	21,5	21,2	25,5	23,4	50,4	47,3	48,2
Ca	34,5	9,2	4,7	8,0	43,0	9,4	54,5	86,2	9,5	88,4	8,1	11,6	18,7
Na + Ca													

Примечание. Амфиболы №№ 27д, 28, 313б (с гранатом), 164 (без граната), а также амфибол 677д из работы (?) — из максютовского комплекса Южного Урала, подробнее их ассоциации и составы сосуществующих минералов см. в (?). Зональные амфиболы № 294в (с гранатом) и 25а—26б — из Южного Тянь-Шаня, атбашинская (№ 294в) и канская (№ 25а—26б) свиты. В последнем случае проанализированы кросситы — 25а и винциты (Акт₁, Акт₂ № 26б) из двух соприкасающихся прослоев. № 406 — диафторит по жадеитовой породе (с анальцитом), Северное При-

фициент вариации 1,52—2,0%), так что содержание Si в них можно считать постоянным и равным примерно 8,0 (с учетом Ti). Другими словами, допускается, что весь Na в этих амфиболах связан с глаукофан-рибекитовым компонентом, и не учитывается возможное небольшое содержание чермакита, а также изоморфизм Ca = 2Na; поскольку сумма катионов близка к 15, сумма Ca + Na близка к 2,00 (см. табл. 1). Исключение составляют роговые обманки № 27д (Рог₁) и № 28 (Рог₃), в которых Na < Al и доля Fe₂O₃ принята равной соотношению Fe₂O₃/FeO в соответствующих глаукофанах (Гл₂). При таких предположениях содержание Fe³⁺ в некоторых анализах, отмеченных звездочкой, вероятно, занижено. Сумма в табл. 1 составляет 97,0—101,0% (в большинстве случаев 99,0—100,5%), сумма катионов в формуле 14,93—15,32, что соответствует отклонению менее 1,5%. Наши анализы рассчитываются на формулы не хуже большинства химических анализов (?) и лучше рентгеноспектральных анализов Клейна (?). Проанализированные амфиболы, как правило, зональны, последовательность формирования зон отражена в табл. 1 индексами 1, 2, 3, ... Для определения интервала несмесимости пригодны главным образом внешние или соприкасающиеся зоны. В большинстве образцов глаукофан образует Na—Ca-амфиболом, однако в обр. № 27д соотношения обратные, а в обр. № 406; 308 и 850 амфиболы сосуществуют в виде самостоятельных кристаллов.

Как видно из рис. 1, составленного по нашим данным и анализам Клейна (?), интервал несмесимости по соотношению Na и Ca оказался очень различным для разных пар амфиболов. Большинство пар на рис. 1, особенно в области магнизиальных составов, характеризуется малой взаимной растворимостью — до 10% Ca / (Na + Ca) у глаукофанов и 85—50% у сосуществующих Na—Ca-амфиболов. Однако в интервале общей железистости 27—60% есть амфиболы промежуточной кальциевости. В наиболее

Таблица 1

Na — Ca-амфиболов (%)

		№ 25а—26б				№ 406		№ 308		№ 850		
Акт ₄	Акт ₅	Кр ₁	Кр ₂	Акт ₃	Акт ₄	Трем	Гл ₁	Гл ₂	Акт—Рог	Гл ₁	Гл ₂	Гл ₃
53,5	53,5	53,8	53,8	55,6	53,5	56,2	58,0	54,6	54,6	57,0	56,1	57,3
0,05	0,05	—	—	—	—	0,0	0,0	0,0	0,0	0,16	0,10	0,32
5,4	4,9	5,5	3,0	2,0	1,6	1,8	11,0	7,2	5,9	8,2	9,8	8,4
5,0*	4,5*	9,1	11,9	9,0	5,9*	—	—	3,9	2,5	—	—	3,7
13,6	13,6	8,8	8,8	7,7	9,8	4,9	3,9	13,1	16,1	16,55	16,5	13,3
0,5	0,7	0,3	0,3	0,5	0,3	0,02	0,02	0,67	1,15	0,40	0,48	0,53
10,5	11,3	10,1	10,0	11,5	15,3	20,7	14,4	8,22	8,9	7,0	6,64	6,74
4,5	5,6	1,6	2,0*	5,1	8,3	11,8	1,2	1,3	4,3	3,4	2,1	1,0
5,2	4,7	6,8	6,4	4,7	3,3	2,1	8,5	5,9*	4,6	5,2	5,85	6,5
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
100,25	100,85	98,0	97,7	98,1	100,0	99,52	99,02	96,89	100,05	100,01	99,57	99,79
7,71	7,70	7,83	7,87	8,04	7,74	7,77	7,80	8,00	7,88	8,04	8,00	8,11
0,92	0,83	0,94	0,51	0,35	0,28	0,36	1,74	1,25	1,01	1,36	1,64	1,39
0,55*	0,48*	0,99	1,33	0,97	0,64*	—	—	0,42	0,28	—	—	0,39
1,65	1,63	1,11	1,12	0,99	1,22	0,56	0,42	1,69	2,09	2,02	2,03	1,64
2,25	2,41	2,18	2,20	2,48	3,30	4,29	2,88	1,79	1,91	1,49	1,41	1,42
0,69	0,86	0,25	0,26	0,79	1,29	1,62	0,17	0,21	0,67	0,52	0,32	0,15
1,45	1,30	1,92	1,83	1,32	0,92	0,56	2,21	1,68	1,28	1,43	1,62	1,78
15,32	15,21	15,22	15,12	14,94	15,32	15,11	15,22	15,04	15,12	14,86	15,02	14,88
49,9	47,8	49,1	52,7	44,1	37,3	11,7	12,8	54,1	55,3	57,8	59,0	58,8
31,7	40,0	11,6	12,5	37,5	58,5	74,3	7,5	11,1	34,4	26,6	16,5	7,7

балхаше; амфиболы бесцветные, поэтому все железо условно отнесено к FeO. № 308 — два амфиболовый сланец (с эпидотом, альбитом, хлоритом), уймонская свита, Алтай. № 850 — два амфиболовый сланец, Пенжинский хребет, Северо-Западная Камчатка. Вместе с зональным Fe-глаукофаном присутствует винчит ($F=50\%$, Ca ~ 70%). Сокращения: Рог — барруазит или Na-барруазит, Гл — глаукофан, Кр — кроссит, Акт — актинолит и винчит. В случаях, отмеченных звездочкой, содержание F^{3+} , вероятно, занижено.

железистых амфиболах описаны случаи зональных амфиболов с непрерывными переходами от натровых к кальциевым разновидностям (7, 9).

Часть амфиболов промежуточной кальциевости (30—50%) относится к Na — Ca-амфиболам типа барруазита (6, 8), сосуществующим с глаукофанами (кросситами) небольшой кальциевости (до 15%) — №№ 27д, 28, 25а, 26б, 308 в табл. 1. Кроме них встречаются кросситы с повышенной кальциевостью 15—40%, сосуществующие с актинолитами, бедными кальцием — №№ 294в, 850 в табл. 1, а также химические анализы сосуществующих амфиболов из работ (6, 8).

Такое смещение интервала несмесимости по кальциевости на рис. 1 может быть объяснено либо действием температуры, либо влиянием третьих компонентов, т. е. тем обстоятельством, что рис. 1 представляет собой проекцию сложной многокомпонентной системы. Увеличение содержания примесей (в частности Fe^{3+} , содержание которого мы не можем оценить точно, см. выше) уменьшает содержание Al_2O_3 в глаукофане. Поэтому на рис. 2 содержание Al_2O_3 в глаукофане сопоставлено с содержанием CaO в сосуществующем Na — Ca-амфиболе. Из рис. 2 видно, что с более чистым (глиноземистым) глаукофаном сосуществует более кальциевый амфибол, причем точки на рис. 2 обособляются в две группы. К I группе, в которой зависимость более резкая, относятся большинство (4 из 5) пар амфиболов максютовского комплекса, ко II группе относятся 6 из 7 пар амфиболов из Калифорнии. Можно ожидать, что каждой группе амфиболов, образовавшихся при постоянных условиях, будет соответствовать своя линия на рис. 2, причем различные линии, вероятно, сходятся к точке состава чистого глаукофана и актинолита. Различия групп I и II могут быть связаны с различиями температуры образования или окислительной обстановки, или обоих факторов. В частности, амфиболы максютовского комплекса (груп-

па I) в целом более высокотемпературные, чем калифорнийские (^{1,2}); к группе II, кроме того, относятся низкотемпературные амфиболы в ассоциации с анальцимом (№ 406), лавсонитом (№ 850 и др.). В то же время, как видно, из табл. 1, амфиболы группы I в целом более окисленные.

Таким образом, интервал и конфигурация поля несмесимости Na—Ca-амфиболов зависят от общей железистости (см. рис. 1), температуры образования и окислительного потенциала (см. рис. 2). Ситуация сходна с разрывом смесимости в группе Na—Ca-пироксенов (¹), вследствие сложности составов амфиболов зависимости здесь также более сложные.

На рис. 1 намечены границы минеральных видов и разновидностей Na—Ca-амфиболов, для которых нет общепринятой классификации. К натровым амфиболам ряда глаукофан—рибекит относятся амфиболы, содержащие менее 15% Ca-компонента в соответствии с наиболее распространенными разновидностями (см. рис. 1 и (³)). Они классифицируются, в соответствии со схемой В. С. Соболева (⁴) и А. Мияширо (⁹), на глаукофан, ферроглаукофан, кроссит, рибекит, родусит (магнезиорибекит). Наличие ферроглаукофанов в настоящее время подтверждено в работе (¹¹). Глаукофан-кроссит с повышенной кальциевостью 15—35% (редко более, почему и не выделяется пока дополнительный вид) и железистостью 25—70% назван кальциевым кросситом. Анализы кальциевых глаукофанов приведены в работе (³). Na—Ca-амфиболы, сосуществующие с глаукофанами-кросситами, относятся к ряду барруазит—роговая обманка, если $Al_{IV} > 0,5$ в формуле, и к ряду винчит—актинолит, если $Al_{IV} < 0,5$ в формуле, в соответствии с принятой в (³) границей актинолитов. В каждом из этих рядов видовая граница роговой обманки или актинолита соответствует содержанию 25% глаукофан-кросситового компонента, согласно принципу классификации А. К. Болдырева для непрерывных изоморфных рядов, а также общепринятому ограничению Ca-роговых обманок их наиболее распространенными разновидностями. Барруазитами или винчитами названы более богатые Na-амфиболы (с выделением разновидностей Na-барруазиты или Na-винчиты, если кальциевость их менее 50%), так как именно сюда попадают составы амфиболов, давно уже описанные под этими названиями (³).

Для барруазита и Na-барруазита Клейн (⁷) предлагает название глаукофановая роговая обманка; для амфиболов, промежуточных между актинолитом и глаукофаном, использовались также названия субглаукофан, кроссит-актинолит, глаукофан-актинолит и др., которые мы считаем неудачными. От винчитов по соотношению Ca, Na и R^{3+} отделяются рихтериты, отличающиеся также обычно повышенным содержанием Mn и меньшей железистостью (³). Вследствие наличия переходных разновидностей и трудности диагностики по оптическим свойствам следует сохранить более широкое название—глаукофансодержащие актинолиты (с возможной границей 85% кальциевости или 0,3 Na в формуле), характеризующиеся синезелеными тонами плеохроизма.

Институт геологии и геофизики
Сибирского отделения Академии наук СССР
Новосибирск

Поступило
5 I 1974

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Н. Л. Добрецов, Ю. Г. Лаврентьев и др., ДАН (в печати) (1071). ² Н. Л. Добрецов, Ю. Г. Лаврентьев и др., Геология и геофизика, № 10 (1974).
³ Е. А. Костюк, Статистический анализ и парагенетические типы амфиболов метаморфических пород, «Наука», 1970. ⁴ В. С. Соболев, Мин. сборн. Львовск. геол. общ., № 5 (1951). ⁵ Н. В. Соболев и др., ДАН, 189, № 1 (1969). ⁶ T. W. Blodham, J. B. Allen, Trans. Roy. Soc. Edinburgh, 64, 1 (1960). ⁷ C. Klein, Am. Mineral., 54, № 1—2, 242 (1969). ⁸ D. E. Lee et al., U. S. Geol. Surv. Prof. Paper 550-c, 148 (1966). ⁹ R. Misch, Bull. Geol. Soc. Am., 70, № 12, 1736 (1959). ¹⁰ A. Miyashiro, J. Fac. Sci. Univ. Tokyo, Sec. II, 2, 57 (1957). ¹¹ Ph. M. Black, Am. Min., 55, № 3—4 (1970). ¹² W. G. Ernst, Y. Seki et al., Geol. Soc. Am. Inc. Memoir, 124, 1970.