

О ЯВЛЕНИЯХ МЕТАМОРФИЗМА ХРОМШПИНЕЛИДА ХРОМОВЫХ РУД НА ПРИМЕРЕ УРАЛА. КАМБУЛАТОВСКОЕ, ВЕРХНЕ-УФАЛЕЙСКОЕ И ВАРШАВСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

О.А. Толканов, В.П. Чернобровый, В.Н. Ослоповских, И.Ю. Пашкеев

В статье продолжена характеристика метаморфогенных изменений рудного хромшпинелида в хромовых рудах уральских месторождений. Метаморфогенные изменения хромшпинелида Камбулатовского, Верхне-Уфалейского (Южная залежь Песчанского месторождения Верхне-Уфалейской группы месторождений) и Варшавского месторождений описаны в минералого-технологических пробах хромовых руд, поступающих на ЧЭМК. Всего изучено 6 проб хромовой руды, по 2 пробы, весом 5-6 кг, с каждого месторождения.

Камбулатовское месторождение

Месторождение представлено двумя пробами сплошной хромовой руды массивной текстуры (соответственно № 1 и № 2 в таблице). Хромовая руда имеет простой минеральный состав: хромшпинелид (80-85 %) и хлорит (15-20 %).

Хромшпинелид составляет зернистый агрегат с хлоритом. Размер зерен хромшпинелида 0,2-2 мм. Зерна хромшпинелида неравномерно катаклазированы, до размера отдельных обломков 0,01-1,5 мм. Наблюдаются линейные, взаимно пересекающиеся зоны тонко катаклазированного хромшпинелида. Метаморфизм хромшпинелида проявлен либо в виде кайм, развитых по обломкам первично-магматического хромшпинелида (рис. 1), либо в виде включений размером 0,01-0,1 мм (рис. 2). Химический состав первично-магматического и метаморфогенного хромшпинелида (см. таблицу, рис. 3) резко различен. Метаморфогенный хромшпинелид содержит меньше шпинелевой и больше магнетитовой составляющих. Одновременно в метаморфогенном хромшпинелиде уменьшается содержание минала магнезиохромита (в связи с выносом MgO) и несколько увеличивается содержание минала яacobсита. Отражательная способность метаморфогенного хромшпинелида значительно выше чем у первично-магматического хромшпинелида. Хромшпинелид изученных проб Камбулатовского месторождения метаморфизован на 25-30 %.

Хлорит по данным рештеноспектрального микроанализа (РСМА), содержит FeO = 0,98 – 1,14 %; MgO = 35 – 41 %; Cr₂O₃ = 2,34 – 3,76 %; Al₂O₃ = 10,5 – 10,8 %; SiO₂ = 35,2 – 36,1 %. Рассчитанные для двух анализов хлорита кристаллохимические формулы позволяют отнести хлорит к разновидностям хромового клинохлора-пеннина [7]:

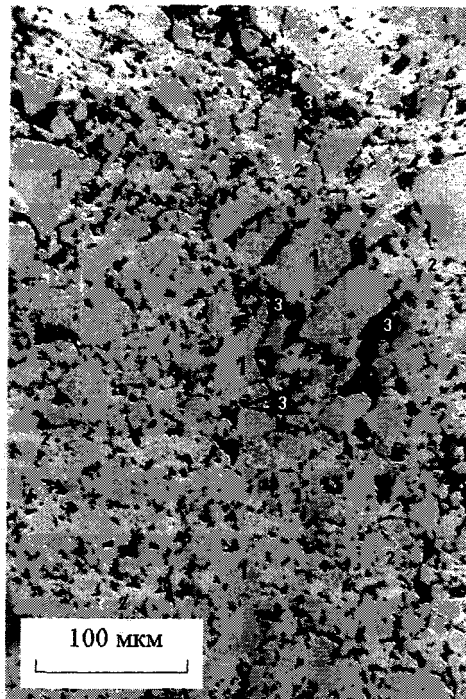
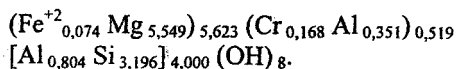
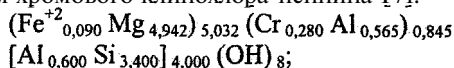


Рис. 1. Катаклазированный хромшпинелид Камбулатовского месторождения. 1 - хромшпинелид первично-магматический; 2 - хромшпинелид метаморфогенный; 3 - хлорит. Отраженный свет

Верхне-Уфалейское месторождение

(Южная залежь Песчанского месторождения)

Две пробы (№ 3, 4) хромовой руды месторождения несколько различаются по количеству основного минерала - хромшпинелида. Проба № 3 содержит около 90 % хромшпинелида и 10 % хлорита, представляя собой сплошную хромовую руду массивной текстуры. Зерна первично-магматического хромшпинелида размером 0,05–4 мм в разной степени катаклазированы до размера обломков 0,01-1 мм. Плоскостные зоны тонкого дробления хромшпинелида шириной 0,2-1 мм проходят через весь образец.

Проба № 4 (образец № 4 в таблице) содержит 70-80 % хромшпинелида и 20-30 % хлорита, представляя собой густовкрапленную хромовую руду пятнистой текстуры. Пятнистая текстура обусловлена неравномерным распределением скопленных зерен хромшпинелида и хлорита. Зерна хромшпинелида размером 0,05-4 мм сильно катаклази-

рованы, до размера отдельных обломков 0,01-1 мм. Через весь образец проходят зоны тонкого дробления хромшпинелида шириной до 1-2 мм.

Характер метаморфизма хромшпинелида пробы № 3 морфологически сходен с метаморфизмом хромшпинелида Камбулатовского месторождения. По данным РСМА, в метаморфогенном хромшпинелиде возрастает содержание Cr_2O_3 в сравнении с первично-магматическим хромшпинелидом (см. таблицу, анализ № 12). Это вызывает повышение в метаморфогенном хромшпинелиде содержания минала феррохромита с одновременным снижением содержания минала магнетита. Хромшпинелид пробы метаморфизован на 5-10 %.

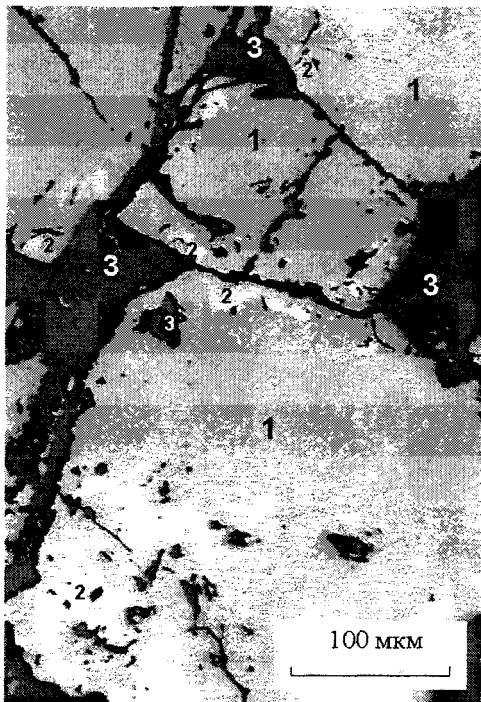


Рис. 2. Включения метаморфогенного хромшпинелида (2) в первично-магматическом хромшпинелиде (1). 3 - хлорит. Камбулатовское месторождение. Отраженный свет

Метаморфогенный хромшпинелид пробы № 4 имеет весьма разнообразную морфологию выделений, развиваясь по ослабленным зонам (нераскрытым и раскрытым трещинам) зерен первично-магматического хромшпинелида (рис. 4). Нередко метаморфогенный хромшпинелид нацело, или в виде участков тонкозернистых агрегатов, замещает первично-магматический хромшпинелид (рис. 5). В зонах милонитизации мелкие обломки хромшпинелида обычно нацело метаморфизованы.

Метаморфизм хромшпинелида пробы № 4, по данным РСМА, сопровождается:

- понижением содержания Al_2O_3 ;
- повышением содержания Cr_2O_3 ;
- неоднозначным поведением содержания MgO .

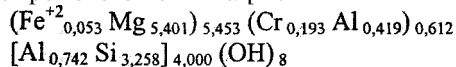
При этом в метаморфизованном хромшпинелиде уменьшается содержания миналов шпинели и

феррохромита, при увеличении содержаний миналов магнезиохромита, якобсита и магнетита.

Хромшпинелид пробы №4 метаморфизован на 60-70%.

В целом для проб № 3, 4 метаморфизм хромшпинелида сопровождается увеличением его отражательной способности.

Хлорит в рудах заполняет межзерновые промежутки и раскрытые трещины в хромшпинелиде, образует включения в агрегатах метаморфизованного и первично-магматического хромшпинелида. По данным РСМА хлорит содержит 0,64 % FeO ; 36,8% MgO ; 2,48% Cr_2O_3 ; 10,0% Al_2O_3 ; 33,1 % SiO_2 , что соответствует кристаллохимической формуле хромового пеннинна [71]:



Варшавское месторождение

Месторождение представлено двумя (№ 5, 6) сходными между собой пробами густовкрапленой хромовой руды. Зерна хромшпинелида размером 0,3-5 мм слагают зернистый агрегат, с межзерновыми промежутками, заполненными хлоритом. Трещиноватость зерен хромшпинелида преимущественно крупноблочная, с размером отдельных обломков 0,5-4 мм. Хлорит выполняет трещины в хромшпинелиде и образует многочисленные включения внутри зерен хромшпинелида.

Характер метаморфизма хромшпинелида Варшавского месторождения морфологически отличается от вышеописанных Камбулатовского и Верхне-Уфалейского месторождений. Метаморфизм хромшпинелида глубокий, реликты неизмененного (первично-магматического) хромшпинелида наблюдаются в центральных частях зерен (рис. 6), краевые зоны зерен хромшпинелида метаморфизованы. Иногда зерна и обломки хромшпинелида метаморфизованы нацело (рис. 7). Метаморфогенный хромшпинелид имеет неравномерную, несколько повышенную в сравнении с первично-магматическим хромшпинелидом отражательную способность. Метаморфизованная зона зерна хромшпинелида насыщена закономерно ориентированными включениями хлорита (0,001-0,05 мм), реже - магнетита (0,001-0,01мм), еще реже встречаются вкрапленники гематита (0,001-0,02 мм) (см. рис. 5, 6). Граница между зонами первично-магматического и метаморфогенного хромшпинелида устанавливается не всегда. Метаморфогенный хромшпинелид, по данным РСМА; имеет крайне неоднородный химический состав (см. таблицу). Метаморфизм хромшпинелида сопровождается:

- выносом Al_2O_3 ;
 - увеличением содержания Cr_2O_3 ;
 - небольшим увеличением железистости;
 - небольшим уменьшением содержания MgO .
- В метаморфогенном хромшпинелиде уменьшается доля шпинелевого минала, увеличиваются со-

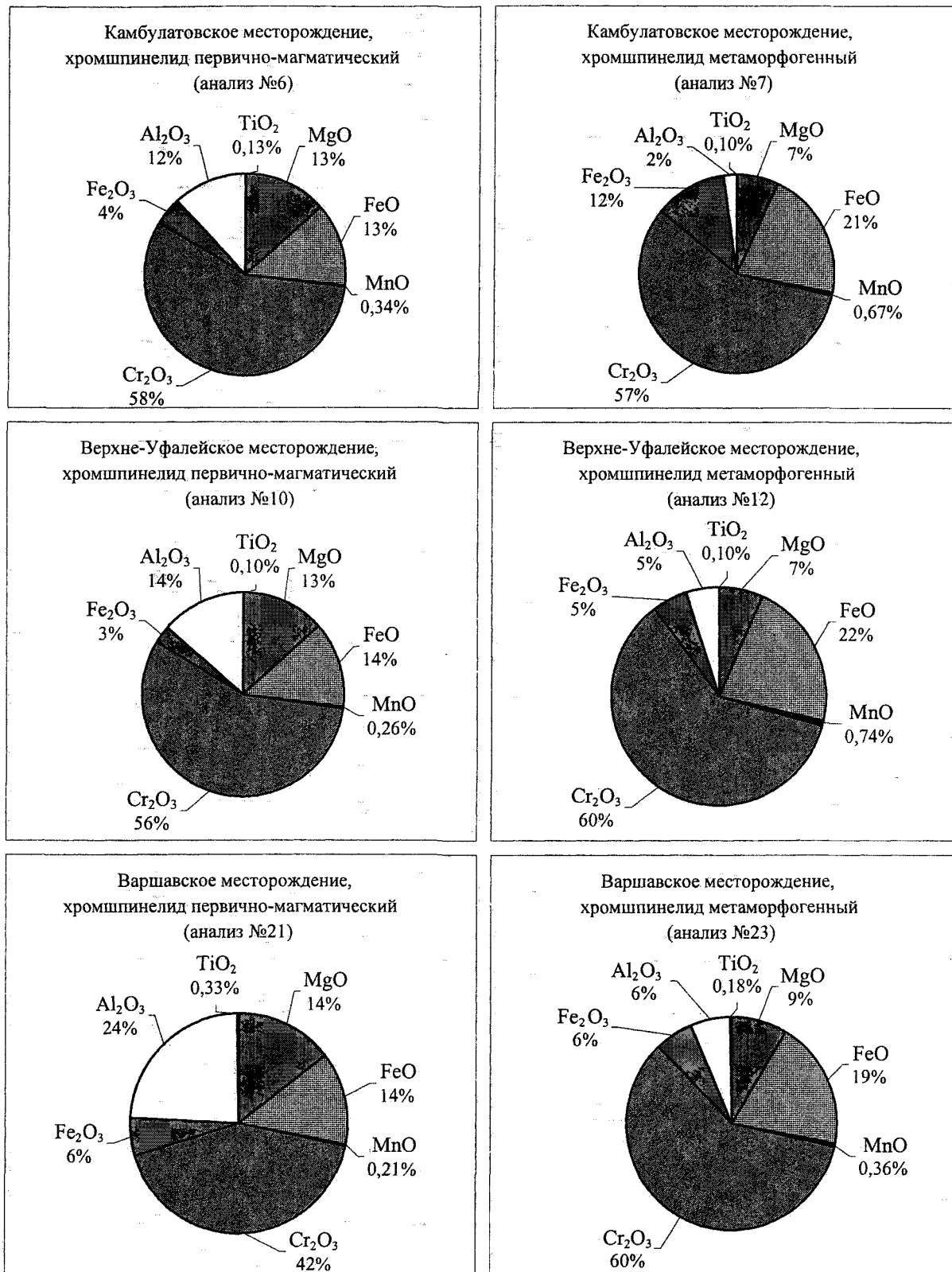


Рис. 3. Химический состав первично-магматического и метаморфогенного хромшпинелида (месторождения: Камбулатовское, Верхне-Уфалейское, Варшавское)

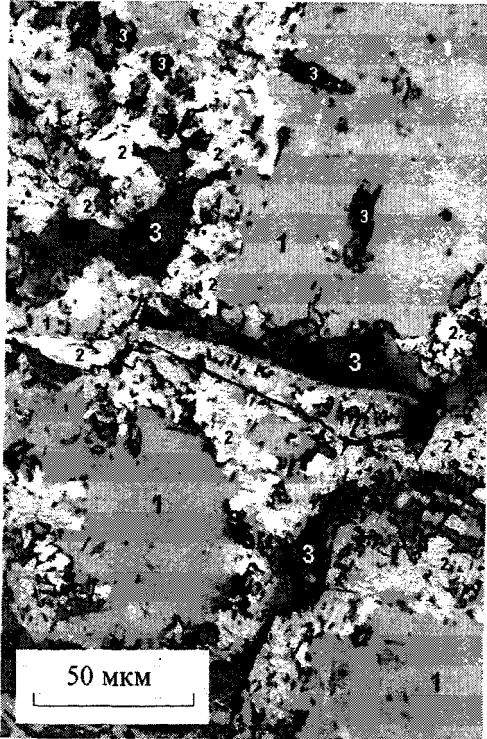


Рис. 4. Метаморфогенные изменения первично-магматического хромшпинелида по трещинам и с краев зерен. Верхне-Уфалейское месторождение. 1 - первично-магматический хромшпинелид; 2 - метаморфогенный хромшпинелид; 3 - хлорит. Отраженный свет

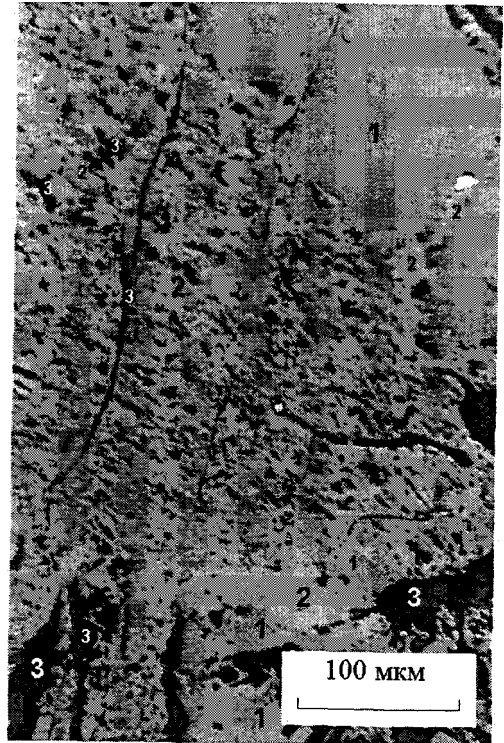


Рис. 5. Метаморфогенный хромшпинелид, участками замещающий первично-магматический хромшпинелид. Верхне-Уфалейское месторождение. 1 - первично-магматический хромшпинелид; 2 - метаморфогенный хромшпинелид; 3 - хлорит. Отраженный свет

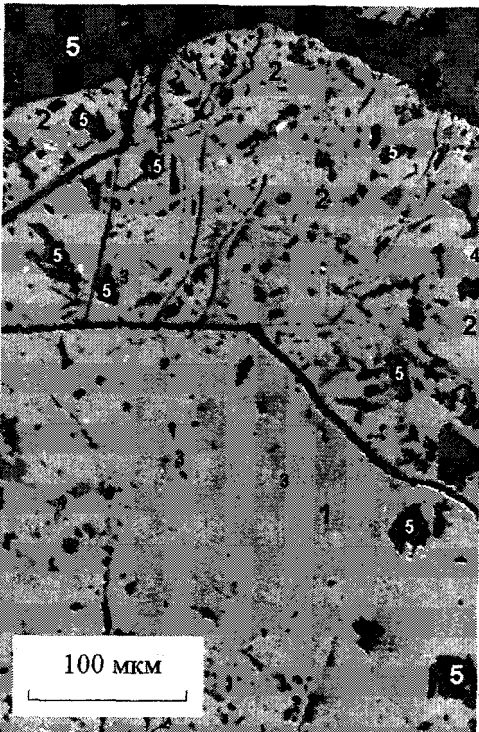


Рис. 6. Реликты первично-магматического хромшпинелида в центральных зонах зерен метаморфогенного хромшпинелида. Варшавское месторождение. 1 - первично-магматический хромшпинелид; 2 - метаморфогенный хромшпинелид; 3 - магнетит (?); 4 - гематит; 5 - хлорит. Отраженный свет

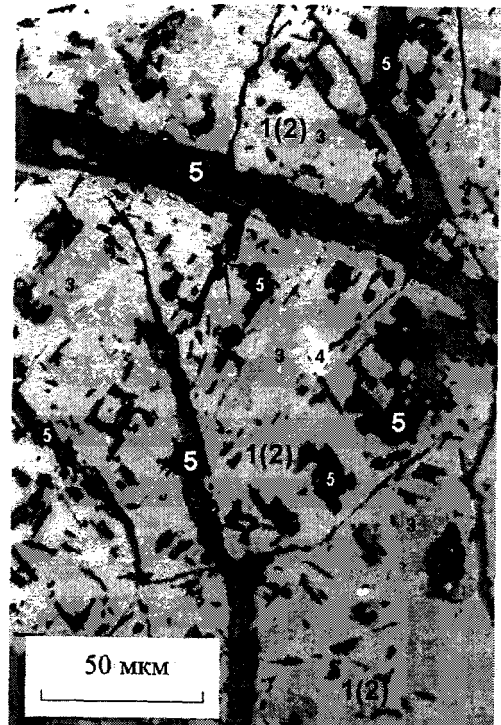


Рис. 7. Метаморфогенный хромшпинелид Варшавского месторождения. 1 (2) - хромшпинелид, в различной степени метаморфизованный; 3 - магнетит (?); 4 - гематит; 5 - хлорит. Отраженный свет

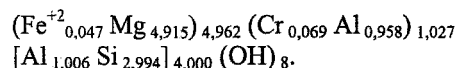
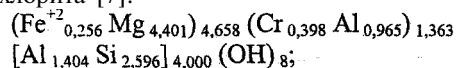
держания феррохромитового и, частично, магнезиохромитового минералов. Содержание магнетитового минерала изменяется без видимой закономерности.

Неравномерность отражательной способности свидетельствует о разнообразии химического состава образующегося метаморфогенного хромшпинелида, что подтверждается при РСМА.

Метаморфические изменения хромшпинелида Варшавского месторождения сопровождаются появлением минералов железа в форме оксидов: магнетита (?) и гематита. «Магнетит» образует включения некристаллографической формы размером 0,001-0,01 мм. По химическому составу «магнетит» содержит 2,85-3,52 % Cr_2O_3 (по данным РСМА). Отражательная способность хромсодержащего «магнетита» ниже окружающего хромшпинелида (более или менее метаморфизованного). Гематит образует редкие включения размером 0,001-0,02 мм, содержит, по данным РСМА, до 4,6 % Cr_2O_3 и до 1,8 % Al_2O_3 .

Химический состав хлорита хромовой руды Варшавского месторождения (по данным РСМА): $\text{FeO} = 0,49 - 3,19\%$; $\text{MgO} = 27,7 - 37,0\%$; $\text{Cr}_2\text{O}_3 = 0,98 - 5,23\%$; $\text{Al}_2\text{O}_3 = 18,7 - 23,2\%$; $\text{SiO}_2 = 25,7 - 33,6\%$.

Расчитанные кристаллохимические формулы позволяют отнести хлорит к разновидностям от хромсодержащего до хромового корундофиллита - прохлорита [7]:



Обсуждение результатов и выводы

Хромшпинелид изученных проб хромовых руд Камбулатовского, Верхне-Уфалейского (Южно-Песчанская залежь) и Варшавского месторождений метаморфизован. Характер метаморфогенных изменений хромовых руд вследствие метаморфизма хромшпинелида в целом сходен с изменениями хромовых руд Верхне-Уфалейского (Волчьегорское и северо-западная залежь Песчанского месторождения) и Качкинского месторождений, отличаясь некоторыми особенностями:

1. При изменении химического состава зерен (участков) метаморфогенного хромшпинелида в сравнении с зернами (участками) первично-магматического хромшпинелида обогащение остаточным Cr_2O_3 происходит, вероятно, до определенной стадии метаморфизма, после чего Cr_2O_3 уже выносятся [2] (см. анализы № 1-8 в таблице).

2. Образованные в результате метаморфизма хромшпинелида метаморфогенные структуры хромовых руд сходны с описанными структурами руд Верхне-Уфалейского и Качкинского месторождений, отличаясь морфологическими и размерными характеристиками структурных элементов. Метаморфогенный хромшпинелид формирует:

- каймы вокруг зерен и обломков первично-магматического хромшпинелида (*каемчатая метаморфогенная структура*);

- включения в первично-магматическом хромшпинелиде (*прожилково-вкрапленная метаморфогенная структура*);

- сплошные замещения участков первично-магматического хромшпинелида (*сплошная метаморфогенная структура*¹);

- участки метаморфизма зерен и обломков первично-магматического хромшпинелида с образованием закономерных прорастаний хлорита в метаморфогенном хромшпинелиде (*решетчатая метаморфогенная структура*).

3. Наличие гематитизации (аналога мартитизации магнетита [2]) хромшпинелида.

4. Наличие магнетитизации (?) хромшпинелида.

Факт магнетитизации хромшпинелида Варшавского месторождения в процессе метаморфизма нуждается в уточнении по двум причинам:

- исторически магнетитизация в процессе метаморфизма хромшпинелида была отвергнута А.Г. Бетехиным [1];

- отражательная способность включений в метаморфогенном хромшпинелиде Варшавского месторождения, условно отнесенных нами к магнетиту, меньше вмещающего их хромшпинелида.

Данные исследователей относительно пределов вариаций отражательной способности хромшпинелидов и магнетитов различного химического состава неполны, иногда противоречивы. Для хромшпинелида называются цифры значений отражательной способности $R = 12 - 16\%$ [6], $R = 13 - 17\%$ [8], $R = 10,0 - 13,2\%$ [3, 5], $R = \text{до } 22,8\%$ (в метаморфизованных разностях, Абовян - 1957) [3]. Для разновидностей магнетита называется не менее широкий спектр возможных значений: $R = 14,8 - 20\%$ (в зависимости от содержания примесей Cr и Al) [8], $R = 26,6 - 32,0\%$ (в зависимости от содержаний MgO и Al_2O_3) [4]. Приведенные данные позволяют допустить возможность совместного нахождения метаморфогенного хромшпинелида и метаморфогенного магнетита с отмеченным соотношением отражательных способностей. Данные химического состава включений (РСМА) и результаты травления аншлифа в соляной кислоте (минерал травится в соляной кислоте с переходом в раствор железа и незначительного количества Cr^{3+}) позволяют с большой долей уверенности диагностировать магнетит, возможно с примесью молекулы маггемита, однако нельзя исключить более сложный минеральный состав описанных существенно железосодержащих включений. Например, возможно присутствие гётита, с чем может быть связано понижение отражательной способности включений.

¹ Термин «сплошной» употреблен при характеристике строения минеральных агрегатов в количественном отношении (в противоположность термину «вкрапленный»). Термин «массивный», употреблен для характеристики однородности (равномерности) строения минерального агрегата.

С присутствием в хромовых рудах Варшавского месторождения свободных оксидных минеральных форм железа метаморфогенного происхождения связывается уменьшение температуры начала карботермического восстановления руд при их технологическом переделе. Вместе с химическим составом хромшпинелида и степенью его окисленности (т.е. отношением Fe_2O_3/FeO в хромшпинелиде), оксидные минеральные формы железа повышают скорость и понижают температуру восстановления хромовых руд.

Из-за пониженного отношения Cr/Fe в хромшпинелиде и, соответственно, в рудах, получается высокоуглеродистый (передельный) феррохром с пониженным содержанием хрома в металле.

За время практического использования хромовых руд уральского региона на ЧЭМК (1996-1999 гг.) создан термин: уральские хромовые руды. Одним из результатов изучения вещественного состава хромовых руд различных месторождений Урала стало понимание относительной условности объединения хромовых руд разных месторождений Урала в одном термине. Хромовые руды уральских месторождений весьма неоднородны по составу и строению как при сравнении различных месторождений, так и в пределах одного отдельно взятого месторождения, что требует дифференцированного подхода при их технологической переработке.

Литература

1. Бетехтин А.Т. Шорджинский хромитоносный перидотитовый массив (в Закавказье) и генезис месторождений хромистого железняка вообще// *Хромиты СССР*. - М., 1937. - Т.1. - С. 1-156.
2. Кашин С.А. *Метаморфизм хромшпинелидов в хромитовых месторождениях Верблюжьих гор (на Южном Урале)*// *Хромиты СССР*. - М., 1937. - Т. 1. - С. 251-338.
3. Павлов Н.В., Кравченко Г.Г., Чупрынина И.И. *Хромиты Кемпирсайского плутона*. - М.: Наука, 1968. - 197 с.
4. Пономарева М.Н., Павлов Н.В. *Об отражательной способности минералов изоморфного ряда магнетит - магнезиоферрит*// *Геология рудных месторождений*. - 1964. - № 1. - С. 99-101.
5. Пономарева М.Н., Павлов Н.В., Чупрынина И.И. *Определение состава некоторых минеральных видов хромшпинелида по показателям отражения*// *Геология рудных месторождений*. - 1964. - №3. - С. 103-106.
6. Рамдор П. *Рудные минералы и их сростания*. - М.: ИЛ, 1962. - 1132 с.
7. Сердюченко Д.П. *Хлориты, их химическая конституция и классификация*. - *Труды Ин-та геол. наук АН СССР, Минералого-геохимическая серия*. - 1953. - Вып. 140. - №14. - 338 с.
8. *Справочник-определитель рудных минералов в отраженном свете*/ Т.Н. Чвилева, М.С. Безсмертная, Э.М. Спиридонов и др. - М.: Недра, 1988. - 504 с.