

Ю. В. НАГАЙЦЕВ

О НЕКОТОРЫХ ТИПАХ РЕАКЦИЙ ПРОГРЕССИВНОГО
МЕТАМОРФИЗМА В МЕТАПЕЛИТОВЫХ ПОРОДАХ
(НА ПРИМЕРЕ ЛАДОЖСКОЙ ФОРМАЦИИ)

(Представлено академиком Д. С. Коржинским 14 IX 1971)

При исследовании метаморфической зональности (андалузит-силлиманитового типа) в метапелитовых кварцсодержащих породах ладожской формации были изучены некоторые химические реакции прогрессивного этапа метаморфизма с участием железо-магнезиальных минералов. Кратко остановимся на двух из них: 1) на образовании граната в гранат-биотитовых сланцах и гнейсах, имеющем в Приладожье ряд черт общего значения, и 2) на образовании гранат-кордиеритовых парагенезисов за счет силлиманита и биотита. В породах ладожской формации последнюю реакцию, неоднократно обсуждавшуюся в литературе (¹⁻³), удается проследить в широком температурном интервале, а состав минералов охарактеризовать на разных этапах процесса, что представляет несомненный интерес.

Образование граната в гранат-(ставролит)-биотитовых сланцев и гнейсах по характеру производящих гранат реакций можно подразделить на два этапа. На первом этапе, охватывающем гранатовую, ставролит-андалузитовую и силлиманит-мусковитовую ступени метаморфизма, образование граната (за счет хлорита и мусковита, ставролита и мусковита) сопровождается развитием биотита. Поскольку биотит образуется на этом этапе и в ходе других реакций, его содержание к силлиманит-мусковитовой зоне быстро возрастает и достигает в ней максимальной величины 35 об. % (см. табл. 1). Железистость сосуществующих граната и биотита $f = \text{FeO} / (\text{FeO} + \text{MgO})$ (мол. %) в однотипных ассоциациях с ростом метаморфизма закономерно уменьшается (полные химические анализы приводятся в работах (⁴⁻⁶)). При этом оказывается, что минералы в гранат-биотитовых сланцах ставролит-андалузитовой зоны более железисты по сравнению с гранатом и биотитом гранат-ставролит-биотитовых сланцев (табл. 1, рис. 1), а биотит, помимо того, обладает повышенной глиноземистостью. Видимо, присутствие в породах ставролита — сильного концентратора Al и Fe^{2+} — оказывает существенное влияние на снижение содержания этих элементов. Однако в силлиманит-мусковитовой зоне подобное влияние ставролита незаметно, поскольку гранат-биотитовые и ставролит-гранат-биотитовые ассоциации неизофациальны в узком смысле этого слова. Общим для этого этапа метаморфизма будет возрастание содержания калия в биотите и суммарного содержания $\text{Fe}^{2+} + \text{Mg}$, а также тенденция к снижению Al^{VI} в однотипных ассоциациях.

Переход от силлиманит-мусковитовой зоны в силлиманит-калневополевошпатовую и далее в гиперстентовую сопровождается возрастанием в гранат-биотитовых гнейсах содержания граната при снижении биотита. Этот процесс, отмечавшийся и в других районах (^{7, 8}), в Приладожье является следствием развития граната (при снижении его железистости) за счет биотита. Железистость биотита обнаруживает значительные колебания, сначала несколько повышаясь вследствие изменения минералообразующей реакции, а при переходе от силлиманит-калневополевошпатовой зоны в

Таблица 1

Характеристика состава граната и биотита, рассчитанного на основе 12 (О, ОН, F), из метapelитовых пород ладожской формации

Зона	Парагенезис	Гранат			Биотит											Число обр.
		ср. со- держ., об. %	f, мол. %	число обр.	ср. со- держ., об. %	f, мол. %	элемент. состав, %									
							Si	Al _{общ}	AlVI	Ti	Fe ³⁺	Fe ²⁺	Mg	K		
Гранатовая	Гр + Би + Му + Хл + Пл + Кв	0,5	91,7	1	15—20	54,9	2,71	1,56	0,27	0,10	0,29	1,08	0,89	0,71	1	
Ставролит-андаму- зитовая	Гр + Би + Пл + Кв ± Хл ± Му	} 1,5	90,1	5	} 30	58,2	2,58	1,83	0,41	0,10	0,12	1,23	0,89	0,78	3	
	Гр + Би + Став + Пл + Кв ± Му ± Хл		86,4	4		52,5	2,65	1,76	0,41	0,11	0,14	1,12	1,02	0,78	5	
Силлиманит-мус- ковитовая	Гр + Би + Пл + Кв (+ Спл)	} 3	81,0	4	} 35	47,7	2,59	1,75	0,34	0,10	0,16	1,05	1,15	0,81	3	
	Гр + Би + Став + Сил + Пл + Кв ± Му		82,6	2		50,1	2,62	1,74	0,36	0,10	0,13	1,08	1,07	0,80	2	
Часть силлиманит- калиевополево- шпатовой, погра- ничная с сили- манит-мусковито- вой	Гр + Корд + Би + Сил + КШ + Пл + Кв		81,9	4		54,8	2,66	1,75	0,41	0,18	0,17	1,13	0,93	0,80	3	
Силлиманит-ка- лиевополевошпа- товая	Гр + Би + КШ + Пл + Кв	} 5	77,2	10	} 20	48,6	2,69	1,60	0,29	0,19	0,16	1,10	1,17	0,94	8	
	Гр + Корд + Би + Сил + КШ + Пл + Кв		76,4	4		47,9	2,70	1,63	0,33	0,21	0,14	1,08	1,18	0,93	4	
Гиперстеновая	Гр + Би + КШ + Пл + Кв	} 8	75,3	9	} 15	47,2	2,70	1,55	0,25	0,20	0,13	1,10	1,23	0,90	8	
	Гр + Корд + Би ± Сил + КШ + Пл + Кв		69,5	4		41,1	2,67	1,62	0,29	0,20	0,08	0,95	1,36	0,86	3	

гиперстеновую — незначительно снижаясь (рис. 1). В составе биотита, кроме того, снижается глиноземистость, в основном, как и в других районах (⁹), за счет содержания Al^{VI} , и повышается суммарное содержание $Fe^{2+} + Mg$. Заметное повышение содержания калия в биотитах силлиманит-калиевополевошпатовой зоны сменяется при переходе в гиперстеновую

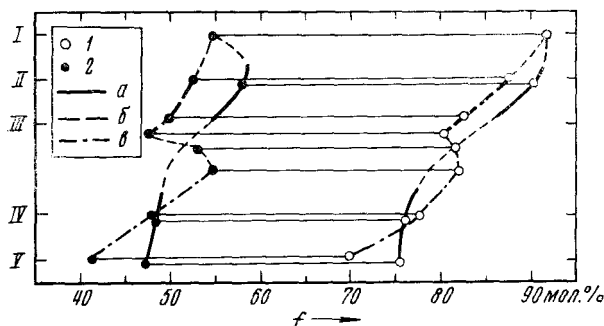


Рис. 1. Характер изменения железистости граната (1) и биотита (2) в метapelитовых породах ладожской формации. а — гранат-биотитовые сланцы и гнейсы, б — ставролит-гранат-биотитовые сланцы, в — гранат-кордиерит-биотитовые гнейсы. Зоны метаморфизма: I — гранатовая, II — ставролит-андалузитовая, III — силлиманит-мусковитовая, IV — силлиманит-калиевополевошпатовая, V — гиперстеновая

зону снижением, вызванным, видимо, переходом калиевополевошпатовой составляющей в процессе селективного плавления в расплав, как это отмечалось в экспериментальных работах (¹⁰). Помимо биотита, в реакции образования граната участвуют плагиоклаз и магнетит (титаномагнетит), нередко встречающиеся в виде «оплавленных» включений в образующемся гранате. Участие плагиоклаза в реакции подтверждается как присутствием его в качестве включений и обеднением этих включений анортитовой составляющей (на 15—20 номеров), так и намечающейся связью известковистости граната и содержания в породе плагиоклаза (и CaO). Участие же рудного минерала отчетливо прослеживается в случае развития граната по биотиту, содержащему пластинчатые выделения магнетита или титаномагнетита (рис. 2). В общем виде реакция образования граната протекает по следующей схеме:

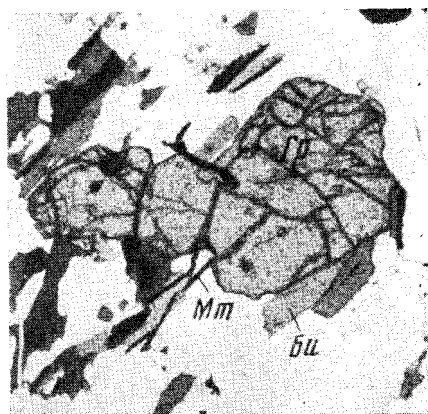
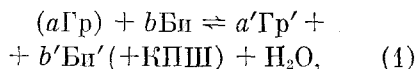
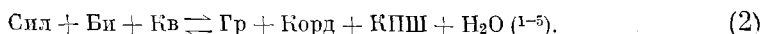


Рис. 2. Развитие граната (Gr) по биотиту (Bt) и магнетиту (Mt)

где всегда $a < a'$ и $b > b'$, поскольку гранат развивается по биотиту, и $f_{Gr} > f_{Gr'}$, а f_{Bt} , как правило, также больше $f_{Bt'}$. Присутствие граната в качестве исходного реагента возможно, но не обязательно, что подтверждается увеличением частоты встречаемости гранатсодержащих пород в пределах силлиманит-калиевополевошпатовой и гиперстеновой зон по сравнению с зонами более слабого метаморфизма.

Поскольку в зонах сравнительно слабого метаморфизма (включая силлиманит-мусковитовую) ассоциация гранат-кордиерит не встречается (¹¹),

хотя и отмечается переслаивание гранат- и кордиеритсодержащих пород, начало образования граната и кордиерита по реакции



достаточно четко устанавливается появлением в силлиманит-калиево-полевошпатовой зоне гранат-кордиерит-биотитовых гнейсов. Переход от (гранат)-силлиманит-биотитовых пород к гранат-кордиерит-биотитовым сопровождается резким повышением железистости биотита и заметным повышением железистости граната, обусловленными образованием кордиерита — преимущественного концентратора магния (рис. 1, табл. 1). В самих гранат-кордиерит-биотитовых гнейсах отмечается последовательное снижение железистости названных минералов. Кроме того, в биотите, аналогично биотитам гранат-биотитовых гнейсов, снижается глиноземистость (при общем более высоком ее значении в биотитах гранат-кордиерит-биотитовых гнейсов) и повышается суммарное содержание $\text{Fe}^{2+} + \text{Mg}$. Более низкая средняя железистость граната и биотита кордиеритсодержащих гнейсов гиперстеновой зоны получается, видимо, вследствие включения в эту группу гранат-кордиерит-биотитового гнейса 186 с очень низко-железистыми гранатом и биотитом ⁽⁴⁾, образовавшегося, видимо, при высокой температуре и более высоком давлении. Расчет величины давления при образовании этой породы по упрощенной формуле, полученной для гранат-кордиерит-биотитовых пород:

$$P \text{ (кбар)} = 25,9 + 2,26 \ln K_{\text{Би}}^{\text{Al}^{\text{IV-VI}} - \text{VI}} + 5,90 \overline{\text{Mg}}_{\text{Гр}} - 11,80 \overline{\text{Al}}_{\text{Би}}^{\text{общ}}$$

$$\text{(где } K_{\text{Би}}^{\text{Al}^{\text{IV-VI}} - \text{VI}} = \frac{\overline{\text{Si}}_{\text{Би}} \text{Al}_{\text{Би}}^{\text{VI}}}{\text{Al}_{\text{Би}}^{\text{IV}} (\Sigma (\text{VI})_{\text{Би}} - \text{Al}_{\text{Би}}^{\text{VI}})}; \overline{\text{Mg}}_{\text{Гр}} = \frac{\text{Mg}}{\text{Mg} + \text{Fe}^{2+} + \text{Mn} + \text{Ca}}; \text{)}$$

$\text{Al}_{\text{Би}}^{\text{общ}}$ — количество общего алюминия в биотите, и все при расчете кристаллохимической формулы биотита на 22 заряда анионов), — дает 6 кбар, тогда как давление при образовании остальных пород составляет $4 \pm 0,8$ кбар.

Таким образом, из проведенного краткого обзора особенностей реакций и состава граната и биотита в различных ассоциациях можно сделать следующее заключение:

1. Железистость граната и биотита с усилением метаморфизма метapelитовых пород снижается; последовательное снижение, особенно для биотита, отмечается только в пределах определенной минеральной ассоциации.

2. Присутствие в широком температурном интервале гранат-кордиерит-биотитовых гнейсов с силлиманитом обусловлено, видимо, близостью термодинамических условий метаморфизма в породах ладожской формации и условий протекания моновариантной реакции ⁽²⁾.

Некоторые из отмеченных особенностей состава минералов имеют общезначимый характер.

Институт земной коры
при Ленинградском государственном университете
им. А. А. Жданова

Поступило
2 IX 1971

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Д. С. Коржинский, Зап. Всесоюз. мин. общ., 65, 2 (1936). ² А. А. Макарушев, Проблемы минеральных фаций метам. и метасом. горных пород, «Наука», 1965. ³ С. П. Кориковский, Метаморфизм, гранитизация и постмагматич. процессы в докембрии Удокано-Становой зоны, «Наука», 1967. ⁴ Ю. В. Нагайцев, В. И. Лебедев, Вестн. Ленингр. ун-в., 18 (1968). ⁵ Н. Г. Судовиков и др., Геологическое развитие глубинных зон подвижных поясов, Наука, 1970. ⁶ В. И. Лебедев и др., Сборн. Минералогия и геохимия, 1 (1964). ⁷ Н. Г. Судовиков и др., Геология и петрология южного обрамления Алданского щита, «Наука», 1965. ⁸ Т. А. Р. Kwak, Contrib. Mineral. Petrol., 26, 3 (1970). ⁹ Н. Л. Добрецов и др., Фации метаморфизма, 1, М., 1970. ¹⁰ Н. Н. Steuhl, Chem. Erde, 21, 3—4 (1962). ¹¹ Ю. В. Нагайцев, Вестн. Ленингр. ун-в., 18 (1965).