

В. С. ШКОДЗИНСКИЙ, В. И. КИЦУЛ

**СООТНОШЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАГНИЯ
В БИОТИТЕ И ГРАНАТЕ С МАГНЕЗИАЛЬНОСТЬЮ ГРАНАТА
И СОДЕРЖАНИЕМ ВОДЫ В БИОТИТЕ
В ВЫСОКОГЛИНОЗЕМИСТЫХ
ГНЕЙСАХ И ИХ ПЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ**

(Представлено академиком В. С. Соболевым 9 VII 1973)

Экспериментальные и петрографические данные свидетельствуют о возможности частичного плавления наиболее кислых по составу пород при высокотемпературном метаморфизме. Следовательно, метаморфические реакции в этих породах могут осуществляться одновременно с реакциями плавления. Возможны два варианта взаимоотношения этих реакций. В случае вполне подвижного поведения воды в породах с избытком кварца и полевых шпатов данные реакции должны быть почти независимы друг от друга. Например, в ассоциациях Би*+Гр+Кор+Ор+Кв+Пл и Би+Гр+Сил+Ор+Кв+Пл при повышении температуры можно ожидать метаморфические реакции с изменением железистости темноцветных минералов типа

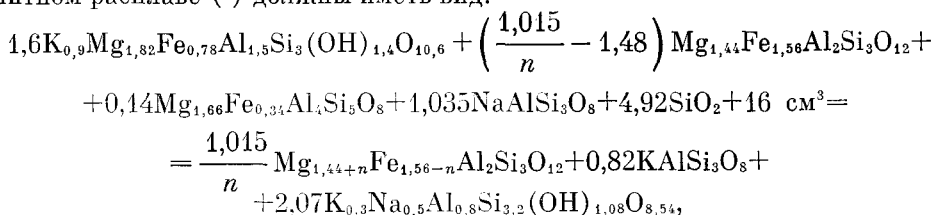
$$\begin{aligned} & 1,6K_{0,9}Mg_{1,82}Fe_{0,78}Al_{1,5}Si_3(OH)_{1,4}O_{10,6} + 0,14Mg_{1,66}Fe_{0,34}Al_4Si_5O_{18} + \\ & + \left(\frac{1,015}{n} - 1,48 \right) Mg_{1,44}Fe_{1,56}Al_2Si_3O_{12} + 3,68SiO_2 = \\ & = \frac{1,015}{n} Mg_{1,44+n}Fe_{1,56-n}Al_2Si_3O_{12} + 1,44KAlSi_3O_8 + 1,12H_2O + 25,7 \text{ см}^3, \\ & \text{или } Би + Гр + Кор + Кв \rightleftharpoons Гр_{Mg} + Ор + H_2O + 25,7 \text{ см}^3; \quad (I) \\ & 3K_{0,9}Mg_{1,82}Fe_{0,78}Al_{1,5}Si_3(OH)_{1,4}O_{10,6} + \left(\frac{1,716}{n} - 2,6 \right) Mg_{1,44}Fe_{1,56}Al_2Si_3O_{12} + \\ & + 0,35Al_2SiO_5 + 6,55SiO_2 = \frac{1,716}{n} Mg_{1,44+n}Fe_{1,56-n}Al_2Si_3O_{12} + 2,7KAlSi_3O_8 + \\ & + 2,1H_2O + 34,9 \text{ см}^3, \\ & \text{или } Би + Гр + Сил + Кв \rightleftharpoons Гр_{Mg} + Ор + H_2O + 34,9 \text{ см}^3. \quad (II) \end{aligned}$$

Параллельно протекающие реакции плавления в этом случае должны идти по схеме: Пл кислый+Ор+Кв+Н₂О→Рас+Пл более основной — практически независимо от реакций I и II.

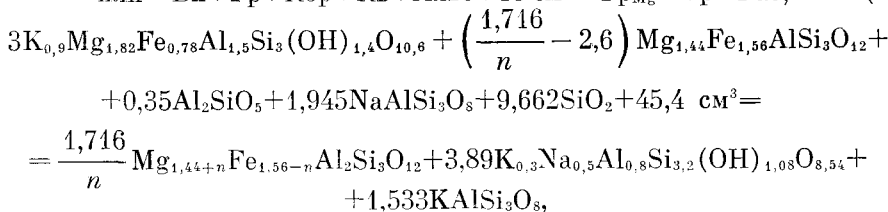
При виртуальном инертном поведении воды, т. е. при ее недостатке, главным источником воды, необходимой для плавления, из-за малого содержания флюида в породах, должны быть реакции дегидратации гидроксидсодержащих минералов. В этом случае метаморфические реакции и реакции плавления должны быть неразрывно связаны. Такие суммарные реакции в вышеуказанных ассоциациях с учетом данных о влиянии T , $P_{тн}$ и P_{H_2O} на состав гранитной эвтектики ⁽¹⁾, растворимости воды в гра-

* Символы фаз: Альб — альбит, Би — биотит, Гип — гиперстен, Гр — гранат, Кв — кварц, Кор — кордиерит, Рас — расплав, Пл — плагиоклаз, Сил — силлиманит.

витном расплаве ⁽²⁾ должны иметь вид:



или Би+Гр+Кор+Кв+Альб+16 см³ ⇌ Гр_{Мг}+Ор+Рас; (III)



или Би+Гр+Сил+Кв+Альб+45,4 см³ ⇌ Гр_{Мг}+Ор+Рас. (IV)

Реакции (I) и (III), (II) и (IV) имеют противоположные по знаку объемные эффекты. По реакциям (I) и (II) при одинаковой температуре магнезиальность темноцветных минералов в более глубинном ⁽³⁾ парагенезисе Би+Гр+Сил+Ор+Кв+Пл должна быть выше, чем в менее глубинном парагенезисе Би+Гр+Кор+Ор+Кв+Пл; по реакциям (III) и (IV) должно наблюдаться противоположное соотношение. Такая разнонаправленность в изменении магнезиальности темноцветных минералов с ростом давления в указанных парагенезисах в зависимости от поведения воды в момент их образования позволяет на основании химико-аналитических и петрографических данных оценить относительную распространенность реакций с участием и без участия расплава при процессах минералообразования в высокотемпературных метаморфических комплексах.

Анализ данных авторов и Е. А. Кулиша по Алданскому щиту (табл. 1) и литературных данных ⁽⁴⁻¹⁰⁾ * показывает, что при одинаковом коэффициенте распределения магния в сосуществующих гранате и биотите

$$\left(K_{D_{Mg}}^{Би-Гр} = (X_{Би}^{Mg} (1 - X_{Гр}^{Mg})) / (X_{Гр}^{Mg} (1 - X_{Би}^{Mg})) \right), \text{ где } X^{Mg} = \frac{Mg}{Mg+Fe+Mn},$$

т.е. при одной и той же температуре ⁽¹¹⁾, магнезиальность граната (как и других ассоциирующих с ним равновесных темноцветных минералов) в биотит-гранат-кордиеритовых гнейсах обычно выше, чем в биотит-гранат-силлиманитовых (рис. 1). Это свиде-

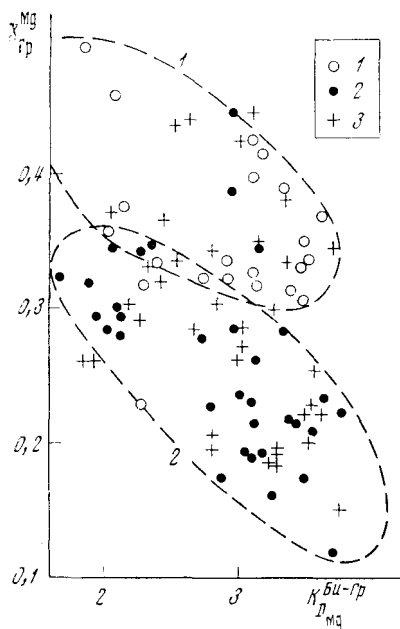


Рис. 1. Соотношение $K_{D_{Mg}}^{Би-Гр}$ и $X_{Гр}^{Mg}$ в гнейсах с ассоциациями Би+Гр+Кор+Пл+Ор+Кв (1), Би+Гр+Сил+Пл+Ор+Кв (2) и Би+Гр+Кор+Сил+Пл+Ор+Кв (3)

* Использованы анализы с суммой компонентов 99,20–100,80 из высокотемпературных недиафторированных гнейсов с известным парагенезисом.

Таблица 1

№ обр.	$X_{\text{Би}}^{\text{Mg}}$	$X_{\text{Гр}}^{\text{Mg}}$	$K_{\text{D Mg}}^{\text{Би-Гр}}$	$\text{H}_2\text{O}_{\text{Би}}^+$ вес. %	Парагенезис	Район
2182а	0,584	0,323	2,96	2,15	Би + Гр + Кор + Пл + + Ор + Кв	р. Нимныр
2182б	0,574	0,322	2,80	2,25	То же	То же
223/03	0,603	0,304	3,47	2,69	» »	р. Алдан
223/14	0,592	0,318	3,11	1,64	Би + Гр + Кор + Гип + + Пл + Ор + Кв	То же
259/1	0,679	0,370	3,61	1,73	То же	р. Иджек
358-9	0,645	0,494	1,84	2,08	» »	р. Сутам
501/6	0,692	0,417	3,11	1,61	Би + Гр + Кор + Гип + + Пл + Кв	р. Сеймдые
501/2в	0,681	0,390	3,32	1,79	То же	То же
501/2в ₂	0,735	0,365	4,82	2,07	» »	» »
Д-33/1	0,673	0,400	3,10	2,04	» »	р. Тимптон
555/9	0,698	0,427	3,10	1,28	» »	Анабар
3235	0,535	0,347	2,17	3,19	Би + Гр + Сил + Пл + + Ор + Кв	р. Учур
19/2	0,690	0,345	4,20	2,18	То же	р. Тимптон
2413/1	0,421	0,173	3,47	2,63	» »	То же
И-1 *	0,450	0,302	2,10	1,60	» »	р. Б. Катынах
И-2 *	0,448	0,287	2,02	1,58	» »	То же
И-3 *	0,451	0,280	2,12	1,68	» »	» »
149 ^е /56 *	0,522	0,348	2,05	2,30	» »	» »
149 ^а /56 *	0,557	0,350	2,36	2,56	» »	» »
19/8	0,567	0,220	3,65	2,69	Би + Гр + Сил + Пл	р. Тимптон
3653	0,505	0,263	2,86	2,02	Би + Гр + Сил + Ор + Кв	р. Учур
2213	0,617	0,325	3,35	2,81	Би + Гр + Кор + Сил + + Пл + Ор + Кв	р. Мамулай
24/3	0,543	0,370	2,02	1,09	То же	р. Тыркан
14з	0,543	0,285	2,99	Не опр.	» »	р. Алдан
В-105/5	0,674	0,441	2,62	1,14	» »	р. Сутам
В-105/4	0,715	0,448	3,09	2,34	» »	То же
Т-1 *	0,540	0,334	2,34	1,28	» »	р. Б. Тарынах
Т-2 *	0,661	0,345	3,71	1,35	» »	То же
Т-3 *	0,583	0,357	2,52	1,05	» »	» »
450 ^а /55 *	0,429	0,206	2,80	2,10	» »	р. Тимптон
3059/2	0,584	0,290	3,43	2,40	Би + Гр + Кор + Сил + + Пл + Кв	р. Джелтула
5373	0,419	0,165	3,65	3,34	То же	р. Олекма
5387	0,413	0,171	3,43	3,22	» »	То же

* Данные Е. А. Кулиша.

тельствует об осуществлении процессов минералобразования в метаморфических породах с явлениями плавления преимущественно по реакциям типа (III) и (IV), а не (I) и (II).

При осуществлении реакций (III) и (IV), протекающих при недостатке воды, химический потенциал последней и ее содержание в минералах при одинаковой температуре должны быть ниже в легкоплавких породах по сравнению с тугоплавкими, поскольку в первых должна больше сказываться осушающая ⁽¹²⁾ роль расплава. Как видно из рис. 2, биотиты в наиболее легкоплавких гнейсах (с парагенезисом Пл + Ор + Кв), действительно, содержат, как правило, заметно меньше воды, чем в более тугоплавких гнейсах (без Ор, Кв или Пл) с одинаковым

$K_{\text{D Mg}}^{\text{Би-Гр}}$. На зависимость химического потенциала воды в породах с явлениями плавления от их состава, видимо, указывает также отсутствие строгой зависимости между $K_{\text{D Mg}}^{\text{Би-Гр}}$ и $X_{\text{Гр}}^{\text{Mg}}$ в парагенезисах

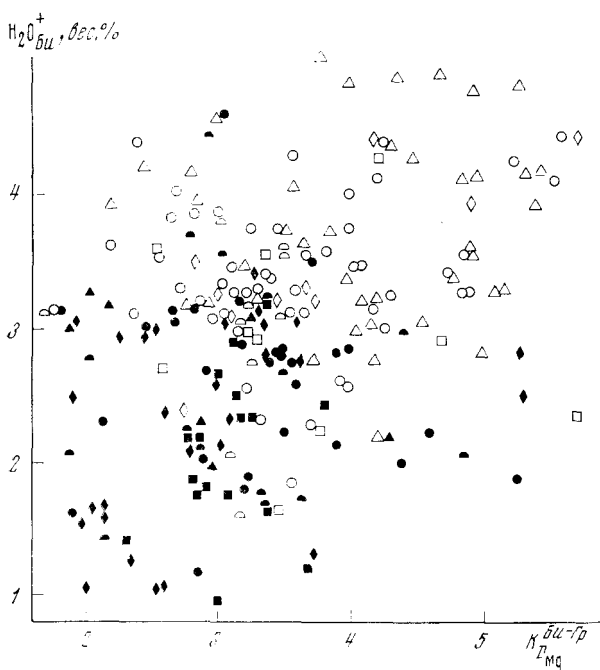


Рис. 2. Соотношение $K_{D_{Mg}}^{Би-Гр}$ и H_2O^+ в кварц-плагиоклаз-калишпатовых гнейсах (зачерненные знаки) и в гнейсах бескальевого полевого шпата, кварца или плагиоклаза (светлые знаки) с ассоциациями: Би+Гр (кружки), Би+Гр+Сил (треугольники), Би+Гр+Гип (квадраты), Би+Гр+Кор+Сил (ромбы) и Би+Гр+Кор (сегменты)

Би + Гр + Кор + Сил + Ор + Кв (см. рис. 1), которую следовало бы ожидать при вполне подвижном поведении воды.

Таким образом, рассмотренные соотношения свидетельствуют об участии расплава в большинстве метаморфических реакций минералообразования в высокотемпературных высокоглиноземистых гнейсах и, следовательно, о влиянии расплава на минеральные равновесия при метаморфизме этих пород.

Авторы благодарны Е. А. Кулишу, любезно предоставившему еще не опубликованные им результаты химических анализов минералов.

Институт геологии Якутского филиала
Сибирского отделения Академии наук СССР
Якутск

Поступило
1 VII 1973

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ М. И. Дубровский, ДАН, т. 203, № 2 (1972).
- ² А. А. Кадик, Е. Б. Лебедев, Н. И. Хитаров, Вода в магматических расплавах, М., 1971.
- ³ А. А. Маракушев, Термодинамика метаморфической гидратации минералов, М., 1968.
- ⁴ Ф. Б. Берзенина, Геол. журн., т. 30, № 4 (1970).
- ⁵ Д. А. Великославинский, Сравнительная характеристика регионального метаморфизма умеренных и низких давлений, Л., 1972.
- ⁶ Ю. А. Нагайцев, В. И. Лебедев, Вестн. Ленингр. ун-ва, т. 3, № 18 (1971).
- ⁷ Л. Л. Перчук, Сосуществующие минералы, Л., 1971.
- ⁸ Н. Г. Судовиков, В. А. Глебовицкий и др., Геологическое развитие глубинных зон подвижных поясов (Северное Приладожье), Л., 1970.
- ⁹ Е. Н. Ушакова, Биотиты метаморфических пород, М., 1971.
- ¹⁰ О. Matejovska, Neues Jahrb. Mineral, Monatshefte, v. 6, 249 (1970).
- ¹¹ Л. Л. Перчук, Равновесия породообразующих минералов, М., 1970.
- ¹² И. Л. Добрецов, В. В. Реввердатто и др., Фации метаморфизма, М., 1970.