

УДК 553.311(47.5)

МИНЕРАЛОГИЯ

А. И. БЕЛКОВСКИЙ, В. Г. ФОМИНЫХ, И. Н. ЛОКТИНА

## ТИПОМОРФНЫЙ МАГНЕТИТ МЕТАМОРФОГЕННЫХ МИГМАТИТОВ

(Представлено академиком Ю. А. Кузнецовым 19 IV 1971)

Магнетит является одним из распространенных минералов метаморфических горных пород и в ряде случаев используется в качестве индикатора условий их образования <sup>(1-3)</sup>. Магнетит обычен также и для различных генетических типов мигматитов.

Весьма благоприятными объектами для изучения состава и свойств акцессорного магнетита мигматитов являются гнейсо-мигматитовые комплексы Среднего Урала. В одном наиболее детально изученном комплексе — Уфалейском авторами установлено широкое развитие мигматитов, особенности формирования которых позволяют отнести их к метаморфогенным <sup>(6)</sup>. Изученный район сложен гнейсовидными плагиоклазовыми амфиболитами <sup>(7)</sup>, уровень метаморфизма которых отвечает амфиболитовой фации <sup>(8)</sup>. Среди гнейсовидных амфиболитов встречаются дайкообразные тела гранатовых амфиболитов, являющихся продуктами метаморфизма клинопироксенитов.

Процессы гранитизации, наложенные на ортоамфиболиты, в связи с формированием комплекса проявляются полистадийно. С ранней стадией гранитизации в метабазах связано появление согласных пластовых тел плагиомигматитов с амфиболом, гранатом и магнетитом. С наложением калишпатизации в составе мигматитов существенную роль начинают играть «ксеноморфный» микроклин и кварц. Конечным продуктом гранитизации ортоамфиболитов являются мелкозернистые магнетитовые мигматиты, химический и минеральный состав которых близок к «нормальному» граниту. Характер изменения химического и минерального состава пород при формировании мигматитов представлен в табл. 1.

Магнетит в мигматитах встречается в виде мелких октаэдрических кристаллов, реже полигональных зерен размером от 0,1 до 2,5 мм. Из всех типов пород после дробления и измельчения проб до класса зерен 0,1 мм методом сухой магнитной сепарации выделен магнетит, который после перечистки при помощи катушки переменного тока был измельчен до класса зерен 200 меш и многократно перечищен. Полученные пробы после контроля их мономинеральности были подвергнуты химическому и рентгеновскому анализу (табл. 2).

Химический состав, параметры элементарной ячейки магнетитов из гранитизированных амфиболитов и метаморфогенных мигматитов близки к составу, параметрам теоретического магнетита <sup>(9, 10)</sup> и представлены малотитанистыми разностями (содержание двуокиси титана составляет 1%), лишенными других элементов-примесей — V, Co, Ni, Cr, Zn, Sc, Nb и Ta (см. табл. 2). Средний состав типоморфного магнетита метаморфогенных мигматитов близок к составу магнетита, образовавшегося в условиях, переходных от эпидот-амфиболитовой к зеленосланцевой фации метаморфизма <sup>(3-5)</sup>, с температурным интервалом 650—550° <sup>(11)</sup>. Полученные данные позволяют сделать предположение, что процессы гранитизации, имевшие место в условиях, переходных от зеленосланцевой к эпидот-

Таблица 4

## Химический и минеральный состав метаморфогенных мигматитов Уфалейского комплекса

|                                           | 1     | 2       | 3       | 4     | 5     | 6       | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    | 13      |
|-------------------------------------------|-------|---------|---------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| Химический состав (вес. %)                |       |         |         |       |       |         |       |       |       |       |       |       |         |
| SiO <sub>2</sub>                          | 61,39 | 61,46   | 63,36   | 61,20 | 64,01 | 62,86   | 65,77 | 65,78 | 65,77 | 62,72 | 64,91 | 66,73 | 73,71   |
| TiO <sub>2</sub>                          | 0,54  | 0,60    | 0,46    | 0,40  | 0,24  | 0,54    | 0,34  | 0,22  | 0,34  | 0,50  | 0,29  | 0,44  | 0,20    |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>            | 16,64 | 19,04   | 17,05   | 18,41 | 17,75 | 16,57   | 17,13 | 17,95 | 16,93 | 17,17 | 17,60 | 15,81 | 13,68   |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>            | 2,81  | 2,24    | 2,89    | 0,34  | 2,09  | 4,34    | 2,81  | 1,93  | 2,81  | 1,36  | 1,53  | 2,33  | 0,65    |
| FeO                                       | 5,99  | 4,91    | 4,19    | 6,35  | 3,75  | 4,62    | 2,53  | 1,44  | 2,53  | 5,70  | 3,68  | 3,39  | 2,31    |
| MnO                                       | 0,30  | 0,23    | 0,25    | 0,22  | 0,13  | 0,24    | 0,07  | 0,07  | 0,07  | 0,21  | 0,09  | 0,12  | 0,19    |
| MgO                                       | 0,46  | 0,65    | 0,30    | 0,36  | 0,55  | 0,46    | 0,23  | 0,10  | 0,23  | 0,24  | 0,18  | 0,18  | 0,13    |
| CaO                                       | 3,77  | 2,85    | 2,03    | 3,48  | 1,74  | 2,11    | 1,26  | 1,17  | 1,26  | 2,20  | 1,20  | 1,46  | 0,60    |
| K <sub>2</sub> O                          | 2,55  | 3,09    | 3,10    | 2,18  | 3,63  | 3,40    | 4,35  | 4,94  | 4,35  | 4,53  | 5,01  | 5,11  | 5,15    |
| Na <sub>2</sub> O                         | 4,66  | 5,44    | 5,85    | 5,93  | 5,88  | 4,73    | 5,15  | 5,60  | 5,15  | 4,70  | 5,06  | 3,81  | 3,21    |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>             | 0,09  | 0,14    | 0,07    | 0,14  | 0,09  | 0,11    | 0,07  | 0,04  | 0,07  | 0,11  | 0,09  | 0,07  | Не обн. |
| П.п.п.                                    | 0,62  | Не обн. | Не обн. | 0,83  | 0,41  | Не обн. | 0,15  | 0,26  | 0,15  | 0,54  | 0,22  | 0,43  | » »     |
| Сумма                                     | 99,82 | 100,35  | 99,55   | 99,84 | 99,97 | 99,98   | 99,86 | 99,50 | 99,66 | 99,98 | 99,86 | 99,88 | 99,83   |
| Минеральный состав (темноцветные) (об. %) |       |         |         |       |       |         |       |       |       |       |       |       |         |
| Би                                        | —     | —       | —       | —     | —     | 2,1     | 9,7   | 1,1   | —     | —     | —     | —     | —       |
| Ам                                        | 55,3  | 20,1    | 0,5     | 30,1  | 16,7  | —       | 2,4   | 9,7   | 9,7   | 14,0  | 16,6  | 18,7  | —       |
| Гр                                        | 2,1   | 4,7     | 9,4     | —     | 3,3   | 3,4     | 2,1   | —     | —     | 10,7  | —     | 6,1   | —       |
| Мт                                        | 3,2   | 3,4     | 3,1     | 3,4   | 3,4   | 10,1    | 10,0  | 10,2  | 10,3  | 3,5   | 4,1   | 4,5   | 10,1    |

Примечание. 1 — гранитизированный плагиоклазовый амфиболит; 2—5 — пластовые мигматиты: 2, 4 — амфиболовые, 3, 5 — магнетит-амфиболовые; 6—12 — гнейсовидно-теневые плагиомигматиты микроклинизированные; 6, 7, 9 — магнетитовые, 8, 10, 12 — гранат-амфиболовые, 13 — магнетитовый апомигматитовый гранит. Химические анализы выполнены в Центральной химической лаборатории Уральского территориального геологического управления. BaO во всех пробах был определен в виде следов. Обозначения минералов: Би — биотит, Ам — амфибол, Гр — гранат, Мт — магнетит.

|                                | 1       | 2       | 3       | 4       | 5       | 6       | 7       | 8      | 9       | 10      | 11      | 12      | 13      |
|--------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Химический состав (вес. %)     |         |         |         |         |         |         |         |        |         |         |         |         |         |
| SiO <sub>2</sub>               | 0,14    | 0,20    | 0,10    | 0,06    | 0,10    | 0,18    | 0,18    | 0,08   | Сл.     | Сл.     | Сл.     | Сл.     | Сл.     |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,83    | 0,95    | 0,90    | 1,10    | 1,50    | 1,10    | 1,10    | 1,10   | 0,60    | 0,60    | 1,00    | 1,10    | 1,50    |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,43    | 0,75    | 0,45    | 0,70    | 0,35    | 0,58    | 0,45    | 0,50   | 0,45    | 0,43    | 0,35    | 0,58    | 0,60    |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 70,11   | 68,65   | 69,28   | 67,75   | 70,24   | 70,75   | 68,46   | 68,90  | 70,36   | 70,98   | 67,89   | 70,63   | 69,04   |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Сл.     | Сл.     | Сл.     | Сл.     | Сл.     | 0,005   | Сл.     | 0,005  | 0,01    | Сл.     | Сл.     | Сл.     | 0,005   |
| FeO                            | 28,47   | 28,16   | 28,30   | 29,85   | 27,92   | 26,94   | 28,92   | 27,64  | 27,61   | 27,19   | 29,10   | 26,63   | 27,48   |
| MnO                            | 0,09    | 0,22    | 0,15    | 0,09    | 0,14    | 0,27    | 0,28    | 0,33   | 0,33    | 0,20    | 0,36    | 0,28    | 0,27    |
| CoO                            | Сл.     | Сл.     | 0,001   | Сл.     | Сл.     | Сл.     | Сл.     | Сл.    | Сл.     | Сл.     | Сл.     | Сл.     | Сл.     |
| ZnO                            | 0,05    | 0,07    | 0,11    | 0,04    | 0,06    | 0,20    | 0,12    | 0,27   | 0,18    | 0,04    | 0,14    | 0,21    | 0,20    |
| MgO                            | 0,05    | 0,30    | 0,28    | 0,15    | 0,05    | 0,13    | 0,33    | 0,30   | 0,28    | 0,15    | 0,30    | 0,20    | 0,28    |
| CaO                            | 0,22    | 0,54    | 0,48    | 0,65    | 0,17    | 0,22    | 0,54    | 0,48   | 0,22    | 0,65    | 0,56    | 0,48    | 0,54    |
| V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | Сл.     | 0,02    | 0,03    | Сл.     | Сл.     | Сл.     | 0,02    | Сл.    | 0,04    | Сл.     | Сл.     | Сл.     | 0,02    |
| Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | <0,0001 | <0,0001 | <0,0001 | <0,0001 | <0,0001 | <0,0001 | <0,0001 | 0,0001 | <0,0001 | <0,0001 | <0,0001 | <0,0001 | <0,0001 |
| Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | <0,001  | <0,001  | <0,001  | <0,001  | <0,001  | <0,001  | <0,001  | <0,001 | <0,001  | <0,001  | <0,001  | <0,001  | <0,001  |
| П.п.п.                         | Сл.     | 0,24    | 0,09    | 0,36    | Сл.     | 0,19    | 0,26    | 0,27   | Сл.     | 0,12    | 0,39    | Сл.     | 0,38    |
| Сумма                          | 100,391 | 100,101 | 100,172 | 100,751 | 100,531 | 100,566 | 100,661 | 99,876 | 100,081 | 100,361 | 100,091 | 100,111 | 100,316 |

## Кристаллографические параметры

|                                 |                                  |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|---------------------------------|----------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Размер кристаллов и зерен мм    | 0,5—2,0                          | 0,5—1,0 | 0,1—0,5 | 0,5—1,0 | 0,5—1,5 | 0,1—0,5 | 1,0—2,5 | 1,0—1,5 | 0,1—0,5 | 0,5—1,5 | 0,1—0,5 | 0,5—2,0 | 0,1—0,5 |
| Скульптура грани {111}          | Покрота треугольными пирамидками |         |         |         |         |         |         |         |         | Ровная  |         |         |         |
| Параметр элементарной ячейки, Å | 8,395                            | 8,395   |         |         |         |         | 8,395   |         |         |         | 8,395   |         |         |

П р и м е ч а н и е. 1—13 — те же пробы, что в табл. 1. Химические анализы выполнены в Центральной химической лаборатории Уральского территориального геологического управления, причем Fe, Ta и Nb — в Полевской лаборатории. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ни в одной пробе обнаружен не был. NiO был везде определен в виде следов. Параметры элементарной ячейки определены в рентгеновской лаборатории Центральной кристаллографической лаборатории УТИУ А. Н. Айзикович на УРС-50И на Fe-излучении по линиям 800 и 533.

амфиболитовой фации метаморфизма, происходили вне зон ультраметаморфизма, а охарактеризованный тип магматитов по составу акцессорного магнетита следует относить к метаморфогенным.

Институт геологии и геохимии  
им. А. Н. Заварицкого  
Уральского научного центра Академии наук СССР  
Уральское территориальное геологическое  
управление  
Свердловск

Поступило  
12 IV 1971

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> A. F. Baddington, S. Flahey, A. Vlisides, Am. J. Sci., **253**, № 9 (1955).  
<sup>2</sup> V. Marmo, Am. J. Sci., **257**, № 2 (1959). <sup>3</sup> А. Ф. Баддингтон, В сборн. Физико-химические проблемы формирования пород и руд, 1, Изд. АН СССР, 1961. <sup>4</sup> В. Г. Фоминых, В сборн. Минералы месторождений полезных ископаемых Урала, Минералогич. сборн. № 8, Тр. Инст. геологии УФАН СССР, 1968. <sup>5</sup> В. Г. Фоминых, В сборн. Минералы месторождений полезных ископаемых Урала, Свердловск, 1968.  
<sup>6</sup> А. И. Белковский, В сборн. Геология и полезные ископаемые Урала, ч. 1, 1969.  
<sup>7</sup> Г. А. Кейльман, Сов. геол., № 10 (1963). <sup>8</sup> Г. А. Кейльман, В сборн. Матер. совещ. по вопросам изучения и методике картирования докембрийских образований, Тр. Кольск. фил. АН СССР, Л., 1967. <sup>9</sup> А. Г. Бетехтин, Минералогия, М., 1950.  
<sup>10</sup> G. L. Clark, A. Ally, A. E. Badger, Am. J. Sci., **22** (1931). <sup>11</sup> Н. Л. Добрецов, В. В. Ревердатто и др., Фации метаморфизма, М., 1970.