

ОСОБЛИВОСТІ РЕЧОВИННОГО СКЛАДУ ХРОМОВИХ РУД ОЛИСЯ-МУСЮРСЬКОГО МАСИВУ

Дослідження особливостей речовинного складу хромових руд Олися-Мусюрського масиву є складовою частиною робіт з порівняльного вивчення мафіт-ультрамафітових масивів. У результаті вивчення хімічного складу хромітів, а також внутрішньої будови та складу хромшпінелідів визначено типохімічні особливості хромових руд, які пов'язані з дуніт-гарцбургітовою (Олися-Мусюрський масив) та дуніт-верліт-клінопіроксенітовою (Синотвозький масив) асоціаціями.

Ключові слова: рудоносність, хромітоносність, хромшпінеліди, ультрамафіти, серпентиніти, кластерний аналіз, мікрозондовий аналіз, Олися-Мусюрський масив.

Вступ. Олися-Мусюрський мафіт-ультрамафітовий масив розташований на східному схилі Приполярного Уралу у вигляді витягнутого в субмеридіональному напрямку тіла (рис. 1) завдовжки 45 км і завширшки 2—6 км. Умовно масив поділяють на північно-східну частину — Олися-Мусюрський масив, і південно-західну — Синотвозький масив. У будові масиву беруть участь мафіт-ультрамафітові асоціації порід салатимського ($O_{1-2}s$) і тагілокитлимського (S_1t) комплексів, що змінюють одна одну в широтному напрямку.

Прояви хромових руд Олися-Мусюрського та Синотвозького масивів, які пов'язані з дуніт-гарцбургітовою та дуніт-верліт-клінопіроксенітовою асоціаціями відповідно, були відкриті в 1976—1979 рр. під час проведення геологічного знімання на Приполярному Уралі. Нині на них ведуться пошуково-оцінювальні роботи силами ВАТ «Сосьвапромгеологія».

Раніше М.В. Рузіна та Д.В. Яцина виконали дослідження з вивчення петрологічних особливостей, генезису, стадійності мінералоутворення та виявлення перспектив рудоносності ультрамафітів [4—6]. Ультрамафітові породи досліджуваного масиву зазнали декілька стадій та підстадій перетворень. Магматична стадія характеризується утворенням первинного офіолітового субстрату, формуванням порід, близьких за складом до дунітів, гарцбургітів, піроксенітів, та їх подальшими автотематоморфічними перетвореннями.

На метаморфічній стадії відбулася метаморфічна та гідротермально-метасоматична переробка, утворилися тектонічні клини (мініблоки) масиву, який набув сучасного геологічного положення. Олівінізація та піроксенізація первинно-магматичних недеплетованих гарцбургітів (20—

35 % піроксену) зумовили утворення більш деплетованих гарцбургітів (15—25 % піроксену), дунітів, серпентинітів, а також багатих хромових руд. Новоутворені породи зазнали повторної серпентинізації.

Подальші метаморфічні перетворення мали регресивний характер, за даними [3], ймовірно від амфіболітової до зеленосланцевої фації. Високо- та середньотемпературні процеси були характерні для меж великих тектонічних блоків, низькотемпературні — для їх центральних частин і клинів.

На гідротермально-метасоматичній стадії сформувалися серпентин-талькові, серпентин-хлоритові, талькові, тальк-карбонатні породи.

Мета досліджень. Дослідження спрямовані на порівняльне вивчення складу хромових руд Оліся-Мусюрського та Синотвозького масивів для визначення їхніх типохімічних особливостей. Як і попередні роботи, ці дослідження є частиною комплексного порівняльного вивчення петрології та перспектив рудоносності Оліся-Мусюрського та Південнобілозерського (Український щит) масивів.

Методи досліджень. Оброблено результати рентгенофлуоресцентного аналізу 256 проб хромових руд і порід із хромітовою мінералізацією; проведено мінераграфічне вивчення 40 аншліфів хромових руд, виконано 43 визначення хімічного складу хромітових зерен і мікрровключень за допомогою мікрозондового аналізу.

Результати та обговорення. В результаті обробки результатів аналізу хімічного складу проб хромітів і вмінних порід виявлено, що хромові руди Оліся-Мусюрського масиву відрізняються низьким вмістом оксиду магнію (19—21 %), підвищеним вмістом глинозему (9—10 %), оксидів хрому (33—35 %) і заліза (16—17 %). Хромові руди Синотвозького масиву характеризуються підвищеним вмістом оксиду магнію (29—31 %), низьким — глинозему (2—3 %), та нижчим вмістом оксидів хрому (20—25 %) і заліза (12—14 %). Під вмістом оксидів заліза маємо на увазі сумарний вміст FeO та Fe_2O_3 ($FeO + Fe_2O_3$) у хромових рудах (надалі у тексті та на графіках позначено як $FeO_{заг}$).

Для хромітів Оліся-Мусюрського масиву властивий підвищений середній вміст ванадію (V — 0,044 %), оксидів титану й мангану (TiO_2 — 0,16, MnO — 0,31 % відповідно), для хромітів Синотвозького масиву — знижений середній вміст ванадію (V — 0,015 %), оксидів титану й мангану (TiO_2 — 0,11, MnO — 0,22 %).

Для зручності візуального зіставлення побудовані 3D- і 2D-графіки співвідношення вмісту оксидів магнію, алюмінію, хрому та заліза, а також 3D-графіки розсіювання ванадію, оксидів титану й мангану в хромових рудах Оліся-Мусюрського (рис. 2, I; 3, I; 4, I) і Синотвозького масивів (рис. 2, II; 3, II; 4, II).

Місцями в хромових рудах відзначається незначний вміст кобальту (від 0,009 до 0,15 % для Оліся-Мусюрського масиву; від 0,21 до 0,29 % — для Синотвозького) і нікелю (від 0,05 до 0,30 % для Оліся-Мусюрського масиву; від 0,12 до 0,52 % — для Синотвозького).

Вміст сірки в руді досліджуваних масивів, пов'язаної із сульфідами нікелю, становить менш ніж 0,05 %, вміст фосфору не перевищує 0,04 %. Сульфіди нікелю

Рис. 1. Географічне положення масивів Хулгінського блока, за А.В. Алексеевим [1]

Fig. 1. Geographic situation of the Khulginsky block massifs, by A.V. Alexeyev [1]



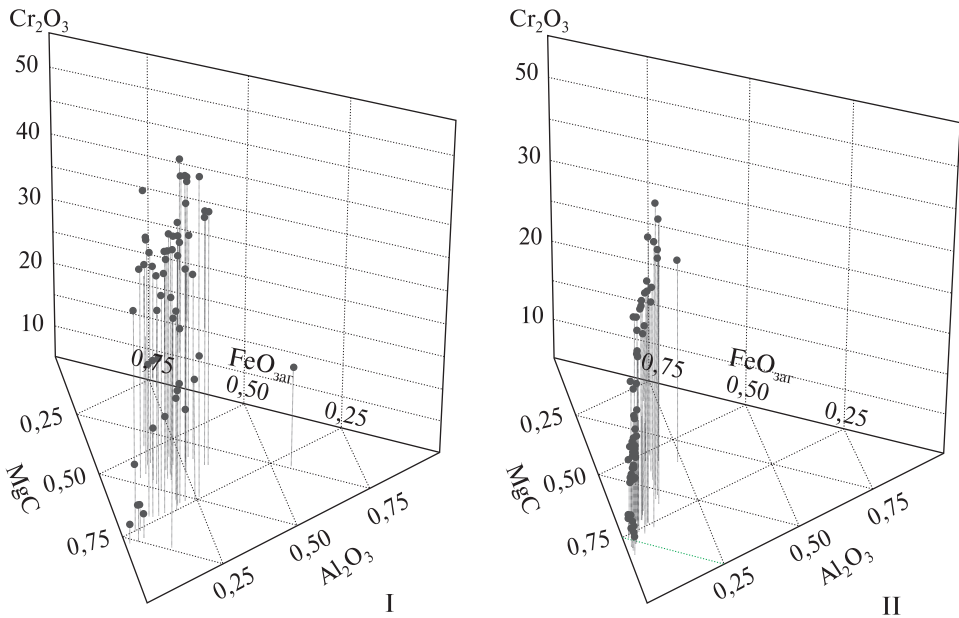


Рис. 2. Потрійні 3D-графіки співвідношення оксидів Mg, Al, Cr та Fe у хромових рудах Олися-Мусюрського (I) і Синотвозького (II) масивів

Fig. 2. Ternary 3D-graphs of the correlation between the Mg, Al, Cr and Fe oxides in chrome ores of the Olysa-Musur (I) and Synotwozhsky (II) massifs

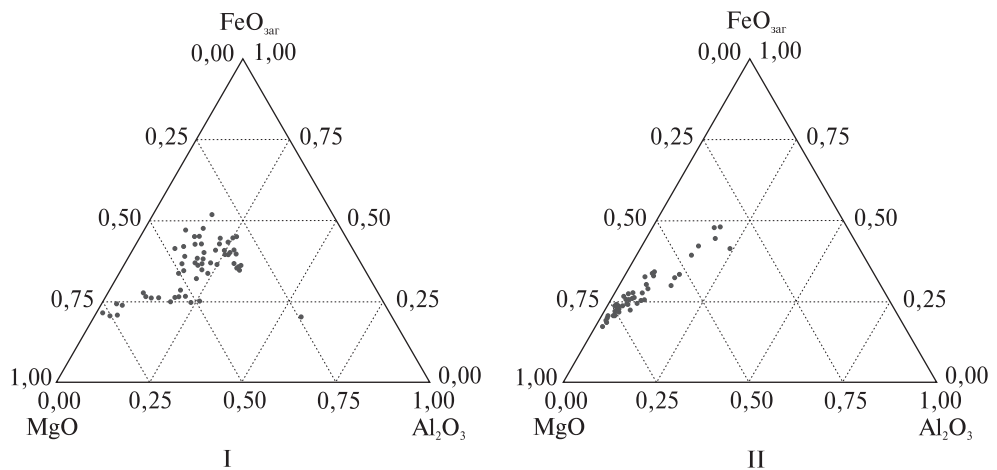


Рис. 3. Потрійні 2D-графіки співвідношення оксидів Mg, Al та Fe у хромових рудах Олися-Мусюрського (I) і Синотвозького (II) масивів

Fig. 3. Ternary 2D-graphs of the correlation between the Mg, Al and Fe oxides in chrome ores of the Olysa-Musur (I) and Synotwozhsky (II) massifs

спостерігаються у вигляді мікрровключень у зернах хромшпінелідів, у тріщинах катаклазу та міжзерновому просторі; докладніше вони описані нижче.

Для виявлення характеру зв'язків між досліджуваними оксидами, а також їх розподілу в хромових рудах проведено кореляційний, регресійний і кластерний аналізи. Всі статистичні розрахунки виконано за допомогою пакету програм «STATISTICA 6.0. StatSoft, Inc.» [2]. Аналізу піддавали розбраковані вибір-

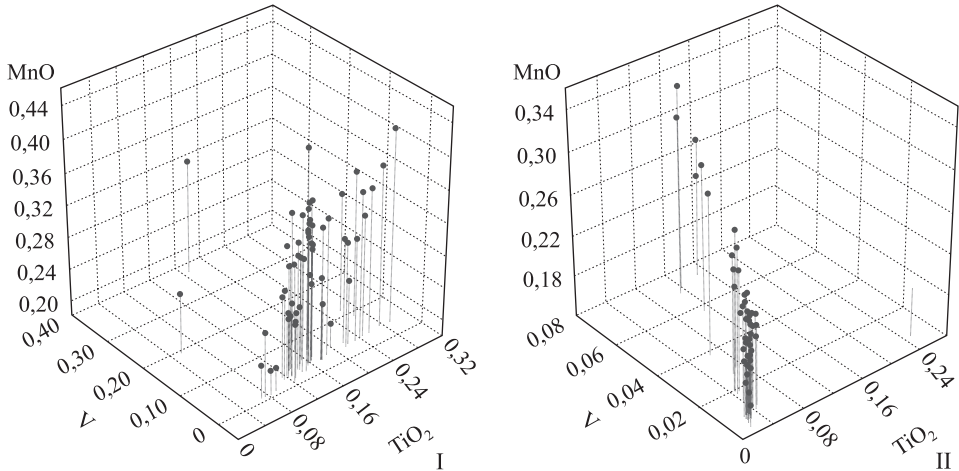


Рис. 4. Потрійні 3D-графіки розсіювання для V, оксидів Ti та Mn у хромових рудах Олися-Мусюрського (I) і Синотвозького (II) масивів

Fig. 4. Ternary 3D scatter image plots of the correlation between V and oxides of Ti and Mn in chrome ores of the Olysa-Musur (I) and Synotwozhsky (II) massifs

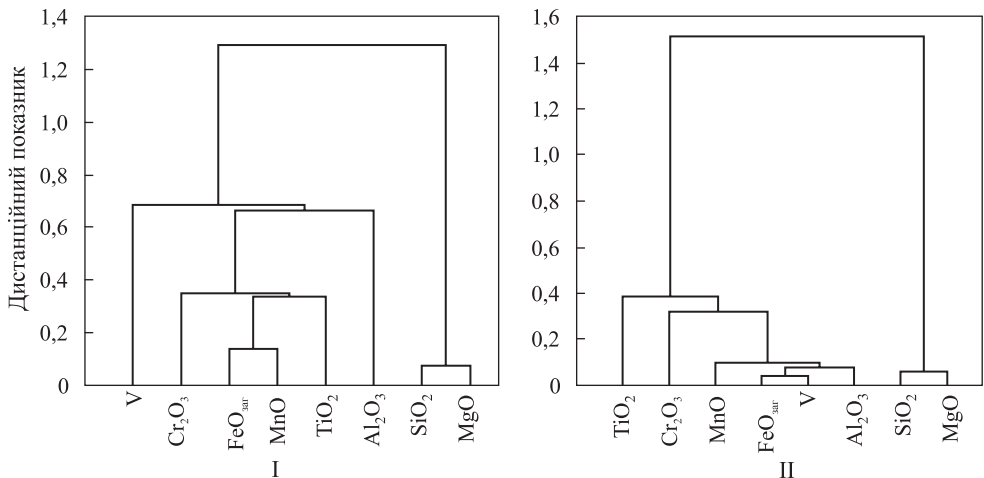


Рис. 5. Дендритограми кластеризації досліджуваних оксидів у хромових рудах Олися-Мусюрського (I) і Синотвозького (II) масивів

Fig. 5. Tree diagrams for investigated oxides in chrome ores of the Olysa-Musur (I) and Synotwozhsky (II) massifs

ки, складені окремо для проб Олися-Мусюрського та Синотвозького масиву. Критичний коефіцієнт кореляції для обох вибірок дорівнює 0,26. Для проведення кластерного аналізу використано метод поодинокого зв'язку, за міру подібності прийнято величину, зворотну коефіцієнту кореляції Пірсона.

Таким чином, у результаті проведення кореляційного та регресійного аналізів було встановлено наявність позитивного статистично значущого зв'язку між MgO та SiO₂, а також негативного статистично значущого зв'язку цих оксидів попарно із вмістами V, оксидів Al, Ti, Cr, Mn, Fe у хромових рудах Олися-Мусюрського та Синотвозького масивів (табл. 1).

За даними кластерного аналізу побудовано дендритограми, з яких видно, що MgO та SiO₂ утворюють перший кластер, який належить до першої групи

Таблиця 1. Результати регресійного та кореляційного аналізів
Table 1. Regression and correlation analyses results

| Олися-Мусюрський масив | | Синотвоський масив | |
|---------------------------------------|----------|---------------------------------------|----------|
| Рівняння регресії | <i>r</i> | Рівняння регресії | <i>r</i> |
| $Al_2O_3 = 20,535 - 0,5190MgO$ | -0,5609 | $Al_2O_3 = 16,762 - 0,4678MgO$ | -0,8982 |
| $SiO_2 = -16,63 + 1,5520MgO$ | 0,92449 | $SiO_2 = -12,82 + 1,3826MgO$ | 0,93901 |
| $TiO_2 = 0,27706 - 0,0055MgO$ | -0,5976 | $TiO_2 = 0,39838 - 0,0095MgO$ | -0,5082 |
| $V = 0,09935 - 0,0026MgO$ | -0,2924 | $V = 0,09546 - 0,0027MgO$ | -0,8072 |
| $Cr_2O_3 = 70,626 - 1,764MgO$ | -0,9058 | $Cr_2O_3 = 69,435 - 1,636MgO$ | -0,8766 |
| $MnO = 0,44320 - 0,0063MgO$ | -0,6874 | $MnO = 0,41284 - 0,0064MgO$ | -0,8583 |
| $FeO_{зар} = 28,308 - 0,5485MgO$ | -0,7658 | $FeO_{зар} = 31,949 - 0,6618MgO$ | -0,7711 |
| $SiO_2 = 27,009 - 1,140Al_2O_3$ | -0,6286 | $SiO_2 = 35,708 - 2,600Al_2O_3$ | -0,9195 |
| $TiO_2 = 0,13387 + 0,00291Al_2O_3$ | 0,29416 | $TiO_2 = 0,05597 + 0,02064Al_2O_3$ | 0,57292 |
| $V = 0,03031 + 0,00144Al_2O_3$ | 0,14879 | $V = -0,0015 + 0,00591Al_2O_3$ | 0,92151 |
| $Cr_2O_3 = 26,686 + 0,70755Al_2O_3$ | 0,33623 | $Cr_2O_3 = 13,841 + 2,4343Al_2O_3$ | 0,67949 |
| $MnO = 0,30203 + 0,00095Al_2O_3$ | 0,09676 | $MnO = 0,18917 + 0,01194Al_2O_3$ | 0,83693 |
| $FeO_{зар} = 14,720 + 0,21209Al_2O_3$ | 0,27399 | $FeO_{зар} = 8,0937 + 1,4648Al_2O_3$ | 0,88891 |
| $TiO_2 = 0,20707 - 0,0028SiO_2$ | -0,5167 | $TiO_2 = 0,30324 - 0,0067SiO_2$ | -0,5227 |
| $V = 0,06962 - 0,0016SiO_2$ | -0,2971 | $V = 0,06899 - 0,0019SiO_2$ | -0,8368 |
| $Cr_2O_3 = 50,423 - 1,055SiO_2$ | -0,9096 | $Cr_2O_3 = 51,368 - 1,081SiO_2$ | -0,8528 |
| $MnO = 0,36841 - 0,0036SiO_2$ | -0,6561 | $MnO = 0,34871 - 0,0044SiO_2$ | -0,8792 |
| $FeO_{зар} = 21,824 - 0,3156SiO_2$ | -0,7397 | $FeO_{зар} = 25,798 - 0,4782SiO_2$ | -0,8205 |
| $V = 0,02924 + 0,09219TiO_2$ | 0,09416 | $V = 0,00271 + 0,10903TiO_2$ | 0,61253 |
| $Cr_2O_3 = 18,288 + 93,898TiO_2$ | 0,44153 | $Cr_2O_3 = 16,818 + 34,224TiO_2$ | 0,34419 |
| $MnO = 0,22735 + 0,51810TiO_2$ | 0,52020 | $MnO = 0,20108 + 0,19140TiO_2$ | 0,48345 |
| $FeO_{зар} = 8,3617 + 51,880TiO_2$ | 0,66320 | $FeO_{зар} = 9,2686 + 25,986TiO_2$ | 0,56814 |
| $Cr_2O_3 = 30,472 + 68,178V$ | 0,31387 | $Cr_2O_3 = 16,498 + 278,89V$ | 0,49922 |
| $MnO = 0,30471 + 0,14665V$ | 0,14416 | $MnO = 0,19429 + 1,8890V$ | 0,84927 |
| $FeO_{зар} = 16,108 + 14,709V$ | 0,18408 | $FeO_{зар} = 8,5071 + 245,90V$ | 0,95692 |
| $MnO = 0,20939 + 0,00304Cr_2O_3$ | 0,64919 | $MnO = 0,16711 + 0,00269Cr_2O_3$ | 0,67677 |
| $FeO_{зар} = 8,8321 + 0,23669Cr_2O_3$ | 0,64347 | $FeO_{зар} = 7,8767 + 0,21054Cr_2O_3$ | 0,45771 |
| $FeO_{зар} = -4,288 + 67,628MnO$ | 0,86103 | $FeO_{зар} = -10,96 + 104,06MnO$ | 0,90070 |

Пр и м і т к а: $y = ax + b$ — рівняння регресії; *r* — коефіцієнт кореляції.

кластерів (рис. 5), для них характерний найсильніший асоціативний зв'язок. Звідси можна зробити висновок, що MgO є силікатною складовою і переважно входить до складу серпентинів.

Між вмістами інших оксидів та ванадію попарно спостерігається наявність статистично значущих позитивних зв'язків у рудах як Олися-Мусюрського масиву, так і Синотвоського (табл. 1). Вони утворюють одну велику асоціацію, яка графічно виражена другою групою кластерів на дендритограмах (критичне значення дистанційного показника за критичного коефіцієнта кореляції 0,26 і довірчої ймовірності 95 % становить 0,7).

Однак в інших групах кластерів співвідношення між досліджуваними оксидами та елементами різні для руд досліджуваних масивів. Тіснота зв'язків між ними найбільша в рудах Синотвоського масиву (кластери розташовані нижче дистанційного показника 0,4 (рис. 5, II)). Для руд Олися-Мусюрського масиву виділена друга група кластерів (від 2-го до 6-го), яка розташована трохи нижче

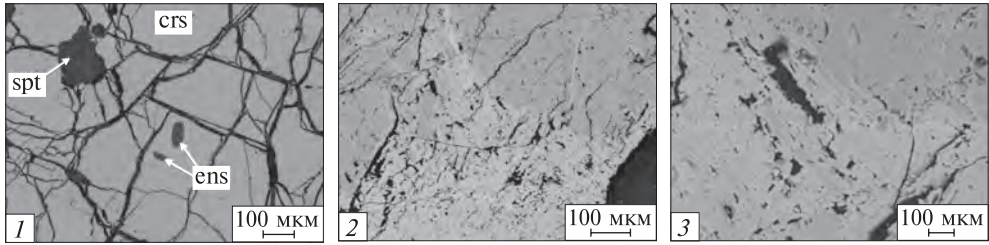


Рис. 6. SEM-знімки хромшпінелідів: 1 — проба ОР-3; 2, 3 — проба КК-201/1; spt — серпентин, crs — хромшпінелід, ens — енстатит

Fig. 6. SEM images of chromspinelides: 1 — sample OP-3; 2, 3 — sample KK-201/1; spt — serpentine, crs — chromspinelides, ens — enstatite

критичної межі дистанційного показника (рис. 5, I). Отже, тіснота зв'язків між досліджуваними оксидами та елементами буде слабшою, що також виявлено за значеннями коефіцієнтів кореляції (табл. 1).

Відмінною рисою хромових руд Оліся-Мусюрського масиву є відсутність статистично значущих зв'язків між Al_2O_3 і V, Al_2O_3 і MnO, Al_2O_3 і $FeO_{зар}$, TiO_2 і V, MnO і V, $FeO_{зар}$ і V.

Для руд Синотвоського масиву, навпаки, спостерігається дуже тісний зв'язок між $FeO_{зар}$ і V ($r = 0,95$); парний зв'язок Al_2O_3 із $FeO_{зар}$ та V ($r = 0,88$ і $r = 0,92$ відповідно); парний зв'язок MnO із $FeO_{зар}$, V і Al_2O_3 ($r = 0,90$, $r = 0,84$ і $r = 0,83$ відповідно). На дендритограмі (рис. 5, II) вони утворюють перші три кластери в другій групі, які поєднуються із Cr_2O_3 у четвертий кластер.

Найтісніший зв'язок у рудах Оліся-Мусюрського масиву спостерігається попарно між $FeO_{зар}$, MnO і TiO_2 (коефіцієнти кореляції від 0,52 до 0,86). На дендритограмі (рис. 5, I) вони утворюють перші два кластери в другій групі, які поєднуються із Cr_2O_3 у третій кластер.

Хімічний склад хромшпінелідів руд Оліся-Мусюрського та Синотвоського масивів визначено за допомогою мікросондового аналізу. За даними табл. 2, він змінюється в широких межах і залежить від ступеня метаморфічних перетворень. Інтенсивність метаморфізму хромшпінелідів оцінено за вмістом у них відносно малорухливих заліза, мангану, титану.

За хімічним складом незмінених ділянок хромшпінелідів проведено приблизну типізацію хромових руд.

Хромову руду із проби КК-201/1 (Синотвоський масив) віднесено до *глиноземистого магнезійного типу*: хромистість незміненої частини шпінелі ($Cr_2O_3/(Cr_2O_3+Al_2O_3)$) 0,70—0,75; вміст Cr_2O_3 45,3—47,8 %, FeO' — 23—24, MgO — понад 11 % (FeO' — загальний вміст FeO і Fe_2O_3 у хромшпінеліді, перерахований на FeO, на відміну від $FeO_{зар}$, прийнятого для хромових руд).

Хромову руду із проби ОР-3 (Оліся-Мусюрський масив, ділянка «Нядокота») віднесено до *високохромистого магнезійного типу*: хромистість шпінелі ($Cr_2O_3/(Cr_2O_3+Al_2O_3)$) 0,77—0,81; вміст Cr_2O_3 53—56 %, FeO' — 17—16, MgO — 13—14 %. Зерна хромшпінелідів цієї проби не метаморфізовані, відрізняються рівномірністю хімічного складу. Спостерігаються поодинокі включення дрібних кристалів енстатиту (рис. 6, I).

Хромову руду із проби 022-ОМ-23,5 (Оліся-Мусюрський масив) зараховано до *типу підвищеної залізистості, високохромистого підтипу*: вміст Cr_2O_3 56—59,5 %, Al_2O_3 — 5,0—6,26; FeO' — 26—32; MgO — 7,8—8,7 %.

Нижче розглянуто особливості зональної будови метаморфізованих хромшпінелідів.

Таблиця 2. Хімічний склад хромшпінелідів руд Олися-Мусюрського і Синотвозького масивів, %

Table 2. Chemical composition of chromspinelides of the Olyssa-Musur and Synotwozhsky massifs, %

| Тип руди | Проба | Номер точки | MgO | Al ₂ O ₃ | Cr ₂ O ₃ | FeO' |
|--------------------------------|--------------|-------------|--------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------|
| Смугастий, середньо-вкраплений | ОК-22 (ОР-5) | 031 | 2,49 ± 0,41 | 2,41 ± 0,38 | 56,61 ± 0,41 | 38,49 ± 0,49 |
| | | 033 | 4,55 ± 0,37 | 2,53 ± 0,35 | 51,56 ± 0,36 | 41,35 ± 0,43 |
| | | 035 | 4,09 ± 0,45 | 2,76 ± 0,42 | 58,52 ± 0,45 | 34,64 ± 0,54 |
| Масивний густовкраплений | ОР-3 | 039 | 13,75 ± 0,36 | 15,70 ± 0,37 | 53,64 ± 0,43 | 16,92 ± 0,51 |
| | | 043 | 14,36 ± 0,39 | 14,32 ± 0,40 | 55,10 ± 0,46 | 16,21 ± 0,54 |
| | | 045 | 13,19 ± 0,44 | 13,13 ± 0,45 | 56,54 ± 0,52 | 17,15 ± 0,61 |
| Рідкісно-вкраплений | 022-ОМ-23,5 | 001 | 7,64 ± 0,48 | 6,26 ± 0,47 | 59,62 ± 0,52 | 26,47 ± 0,61 |
| | | 004 | 7,96 ± 0,48 | 6,03 ± 0,47 | 59,60 ± 0,52 | 26,41 ± 0,61 |
| | | 006 | 7,99 ± 0,49 | 6,23 ± 0,48 | 59,74 ± 0,52 | 26,02 ± 0,62 |
| | | 010 | 7,77 ± 1,20 | 5,93 ± 1,17 | 56,73 ± 1,27 | 29,32 ± 1,50 |
| | | 011 | 7,50 ± 1,17 | 5,64 ± 1,14 | 58,51 ± 1,24 | 28,35 ± 1,47 |
| | | 014 | 6,59 ± 1,24 | 3,15 ± 1,19 | 57,85 ± 1,27 | 32,28 ± 1,51 |
| | | 015 | 5,98 ± 1,32 | 1,69 ± 1,26 | 59,49 ± 1,33 | 32,79 ± 1,60 |
| | | 016 | 6,56 ± 1,21 | 3,71 ± 1,16 | 56,83 ± 1,24 | 32,76 ± 1,48 |
| | | 017 | 8,69 ± 1,21 | 6,50 ± 1,18 | 58,24 ± 1,30 | 26,56 ± 1,54 |
| | | 018 | 7,80 ± 1,19 | 5,96 ± 1,16 | 58,57 ± 1,26 | 27,48 ± 1,50 |
| Масивний, густовкраплений | КК-201/1 | 019 | 8,45 ± 1,03 | 8,50 ± 1,01 | 52,90 ± 1,10 | 30,06 ± 1,30 |
| | | 020 | 10,82 ± 0,85 | 16,04 ± 0,86 | 47,84 ± 0,98 | 25,18 ± 1,15 |
| | | 021 | 11,16 ± 0,96 | 18,18 ± 0,98 | 46,27 ± 1,13 | 24,10 ± 1,31 |
| | | 022 | 11,66 ± 0,94 | 18,82 ± 0,96 | 45,30 ± 1,11 | 24,03 ± 1,29 |
| | | 023 | 7,86 ± 0,97 | 7,30 ± 0,94 | 55,32 ± 1,03 | 29,51 ± 1,22 |
| | | 024 | 8,72 ± 1,04 | 8,03 ± 1,02 | 55,89 ± 1,12 | 27,30 ± 1,33 |
| | | 026 | 11,69 ± 0,29 | 18,08 ± 0,30 | 45,66 ± 0,35 | 23,97 ± 0,40 |
| | | 027 | 8,89 ± 0,30 | 12,81 ± 0,29 | 44,34 ± 0,32 | 33,54 ± 0,38 |
| | | 028 | 8,62 ± 1,01 | 8,83 ± 0,99 | 51,37 ± 1,08 | 30,95 ± 1,27 |
| | | 029 | 7,90 ± 1,06 | 6,08 ± 1,03 | 57,84 ± 1,13 | 28,18 ± 1,34 |
| | | 030 | 6,33 ± 1,02 | 4,35 ± 0,97 | 51,05 ± 1,04 | 33,57 ± 1,23 |

Зерна хромшпінелідів проби КК-201/1 мають типову зональну будову, яка явно помітна і в прозорих шліфах, і в аншліфах. У прозорих шліфах центральна частина зерен просвічує червоно-жовтогарячим кольором, по периферії зерен та уздовж тріщин спостерігаються облямівки, жилки та вузли непрозорої чорної речовини (рис. 7, 1). В аншліфах такі облямівки та жилки мають підвищену відбивну здатність.

За даними мікрозондового аналізу, такі зони являють собою збагачений залізом хромшпінелід. На SEM-знімках спостерігається чіткий поділ двох фаз: сіре — незмінений хроміт, ясно-сіре — збагачений залізом хроміт (див. рис. 6, 2). Периферійні частини хромшпінелідів відрізняються підвищеним змістом заліза та хрому (табл. 2, точки 19, 23, 24), центральні частини — вищим вмістом алюмінію та магнію. Слід зазначити, що вміст FeO' на периферії збільшується на 3—5, Cr₂O₃ — на 8—10 %. Збагачена залізом і хромом периферійна частина хромшпінелей також має неоднорідну будову та складається із двох фаз: високохромистої з високим вмістом FeO' (сірий колір) і більш залізистої, яка оточує пори та тріщини

Рис. 7. Мікрофотографії хромшпінелідів: 1 — проба КК-201/1, світло прохідне; $\times 108$; нік. ||; 2 — проба 022-ОМ-23,5, світло відбите; $\times 250$; нік. ||; crs+Fe — збагачений залізом хромшпінелід, cmt — хромомагнетит

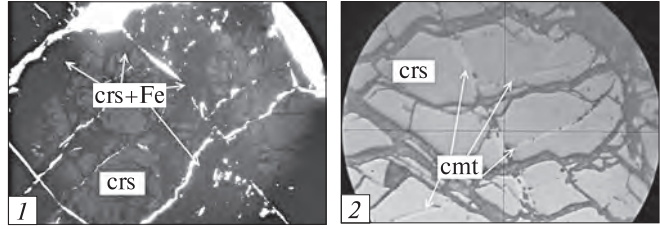


Fig. 7. Photomicrographs of chromspinelides: 1 — sample КК-201/1, transmitted light, $\times 108$; нік. ||; 2 — sample 022-ОМ-23,5, reflected light; $\times 250$; нік. ||; crs+Fe — Fe-rich chromspinelides, cmt — chrome magnetite

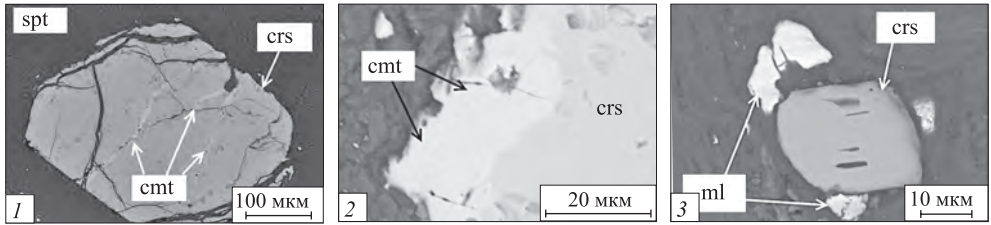


Рис. 8. SEM-знімки хромшпінелідів: 1, 2 — проба 022-ОМ-23,5; 3 — проба ОК-22 (ОП-5); spt — серпентин, crs — хромшпінелід, cmt — хромомагнетит, ml — мілерит

Fig. 8. SEM images of chromspinelides: 1, 2 — sample 022-ОМ-23,5; 3 — sample ОК-22 (ОП-5); spt — serpentine, crs — chromspinelides, cmt — chrome magnetite, ml — millerite

(ясно-сірий колір) (рис. 6, 3). Подібна будова хромшпінелідів є типовою для хромових руд, що зазнали високо-, середньотемпературного метаморфізму контактової зони тектонічних блоків [3]. В цьому випадку пробу відібрано у зовнішній частині контактової зони, де метаморфізм мав незавершений характер, й тому хромшпінеліди характеризуються описаною вище зональною будовою.

У хромшпінелідах проби 022-ОМ-23,5 розвинуті тонкі облямівки та прожилки потужністю від 2 до 20 мкм. У відбитому світлі вони мають підвищену відбивну здатність. За результатами мікрозондового аналізу, такі облямівки та прожилки складені хромомагнетитом. На SEM-знімках спостерігається чіткий поділ фаз хромомагнетит-хромшпінелід (рис. 8, 1). У приконтактовій зоні для хромшпінеліду характерний підвищений вміст Cr_2O_3 , що зменшується від периферії до центра зерна, дуже слабо збільшується вміст Al_2O_3 та MgO ; кількість FeO' практично не змінюється (табл. 2, точки 015, 014, 016; рис. 8, 2).

Хоча досліджувані проби відбирали з невеликих глибин (не більше 50 м), утворення облямівок і прожилків хромомагнетиту пов'язане швидше за все з метаморфічними перетвореннями хромових руд, ніж із гіпергенними процесами. За взаємним відношенням прожилків, тріщин катаклазу, заповнених серпентинами, а також за дрібних січних тріщин, можна зробити висновок щодо ранішої природи хромомагнетиту. У деяких аншліфах у відбитому світлі за збільшення до 250 спостерігаються взаємно перпендикулярні зрощення прожилків хромомагнетиту, що нагадують пластинчасті структури розпаду твердих розчинів (див. рис. 7, 2). Згідно з [3], утворення хромомагнетитових облямівок та прожилків можуть бути пов'язані з низькотемпературним метаморфічним процесом, який у цьому випадку носив також незавершений характер.

У хромшпінелідах й у тріщинах катаклазу, а також у серпентинитовій масі повсюдно спостерігаються дрібні включення мінералів з дуже високою відбивною здатністю. За результатами мікрозондового аналізу встановлено, що вклю-

чення у хромшпінелідах представлені пентландитом (Ni — 34,6; Fe — 29,16; S — 36,18 %). Зерна, що містяться у серпентині, представлені мілеритом (Ni — 62,38; Fe — 1,27; S — 36,35 %). Знаходження мікрровключень пентландиту в хромшпінелідах є типовим для хромових руд, однак мілерит у метаморфічних серпентинітах досить рідкісний. Його наявність у вигляді зернистих агрегатів можна пояснити розкладенням пентландиту (див. рис. 8, 3).

Висновки. У результаті проведення регресійного, кореляційного та кластерного аналізів виявлено, що відмінною рисою хромових руд Оліся-Мусюрського масиву є відсутність статистично значущих зв'язків між Al_2O_3 і V, Al_2O_3 і MnO, Al_2O_3 і $FeO_{зар}$, TiO_2 і V, MnO і V, $FeO_{зар}$ і V. Для хромових руд Синотвзького масиву, навпаки, характерна наявність тісних зв'язків між названими оксидами та елементами, які мають тісний асоціативний зв'язок із хромом. Тісний зв'язок у рудах Оліся-Мусюрського масиву властивий для титану, марганцю і заліза, які також утворюють асоціацію разом із хромом.

Отже, підвищений середній вміст заліза, асоціативний зв'язок із хромом оксидів титану, марганцю і заліза, відсутність асоціативних зв'язків оксиду хрому з оксидами алюмінію та магнію для хромових руд Оліся-Мусюрського масиву можуть свідчити про вищий ступінь їх метаморфізму на відміну від руд Синотвзького масиву. Це пояснюється тим, що найрухливішим у процесі метаморфізму виявився MgO, який виносився із хромшпінелідів і концентрувався, ймовірно, у хлоритах і серпентинах. Відносно менш рухливі титан, марганець і залізо залишилися у складі хромшпінелідів, утворивши тісну асоціацію з хромом. У процесі перетворень порід відбувався перерозподіл Al_2O_3 , що відображається у підвищеному вмісті останнього по периферії деяких хромшпінелідів.

У результаті визначення складу хромшпінелідів у найрепрезентативніших пробах проведено приблизну типізацію хромових руд за хімічним складом. Руди Синотвзького масиву віднесені до глиноземистого магнезійного типу, руди Оліся-Мусюрського масиву — до високохромистого магнезійного типу, або до типу підвищеної залізистості, високохромистого підтипу.

Виявлено, що облямівки по контурах зерен хромшпінелідів, а також тонкі прожилки представлені хромомагнетитом (результат низькотемпературних метаморфічних перетворень). Розвинення магнетиту і гематиту в таких облямівках не відзначено, наявність яких була б несприятливим фактором для подальшого промислового використання хромових руд. Для руд, що зазнали середньо-, високотемпературного метаморфізму, характерна наявність у шпінеліях потужних облямівок, збагачених залізом і хромом, причому порівняно із центральною частиною зерна вміст оксиду хрому стає більшим на 8—10 %, а оксиду заліза всього лише на 3—5 %.

Мікрровключення у хромшпінелідах, а також у міжзерновому просторі, для яких характерна висока відбивна здатність у відбитому світлі, складені сульфідами нікелю (пентландит, мілерит). Знаходження таких мікрровключень є типовим для хромових руд Полярного Уралу.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Алексеев А.В. Особенности геологического строения массива Олыся-Мусюр (Приполярный Урал) // Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента: Материалы 16-й науч. конф. — Сыктывкар: Геопринт, 2007. — 256 с.
2. Боровиков В.П. STATISTICA: искусство анализа данных на компьютере. Для профессионалов. — СПб.: Питер, 2001. — 269 с.
3. Реестр хромитопроявлений в альпинотипных ультрабазитах Урала / Под ред. Б.В. Первозчикова. — Пермь: НИИ комплексных исследований глубоких и сверхглубоких скважин, 2000. — 35 с.

4. Рузина М.В., Яцына Д.В. Особенности петрологии и генезиса ультрамафитов Южно-Белозерского и Олыся-Мусюрского массивов. Матеріали міжнар. конф. «Форум гірників — 2010». — Дніпропетровськ: Вид-во Дніпропетр. нац. гірн ун-ту, 2010. — С. 87—95.
5. Яцына Д.В. Хромитоносность Олыся-Мусюрского мафит-ультрамафитового массива (Приполярный Урал) // Проблемы теоретической і прикладної мінералогії, геології, металогенії гірничодобувних регіонів: Матеріали VII Міжнар. наук.-практ. конф. — Кривий Ріг: Видавн. центр Криворіз. техн. ун-ту, 2010. — С. 114—117.
6. Яцына Д.В. Послідовність утворення серпентинів в ультрабазитах Олыся-Мусюрського масиву (Приполярний Урал) // Зап. Укр. мінерал. т-ва. — 2011. — Т. 8. — С. 238—243.

Надійшла 11.05.2012

Д.В. Яцына, А.А. Вишневецкий

ОСОБЕННОСТИ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА ХРОМОВЫХ РУД ОЛЫСЯ-МУСЮРСКОГО МАССИВА

Исследование особенностей вещественного состава хромовых руд Олыся-Мусюрского массива является составной частью работ по сравнительному изучению мафит-ультрамафитовых массивов. В результате изучения химического состава хромитов, а также внутреннего строения и состава хромшпинелидов определены типохимические особенности хромовых руд, связанных с дунит-гарцбургитовой (Олыся-Мусюрский массив) и дунит-верлит-клинопироксенитовой (Синотвожский массив) ассоциациями.

Ключевые слова: рудоносность, хромитоносность, хромшпинелид, ультрамафиты, серпентиниты, кластерный анализ, микрозондовый анализ, Олыся-Мусюрский массив.

D.V. Yatsina, A.A. Vyshnevsky

PECULIARITIES OF CHROMIUM ORES MATERIAL COMPOSITION OF THE OLYSYA-MUSUR MASSIF

Investigations of chromium ores material composition, petrology of country rocks and perspectives of ore-bearing of the Olysyia-Musur massif present a component of the complex comparative research of mafic-ultramafic massifs which are related to different geotectonic conditions. This comparative investigation makes it possible to define advantageous and disadvantageous factors for formation of definite minerals and to discern changing features of the metallogenic specialization during rocks alteration.

As a consequence of studying of chromites elemental composition and the interior structure and composition of chromspinelides the chromium ores typochemical peculiarities were determined. Chromium ores which are related to dunite-harzburgite (the Olysyia-Musur massif) or dunite-verlite-clynopyroxenite (the Sinotwozh massif) association have different typochemical peculiarities. As a result of regression, correlation and cluster analyses the absence of statistically significant links between Al_2O_3 and V, Al_2O_3 and MnO, Al_2O_3 and FeO_{total} , TiO_2 and V, MnO and V, FeO_{total} and V in the Olysyia-Musur massif ores were detected. On the contrary the presence of statistically significant links between oxides and element referred above is the characteristic feature for the Sinotwozh massif chromium ores. Close link between titanium, manganese and iron oxides for the Olysyia-Musur massif ores was observed. Zonal structure of chromian spinels by chemical composition and peculiarities of microinclusions chemical composition were also described.

According to investigation results we can conclude the next: chromium ores of the Olysyia-Musur massif are more metamorphized than ores of the Sinotwozh massif. It can be explained by carrying-out of relatively high-fluid aluminium and magnesium oxides from chromspinelide and their probable concentration in chlorite and serpentines. Relatively low-fluid titanium, manganese and iron oxides were kept in chromian spinels and made narrow association. Chromium ores typization by chemical composition of more representative samples was conducted. The Sinotwozh massif ores were attributed to aluminous-magnesia type; the Olysyia-Musur massif ores were attributed to high-chromous-magnesia type or to high-iron type, high-chrome subtype.

Keywords: ore-bearing, chromium-bearing, chromspinelide, ultramafic rocks, serpentinites, cluster analysis, probe microanalysis, Olysyia-Musur massif.