

УДК 549.642:552.43

МИНЕРАЛОГИЯ

Н. Л. ДОБРЕЦОВ, Ю. Г. ЛАВРЕНТЬЕВ, Л. Н. ПОСПЕЛОВА

НЕСМЕСИМОСТЬ В РЯДУ Na — Ca-ПИРОКСЕНОВ

(Представлено академиком В. С. Соболевым 10 VII 1970)

В работе излагаются новые результаты изучения Na — Ca-пироксенов при помощи микрозонда, которые подтверждают наличие разрыва смесимости в изоморфном ряду этих пироксенов и позволяют уточнить интервал несмеси-мости при разных условиях. Несмеси-мость в ряду диопсид — жадеит (в интервале примерно 80 — 60% жадеитового компонента) была предположена одним из авторов (¹) на основании минералогических

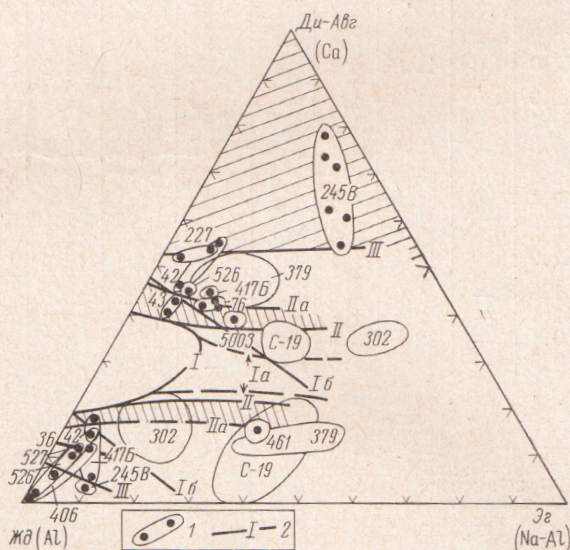


Рис. 1. Составы сосуществующих пироксенов и гра-ницы поля несмеси-мости (I—III) для разных пород. Объяснения в тексте. 1 — проанализированные со-ставы и поле составов зональных пироксенов; 2 — границы поля несмеси-мости по разным данным

наблюдений в жадеитовых телах в гипербазитах (наличия здесь сосуще-ствующих пироксенов) и статистической обработки анализов жадеитовых пироксенов.

Как свидетельствуют экспериментальные (⁸) и минералогические (^{4,9}) данные, границы поля несмеси-мости в треугольнике Са-пироксен — жаде-ит — эгирин (рис. 1) будут различными для разных физико-химических условий. Однако правильное представление об этих закономерностях можно получить только на основании анализов сосуществующих пироксе-нов (с учетом их зональности) на микрозонде.

Такие анализы сосуществующих Na — Са-пироксенов и отдельных их зон, выполненные нами на микрозонде MS-46 «Самеса», приведены в: табл. 1. Для сравнения даны три химических анализа пироксенов из тех

Состав сосуществующих жадеитовых пироксенов (%)

№ обр.		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Сумма		
36—43	{	36 (1)	59,4	0,0	24,4	0,4	0,3	0,0	0,12	0,4	14,9	—	99,92	
		36 (1) *	58,87	0,34	21,60	1,44	0,45	0,01	1,66	2,77	12,79	0,08	100,01	
		43 (2) *	56,59	0,10	13,71	2,35	1,35	0,10	6,75	10,32	8,77	0,10	100,14	
		43 (2a)	57,5	0,03	11,2	2,7	0,8	0,23	8,3	12,4	7,73	—	100,89	
42 (74)	{	1	59,2	0,0	19,4	1,8	—	0,08	2,9	4,1	13,1	—	100,58	
		2a	55,6	0,0	11,0	2,2	2,0	0,04	7,6	12,8	7,65	0,0	98,89	
		2	54,7	0,0	8,1	3,2	3,2	0,04	8,9	15,0	6,2	0,0	99,34	
76	{	2 *	55,65	0,06	10,0	5,52	2,66	0,16	6,37	10,15	7,82	0,19	99,58	
		2	56,5	0,05	10,2	5,05	1,1	0,23	7,0	12,2	8,3	—	100,63	
		2a	56,2	0,15	11,0	4,3	0,8	0,23	7,4	11,6	8,7	—	100,38	
4176	{	1	58,2	—	21,1	3,8	0,65	0,04	0,4	1,3	14,5	—	99,99	
		1a	58,2	—	18,4	1,2	2,5	0,09	1,8	4,6	11,6	—	98,39	
		2	53,8	—	9,9	4,7	5,5	0,15	4,8	11,4	7,8	—	98,05	
406	{	1	59,2	0,0	24,9	—	0,03	0,0	0,07	0,1	15,5	—	99,80	
		1a	58,0	0,0	20,4	2,3	—	0,07	2,5	3,3	13,6	—	100,17	
		{	Трем Гл	56,7	0,0	2,2	5,4	—	0,02	21,0	11,0	2,4	(H ₂ O) (2,0)	100,72
				58,0	0,0	11,0	4,2	—	0,02	14,4	1,2	9,5	(2,0)	100,32
526	{	1	58,9	0,0	22,3	1,1	—	0,03	1,7	1,4	14,4	—	99,83	
		1a	59,1	0,0	20,4	1,1	0,2	0,03	2,3	3,3	13,9	—	100,33	
		2	56,3	0,0	10,9	2,3	0,4	0,07	8,5	12,3	8,1	—	98,87	
527	{	1	59,5	0,0	24,7	—	0,15	0,0	0,14	0,25	15,4	—	100,14	
		1a	59,4	0,0	21,3	1,1	0,5	0,0	1,7	2,7	12,4	—	99,1	
227	{	2	56,8	0,0	8,3	3,6	0,6	0,1	9,8	14,1	6,4	—	99,7	
		2a	57,9	0,0	10,9	1,1	2,0	0,03	8,9	12,8	7,0	—	100,63	
245B	{	2	51,6	—	1,0	5,2	15,8	0,0	4,35	18,6	2,9	—	99,45	
		2a	52,1	—	2,7	11,4	8,1	—	4,37	13,9	6,1	—	99,67	
		1a	60,1	—	20,4	3,9	0,15	—	0,44	0,8	14,2	—	99,99	
		1	59,3	—	23,8	1,5	—	—	0,13	0,26	14,2	—	99,19	

Примечание. Анализы, отмеченные звездочкой, — химические; остальные выполнены на микрозонде. Содержания Fe₂O₃ в анализах на микрозонде определены по соотношению Na — Al (в формуле). Колебания Na₂O в обр. № 36(1) 15,7—12,3%, в обр. № 43(2) 8,8—7,7%. Данные для 1, 1a относятся к жадеиту; для 2, 2a — к Са-пироксену; в анализах 1a и 2a исследованы края зерен или соприкасающиеся зерна с минимальным разрывом смешимости. Соотношения пироксенов в обр. №№ 42(74); 526; 527; 245в видны на рис. 2, соотношения в обр. №№ 36—43 аналогичны обр. № 526; в обр. №№ 76 и 227 зональный диопсид-жадеит присутствует в массе альбита или анальцима вместе с мелкими зернами жадеита, аналогичного обр. №№ 36 и 527; в обр. № 4176 «глазки» жадеита пемантируются диопсид-жадеитом и альбитом, а в обр. № 406 — анальцимом, альбитом, тремолитом (Трем) и глаукофаном (Гл). Обр. №№ 36—43; 42(74); 76 — из жадеитовых пород в серпентинитах Борусского массива, р. Кантегир и ключ Кашкарак, Западный Саян; обр. №№ 4176; 406 — в серпентинитах Кентерлауского массива, Северное Прибалхашье; обр. №№ 526; 527; 227 — Полярный Урал, ручей Левый Кечь-Пель; обр. № 245в — сланец-диафорит по жадеитовой породе, включение в серпентинитах хр. Борус.

же пород, из них №№ 36 и 43 использованы нами ранее (^{1, 2}). Методика анализов на микрозонде аналогична ранее опубликованной (^{6, 7}). Как видно из табл. 1, сумма окислов в анализах находится в пределах 98,1—100,9 вес. % (только в 6 случаях из 25 выходит за пределы 99,0—100,6%), а сумма катионов лишь в 1 случае из 25 выходит за пределы интервала 3,95—4,05. Эти данные свидетельствуют о достаточно высоком качестве анализов. Некоторое его ухудшение наблюдается лишь при исследовании узких зон (1a или 2a в табл. 1), в которых сделано небольшое (2—3) число отсчетов.

Большинство проанализированных образцов относится к метасоматическим жадеитовым телам в гипербазитах Западного Саяна (хр. Борус), Северного Прибалхашья и Полярного Урала. Их более полная характеристика опубликована в (^{2, 3}). О наличии именно разрыва смешимости, а не простой зональности в проанализированных образцах свидетельствуют

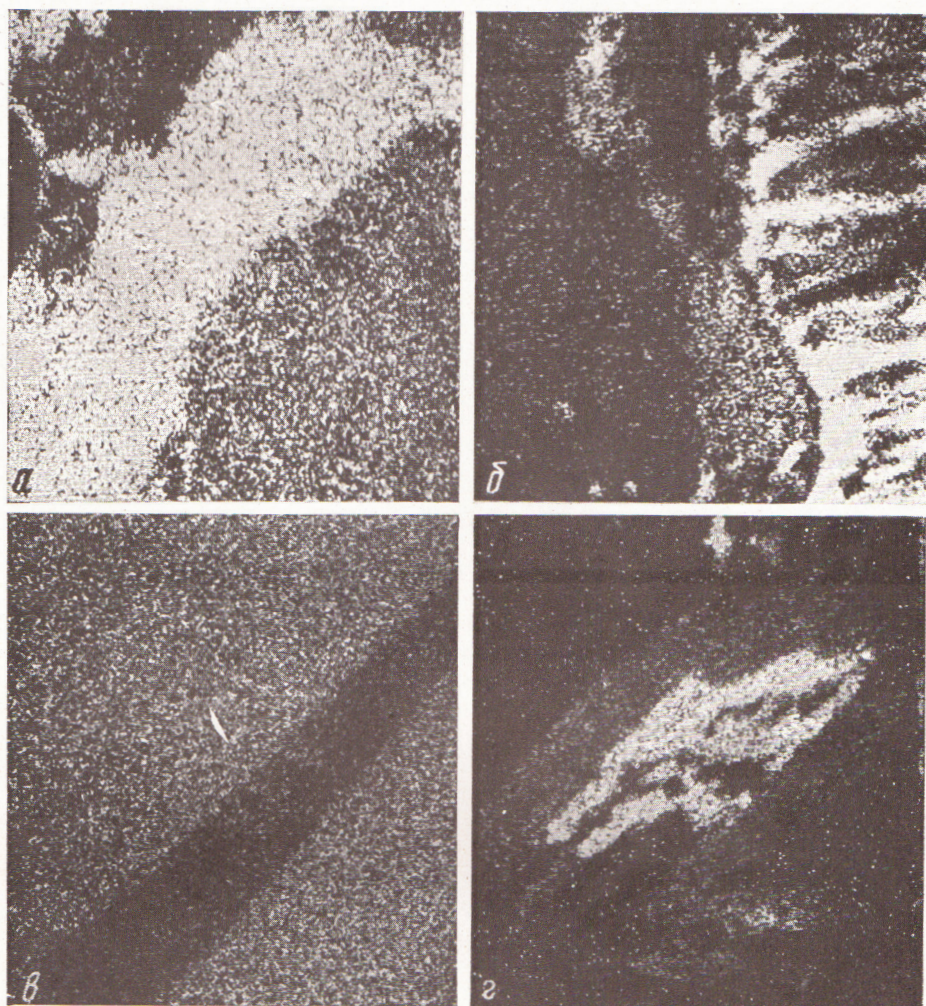


Рис. 2. Снимки двухпироксеновых сростаний на рентгеновском микроанализаторе: *а* — *в* — в излучении $\text{CaK}\alpha_1$, *г* — $\text{FeK}\alpha_1$. *а* — обр. № 528, Полярный Урал, $100 \times 100 \mu$, жадеит (серое), диопсид-жадеит (белая кайма); *б* — обр. № 527, Полярный Урал, $150 \times 150 \mu$, зональный жадеит (слева), игольчатая кайма диопсид-жадеита (белое) с анальцимом (черное); *в* — обр. № 42 (74), Западный Саян, $200 \times 200 \mu$, параллельно-шестоватое сростание жадеита (темное) и диопсид-жадеита; *г* — обр. № 245в, Западный Саян, $300 \times 300 \mu$, в центре эгирин-геденбергит (белое) с каймой жадеита (серое) в массе анальцима и альбита

следующие признаки: 1. Резкая граница между сосуществующими пироксенами как при оптическом наблюдении в шлифах, так и на снимках на микрозонде в лучах Са или Fe (рис. 2). 2. Закономерная повторяемость составов сосуществующих пироксенов в разных зернах и разных образцах (см. табл. 1 и рис. 1). 3. Наличие не только зональных, но и сосуществующих в одном шлифе двух пироксенов, в виде параллельно-шестоватых жилок (обр. № 42) или отдельных зерен в массе пород (обр. №№ 76; 227; 245в). В большинстве образцов наблюдается более позднее образование диопсид-жадеита в виде каемок или цементирующей массы (обр. № 417б) вокруг жадеитовых зерен, а также в виде жилок или агрегатов в ассоциации с альбитом, слюдой, канкринитом или анальцитом, тремолитом, отчетливо замещающими жадеит. При таких вторичных изменениях (¹⁻³) жадеит изменяет свой состав, обогащаясь Са-компонентом, пока не появляется второй пироксен — диопсид-жадеит, равновесной с которым можно считать внешнюю кайму оставшегося жадеита (рис. 2а, б). Однако в обр. № 42, где оба пироксена сосуществуют в параллельно-шестоватых жилках (рис. 2е), а также, вероятно, в обр. №№ 36 — 43 оба пироксена образовались одновременно; в образце же № 245в, близком по условиям образования к глаукофановым сланцам, жадеит, наоборот, обрастает Са-пироксен или присутствует в виде самостоятельных зерен (рис. 2г, см. также рис. 18 в (²)).

Как видно из табл. 1 и рис. 1, большинство сосуществующих пироксенов в жадеитовых породах из гипербазитов имеют близкий состав и соответствуют линии IIа поля несмесимости, а также близкой линии II, намеченной нами ранее (⁴) на основании опубликованных химических анализов, но не противоречат и линии Ib, намеченной в работе (⁴). В пироксенах, приведенных в табл. 1, содержание прочих компонентов очень невелико, так что количество Са-компонента мы могли принять равным соотношению Са/(Na + Са) (в формуле), а эгирина — величине Na/Al в единицах кристаллохимической формулы, как и в работе (⁹). Важно подчеркнуть, что, по всем данным, границы поля несмесимости в области составов, бедных эгирином, почти совпадают и соответствуют интервалу между пироксенами Жд₁₅₋₂₀ и Жд₆₀₋₅₅.

Однако в Калифорнии для пироксенов францисканского комплекса линия I, по данным (⁴), в целом показывает более узкий интервал несмесимости, быстро выклинивающийся в сторону эгириновых пироксенов. Правда, надо учесть вероятную ошибку частичных анализов и единичных отсчетов в (⁹), а также возможность получения промежуточных отсчетов на границе двух сосуществующих пироксенов. Поэтому мы провели на рис. 1 другой возможный вариант границы (IIа) по данным (⁹), но без учета отдельных выпадающих точек. Но и в этом случае интервал несмесимости в области составов с содержанием эгирина более 20% очень узкий, в частности для обр. № С-19 из Вард-Крик и обр. № 302 из Вэлли Форд, показанных на рис. 1; для обр. № 425-8 из Новой Каледонии несмесимость в этой области вообще отсутствует. Это можно объяснить повышением температуры, так как составы, ограничивающие линию I, относятся в основном к эклогитам и диафторитам по ним, содержащим ассоциацию с Са-альмандином. К этой же линии близки составы пироксенов из кварц-альмандин-жадеитовых пород Колумбии (¹⁰). Однако в других породах со сходными ассоциациями, например в максютовском комплексе Южного Урала, картина несколько другая. Здесь известны эгири-жадеитовые пироксены, бедные Са, и кальцевые омфаны и хлоромеланиты, а промежуточные составы, даже при исследовании на микрозонде, не обнаружены; два таких, возможно предельных, пироксена — №№ 5003 и 161 по данным (⁵) показаны на рис. 1. Вероятно, кроме температуры, определенное влияние оказывает также соотношение Fe²⁺ и Fe³⁺ (т. е. содержание геденбергита), которое для относительно железистых пироксенов оказывается очень переменным и зависит от потенциала кислорода и натрия.

На основании обр. №№ 245в и 227, где пироксены ассоциируют с анальцитом и кварцем, и некоторых других составов из низкотемпературных глаукофановых сланцев можно предварительно наметить линию *III*, соответствующую более низким температурам, чем линии *I* и *II*. Сюда могут быть отнесены сосуществующие жадеит и «авгит» (вероятно, содержащий жадеит) из метагаббро в районе Сибукава, Япония (⁴¹), жадеитовые пироксены из глаукофановых сланцев Пенжинского пояса (неопубликованные данные авторов), диопсид-жадеит № 265в из ассоциации с анальцитом (³); сюда же отклоняется жадеит обр. № 406 (табл. 1) из более редкой ассоциации с анальцитом, в которой диопсид-жадеит заменен тремолитом и глаукофаном, анализы которых также приведены в табл. 1. В большинстве перечисленных случаев анализы сосуществующих пироксенов отсутствуют (имеются лишь анализ одного из них и (или) рентгеновские и оптические определения), поэтому положение линии *III* намечено лишь предварительно.

Таким образом, в целом можно считать установленной закономерность, согласующуюся с теорией, что с повышением температуры интервал несмесимости в ряду Na — Ca-пироксенов уменьшается. Кроме того, определенное влияние могут оказывать содержание геденбергита (или соотношение Fe^{2+} и Fe^{3+} в пироксене), зависящее от потенциала кислорода и натрия, а также величина давления, хотя оценить их влияние пока трудно.

Институт геологии и геофизики
Сибирского отделения Академии наук СССР
Новосибирск

Поступило
27 IV 1970

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Н. Л. Добрецов, ДАН, 146, № 3 (1962). ² Н. Л. Добрецов, В кн. Матер. по экспериментальн. и генетич. минералогии, 1, Новосибирск, 1963, стр. 242. ³ Н. Л. Добрецов, Л. Г. Пономарева, там же, 3, 1965, стр. 178. ⁴ Р. Коулмен, Дж. Кларк, В кн. Проблемы петрологии и генетич. минералогии, 2, «Наука», 1970, стр. 44. ⁵ В. И. Ленных, Путеводитель Урал-Тауской экскурсии, Уфа, 1969. ⁶ В. С. Соболев и др., ДАН, 188, № 5, (1969). ⁷ Н. В. Соболев и др., ДАН, 189, № 1 (1969). ⁸ P. M. Bell, B. T. C. Davis, Carnegie Inst. Year Book, 65, 239 (1966). ⁹ E. I. Essene, W. S. Fyfe, Contr. Mineral. Petrol., 15, 1 (1967). ¹⁰ D. H. Green et al., Am. Mineralogist, 53, 1320 (1968). ⁴¹ Y. Seki et al., Am. Mineralogist, 45, 668 (1960).