

УДК 549.611.21+552.18

МИНЕРАЛОГИЯ

К. Б. КЕПЕЖИНСКАС, В. Н. КОРОЛЮК

ПРЕДЕЛЫ КОЛЕБАНИЙ СОСТАВА СТАВРОЛИТОВ ИЗ ТИПИЧНЫХ МЕТАПЕЛИТОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ МЕТАМОРФИЗМА

(Представлено академиком В. С. Соболевым 19 VI 1972)

Ставролит — весьма широко распространенный минерал высокоглиноземистых пород среднетемпературных фаций. Температурный интервал его устойчивости практически тождествен температурному интервалу эпидот-амфиболитовой и дистен-сланцевой фаций⁽¹⁻³⁾. Анализ парогенезисов ставролита посвящено большое число работ^(3, 5, 8-10). Установлены колебания его состава — по железистости от 60 до практически 100 ат.%, а также некоторые вариации в содержании ОН-групп и отношение Al/Si. Однако до сих пор слабо изучен вопрос о зависимости пределов колебания составов ставролита от *PT*-условий. Эта задача представляет интерес в связи с проблемой подразделения среднетемпературных фаций, а в первую очередь — с необходимостью более детальных оценок давления при метаморфизме.

Целью данной работы и является решение именно этого вопроса на основе статистической обработки 150 анализов, включая как оригинальные, так и литературные данные. Фациальные подразделения соответствуют принятой нами схеме метаморфических фаций^(1, 2); ди- и моновариантные ассоциации и изограды используются в соответствии с построенной ранее принципиальной *PT*-диаграммой для среднетемпературных метапелитов⁽³⁾.

Следует подчеркнуть, что находки ставролита в бескварцевых породах весьма редки. Несравненно более важен вопрос о пределах колебания его состава в зависимости от *PT*-условий в ассоциации с кварцем + мусковитом. Приводимые ниже данные касаются именно этих ассоциаций.

Главным переменным параметром состава ставролитов является железистость $(\text{Fe}^{3+} + \text{Fe}^{2+} + \text{Mn})/(\text{Fe}^{3+} + \text{Fe}^{2+} + \text{Mn} + \text{Mg})$. Обращают на себя внимание также широкие пределы колебания ОН-групп и отношения Al/Si. Эти три переменные и будут рассмотрены нами ниже.

В табл. 1 приведена средняя железистость ставролита и интервалы колебания железистости в ряде ассоциаций из разных типов метаморфизма по давлению. Взаимоисключающими парами в соответствии с⁽³⁾ являются ассоциации 2—3; 4—6, а для ассоциации 1 — Хд + Хл (данные по *F* в разных типах метаморфизма для этой ассоциации практически отсутствуют). С использованием материалов табл. 1 построена диаграмма (рис. 1), отражающая интервалы колебания железистости ставролита на разных температурных ступенях и в зависимости от давления при метаморфизме. Два выделенных поля отвечают средним значениям давления для андалузитового и дистенового типов соответственно. Очевидно, что при промежуточных давлениях область возможных составов ставролита также занимает промежуточное положение. Изограды на рис. 1 проведены в последовательности, указанной в⁽³⁾. Из-за небольшого количества данных более низкотемпературная часть рисунка менее обоснована, особенно для дистенового типа метаморфизма. Ограничительные линии для состава ставролита отвечают условно моновариантным реакциям при $F_{\text{ст}} = \text{const}$. В этом случае,

зная соотношения составов соответствующих фаз, можно записать реакции и определить знак наклона ограничительных линий по отношению к температурной оси, исходя из обычных представлений о реакциях дегидратации.

Основные выводы, вытекающие из рис. 1, сводятся к следующему.

1. Как в дистеновом, так и в андалузитовом типах метаморфизма наибольшим интервалом устойчивости по температуре обладают ставролиты некоторой промежуточной железистости. Как с повышением, так и с понижением температуры интервалы колебаний железистости ставролита сужаются (до выклинивания при разных значениях в зависимости от давления).

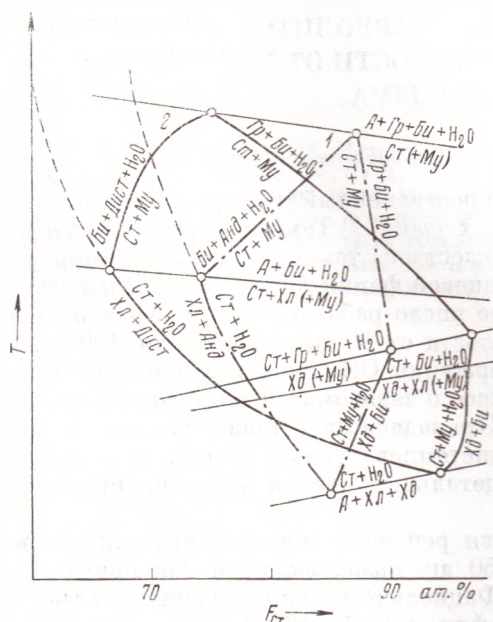


Рис. 1. Интервалы колебания железистости ставролита на разных температурных ступенях и в зависимости от давления при метаморфизме. 1 — андалузитовый тип метаморфизма, 2 — дистеновый тип

2. В высокотемпературной области железистость такого «предельного» ставролита больше в андалузитовом типе, а в низкотемпературной области соотношения обратные.

3. Моновариантный парагенезис Сил + Ст + Гр + Би (+ Му, Кв) может быть использован в диагностических целях при оценке давления по железистости ставролита, когда ни дистен, ни андалузит не отмечены.

4. Железистость ставролита в ассоциациях без мусковита как в андалузитовом, так и в дистеновом типах метаморфизма может иметь более низкие значения, что показано на рис. 1 штриховыми линиями (особенно при несколько повышенных температурах).

Находки более магниезальных ставролитов (6, 7) относятся именно к таким случаям.

5. Два показанных поля составов отвечают «средним» давлениям для андалузитового и дистенового типов метаморфизма. Ориентируясь на их взаимное положение, легко заключить, как должно смещаться соответствующее поле при тех или иных изменениях реальных давлений.

6. Как видно из диаграммы, поле возможных составов ставролита в целом сужается с понижением давления.

Все сформулированные выводы хорошо согласуются с экспериментальными и минералогическими данными.

В отношении других переменных (ОН-группы и Al/Si) картина менее определена и ясна. В табл. 2 приведены средние значения и средние квадратические отклонения для содержания ОН-групп (при пересчете анализов ставролитов на 24 O^{2-}) и для отношения Al/Si (атомные количества) во взаимоисключающих ассоциациях (табл. 2, ассоциации 1—3; 4—5), а в табл. 3 — те же данные для одинаковых ассоциаций, но в разных типах метаморфизма по давлению. Сравнение средних значений при помощи t -критерия показало, что для ОН-групп ни по давлению, ни по температуре значимых различий нет. Для отношения Al/Si такое сравнение обнаружило различия с вероятностью больше 95% как в отношении температуры (табл. 2, ассоциации 1—3: $t \sim 3,0$, $t_{01} = 2,75$; 4—5: $t \sim 3,2$, $t_{01} = 2,64$), так и в отношении давления (табл. 3, ассоциации 3—4: $t \sim 2,04$, $t_{05} = 2,01$).

Однако эти различия нельзя уверенно связать с влиянием *PT*-условий на изоморфизм $Al \rightleftharpoons Si$.

Во всех упомянутых парагенезисах в случае пониженного среднего значения до $\frac{1}{3}$ общего количества анализов составляют данные со значениями $Al/Si \leq 2,0$ ($Si \geq 4,0$ на $24 O^{2-}$), для которых сами авторы ((⁸) и др.) отмечают наличие постоянной примеси кварца в виде мельчайших пойкилитовых вrostков. При этом было замечено, что в анализах ставролитов из приблизительно одинаковых ассоциаций для одного и того же района

Таблица 1

№ п. п.	Ассоциация	Тип по Р	$F = (Fe^{3+} + Fe^{2+} + Mn) / (Fe^{3+} + Fe^{2+} + Mn + Mg), \text{ ат. } \%$		N
			интервал	$\bar{x}$	
1	Ст + Би	Дист.	69,1—87,1	78,9	37
		Промежут.	71,8—89,2	81,5	13
		Анд	76,4—88,3	84,2	29
2	Ст + Гр + Би	Дист	69,5—87,1	79,5	34
		Промежут.	79,8—81,0	80,5	3
		Анд	76,5—88,0	84,4	19
3	Ст + Хд	Дист	92,6—95,8	94,3	4
		Анд	83,8—85,7	84,9	3
4	Ст + А + Би	Дист	69,5—80,8	77,5	8
		Промежут.	77,9—84,5	80,8	4
		Анд	86,0—88,3	87,3	10
5	Ст + А + Би + Хл	Дист	69,1—81,9	78,0	10
		Анд	80,6—81,3	80,8	3
6	Ст + Хл	Дист	74,3—81,4	77,3	4
		Анд	76,5—85,7	82,3	8

Таблица 2

№ п. п.	Ассоциация	$\overline{OH}$	δ_{OH}	n_1	Al/Si	$\delta_{Al/Si}$	n_2
1	Ст + А + Би	1,20	0,56	8	2,30	0,17	23
2	Ст + А + Би + Хл	1,30	0,64	7	2,23	0,26	14
3	Ст + Хл	1,48	0,76	11	2,05	0,28	12
4	Ст + Гр + Би	—	—	—	2,12	0,33	68
5	Ст + Хд	—	—	—	2,30	0,11	8

Таблица 3

№ п. п.	Ассоциация	Тип по Р	$\overline{OH}$	δ_{OH}	n_1	Al/Si	$\delta_{Al/Si}$	n_2
1	Ст + А + Би + Гр	Дист	—	—	—	2,33	0,063	8
2		Анд	—	—	—	2,36	0,053	10
3	Ст + Гр + Би	Дист	1,10	0,56	20	2,14	0,30	34
4		Анд	1,31	0,56	8	2,20	0,28	19

(Камчатка) там, где примеси не указываются (¹¹), минимальные значения Al/Si не опускаются ниже 1,98. Все это с учетом того, что отношение Al/Si не обнаруживает значимых связей ни с показателем преломления (N_g), ни с удельным весом (d), ни с железистостью (F) ставролитов ($r_{N_g \cdot Al/Si} = -0,26, r_{знач} \geq 0,29; r_{d \cdot Al/Si} = -0,02, r_{знач} \geq 0,34; r_{F \cdot Al/Si} = -0,21, r_{знач} \geq 0,29$), дает много оснований полагать, что анализы со значениями отношения $Al/Si < 2,0$ некачественны и обусловлены примесями.

Кварц (и отчасти плагиоклаз) — наиболее обычная примесь в ставролите, от которой очень трудно освободиться. Поэтому, будучи лишены уверенности в отношении Al/Si и (OH), мы в то же время гораздо более определенно можем оперировать данными по железистости ставролитов.

Существует мнение ⁽⁹⁾, что показателем степени метаморфизма может быть содержание Zn в ставролите. Это — по-видимому, в достаточной степени справедливо в пределах какого-нибудь одного района с выдержанным исходным составом толщ. Но в то же время очевидно, что концентрация Zn в ставролите зависит как от условий метаморфизма, так и в не меньшей степени от содержания Zn в породе. По-видимому, ставролит является основным «концентратором» Zn среди силикатов подобно тому, как гранат является «концентратором» MnO. Поэтому в отношении содержания Zn в ставролите справедливы все закономерности, отмеченные для MnO в гранате ^(2, 4).

Институт геологии и геофизики
Сибирского отделения Академии наук СССР
Новосибирск

Поступило
14 VI 1972

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Н. Л. Добрецов, В. В. Ревердатто и др., Фации метаморфизма, 1, 1970.
² Н. Л. Добрецов, В. С. Соболев, В. В. Хлестов, Фации регионального метаморфизма умеренных давлений, 1972. ³ К. Б. Кепежинская, В. В. Хлестов, Зап. Всесоюз. мин. общ., ч. 100, в. 2, 129 (1971). ⁴ К. Б. Кепежинская, ДАН, 203, № 1 (1972). ⁵ С. П. Кориковский, В сборн. Региональный метаморфизм и метаморфогенное рудообразование, 1969. ⁶ С. П. Кориковский, Р. Л. Телешева, ДАН, 191, № 2 (1970). ⁷ Н. И. Московченко, Эволюция процессов метаморфизма Северо-Карельского складчатого пояса, автореф. кандидатской диссертации, 1968. ⁸ В. В. Федькин, Ставролит: состав, свойства, парагенезисы и условия образования, автореф. кандидатской диссертации, М., 1971. ⁹ Ch. V. Guidotti, J. Petrol., 11, Part 2, 277 (1970). ¹⁰ G. Hoeschek, Contr. Mineral. and Petrol., 14, № 2, 123 (1967). ¹¹ M. M. Lebedev et al., Tectonophysics, 4, № 4—6 (1967).