

УДК 549.632+55/.25

МИНЕРАЛОГИЯ

Г. Г. ЛЕПЕЗИН, Л. М. КРИВОПУЦКАЯ, Д. К. АРХИПЕНКО,
Г. М. РЫЛОВ

КОРДИЕРИТ — ПОКАЗАТЕЛЬ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

(Представлено академиком В. С. Соболевым 30 XI 1971)

Природные кордиериты встречаются в различных структурных состояниях, на что впервые было обращено внимание в работах (^{8, 9}) в связи с открытием индиалита. Между гексагональным индиалитом и его химическим аналогом — ромбическим кордиеритом существует полный ряд переходных структурных форм, степень различия которых характеризуется

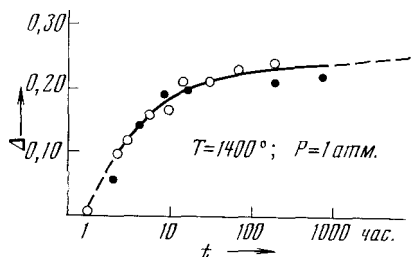


Рис. 1

ся величиной показателя искажения $\Delta = 2\theta_{131} - (2\theta_{511} + 2\theta_{421}) / 2$, где θ — брегговский угол для $\text{Cu } K_{\alpha}$ -излучения. В индиалите эти пики, соответствующие рефлексам 131, 511 и 421, сливаются в единый 2131-рефлекс ($\Delta = 0$).

Специальными структурными исследованиями показано (^{5, 7}), что показатель искажения Δ является не только функцией степени упорядочения Si^{+4} , Al^{+3} в кольцах $\text{AlSi}_5\text{O}_{18}$ и Al^{+3} , (Mg^{+2} , Fe^{2+}) между кольцевыми радикалами, но зависит и от других факторов. Так, индиалит из Бокаро Индии (по $\Delta = 0$ полностью неупорядоченный) оказался частично упорядоченным. В другом случае одинаковую степень упорядочения показали кордиериты с $\Delta = 0,12$ и $\Delta = 0,24$. В целом проблема взаимоотношений кордиерита с индиалитом во многом напоминает проблему взаимоотношений микроклина с санидином.

При экспериментальных исследованиях (^{10, 11}) кордиерит с низким значением Δ получался как первая, метастабильно кристаллизующаяся его разновидность. Образующийся таким образом «высокий» кордиерит ($\Delta = 0$) при длительном тепловом воздействии постепенно переходит в промежуточный ($\Delta = 0,20$), а затем в «низкий» или «глубинный» кордиерит. При этом величина показателей искажения определяется температурой (T), продолжительностью эксперимента (t) и менее определенно — давлением (P). Зависимость Δ от t наглядно видна на рис. 1, а также из табл. 1, где приведены усредненные значения T , P , Δ и t , выведенные из данных (^{6, 10, 11}).

В этой статье авторы, в соответствии со схемой фаций (¹), анализируют и сопоставляют кордиериты эпидот-амфиболитовой, амфиболитовой и двупроксеновой фаций. Описание и анализ кордиеритов других генетических типов (из пегматитов, ксенолитов, пород контактового метаморфизма и т. д.) предполагается дать в специальных работах.

Всего отобрано 76 определений показателей искажения кордиеритов, из них 22 из литературных данных. Пределы колебания Δ и их средние значения по фациям даны в табл. 2.

Здесь же приведены показатели искажения для кордиеритов Тонгулакского комплекса, относящегося к области повышенных давлений анда-

лузит-силлиманитового типа и детализированного по метapelитам на зоны А, Б, В и Г (^{2, 3}) согласно равновесиям: $Kв + Хл + Му$ (зона А) $\rightarrow$ Би + Корд + Гр + H_2O (зона Б), $Му + Корд + Гр \rightarrow Kв + Ст + Би + H_2O$ (внутри зоны Б), $Му + Корд + Ст$ (зона Б) $\rightarrow Kв + Силл - Анд + Би + H_2O$ (зона В), $Kв + Ст + Му \rightarrow Би + Гр + Силл + H_2O$ (внутри зоны В) и $Kв + Ст$ (зона В) $\rightarrow$ Корд + Гр + Силл + H_2O (зона Г). Последняя зона является переходной от эпидот-амфиболитовой к амфиболитовой фации. 10 определений показателей искажения получены для кордиеритов из метаморфических пород Южно-Чуйского хребта (образцы из коллекции С. В. Мельгунова). Эти кордиериты характеризуют поле устойчивости парagenезиса Силл + Му и по температуре образования сопоставимы с кордиеритами зоны В Тонгулакского комплекса. В табл. 2 приведены также приближенные температурные оценки границ фаций и зон и их средние значения.

Значимые различия устанавливаются (применялись критерии Фишера — Стьюдента, а при малой выборке — Вилкоксона (⁴)) между кордиеритами фации двупироксеновых гнейсов и эпидот-амфиболитовой, эпидот-амфиболитовой и амфиболитовой, амфиболитовой и кордиеритами зон В и Б, а также между зонами Г и Б, В и Б. Различия незначимы для кордиеритов двупироксеновой и амфиболитовой, амфиболитовой и зоной Г, а также между зонами Г и В. Иными словами, различия существенны при сопоставлении кордиеритов через фацию или зону, и они не выявляются для соседних подразделений. Общая же картина распределения средних значений Δ в порядке понижения температуры выглядит следующей: двупироксеновая фация — $\Delta = 0,28$; амфиболитовая — $\Delta = 0,27$; зона Г — $\Delta = 0,25$; зона В — $\Delta = 0,24$; зона Б — $\Delta = 0,19$; самый низкотемпературный кордиерит, встреченный нами на границе зон А и Б (у изограны кордиерита), — $\Delta = 0,11$.

С учетом приведенных данных, а также материала табл. 1 и 2 построен в координатах $T - \Delta$ серия кривых (рис. 2), отражающих зависимость показателей искажения от температуры при постоянных параметрах времени и давления; в верхней части рис. 2 нанесены точки значений для $t = 1; 10; 100; 1000$ и 10000 час., снятые с диаграммы рис. 1 для $T_{const} = 1400^\circ$. В области низких значений Δ расположена линия зависимости Δ от T при $t = 1,75$ час. и $P = 3,5$ кбар. Далее в направлении оси Δ следуют кривые для $t = 75$ час. и $P = 3,0$ кбар, $t = 1163$ час. и $P = 3,2$ кбар. Крайнее положение здесь занимают статистическая кривая для кордиеритов регионально-метаморфических пород и совпадающая с ней линия кордиеритов Тонгулакского комплекса ($t = X$). Первые три кривые, интерполированные в область высоких температур, попадают в район 10; 100 и 1000 час. для $T = 1400^\circ$, что более или менее совпадает с их собственными значениями. В целом кривые постоянного времени имеют изгиб в области низких температур и начиная примерно с 700° становятся пря-

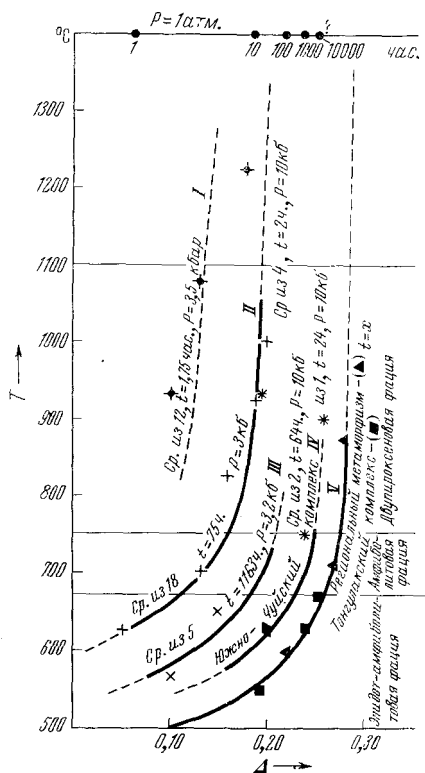


Рис. 2

Таблица 1*

$T - T_n$	T_{cp}	$P_1 - P_n$	P_{cp}	$t_1 - t_n$	t_{cp}	$\Delta_1 - \Delta_n$	Δ_{cp}	n
900—950	933	2—5	3,5	1/2—5	1,75	0,04—0,15	0,08	3
1050—1100	1085	—	—	—	—	0,15—0,20	0,17	7
1200—1250	1225	—	—	—	—	0,16—0,20	0,18	2
600—650	625	2—5	3	24—168	75	0,04—0,05	0,05	2
700—700	700	—	—	—	—	0,10—0,18	0,13	5
800—850	825	—	—	—	—	0,12—0,20	0,16	6
900—950	925	—	—	—	—	0,17—0,21	0,19	4
	1000	—	—	—	—		0,20	1
550—600	567	2—5	3,2	520—1704	1163	0,04—0,14	0,10	3
650—650	650	—	—	—	—	0,10—0,20	0,15	2
700—800	750	10	10	64	64	0,23—0,25	0,24	2
	900	—	—	24	24		0,26	1
900—950	925	—	—	2	2	0,18—0,20	0,19	4

* Здесь и в табл. 2 (1— n) — крайние значения, T — температура (°C), P — давление (кбар), t — время (час.), Δ — показатель искажения (град.), n — число определений.

Таблица 2

Фации и зоны	$T_{ниж}$	$T_{верх}$	T_{cp}	$\Delta_1 - \Delta_n$	$\bar{X}$	n	S^2
Двупироксеновая	750	1000	875	0,24—0,31	0,28	28	0,0004
Амфиболитовая	670	750	710	0,24—0,31	0,27	11	0,0006
Эпидот-амфиболитовая	500	670	585	0,11—0,28	0,22	37	0,0014
Тонгулакский комплекс							
Зона Г	660	680	670	0,20—0,31	0,25	7	0,0011
Зона В	600	660	630	0,21—0,28	0,24	10	0,0005
Зона Б	500—600		550	0,11—0,21	0,19	4	0,0028
Южно-Чуйский комплекс							
Силл + Му	600	660	630	0,14—0,26	0,20	10	0,0014

мыми, параллельными оси T , т. е. процесс изменения показателей искажения кордиеритов происходит главным образом в интервале эпидот-амфиболитовой фации.

Таким образом, при переходе от низких значений Δ к высоким (на рис. 2 слева направо) происходит закономерное смещение кривых постоянного времени от минимального для t , приближающегося к 0, до максимального, отвечающего времени образования кордиерита с показателями искажения, равными 0,31, — это наивысшие значения Δ , описанные в литературе для регионально-метаморфических пород.

Особое положение здесь занимают кордиериты из метаморфических пород Южно-Чуйского хребта. Будучи сопоставленными по ряду признаков с метаморфическими породами Тонгулакского комплекса (³), эти породы по среднему значению $\Delta = 0,20$ попадают на кривую, резко сдвинутую в область низких значений Δ от статистической кривой регионального метаморфизма. Это говорит о том, что образование кордиеритов Южно-Чуйского хребта произошло за отрезок времени, не менее чем на порядок меньший времени образования кордиеритов Тонгулакского комплекса.

Приведенная на рис. 2 диаграмма кривых постоянного времени построена при многих допущениях. Для кривых низких значений времени использованы экспериментальные данные по магнезиальным кордиеритам. В статистическую же обработку включены природные кордиериты заведомо разного химического состава, образовавшиеся при различных

режимах P , составах флюида и т. д. Насколько эти факторы влияют на показатели искажения, остается нерешенным. В связи с этим представленная диаграмма является всего лишь приближенным вариантом, демонстрирующим принципиальную сторону вопроса использования показателей искажения кордиеритов для установления продолжительности процессов природного минералообразования, без знания которых в настоящее время вряд ли возможны обоснованные модельные построения.

В заключение авторы приносят благодарность В. И. Кицулу, Е. А. Кулишу, Б. Г. Лутцу, С. В. Мельгунову и В. П. Серенко, любезно предоставившим свои коллекции кордиеритов из метаморфических пород Алданского, Анабарского щитов, Енисейского края и Южно-Чуйского хребта.

Поступило
16 XI 1971

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Н. Л. Добрецов, В. В. Ревердатто и др., Фации метаморфизма, 1970.
² Г. Г. Лепезин, Метаморфизм эпидот-амфиболитовой фации на примере Тонгулакского комплекса (Горный Алтай), «Наука», 1972. ³ Г. Г. Лепезин, Геология и геофизика № 5 (1972). ⁴ В. Ю. Урбах, Биометрические методы, «Наука», 1964.
⁵ G. V. Gibbs, Am. Mineral., 51, № 7 (1966). ⁶ K. Langer, W. Schreyer, Am. Mineral., 54, № 9—10 (1969). ⁷ E. P. Meagher, G. V. Gibbs, Geol. Soc. Am. Spec. Papers, № 87 (1966). ⁸ A. Miyashiro, T. Iiyama et al., Am. J. Sci., 253, № 4, 185 (1955). ⁹ A. Miyashiro, Am. J. Sci., 255, № 1, 43 (1957). ¹⁰ W. Schreyer, I. F. Schairer, J. Petrol., № 2 (1961). ¹¹ W. Schreyer, H. S. Yoder, Neues Jahrb. Mineral. Abhandl., 101, H. 3 (1964). ¹² W. Schreyer, Neues Jahrb. Mineral. Abhandl., 105, H. 3 (1966).