

## НОВЫЕ ДАННЫЕ О Fe-Ti-ОКИСНЫХ МИНЕРАЛАХ ИЗ ПОРОД ЯКУПИРАНГИТ-УРТИТОВОЙ СЕРИИ И ИХ ТИПОМОРФНЫЕ ОСОБЕННОСТИ

Исследования минералов окислов Fe и Ti из различных по составу серий пород, выполненные в последние годы с применением современных методов исследования, выявили детали их микронеоднородного строения, типоморфные особенности фазового и химического составов, характерные для месторождений определенных типов и конкретных формаций изверженных горных пород [1—5].

В щелочных породах минералы окислов Fe и Ti встречаются главным образом в виде акцессорной примеси и только в бесполовошпатовых нефелин-пироксеновых породах якупирангит-уртитовой серии, особенно в меланократовых разностях из массивов щелочных и ультраосновных пород с карбонатитами, их содержание значительно возрастает, достигая иногда 15—20%. Исследуемые минералы образуют, как правило, ксеноморфные выделения с размером зерен 2—3 мм. Из числа карбонатитовых массивов Советского Союза, несомненно, наиболее детально Fe—Ti-окисные минералы изучены в Ковдорском массиве, где они присутствуют практически во всех разновидностях пород, образуя промышленные концентрации в апатит-форстерит-магнетитовых рудах [3, 6].

Учитывая возможность использования типоморфных особенностей фазового и химического составов минералов окислов Fe и Ti для суждения о их принадлежности к той или иной группе месторождений, для расшифровки условий их образования и определения формационной принадлежности пород, было проведено сравнительное изучение этих минералов из якупирангит-уртитовой серии пород различных природных щелочных ассоциаций. Для этих целей было подобрано 16 образцов Fe—Ti-окисных минералов из семи массивов трех щелочных ассоциаций: щелочных и ультраосновных пород с карбонатитами (массивы Сона, Кугда, Одихинча Маймеча-Котуйской провинции; Ковдор, Турий Мыс Кольско-Карельской провинции), щелочных и основных пород (Кия-Шалтырский массив в Кузнецком Алатау, Гремяха-Вырмес на Кольском п-ве), фойяитовых нефелиновых сиенитов с ийолитами, уртитам, ювитами юго-восточной Тувы (Баянкольский массив). В ряде образцов проанализированы валовый состав окисных минералов в Центральной химической лаборатории ИГЕМ АН СССР аналитиками Е. И. Ломейко, Т. М. Митюшиной, О. Г. Унановой (8 анализов). Расшифровка особенностей микронеоднородного строения образцов и состава слагающих их минеральных фаз выполнялась в лаборатории электронной микроскопии ИГЕМ АН СССР Р. В. Боярской и в рентгеноспектральной лаборатории ИГЕМ АН СССР И. П. Лапутиной. Подчеркнем, что только комплексное аналитическое изучение одних и тех же образцов Fe—Ti-окисных минералов позволяет выявить их типоморфные особенности. Изучение составов Fe—Ti-окисных минералов только на микроанализаторе без учета их микронеоднородного строения, существенного различия состава и количественной роли слагающих их минеральных фаз приводит к неверным выводам о широких вариациях пределов содержания ряда элементов [7].

Электронно-микроскопические исследования проводились на приборе «Тесла-613» (Чехословакия) с применением методов угольно-желатиновых реплик с протравленных шлифов и реплик с извлечением. В качестве травителя использовалась концентрированная соляная кислота; время травления менялось в интервале от 1,5 до 9 мин для разных образцов.

Анализ состава образцов на микроанализаторе MS-46 выполнен при ускоряющем напряжении 15 кВ по  $K_{\alpha}$ -излучению всех элементов. В качестве эталонов использовались синтезированные магнетит и периклаз, природные рутил, корунд, ильменит, хромит и марганцевый гранат известного состава и ванадий металлический. Расчет поправочных коэффициентов выполнен на ЭВМ по программе ИГЕМ АН СССР. Контроль

Химический (вес.%) и количественно-минеральный (мол.%) состав Fe-Ti-окисных минералов из пород якуирангит-уртитовой серии

| Анализ  | 1        | 2        | 3        | 4        | 5        | 6        | 7       | 8       |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|
| SiO <sub>2</sub>  | —        | —        | —        | —        | —        | 0,57     | —       | 0,32    |
| TiO <sub>2</sub>  | 14,0     | 18,0     | 15,1     | 8,3      | 8,8      | 7,82     | 5,4     | 4,96    |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                          | 0,09     | 0,2      | —        | 0,1      | 0,19     | 0,82     | 0,4     | 0,84    |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                          | —        | —        | —        | —        | —        | 53,11    | —       | 58,37   |
| FeO   | —        | —        | —        | —        | —        | 34,59    | —       | 33,22   |
| Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>                          | 83,9     | 80,3     | 84,4     | 88,2     | 88,0     | —        | 92,5    | —       |
| MnO   | 1,1      | 1,9      | 1,0      | 1,6      | 1,9      | 1,03     | 0,7     | 0,76    |
| MgO   | —        | —        | —        | —        | —        | 0,67     | 0,6     | 0,78    |
| CaO   | —        | —        | —        | 0,7      | 0,5      | 0,62     | —       | 0,42    |
| V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>                           | 0,47     | 0,39     | 0,28     | 0,38     | 0,16     | 0,69     | 0,1     | 0,26    |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                          | 0,21     | —        | He опр.  | 0,15     | 0,3      | 0,03     | He опр. | 0,001   |
| Сумма   | 100,05*  | 99,79    | 100,78   | 99,50*   | 99,85    | 100,39*  | 99,7*   | 100,21* |
| FeO : Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : TiO <sub>2</sub> | 58:25:17 | 60:19:21 | 58:23:19 | 54:35:11 | 54:34:12 | 53:36:11 | 53:40:7 | 52:41:7 |
| Магнетит  | 57       | 48       | 56       | 76       | 74       | 76       | 83      | 86      |
| Ульвёшпинель  | 43       | 52       | 44       | 24       | 26       | 24       | 17      | 13      |
| Ильменит  | —        | —        | —        | —        | —        | —        | —       | 1       |

| Анализ  | 19       | 20       | 21       | 22      | 23      | 24      |
|---|----------|----------|----------|---------|---------|---------|
| SiO <sub>2</sub>  | 1,40     | 1,60     | —        | —       | —       | —       |
| TiO <sub>2</sub>  | 10,26    | 10,03    | 8,6      | 6,4     | 52,4    | 3,4     |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                          | 0,76     | 0,82     | 1,9      | 1,7     | —       | 0,2     |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                          | 52,04    | 52,88    | —        | —       | —       | —       |
| FeO   | 32,20    | 30,96    | —        | —       | 43,8    | —       |
| Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>                          | —        | —        | 87,8     | 90,3    | —       | 96,9    |
| MnO   | 0,98     | 0,81     | 0,8      | 0,6     | 1,6     | 0,2     |
| MgO   | 1,02     | 1,33     | 0,8      | 0,6     | 2,5     | —       |
| CaO   | 0,66     | 1,06     | —        | 0,6     | —       | —       |
| V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>                           | 0,53     | 0,36     | 0,17     | 0,25    | 0,10    | —       |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                          | 0,06     | 0,03     | —        | —       | —       | 0,14    |
| Сумма   | 100,35*  | 100,25*  | 100,07   | 100,45  | 100,4   | 100,84  |
| FeO : Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : TiO <sub>2</sub> | 50:36:14 | 48:37:15 | 55:33:12 | 55:37:8 | 49:0:51 | 52:43:5 |
| Магнетит  | 78       | 80       | 75       | 81      | —       | 90      |
| Ульвёшпинель  | 5        | 2        | 25       | 19      | —       | 10      |
| Ильменит  | 17       | 18       | —        | —       | 100     | —       |

сходности полученных результатов, выполненных разными методами, произведен на примере минералов из однотипных образцов ийолитов Ковдорского массива (таблица, ан. 7 и 8, 9—12), для которых получены близкие составы по данным химического анализа и на микрозонде.

Выполненные исследования подтвердили микронеоднородное строение большей части изученных образцов Fe—Ti-окисных минералов. Образец титаномagnetита без видимых структур пластинчатого распада, называемый далее «условно гомогенный», установлен только в приповерхностных образованиях. В большинстве изученных образцов структуры распада весьма тонкие, однако, удалось выявить специфику состава, форм выделения, количественных соотношений минеральных фаз Fe—Ti-окисных минералов из якупирангит-уртитов различных ассоциаций щелочных пород и получить информацию об условиях образования этих минералов.

| 9       | 10      | 11      | 12      | 13      | 14      | 15      | 16      | 17      | 18       |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| 0,26    | 0,33    | —       | —       | 0,60    | —       | —       | —       | —       | —        |
| 3,43    | 3,81    | 4,8     | 2,3     | 2,90    | 0,47    | 0,79    | 32,8    | 30,4    | 17,3     |
| 1,22    | 1,52    | 0,54    | 0,75    | 0,65    | —       | —       | —       | —       | —        |
| 62,51   | 61,31   | —       | —       | 57,59   | —       | —       | —       | —       | —        |
| 29,49   | 30,76   | —       | —       | 36,68   | —       | —       | 62,5    | 60,8    | —        |
| —       | —       | 95,0    | 95,8    | —       | 99,6    | 99,1    | —       | —       | 80,63    |
| 0,91    | 0,68    | —       | 0,4     | 0,64    | 0,13    | 0,12    | 3,6     | 6,6     | 1,8      |
| 1,65    | 0,72    | —       | 0,1     | 0,34    | —       | —       | —       | —       | —        |
| 0,03    | 0,36    | —       | —       | —       | —       | —       | —       | —       | —        |
| 0,14    | 0,13    | —       | —       | 0,33    | —       | —       | —       | —       | —        |
| 0,04    | 0,09    | Не опр. | 0,05    | 0,06    | —       | —       | —       | —       | —        |
| 99,98*  | 100,16* | 100,34  | 99,35*  | 99,963* | 100,27* | 100,0*  | 98,9*   | 97,8*   | 99,43*   |
| 48:46:6 | 50:45:5 | 50:43:4 | 50:47:3 | 56:40:4 | 49:49:1 | 49:49:1 | 68:0:32 | 69:0:31 | 58:21:31 |
| 92      | 92      | 92      | 95      | —       | 100     | 100     | —       | —       | 67       |
| 4       | 2       | } 8     | } 5     | —       | —       | —       | 100     | 100     | —        |
| 4       | 6       |         |         | —       | —       | —       | —       | —       | 33       |

| 25      | 26      | 27      | 28      | 29      | 30      | 31      | 32      |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| —       | —       | —       | —       | —       | —       | —       | —       |
| 5,8     | 4,6     | 52,0    | 52,3    | 6,0     | 3,1     | 0,8     | 48,9    |
| 0,1     | 0,3     | —       | 0,1     | 0,1     | —       | 0,1     | —       |
| —       | —       | —       | —       | —       | —       | —       | —       |
| —       | —       | 44,1    | 44,4    | —       | —       | —       | 42,3    |
| 94,1    | 93,9    | —       | —       | 92,1    | 96,2    | 98,3    | —       |
| 0,3     | 0,5     | 2,9     | 0,9     | 1,2     | 1,1     | 0,2     | 8,9     |
| —       | —       | —       | 1,4     | —       | —       | —       | 0,6     |
| —       | —       | —       | —       | —       | —       | —       | —       |
| —       | —       | —       | —       | —       | —       | —       | —       |
| 0,12    | 0,1     | 0,1     | 0,1     | 0,16    | 0,20    | 0,25    | 0,1     |
| 100,4   | 99,4    | 99,1    | 99,1    | 99,56   | 100,6   | 99,65   | 100,2   |
| 54:38:8 | 53:40:7 | 50:0:50 | 50:0:50 | 53:39:8 | 51:44:5 | 50:49:1 | 44:3:53 |
| 83      | 86      | —       | —       | 82      | 89      | 100     | 9       |
| 17      | 14      | —       | —       | 18      | 11      | —       | —       |
| —       | —       | 100     | 100     | —       | —       | —       | 91      |

Таблица (окончание)

| Анализ  | 33      | 34      | 35      | 36       | 37       | 38      |
|---|---------|---------|---------|----------|----------|---------|
| SiO <sub>2</sub>  | 0,96    | —       | —       | —        | —        | —       |
| TiO <sub>2</sub>  | 3,18    | 0,26    | 51,5    | 14,6     | 20,6     | 0,7     |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                          | 0,75    | 0,07    | —       | 0,2      | 1,5      | 0,9     |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                          | 53,03   | —       | —       | —        | —        | —       |
| FeO   | 41,57   | —       | 44,3    | —        | —        | —       |
| Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>                          | —       | 98,9    | —       | 80,4     | 76,4     | 97,9    |
| MnO   | 0,11    | —       | 2,9     | 1,6      | 1,1      | 0,47    |
| MgO   | 0,17    | —       | —       | —        | —        | —       |
| CaO   | Сл.     | —       | —       | —        | —        | —       |
| V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>                           | 0,020   | —       | —       | —        | —        | —       |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                          | <0,002  | —       | —       | 0,13     | 1,3      | 0,05    |
| Сумма   | 100,11* | 99,24*  | 98,7    | 96,93    | 100,9    | 100,37  |
| FeO : Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : TiO <sub>2</sub> | 61:35:4 | 50:50:0 | 49:0:51 | 49:31:20 | 50:24:26 | 50:49:1 |
| Магнетит  | 92      | 100     | —       | 71       | 61       | 100     |
| Ульвёшпинель  | —       | —       | —       | —        | —        | —       |
| Ильменит  | 8       | —       | 100     | 29       | 39       | —       |

Примечание. 1. Анализированы минералы из якупирангит-уртитов трех ассоциаций. Ассоциация ультраосновных и щелочных пород. Маймеча-Котуйская провинция. Массив Сона: оливиновый мельтейгит-порфир (ан. 1—5); массив Кугда: ийолит (ан. 24—28); массив Одихинча: мельтейгит (ан. 29—32). Кольско-Карельская провинция. Ковдорский массив: мельтейгит (ан. 6, 7), тахситовый ийолит (ан. 8), пегматоидный ийолит (ан. 9—12), массивный ийолит (ан. 13—18); Турий мыс: ийолиты (19—23). Ассоциация фойяитовых нефелиновых сиенитов, ийолитов, уртитов, ювитов. Юго-Восточная Тува. Баянкольский массив: малинит (ан. 33—35). Ассоциация основных и щелочных пород. Кузнецкий Алатау. Кня-Шалтырский массив: ийолит-порфир (ан. 36—41).

2. Анализ минералов из оливинитов (ан. 42—44), меллититовых пород (ан. 45, 46) ассоциации ультраосновных и щелочных пород Маймеча-Котуйской провинции, массив Кугда.

3. Анализы 6, 8—10, 13, 19, 20, 33 выполнены в Центральной химической лаборатории ИГЕМ АН СССР, аналитики Е.И. Ломейко (ан. 6, 8—10, 19, 20), О. Г. Унанова (ан. 13), Т. М. Митюшина (ан. 33). Анализы 1—5, 7, 11—18, 21—32, 34—46 выполнены в рентгеноспектральной лаборатории ИГЕМ АН

### Fe — Ti-окисные минералы из ийолитов и мельтейгитов ассоциации щелочных и ультраосновных пород с карбонатами

В бесполовошпатовых нефелино-пироксеновых породах массивов щелочных и ультраосновных пород минералы окислов Fe и Ti присутствуют в переменных количествах, возрастая в меланократовых разностях: ийолитах, мельтейгитах и особенно якупирангитах (иногда до 20%) и уменьшаясь в уртитах до значений акцессорной примеси. Оптически они однородны и лишь и в некоторых образцах под микроскопом заметны следы структур распада. Однако при увеличении до 10 000 раз под электронным микроскопом в большинстве случаев удается обнаружить сложные структуры распада. Среди изученных 13 образцов встречен лишь один условно-гомогенный титаномагнетит с тонкоглобулярной неоднородностью. Для остальных образцов характерны сложные структуры пластинчатого распада с парагенезисами двух типов: магнетит + ульвёшпинель и магнетит + ульвёшпинель + ильменит. Причем каждый из парагенезисов характерен для определенной разновидности нефелино-пироксеновых пород.

Титаномагнетит обнаружен в порфировидных разностях пород поверхностной фации: оливиновых мельтейгит-порфиров и оливиновых ийолит-порфиров массива Сона Маймеча-Котуйской провинции, приближающихся по составу к меланефелинитам. Электронно-микроскопические

| 39      | 40      | 41      | 42                             | 43       | 44       | 45       | 46       |
|---------|---------|---------|--------------------------------|----------|----------|----------|----------|
| —       | —       | —       | —                              | —        | —        | 0,60     | 0,13     |
| 0,7     | 50,8    | 51,5    | 10,6                           | 10,2     | 11,5     | 7,07     | 9,42     |
| 0,5     | 0,1     | —       | 1,9                            | 2,1      | 1,9      | 0,70     | 0,40     |
| —       | —       | —       | —                              | —        | —        | —        | —        |
| —       | 44,11   | 46,4    | —                              | —        | —        | —        | —        |
| 97,6    | —       | —       | 76,4                           | 76,2     | 76,7     | 85,89    | 87,06    |
| 0,3     | 2,7     | 1,0     | 0,38                           | —        | 0,40     | 0,56     | 0,23     |
| —       | 1,7     | 1,2     | 9,7                            | 11,6     | 9,9      | 2,93     | 3,00     |
| —       | —       | —       | —                              | —        | —        | 0,41     | 0,21     |
| —       | —       | —       | 0,07                           | He опр.  | 0,032    | —        | 0,11     |
| —       | —       | —       | 0,21                           | He опр.  | 0,14     | 1,56     | 0,11     |
| 99,13*  | 99,41   | 100,1   | 99,50*                         | 100,1    | 100,57   | 99,72    | 100,78*  |
| 50:49:1 | 49:0:51 | 50:0:50 | 43:40:17                       | 41:43:16 | 42:40:18 | 52:38:10 | 52:35:13 |
| 100     | —       | —       | Фазовый состав не определяется |          |          |          |          |
| —       | —       | —       | —                              | —        | —        | —        | —        |
| —       | 100     | 100     | —                              | —        | —        | —        | —        |

СССР. И. П. Лапутиной на микроанализаторе MS-46 французской фирмы — «Сатеса».

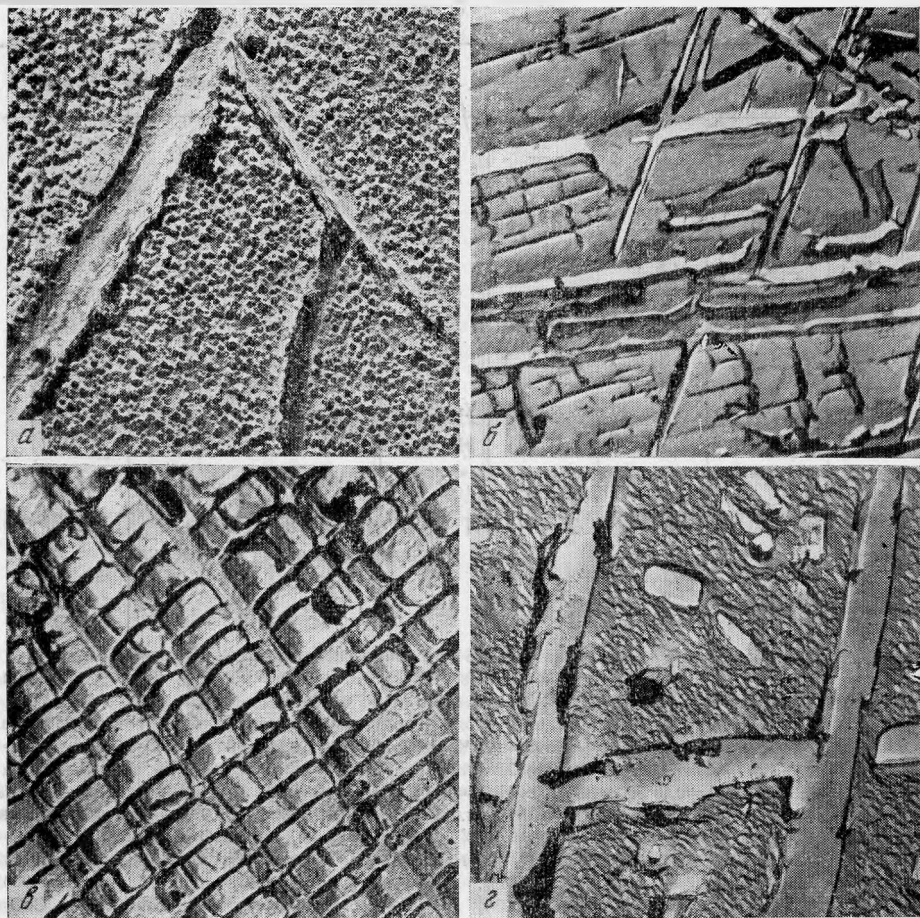
4. Содержания  $\text{CoO}$ ,  $\text{NiO}$ ,  $\text{V}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  в ан. 4, 33, 42, 46,  $\text{NiO}$ ,  $\text{CoO}$  в ан. 6, 8, 10, 19 определены в спектральной лаборатории ВИС МГ СССР, аналитик М. Г. Фомина.

5. В отмеченные знаком \* суммы анализов входят следующие элементы: ан. 1— $\text{NiO}=0,28\%$ ; ан. 4— $\text{NiO}=0,050\%$ ,  $\text{CoO}=0,025\%$ ; ан. 6— $\text{Na}_2\text{O}=0,17\%$ ,  $\text{K}_2\text{O}=0,13\%$ ,  $\text{H}_2\text{O}=0,12\%$ ,  $\text{NiO}=0,008\%$ ;  $\text{CoO}=0,011\%$ ; ан. 7— $\text{CoO}=0,04\%$ ; ан. 8— $\text{Na}_2\text{O}=0,17\%$ ,  $\text{K}_2\text{O}=0,11\%$ ,  $\text{NiO}=0,014\%$ ;  $\text{CoO}=0,014\%$ ; ан. 9— $\text{N}_2\text{O}=0,17\%$ ,  $\text{K}_2\text{O}=0,13\%$ ; ан. 10— $\text{N}_2\text{O}=0,17\%$ ,  $\text{K}_2\text{O}=0,12\%$ ,  $\text{H}_2\text{O}=0,08\%$ ,  $\text{NiO}=0,057\%$ ,  $\text{CoO}=0,019\%$ ; ан. 12— $\text{NiO}=0,05\%$ ,  $\text{CoO}=0,01\%$ ; ан. 13— $\text{CO}_2=0,04\%$ ;  $\text{ZrO}_2=0,036\%$ ,  $\text{CoO}=0,097\%$ ; ан. 14— $\text{NiO}=0,008\%$ ,  $\text{CoO}=0,01\%$ ; ан. 15— $\text{NiO}=0,008\%$ ,  $\text{CoO}=0,04\%$ ; ан. 16— $\text{CoO}=0,01\%$ ; ан. 17— $\text{CoO}=0,01\%$ ; ан. 18— $\text{NiO}=0,01\%$ ,  $\text{CoO}=0,02\%$ ; ан. 19— $\text{Na}_2\text{O}=0,24\%$ ,  $\text{K}_2\text{O}=0,16\%$ ,  $\text{S}=0,01\%$ ,  $\text{NiO}=0,014\%$ ,  $\text{CoO}=0,018\%$ ; ан. 20— $\text{Na}_2\text{O}=0,19\%$ ,  $\text{K}_2\text{O}=0,15\%$ ,  $\text{NiO}=0,015\%$ ,  $\text{CoO}=0,021\%$ ; ан. 33— $\text{H}_2\text{O}=0,06\%$ ,  $\text{H}_2\text{O}^+=0,24$ ,  $\text{CO}_2=0,02\%$ ,  $\text{NiO}<0,001$ ;  $\text{CoO}<0,003\%$ ; ан. 34— $\text{CoO}=0,01\%$ ; ан. 39— $\text{NiO}=0,006\%$ ,  $\text{CoO}=0,03\%$ ; ан. 42— $\text{NiO}=0,21\%$ ,  $\text{CoO}=0,03\%$ ; ан. 46— $\text{NiO}=0,095\%$ ,  $\text{CoO}=0,023\%$ .

исследования не обнаружили структур пластинчатого распада (рис. 1, а), была отмечена небольшая неоднородность в виде очень мелких глобулей. При электронно-микроскопическом зондировании было обнаружено неравномерное распределение титана в образце (рис. 2, а, б).

Судя по результатам анализа образца в пяти точках (таблица, ан. 1—5), содержание окиси титана в главной массе образца порядка 15—18%, тогда как в мелких, неправильной формы участках (более темные участки на рис. 2, а) количество окиси титана снижается до 8—9%. Если рассчитать полученные составы на миналы магнетита и ульвешпинели, то количество последней должно колебаться в пределах порядка 24—52%. По содержанию элементов-примесей титаномагнетиты характеризуются низкими значениями глинозема (0,0—0,2%), высокими марганца, никеля, ванадия, кобальта, хрома. Расчеты показали, что в минерале должно преобладать закисное железо над окисным (в молекулярных процентах соотношение  $\text{FeO}:\text{Fe}_2\text{O}_3:\text{TiO}_2$  порядка 58:25:17, а в менее титанистых разностях — 54:34:12). Заметим попутно, что изученный образец весьма близок к составам Fe—Ti-окисных минералов из оливинитов и мелилитовых пород массива Кугда Маймеча-Котуйской провинции, оригинальные анализы которых приведены в таблице (ан. 42—46) и имеются в литературе [8].

Магнетит + ульвешпинель — такой парагенезис характерен для мелкозернистых мельтейгитов периферического щелочного кольца Ковдорского массива. Электронно-микроскопическими исследованиями обнару-

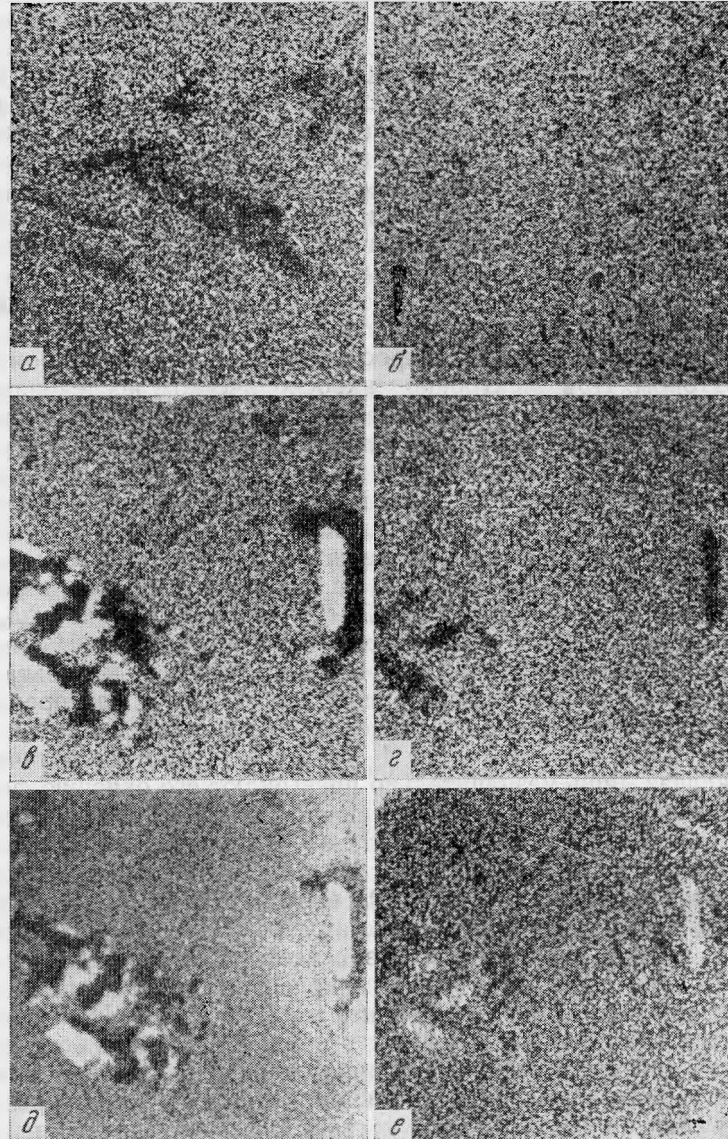


**Рис. 1. Электронно-микроскопические снимки образцов Fe—Ti-окисных минералов из пород якупирангит-уртитовой серии**

Ассоциация щелочных и ультраосновных пород: *а* — однородный титаномagnetит, оливиновый мельтейгит-порфир массива Сона, увел. 6490; *б* — ильменит замещает структуру распада магнетит+ульвёшпинель, ийолит массива Кугда, увел. 6490; *в* — деталь рис. *б* — структура распада магнетит+ульвёшпинель, ийолит массива Кугда, увел. 9570. Ассоциация щелочных и габброидных пород: *г* — структура распада магнетит+ильменит, ийолит-порфир Кия-Шалтырского массива, увел. 3080

жены очень тонкие пластины распада, располагающиеся под прямым углом, что характерно для ульвёшпинели. Под микроскопом и при электронном микрозондировании образец однороден, поэтому был получен только его валовый состав, несколько варьирующий в разных образцах (таблица, ан. 6, 7). Расчеты этих анализов подтверждают наличие в парагенезисе с магнетитом переменного количества (17—24%) ульвёшпинели. Для изученных образцов характерно довольно высокое содержание окиси титана (5,4—7,82%), а из числа элементов-примесей постоянные, хотя и не очень высокие количества глинозема (0,4—0,82%), марганца (0,7—1,03%), магния — порядка 0,6%, ванадия — десятые доли процента, хрома — сотые доли процента, никеля и кобальта — тысячные доли процента, соотношения  $\text{FeO} : \text{Fe}_2\text{O}_3 : \text{TiO}_2$  53 : 36 : 11 и 52 : 40 : 7 в этих образцах показывают преобладание молекулярных количеств закисного железа.

Парагенезис магнетит+ульвёшпинель сохраняется и в такситовых ийолитах, образовавшихся при процессе нефелинизации мелкозернистых



**Рис. 2.** Участки сканирования ( $100 \times 100$  мк) Fe—Ti-окисных минералов из пород якупирангит-уртитовой серии, ассоциация щелочных и ультраосновных пород с карбонатами

Титаномагнетит из оливнинового мельтейгит-порфира, массива Сона (таблица ан. 1—5), сканирование в рентгеновских лучах: *a* —  $Ti_{K\alpha}$ , *b* —  $Fe_{K\alpha}$ ; Fe—Ti-окисные минералы из мельтейгита, массив Одихинча (таблица, ан. 29—32), сканирование в рентгеновских лучах: *c* —  $Ti_{K\alpha}$ , *d* —  $Fe_{K\alpha}$ , *e* —  $Mn_{K\alpha}$ , *f* —  $Mg_{K\alpha}$

мельтейгитов Ковдорского массива (таблица, ан. 8). В ходе этого процесса мелкозернистые мельтейгиты обогащаются нефелином, приобретают такситовую структуру, при этом изменяется состав породообразующих минералов — возрастает доля эгириновой составляющей в пироксене, а нефелин становится более калиевым. Сопоставление анализов 6 и 8 (ан. 6 — окисные минералы Fe—Ti из мельтейгита, ан. 8 — окисные минералы Fe и Ti из такситового ийолита) показывает, что в минералы возрастает содержание окисного железа и несколько сокращается содержание титана. Судя по расчетам, в ходе этого процесса возрастает

доля магнетитовой составляющей, уменьшается содержание ульвёшпинели и, по-видимому, появляются единичные зерна ильменита.

Магнетит + ульвёшпинель + ильменит — наиболее типичный парагенезис Fe — Ti-окисных минералов, встреченный в ийолитах из массивов щелочных и ультраосновных пород с карбонатами. В большинстве изученных образцов ильменит, как правило, замещает более ранний парагенезис магнетит + ульвёшпинель, образующий структуру распада, аналогичную описанной выше. При этом формы выделений ильменита, их размеры и интенсивность замещения ульвёшпинели и магнетита несколько варьирует в ийолитах разных типов.

В пегматоидных ийолитах Ковдорского массива, образующих жилы, секущие оливиниты центрального тела, Fe — Ti-окисные минералы кажутся однородными как под микроскопом, так и под электронным микроанализатором. При электронно-микроскопическом исследовании в них обнаружено два типа структур распада: а) более грубая прямоугольная сетка пластин, по-видимому, ульвёшпинели; б) система мелких пластин под углом в 45°, на которые распадаются отдельные крупные пластины, методом микродифракции диагностируемые как ильменит. Расчеты анализов этих минералов, как химических, так и выполненных на микрозонде (таблица, ан. 9—12), показывают, что в основном они состоят из магнетита (более 90% по расчетам на минералы). Содержание окиси титана в них колеблется в пределах 2—4%, примесь глинозема, окисей магния, марганца лишь в единичных случаях превышает 1%, пятиокиси ванадия — десятые доли процента, а хрома, никеля, кобальта — сотые доли процента. Расчеты анализов на минералы позволяют предполагать, что в изученных образцах сохраняется 2—4% ульвёшпинели, а замещивший их ильменит составляет 4—6%. Молекулярные количества закисного железа лишь незначительно превышают его окисную форму.

Парагенезис магнетит + ульвёшпинель + ильменит характерен и для основной массы мельтейгитов и ийолитов, слагающих неполно кольцевое тело в массиве Кугда (таблица, ан. 24—28), штокообразное тело массива Одихинча (таблица, ан. 29—32), выходы ийолитов Горноозерского массива на Турьем Мысу (таблица, ан. 19—23). При этом количество ильменита в них значительно возрастает. В качестве примера на рис. 1, б, приведены электронно-микроскопические снимки образца Fe — Ti-окисных минералов из ийолита массива Кугда. Ильменит (крупные пласти с гладкой поверхностью, рис. 1, б) замещает большую часть поверхности данного образца. Первичное его строение сохранилось только в виде реликтов, имеющих типичную картину структуры распада магнетит + ульвёшпинель, пример которой, сфотографированный отдельно с большим увеличением, показан на рис. 1, в. Выделения ильменита достаточно крупные, и при электронном микрозондировании удается получить состав ильменитовой фазы (таблица, ан. 23, 27, 28), в которой, помимо титана, концентрируется и основное количество примесей: магний, марганец.

Промежутки между выделениями ильменита, представленные, как показано на рис. 1, б, в, распадом магнетит + ульвёшпинель, при электронном микрозондировании анализируются как однородное вещество (таблица, ан. 21, 22, 24—26, 29, 30). Эти составы удовлетворительно рассчитываются на минералы магнетита и ульвёшпинели, причем доля последней варьирует в довольно широких пределах — от 25—10%. Валовый химический анализ, выполненный для двух образцов исследованных минералов из ийолитов Турьего Мыса, позволил оценить соотношение в них главных фаз. Оказалось, что в целом в образцах Fe — Ti-окисных минералов из ийолита Турьего Мыса доля магнетита составляет около 80% при содержаниях ильменита до 17—18% и ульвёшпинели до 2—5%.

Фазу чистого магнетита удалось проанализировать только из мельтейгита массива Одихинча (таблица, ан. 31), где он выделяется в тес-



ном страстанин с высокотитанистой фазой, приближающейся по составу к ильмениту (ан. 32). На приводимых фотографиях участка сканирования (рис. 2, в, г, д, е) отчетливо видно перераспределение содержания элементов-примесей между высоко- и малотитанистой фазами и обогащение именно высокотитанистой фазы марганцем, магнием (рис. 2, д, е). Основное поле сканированного участка (под электронным микросондом — однородное), как и в предыдущих образцах, представляет собою структуру распада магнетита+ульвёшпинель (таблица, ан. 29, 30).

Несколько необычные структуры распада обнаружены в образе ийолита из юго-восточной части периферического щелочного кольца Ковдорского массива. При электронном микросондировании были обнаружены индивидуализированные фазы магнетита, ульвёшпинели, смеси магнетита и ильменита (таблица, ан. 14—18). Расчет химического анализа этого образца с очень высоким содержанием закисного железа также укладывается в миалы магнетита и ульвёшпинели. В то же время, судя по характеру пластин на электронно-микроскопическом снимке, они, скорее, должны бы принадлежать ильмениту.

В целом Fe—Ti-окисные минералы из ийолитов и мельтейгитов массивов щелочных и ультраосновных пород представляют собою сложные структуры распада с вполне устойчивым первичным парагенезисом магнетита и ульвёшпинели, который в той или иной степени замещается более поздним ильменитом. Для химического состава Fe—Ti-окисных минералов из якупирангит-уртитов карбонатитовых массивов характерен разнообразный набор и довольно высокие концентрации второстепенных компонентов (Al, Mg, Mn) и элементов-примесей (Ni, Co, V, Cr).

#### **Fe—Ti-окисные минералы из ийолитов, ассоциирующихся со щелочными габбро и геденбергитовыми нефелиновыми сиенитами**

Fe—Ti-окисные минералы из ийолитов, ассоциирующихся со щелочными габброидами и геденбергитовыми нефелиновыми сиенитами, встречаются в виде редкой акцессорной примеси и характеризуются сходным фазовым составом.

В массивах щелочно-габброидного состава окисные минералы Fe и Ti присутствуют практически во всех разновидностях пород, причем максимальные их концентрации характерны для габбро, достигая в некоторых массивах масштабов, представляющих практический интерес. В породах ийолит-уртитовой серии чаще всего они встречаются в акцессорных количествах и имеют довольно простой фазовый состав рудных минералов. Так, в образцах ийолитов, уртитов, ювитов массива Гремяха-Вырмес (Кольский п-ов) из нашей коллекции отмечен только ильменит. В ийолит-порфирах Кия-Шалтырского массива (Кузнецкий Алатау) акцессорные Fe—Ti-окисные минералы представлены двумя фазами: магнетит+ильменит. Неоднородность их строения обнаруживается уже при исследовании под оптическим микроскопом, а на электронно-микроскопическом снимке при увеличении  $\times 3080$  хорошо видна морфология типичной структуры распада магнетит+ильменит (рис. 1, г) с характерной глобулярной поверхностью магнетита и пластинками ильменита, располагающимися под углом порядка  $60^\circ$ .

Ильменит образует две пластинок: крупные пластинки ильменита составляют ромбовидную решетку, в ячейках которой, помимо магнетита, имеются и мелкие пластинки ильменита. При анализе образца, выполненного на электронном микроанализаторе, получены составы чистого магнетита (таблица, ан. 38, 39) и ильменита (ан. 40, 41). Еще два анализа (ан. 36, 37) характеризуют участки, где, по-видимому, в магнетите имеется мелкая примесь ильменита, количество которого варьирует в пределах 29—39%. В составе образца из элементов-примесей

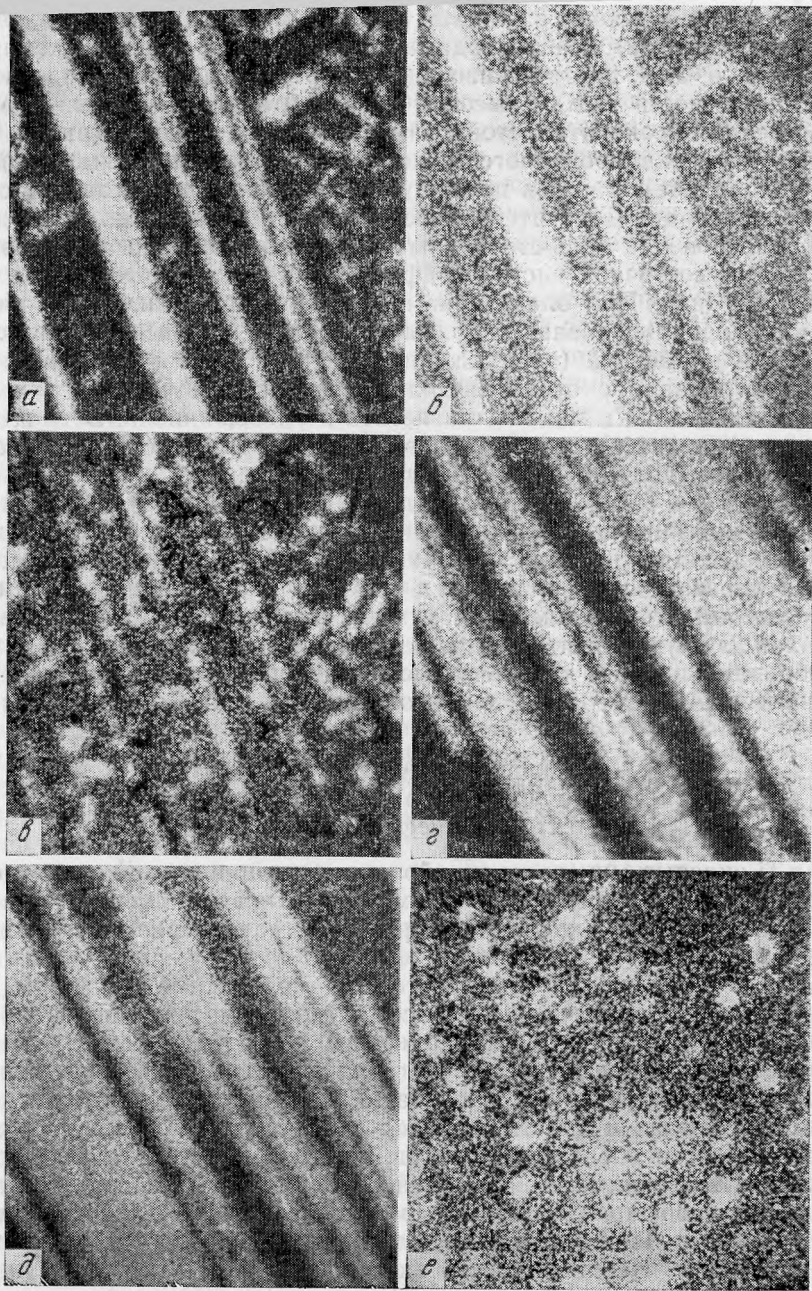


Рис. 3. Участки сканирования ( $100 \times 100$  мк) Fe—Ti-окисных минералов из ийолит-порфира Кия-Шалтырского массива (а—в) и малиньита Баянкольского массива (г—е)

Сканирование в рентгеновских лучах: а —  $Ti_{K\alpha}$ ; б —  $Mn_{K\alpha}$ ; в —  $Al_{K\alpha}$  (таблица, ан. 36 — 41); г —  $Ti_{K\alpha}$ ; д —  $Mn_{K\alpha}$ ; е —  $Al_{K\alpha}$  (таблица, ан. 34 — 35)

диагностированы алюминий, марганец, иногда — магний, хром. При сканировании в рентгеновских лучах (рис. 3, а—в) отчетливо видно, что элементы-примеси концентрируются в высокотитанистой фазе, причем характер их распределения различен. Если марганец довольно равномерно распределен по всей титанистой фазе (сравните рис. 3, а и б), образующей как бы пластины, то алюминий (рис. 3, в), а также хром концент-

рируются в виде точечных участков округлой формы, позволяя предполагать присутствие самостоятельной минеральной фазы шпинели типа герцинита или хромгерцинита.

В ассоциации ийолитов, уртитов, ювитов с геденбергитовыми нефелиновыми сиенитами юго-восточной Тувы Fe—Ti-окисные минералы встречаются обычно также в виде акцессорной примеси. Некоторая их концентрация была обнаружена в полевошпатовых разновидностях ийолитмалиньитах в расслоенном комплексе Баянкольского массива. Отмечается большое сходство фазового состава Fe—Ti-окисных минералов Баянкольского массива с образцами из ийолит-порфиров Кия-Шалтырского массива. Для Fe—Ti-окисных минералов Баянкольского массива также характерны грубые структуры распада, образуемые магнетитом и ильменитом, при этом электронно-микроскопические их снимки практически идентичны с рис. 1, г. В составе смеси Fe—Ti-окисных минералов из малиньита Баянкольского массива (таблица, ан. 33) установлены невысокие содержания титана и ничтожные следы таких характерных составляющих, как окись хрома ( $<0,002\%$ ), никель ( $<0,001\%$ ) кобальт ( $<0,003\%$ ). Судя по расчету анализа этого образца, в его составе преобладает магнетит, а примесь ильменита составляет около 8%. На электронном микроанализаторе выполнен анализ каждой из минеральных фаз — магнетита (ан. 34) и ильменита (ан. 35). Обращает внимание низкое содержание элементов-примесей. Как и в образце из Баянкольского массива, исключение составляют марганец (2,9%), сконцентрированный в ильмените (рис. 3, г, д), а также алюминий, повышенные содержания которого в виде округлых участков фиксируются при сканировании в рентгеновских лучах  $Al_{K\alpha}$  (рис. 3, е), позволяя предполагать наличие шпинели.

### Результаты исследований

Исследование Fe—Ti-окисных минералов из щелочных пород якупиранг-уртитовой серии показало, что большинство образцов характеризуется микронеоднородным строением. Титаномагнетит без видимых структур пластинчатого распада установлен только в приповерхностных образованиях типа оливинового мельтейгит-порфира и оливинового ийолит-порфира. Среди исследованных Fe—Ti-окисных минералов с микронеоднородным строением по составу и формам выделений минеральных фаз четко различаются две группы, каждая из которых характерна для определенных природных ассоциаций щелочных пород.

Структуры распада магнетит+ульвёшпинель, весьма тонкие, различимые только при увеличениях порядка 6000 раз, характерны для ийолитов, мельтейгитов из массивов щелочных и ультраосновных пород с карбонатами. В этих образцах выделения ильменита, как правило, замещают парагенезис магнетит+ульвёшпинель. Подобные структуры распада Fe—Ti-окисных минералов отмечались и для ийолитов, уртитов, ювитов Хибинского массива [9, 10], хотя значительно чаще диагностируется только ильменит.

Структуры распада магнетит+ильменит с хорошо индивидуализированными крупными фазами, заметными при оптических исследованиях под микроскопом, для расшифровки которых достаточны увеличения порядка 3000 раз, характерны для ийолит-порфиров, ассоциирующихся со щелочными габброидами (Кия-Шалтырский массив), и малиньитов из ассоциации с геденбергитовыми нефелиновыми сиенитами (Баянкольский массив). Fe—Ti-окисные минералы из Кия-Шалтырского и Баянкольского массивов отличаются и по составу, а именно резким падением содержаний элементов-примесей (титан, никель, хром, алюминий, кобальт, ванадий, марганец) по сравнению с образцами из йолитов и мельтейгитов карбонатитовых массивов.

Таким образом, обнаруженная ранее корреляция между изменением состава породообразующих минералов якупирангит-уртитов (нефелин, пироксен) и типом ассоциации, с которым связаны эти щелочные породы [11], подтверждается и на примере минералов окислов Fe и Ti. В этой связи типоморфные особенности Fe—Ti-окисных минералов могут быть использованы в качестве диагностирующих признаков, помогающих определить тип ассоциации и сопутствующие ей месторождения полезных ископаемых.

Помимо этого, минералы окислов Fe и Ti несут определенную информацию об условиях формирования и генезисе пород якупирангит-уртитового ряда. Судя по составу и содержанию продуктов распада твердого раствора Fe—Ti-окисных минералов, рассмотренные ассоциации изверженных горных пород формировались при изменении парциального давления кислорода. Парагенезис с ульвёшпинелью, характерный для двух щелочных ассоциаций платформ, образовался, по-видимому, в условиях низкой летучести кислорода. К концу процесса парциальное давление кислорода возрастало, с чем связано появление более позднего ильменита, развивающегося по парагенезису магнетит + ульвёшпинель. В щелочных породах двух других ассоциаций, типичных для складчато-глыбовых областей, отмечались мелкие выделения шпинели типа герцинита, сохранившиеся в грубых структурах распада магнетит + ильменит. По-видимому, общая тенденция нарастания активности кислорода к конечным стадиям выделения Fe—Ti-окисных минералов сохранялась и в этих ассоциациях пород.

Обратим внимание на некоторые особенности Fe—Ti-окисных минералов, представляющих интерес в связи с продолжающейся дискуссией о генезисе пород якупирангит-уртитовой серии и роли магматических и метасоматических процессов в их образовании. В частности, весьма показательным является постоянное присутствие ульвёшпинели среди раннего парагенезиса Fe—Ti-окисных минералов в породах якупирангит-уртитовой серии карбонатитовых массивов. Как известно, ульвёшпинель — один из наиболее характерных Fe—Ti-окисных минералов магматического генезиса.

Различия в составе Fe—Ti-окисных минералов из ийолитов и оливинитов карбонатитовых комплексов иногда использовались [8] в качестве аргумента для доказательства гетерогенности массивов ультраосновных и щелочных пород, что вряд ли правомерно. Как известно, в породах контрастного состава, хотя и принадлежащих одной ассоциации, например габбро и щелочные породы, минералы окислов Fe и Ti, как и другие минералы, различаются весьма существенно, отражая изменения исходных расплавов и условий кристаллизации в ходе их дифференциации. В этой связи особый интерес представляет состав условно-гомогенного титаномагнетита из оливинового мельтейгит-порфира массива Сона Маймеча-Котуйской провинции. Эта близповерхностная разность пород, напоминающая меланефелиниты, в самом общем виде по составу приближается к предполагаемым исходным расплавам для ассоциации щелочных и ультраосновных пород. Обращает внимание, что по содержанию элементов-примесей (Ni — 0,046%, Co — 0,020%, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — 0,15%, TiO<sub>2</sub> до 18%) титаномагнетит из оливинового мельтейгит-порфира занимает как бы промежуточное положение между Fe—Ti-окисными минералами ийолитов и оливинитов, а также меллититовых пород, подчеркивая их геохимическое и возможное генетическое родство.

1. *Богатиков О. А., Боярская Р. В., Карпова О. В.* Неоднородность титаномагнетита.— В кн.: Вопросы однородности и неоднородности минералов. М.: Наука, 1971.
2. *Руб М. Г., Гладков Н. Г., Павлов В. А., Тронева Н. В.* Акцессорные магнетиты и хромшпинелиды как индикаторы генезиса магматических пород.— Изв. АН СССР. Сер. геол., 1975, № 10.
3. *Чернышева Л. В.* Типоморфные особенности магнетитов магматических карбонатитовых и скарновых месторождений.— В кн.: Очерки по генетической минералогии. М.: Наука, 1976.
4. *Thompson R. N.* The 1-atmosphere liquid oxygen fugacities of some tholeiitic in dermediate, alkalic and ultra-alkalic lavas.— Amer. J. Sci., 1975, 275.
5. *Duchesne T. G.* Microtextures of Fe—Ti oxide minerals in the south—Rogaland and orthositic complex (Norway).
6. *Римская-Корсакова О. М.* К вопросу о генезисе Ковдорского железорудного месторождения.— В кн.: Вопросы магматизма и метаморфизма, т. 1. М.: Изд-во ЛГУ, 1963.
7. *Васильев Ю. Р., Коненко В. Ф., Корюк В. Н.* Акцессорные хромшпинелиды из ультраосновных пород Маймеча-Котуйского района (север Сибирской платформы).— В кн.: Материалы по генетической и экспериментальной минералогии. Новосибирск: Наука, 1976.
8. *Бородин Л. С., Золотарев Б. П., Сердобова Л. И.* Особенности химического состава и распределение титаномагнетита в комплексных массивах ультрабазитов, щелочных пород и карбонатитов.— Изв. АН СССР. Сер. геол., 1966, № 5.
9. *Дудкин О. Д.* К характеристике титаномагнетита щелочных пород Хибинского массива.— В кн.: Материалы по минералогии Кольского полуострова. Вып. 6. Л.: Наука, 1968.
10. *Семенов Е. И.* Ульвошпинель в титаномагнетитах Хибинского щелочного массива. М.: Наука, 1959. (Труды/Музей минерал. музей АН СССР; Вып. 9).
11. *Кононова В. А., Лапутина И. П., Ломейко Е. И., Тимофеева И. А.* Типоморфизм породообразующих минералов якупирангит-уртитов.— Изв. АН СССР. Сер. геол., 1975, № 7.