

**О ПРИРОДЕ ХРОМИТОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ  
В ПОРОДАХ ДУНИТ-КЛИНОПИРОКСЕНИТОВОГО КОМПЛЕКСА  
ОФИОЛИТОВ СРЕДНЕГО УРАЛА**

**И.С. Чашухин, Л.Д. Булыкин, В.А. Чашухина**

На примере Ключевского, Первомайского и Верхнейвинского массивов на Среднем Урале изучены месторождения хромитов, пространственно связанные с дунит-клинопироксенитовыми комплексами офиолитов. Эти месторождения в довоенные и военные годы интенсивно эксплуатировались и дали существенный прирост запасов хромитовых руд на Урале [Вахромеев и др., 1936] и позже рассматривались как наиболее перспективные объекты на Среднем Урале.

Природа таких месторождений до сих пор неясна. Часть исследователей подчеркивает не только пространственную, но и генетическую связь их с породами вмещающего дунит-клинопироксенитового комплекса, выделяя особый железистый тип хромитовых руд [Булыкин, Андреев, 1990], другие считают их метаморфизованными реликтами ранее сформированных

руд дунит-гарцбургитового комплекса [Рестр..., 2000].

Ключевской, Первомайский и Верхнейвинский массивы и залегающие в них месторождения изучены с разной степенью детальности. Последний массив наименее изучен. В связи с интенсивным проявлением в этом массиве пострудного метаморфизма зеленосланцевой фации на существующих геологических картах более 70 % площади выходов ультрамафитов закартированы как «нерасчлененные серпентиниты» неясной первичной природы; тем не менее непосредственно вмещающие хромитопроявления породы были отнесены к дунит-клинопироксенитовому комплексу [Рестр..., 2000]. Более ясен первичный состав рудовмещающих пород в двух остальных массивах: в Первомайском породы дунит-клинопироксенитового комплекса развиты в восточной

части Центрального рудного поля, в Ключевском – в Южном рудном поле.

Для определения генезиса руд были изучены особенности химического состава рудообразующей хромшпинели, который, по мнению авторов, отражает природу оруденения. Помимо личных коллекций, был использован каменный материал Исетской партии Среднеуральской геолого-разведочной экспедиции по хромитопрооявлениям Первомайского массива. Всего отобрано и изучено 174 образца руд из перечисленных выше массивов, в том числе 57 из 8 месторождений, залегающих в дунитах дунит-клинопироксенитового комплекса.

Для выяснения природы хромитопрооявлений на основе состава рудообразующей хромшпинели была использована диаграмма Ирвина [Irvine, 1967], на которую были вынесены поля и тренды составов хромшпинелей ясной генетической природы [Чашухин, 1999] (рис. 1а). Как правило, на этой диаграмме составы рудообразующих хромшпинелей из дунит-гарцбургитового комплекса офиолитов Среднего Урала в зависимости от петрографического состава вмещающих ультрамафитов представлены двумя практически не перекрывающимися группами – высокохромистой и глиноземистой [Чашухин и др., 2002, 2003]. Боль-

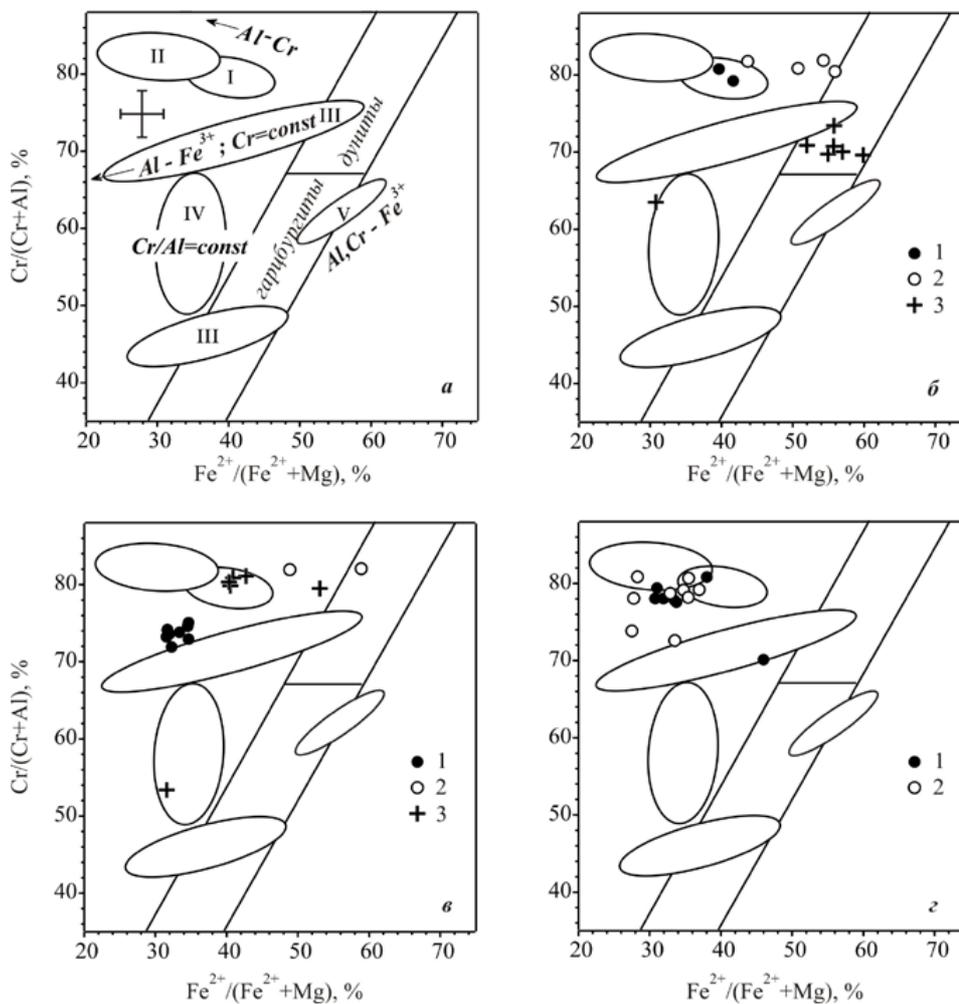


Рис. 1. Химический состав хромшпинелей из руд, приуроченных к дунит-клинопироксенитовому комплексу офиолитовых массивов Среднего Урала.

а. Поля и тренды составов хромшпинелей из месторождений разных генетических типов в офиолитах. Генетический тип (массивы): I – ортомагматический (Кемпирсайский); II – латераль-секреционный (Кемпирсайский, ГРП); III – метасоматический (Кемпирсайский, Рай-Из); IV – сегрегационный (Алапаевский), V – реакционно-метасоматический (Оман). Показаны поля составов акцессорных хромшпинелей из реститогенных гарцбургитов и дунитов.

б. Месторождения Первомайского массива: 1 – Талицкое I, 2 – Талицкое II, 3 – Талицкое III.

в. Месторождения Ключевского массива: 1 – Первомайское, 2 – Козловское, 3 – Ревдинское.

г. Месторождения Верхнейвинского массива: 1 – Нижне-Александровское, 2 – Шушуговское.

РУДООБРАЗОВАНИЕ И МЕТАЛЛОГЕНИЯ,  
МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

шая часть хромититов из дунит-клинопироксенитовых комплексов сложена высокохромистыми хромшпинелями с хромистостью  $Cr/(Cr+Al)$  более 65 %, чаще 75-80 %, и в некоторых месторождениях с несколько большей величиной железистости  $Fe^{2+}/(Fe^{2+}+Mg)$  по сравнению с аналогичными хромшпинелями дунит-гарцбургитового комплекса (рис. 1 б-г). Тем не менее в двух месторождениях величина хромистости снижается почти до 50 % при «нормальной» (низкой) железистости. За редким исключением в пределах месторождения составы хромшпинелей образуют либо компактные группы с вариациями, не выходящими за пределы погрешностей анализа, либо серии с прямой зависимостью между хромистостью и железистостью, характерной для метасоматических руд. В обоих случаях можно предполагать моногенный характер оруденения. Однако имеются исключения, свидетельствующие о полигенном оруденении в масштабах месторождения и образца. В месторождении Талицкое III, наряду с образцом, отвечающим по составу хромшпинели алапаевского типа, были отобраны хромититы с необычно высокой железистостью, что также указывает на совмещение в пределах месторождения хромитового оруденения разного ге-

незиса. В Ревдинском месторождении Ключевского массива был изучен образец хромитита полосчатой текстуры, обусловленной чередованием полос с разной густотой вкрапленности и крупностью хромшпинели (рис. 2). Состав хромшпинели варьирует в широких пределах – по хромистости от 50 до 90 %, по железистости от 40 до 80 %, т.е. охватывает практически весь диапазон изученных в массиве составов рудообразующих хромшпинелей. Учитывая отсутствие следов прохождения пострудного метаморфизма – антигоритизации оливина и хлоритизации хромшпинели, а также оптическую однородность последней в пределах зерна, такие широкие вариации, по мнению авторов, могут свидетельствовать о гетерогенном характере оруденения в этом месторождении. Для сравнения – в образце хромитита аналогичной полосчатой текстуры, но сложенного однородной по крупности зерна хромшпинелью из Первомайского месторождения того же массива, вариации ее состава не превышают погрешностей анализа ( $\pm 3\%$  по железистости и хромистости) (рис. 3).

Детальное изучение вариаций состава хромшпинели вкрест простирания полосчатости на примере двух образцов хромититов из

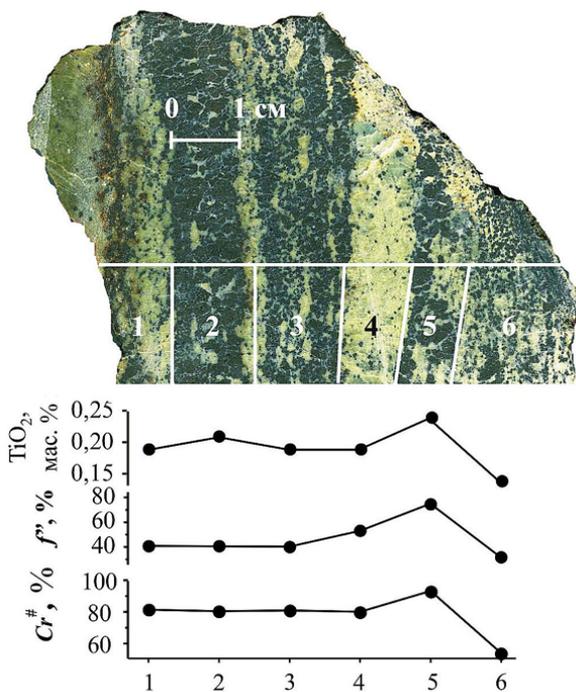


Рис. 2. Вариации состава хромшпинели в образце полосчатого хромитита из Ревдинского месторождения Ключевского массива.  
 $Cr\# = Cr/(Cr+Al)$ , %;  $f\# = Fe^{2+}/(Fe^{2+}+Mg)$  (%)

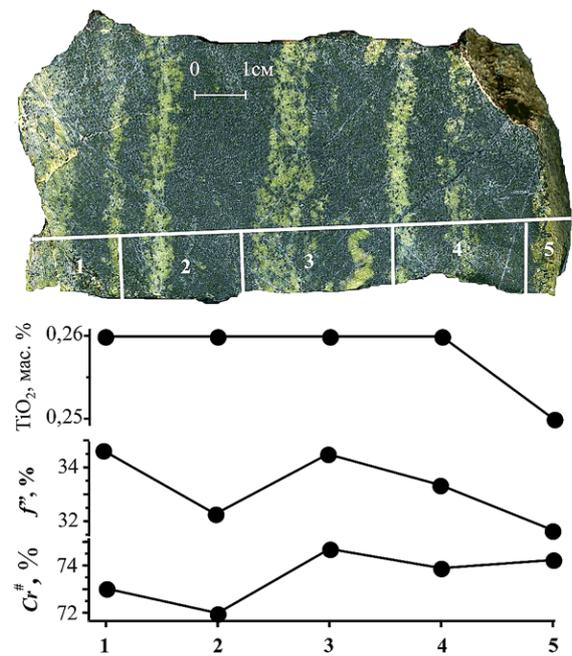


Рис. 3. Вариации состава хромшпинели в образце полосчатого хромитита из Первомайского месторождения Ключевского массива.

месторождения 40 лет КазССР (Кемпирсай) и из рудной залежи одного из месторождений массива Рай-Из ранее было проведено Ухановым А.В. с сотрудниками [Уханов и др., 1990]. По мнению авторов публикации, данные микронзондовых анализов указывают на значимые, выходящие за пределы погрешностей, различия состава хромшпинели, свидетельствующие о кумулятивной природе оруденения. Однако анализ этих данных с учетом реальных погрешностей анализа позволяет утверждать следующее. В образце кемпирсайского хромитита вариации по железистости и хромистости не выходят за рамки приборных погрешностей (см. предыдущий абзац). В райизском образце налицо существенное превышение природных вариаций по железистости и хромистости над приборными, которое может быть результатом свойственного для ультрамафитов массива Рай-Из многоэтапного прогрессивного метаморфизма, приводящего к увеличению железистости и хромистости хромшпинели [Чащухин и др., 1986]. Косвенным подтверждением этому является то, что мелкие зерна с относительно большой удельной поверхностью и, как следствие, более чувствительные к метаморфизму содержат повышенные концентрации  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ , Cr и меньшие – Al (рис. 4 и табл. 3 в цитируемой статье); если мелкие зерна исключить из общей выборки, то дисперсия составов хромшпинелей по железистости и хромистости не будет превышать погрешности анализов. Изложенное позволяет согласиться с авторами в том, что изучен-

ные хромититы образовались в ходе единого процесса, но вывод о кумулятивной природе оруденения нам не представляется очевидным.

Важная информация о природе хромитового оруденения в дунит-клинопироксенитовых комплексах следует из изучения поведения трехвалентных элементов в хромшпинели, прежде всего ионов  $Fe^{3+}$ . В связи с отклонением состава природных хромшпинелей от стехиометрии и отсутствием данных прямого определения количества в них  $Fe_2O_3$ , относительное содержание последней было оценено по степени смещения на диаграмме  $Cr_2O_3$ - $Al_2O_3$  положения фигуративных точек относительно линии составов хромшпинелей дунит-гарцбургитового комплекса. Ввиду малых концентраций в них ионов  $Fe^{3+}$  последние располагаются на линии, соединяющей эти компоненты (рис. 4). Составы хромшпинелей изученных массивов образовали поля, по-разному ориентированные относительно этой линии. Хромшпинели месторождений Верхнейвинского массива с учетом погрешностей анализов по соотношению Al-Cr- $Fe^{3+}$  не отличаются от хромшпинелей дунит-гарцбургитовых комплексов. Хромшпинели хромититов из дунит-клинопироксенитовых комплексов остальных массивов содержат существенно большие концентрации  $Fe^{3+}$ : в Ключевском такими хромшпинелями сложены руды месторождений Ревдинское и Козловское, в Первомайском массиве – все Талицкие. При этом длинные оси эллипсов составов хромшпинелей этих массивов пересекаются, отражая разные тренды

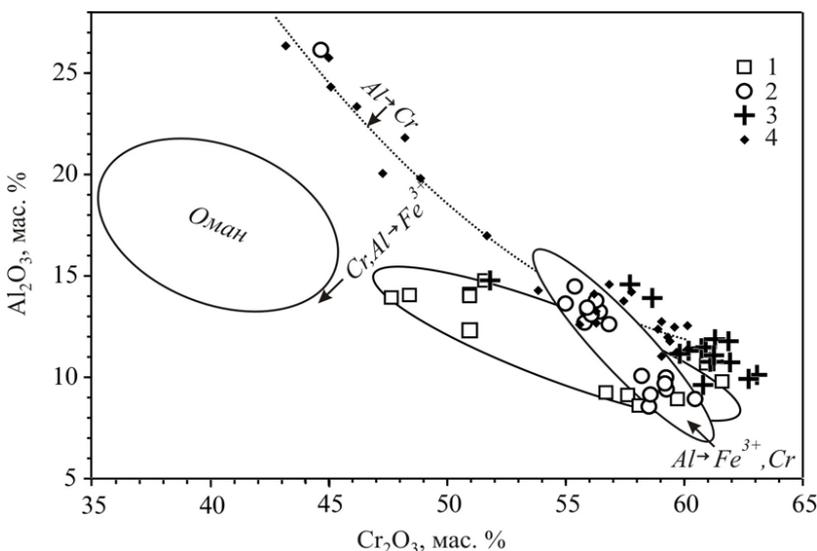


Рис. 4. Соотношения  $Al_2O_3 - Cr_2O_3 - Fe_2O_{3+}$  в хромшпинелях руд, залегающих в дунит-клинопироксенитовом комплексе офиолитов Среднего Урала.

Массивы: 1 – Первомайский, 2 – Ключевской, 3 – Верхнейвинский. 4 – акцессорные хромшпинели дунит-гарцбургит-лещролитовой серии массива Южный Крака, пунктирная линия – усредняющая линия (полином 2-ой степени). Показано поле составов хромшпинелей из хромититов верхней части Оманского офиолита, залегающих на контакте дунитов и габброидов [Arai et al., 2004].

## РУДООБРАЗОВАНИЕ И МЕТАЛЛОГЕНИЯ, МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

поведения трехвалентных ионов. Для Первомайского массива реализуется общее увеличение концентрации  $Fe^{3+}$  за счет двух других ионов, прежде всего Al, для Ключевского по мере уменьшения содержаний  $Al_2O_3$  увеличивается концентрация и  $Fe_2O_3$ , и  $Cr_2O_3$ .

На основании изложенных данных можно предполагать разную природу хромитового оруденения в рассмотренных массивах. В Верхнейвинском массиве изученные хромитопроявления сложены хромшпинелями, характерными для месторождений кемпирсайского типа, т.е. относятся к дунит-гарцбургитовому комплексу. Оруденение дунит-клинопироксенитового комплекса Ключевского массива гетерогенно: помимо среднехромистого оруденения на Первомайском месторождении, являющегося, по-видимому, реликтовым по отношению к дунит-клинопироксенитовому комплексу, остальные под его воздействием претерпели метаморфизм и могут быть отнесены к метаморфогенному типу. В Первомайском массиве процесс преобразования состава рудообразующих хромшпинелей прошел дальше, и наряду с метаморфогенным оруденением сформировались реакционно-метасоматические руды (месторождение Талицкое III). Можно предполагать, что эдуктом таких хромититов могли быть высокохромистые руды кемпирсайского типа.

Хромититы месторождения Талицкое III по тренду состава хромшпинели аналогичны недавно открытому Араи с соавторами в верхней части Оманского офиолитового разреза новому типу хромитового оруденения в офиолитах [Arai et al., 2004] (рис 4). Араи предложил сложную модель формирования такого оруденения, состоящую из ряда последовательных стадий: 1) внедрение по границе дайкового комплекса и вышележащего габбро богатой оливином кристаллической каши (crystal mush); 2) выплавление из захваченной этой кашей габброидных блоков фельзитового расплава; 3) смешение последнего с содержащимся в каше межгранулярным насыщенным оливином и шпинелью расплавом; 4) осаждение из новообразованного расплава хромитита.

Геологическая позиция талицких и оманских хромититов близка – те и другие приурочены к контакту дунит-клинопироксенитового комплекса и габбро, с той лишь разницей, что в Первомайском массиве первый окаймляет тело габбро, а в Омани дунит-верлитовые тела окружены габбро. Нам представляется, что в том и

другом случае дунит-клинопироксенитовый комплекс и залегающее в нем хромитовое оруденение с железистым составом хромшпинели есть результат реакции габброидного расплава и связанных с ним растворов с породами дунит-гарцбургитового комплекса с уже сформировавшимся хромитовым оруденением. Принципиальная возможность реакционно-метасоматического образования по гарцбургитам пород дунит-верлит-клинопироксенитового комплекса под действием кальцийсодержащих растворов экспериментально была показана давно [Ваганов, 1974]. По-видимому, разный состав талицких и оманских хромшпинелей контролировался неодинаковыми количественными соотношениями габбро и дунитов, а также близостью оруденения к интрузии габбро.

Изложенные данные позволяют сделать следующие выводы:

1. Хромитовое оруденение, приуроченное к дунит-клинопироксенитовому комплексу офиолитов Среднего Урала, является гетерогенным.

2. В Верхнейвинском массиве сохранились реликты хромитового оруденения дунит-гарцбургитового комплекса, в том числе кемпирсайского типа.

3. В Ключевском массиве оруденение претерпело частичный метаморфизм, сопровождающийся выносом из хромшпинели глинозема и накоплением хрома и окисного железа.

4. В дунит-клинопироксенитовом комплексе Первомайского массива под действием габбро сформировалось реакционно-метасоматическое оруденение оманского типа.

Авторы благодарны В.М. Маминой за предоставленную коллекцию образцов ультрамафитов Первомайского массива.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проекты 04-05-64436, НШ-85.2003.5, и Госконтракта № 10002-251/0113-2/182-353/150704-622 по Программе ОНЗ РАН.*

### *Список литературы*

*Булдыкин Л.Д., Андреев М.И.* Главные генетические типы хромитовых месторождений Урала и закономерности их размещения // Геология и полезные ископаемые Урала. Свердловск. 1990. С. 65-74.

*Ваганов В.И.* Петрология Хадатинского ультрабазитового массива на Полярном Урале. Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. М.: МГУ, 1974. 22 с.

*Вахромеев С.А., Зимин И.А., Кожевников К.Е. и др.* Уральские месторождения хромита. М.-Л.: ОНТИ НКТП СССР. 1936. 240 с.

Реестр хромитопоявлений в альпинотипных ультрабазитах Урала / Гл. ред. Б.В. Перевозчиков. Пермь: КамНИИКИГС, 2000. 474 с.

*Чащухин И.С.* Хромиты // Месторождения полезных ископаемых Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 1999. С. 51-63.

*Чащухин И.С., Мамина В.М., Сурганов А.В. и др.* Закономерности состава акцессорного и рудообразующей хромшпинели в ультрабазитах Первомайского массива // Ежегодник-2003. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2004. С. 206-217.

*Чащухин И.С., Перевозчиков Б.В., Царицын Е.П.* Метаморфизм гипербазитов массива Рай-Из (Полярный Урал) // Исследования по петрологии и металлогении Урала. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1986. С. 49-75.

*Чащухин И.С., Сурганов А.В., Булыкин Л.Д. и др.* Закономерности состава акцессорного и рудообразующего хромшпинелида в ультрабазитах Алапаевского массива // Ежегодник-2001. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2002. С. 281-289.

*Чащухин И.С., Сурганов А.В., Гмыра В.Г. и др.* Закономерности состава акцессорного и рудообразующей хромшпинели в ультрабазитах Восточно-тагильского массива // Ежегодник-2002. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2003. С. 150-158.

*Arai S., Uesugi J., Ahmed A.H.* Upper crustal podiform chromitite from the northern Oman ophiolite as the stratigraphically shallowest chromitite in ophiolite and its implication for Cr concentration // Contrib. Mineral. Petrol. 2004. V. 147. P. 145-154.

*Irvine T.N.* Chromium spinels as a petrogenetic indicator. II, Petrological applications // Canad. Journ. Earth Sci. 1967. V. 4. P. 71-103.