

**О ПРИРОДЕ ХРОМИТОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ
В ДУНИТ-КЛИНОПИРОКСЕНИТОВЫХ КОМПЛЕКСАХ УРАЛА:
СЛЕДСТВИЯ ИЗ СОСТАВА ХРОМШПИНЕЛИ**

И.С. Чащухин

Ранее, на примере Среднего Урала (Верхнейвинский, Ключевской, Первомайский массивы) и на основе состава рудообразующей хромшпинели была изучена природа хромитового оруденения, локализованного в породах дунит-клинопироксенитового комплекса офиолитов [Чащухин и др., 2005]. Была показана гетерогенность оруденения, обусловленная, с одной стороны, степенью сохранности первичных руд дунит-гарцбургитового комплекса и, с другой, – глубиной их преобразования под действием габброидов. Так, был сделан вывод о том, что в Верхнейвинском массиве сохранилось оруденение кемпирсайского типа, в Ключевском, наряду с реликтами руд алапаевского типа, ряд рудопроявлений имеет метаморфогенную природу, в Первомайском массиве сформировались реакционно-метасоматические руды оманского типа.

В статье на примере массивов Средний Крака и Хабаринский изложены результаты дальнейшего изучения хромитовых рудопроявлений, пространственно связанных с дунит-клинопироксенитовыми комплексами, но залегающих в иных (неофиолитовых) обстановках.

Массив Средний Крака. В ходе полевых работ в районе руч. Саксей, в 3,5 км к северу от села Хамитово (южная часть массива) был опробован действующий карьер для добычи дунита, используемого Магнитогорским металлургическим комбинатом в качестве оgneупорного материала. Карьер размером 100×50 м и юго-восточного простириания, заложенный в подножье южного склона хребта, вскрыл однородные беспироксеновые дуниты,

петельчато серпентинизированные на 80 %. В забое карьера встречены убого- и редковкрапленные хромититы, по внешнему виду напоминающие хромититы месторождения «Геофизическое XII» в юго-восточном блоке Кемпирсайского массива.

Вмещающие дуниты слагают наиболее эродированную часть массива и выше по разрезу сменяются дунит-гарцбургитовым комплексом и далее гарцбургит-лерцолитовой серией. Данный разрез существенно отличается от типичного разреза офиолитовых ультрамафитов, как правило, сложенных однородными гарцбургитами с обособлениями дунитов и хромититов в верхах разреза [Колман, 1979].

К западу от выходов беспироксеновых дунитов встречены изолированные тела клинопироксенитов, в том числе оливин-содержащих, ввиду устойчивости к выветриванию хорошо выраженные в рельефе. Еще далее к западу обнажаются габбро. Таким образом, налицо типичная для офиолитов последовательность: орто- и клинопироксен-содержащие ультрамафиты – дуниты – клинопироксениты – габбро, отчетливо прослеживающаяся на карте, составленной сотрудниками Геологического института РАН [Савельева, Денисова, 1989]. В таком случае есть основания предполагать, что дуниты и залегающие в них хромититы слагают нижнюю часть дунит-клинопироксенитового комплекса и генетически оторваны от гарцбургит-лерцолитовой серии. Однако, для такого утверждения нет достаточных оснований: а) клинопироксениты не образуют непрерывную полосу, как следует из карты ГИНа, а слага-

РУДООБРАЗОВАНИЕ

Таблица 1

Химический состав хромититов и вмещающих пород массивов Средний и Южный Крака

Компо-ненты, мас. %	Массив Средний Крака							
	Гцб	Дуниты						
		8930	8931	8950	8951	8952	8953	8954
TiO ₂	0,00	0,00	0,18	0,16	0,12	0,21	0,16	0,20
Al ₂ O ₃	28,56	30,24	9,36	10,14	12,17	10,22	12,94	9,94
Cr ₂ O ₃	37,81	36,80	56,16	55,36	52,80	52,61	54,49	53,98
FeO*	19,13	18,59	24,40	24,52	24,19	28,33	22,22	26,68
MnO	0,24	0,21	0,40	0,41	0,38	0,42	0,43	0,43
MgO	13,89	13,87	10,02	10,36	10,53	9,32	10,45	9,58
Сумма	99,63	99,71	100,52	100,95	100,19	101,11	100,69	100,81
Cr#, %	47,03	44,94	80,10	78,55	74,42	77,54	73,85	78,46
f, %	37,80	38,36	50,12	48,95	48,37	53,80	48,95	52,38
								42,80

Компо-ненты, мас. %	Массив Средний Крака							
	Дуниты				Хромититы			
	8958	8959	8960	8961	8962	8932	8963	8964
TiO ₂	0,18	0,18	0,21	0,47	0,15	0,17	0,13	0,13
Al ₂ O ₃	12,12	11,67	11,46	12,46	12,66	24,25	9,71	9,03
Cr ₂ O ₃	52,89	54,97	53,59	53,39	52,70	29,66	56,68	57,31
FeO*	24,94	21,88	24,94	24,94	23,63	19,02	23,17	23,63
MnO	0,43	0,38	0,43	0,41	0,38	0,26	0,38	0,40
MgO	10,17	11,79	10,44	9,17	11,10	13,40	10,28	10,44
Сумма	100,73	100,87	101,07	100,84	100,62	86,76	100,35	100,94
Cr#, %	74,53	75,96	75,82	74,19	73,63	45,06	79,65	80,98
f#, %	50,10	42,81	48,84	54,45	46,07	31,30	49,00	48,37
								47,57

Компо-ненты, мас. %	М-ние Б. Башарт, массив Южный Крака							
	Хромититы							
	7611	7612	7613	7614	7615	7616	7617	7618
TiO ₂	0,18	0,20	0,22	0,19	0,22	0,28	0,18	0,18
Al ₂ O ₃	11,01	12,47	11,39	14,56	11,97	12,54	11,76	12,35
Cr ₂ O ₃	59,05	59,61	60,16	56,84	59,32	60,14	59,41	58,89
FeO*	14,75	14,71	14,85	14,70	14,95	12,11	15,93	15,70
MnO	0,22	0,19	0,19	0,20	0,17	0,20	0,19	0,20
MgO	14,69	14,66	14,82	14,62	14,94	15,60	12,50	13,41
Сумма	99,90	101,84	101,63	101,11	101,57	100,87	99,97	100,72
Cr#, %	78,25	76,23	77,99	72,36	76,87	76,28	77,21	76,18
f#, %	29,56	31,26	30,13	31,59	29,80	26,54	39,38	35,97
								39,97

Примечания. Образцы 8930-8932 отобраны из канав старого рудопроявления, пройденных в 1 км к северу от села Хамитово; обр. 8932 представлен густовкрапленным хромититом. Остальные образцы дунитов и убого-редковкрапленных хромититов шлирово-полосчатой текстуры в массиве Средний Крака отобраны при опробовании дунитового карьера «Саксей». Обр. 7611-7613 – сплошные крупнозернистые хромититы, обр. 7614 – густовкрапленный среднезеристый хромитит, обр. 7615 – чередование густовкрапленного крупнозернистого и средневкрапленного среднезернистого хромитита, обр. 7616 – нодулярный хромитит, обр. 7617 – контакт почти сплошного хромитита с дунитом, обр. 7618 и 7619 – контакт средневкрапленного хромитита с дунитом. FeO* = суммарная массовая доля железа в форме FeO; Cr#=Cr/(Cr+Al); f'=Fe²⁺/(Fe²⁺+Mg). Анализы выполнены на микроанализаторе JXA-5 (аналитик В.Г. Гмыра).

ют редкие изолированные тела (см. геологическую карту масштаба 1:50000, составленную геологами бывшего Башкирского ТГУ; наши наблюдения подтвердили такую рисовку); 2) отсутствуют непрерывные переходы между

дунитами и клинопироксенитами, в том числе верлиты; 3) дуниты стерильны от клинопироксена, обычного для дунитов переходной дунит-клинопироксенитовой зоны.

Помимо хромититов, залегающих в бес-

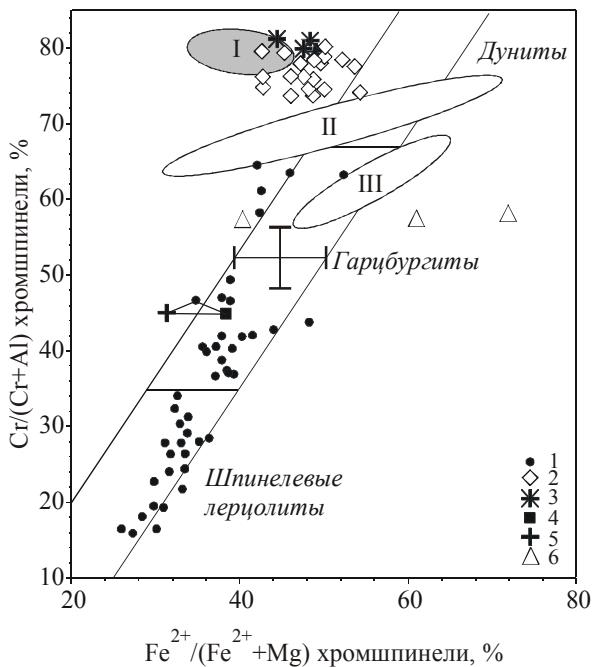


Рис. 1. Соотношения хромистости и железистости хромшпинели в породах и рудах массива Средний Крака.

1 – дунит-гарцбургит-лерцолитовая серия, 2-3 – хромитит-дунитовая серия: 2 – дуниты, 3 – хромититы, 4 – метасоматический дунит, 5 – метасоматический хромитит; 6 – клинопироксениты, в том числе оливин-содержащие. Эллипсы – поля составов хромшпинели хромититов: I – ортомагматических (м-ние Геофизическое XII, юго-восточный блок Кемпирскойского массива), II-II – дунит-верлит-клинопироксенитовых комплексов: II – м-ние Талицкое-2, Первомайский массив, Средний Урал, III – Оман (Arai et al., 2004). Коннодами соединены составы хромшпинелей из гарцбургита и продуктов их метасоматоза – дунитов и хромититов. Прямыми линиями показаны статистические границы составов хромшпинелей в ультрамафитах шпинелевых фаций дунит-гарцбургит-лерцолитовых серий альпинотипных комплексов Земли.

пиroxеновых дунитах карьера Саксей, нами была встреченена старая горная выработка, пройденная выше по разрезу в породах дунит-гарцбургитового комплекса, и отобраны образцы хромитовых руд и вмещающих пород.

Для выяснения природы ультрамафитов и залегающих в них хромититов были использованы закономерности состава хромшпинели (табл. 1) и построены диаграммы «железистость-хромистость» и соотношений трехвалентный компонентов и титана в сопоставлении с составами хромшпинели из ранее изученных месторождений (рис. 1-3).

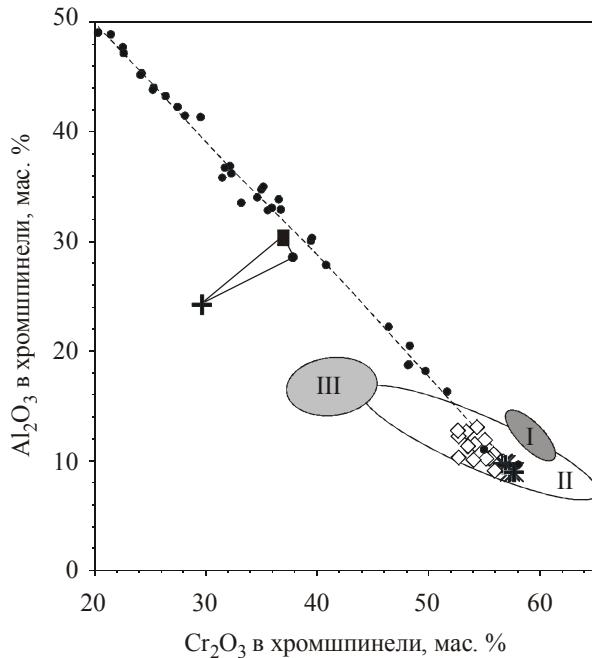


Рис. 2. Соотношения массовых долей глинозема и окиси хрома в хромшпинелях из ультрамафитов массива Средний Крака. Эллипс I – поле составов рудных хромшпинелей м-ния Б. Башарт, массив Южный Крака. Остальные условные обозначения те же, что на рис. 1.

Состав акцессорной хромшпинели подтвердил полевые наблюдения: ультрамафиты массива Средний Крака сложены преимущественно гарцбургит-лерцолитовой серией в шпинелевой и плагиоклазовой фациях (см. рис. 1). Хромититы представлены двумя типами – высокохромистым и глиноземистым; железистых разностей не обнаружено. Состав рудной глиноземистой хромшпинели (обр. 8932) в пределах погрешности анализов идентичен акцессорной хромшпинели вмещающих гарцбургитов и дунитов, что дает право предполагать метасоматическую апогарцбургитовую природу дунитов и хромититов [Чашухин и др., 2001]. Смещение на рис. 2 фигуративной точки от линии $\text{Al}_2\text{O}_3-\text{Cr}_2\text{O}_3$ в сторону Fe_2O_3 при низкой концентрации TiO_2 (рис. 3) свидетельствует о высокой летучести кислорода, характерной для продуктов метасоматоза [Чашухин и др., 2007].

Вскрытыми карьером Саксей дуниты и хромититы на всех использованных диаграммах образуют единую серию. По составу рудная и акцессорная хромшпинели отвечают высокохромистой разности. Тренд состава на диаграмме Ирвина аналогичен высокохромистым хромшпинелям кемпирскойского типа, в частно-

РУДООБРАЗОВАНИЕ

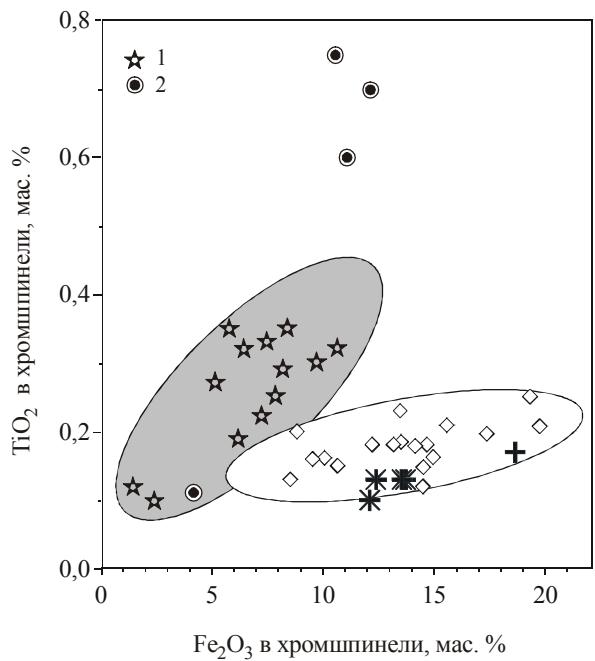


Рис. 3. Соотношения TiO_2 и Fe_2O_3 в хромшпинелях пород и руд массива Средний Крака.

1 – хромититы м-ния Талицкое-2, 2 – хромититы Омана. Остальные условные обозначения те же, что на рис. 1. Расчет массовых долей Fe_2O_3 в хромшпинели проведен по данным микрозондового рентгеноспектрального анализа при допущении стехиометрии состава.

сти, хромитит-дунитовой серии месторождения «Геофизическое XII» (см. рис. 1). Массовая доля трехокиси железа в хромшпинели хромититов и дунитов с учетом содержания титана близка таковой гарцбургит-лерцолитовой серии (см. рис. 2), а массовая доля TiO_2 в рудных хромшпинелях существенно меньше по сравнению с залегающими в породах дунит-верлит-клинопироксенитовых комплексов рудами месторождения Талицкое-2 (Первомайский массив на Среднем Урале) и Омана [Чащухин и др., 2004] (см. рис. 3).

Таким образом, хромитовое оруденение массива Средний Крака полигенно. Глиноземистые руды и вмещающие их дуниты являются метасоматическими апогарцбургитовыми образованиями. Дуниты карьера Саксей и залегающие в них хромититы, располагающиеся в массиве между гарцбургит-лерцолитовой серией и клинопироксенитами, являются наиболее деплетированными фрагментами этой серии, генетически не связанными с формированием клинопироксенит-габбрового комплекса.

Хабарнинский массив. Как известно, Хабарнинский массив является гетерогенным образованием [Варлаков, 1978; Петрология..., 1991]. В его строении принимают участие породы дунит-гарцбургит-лерцолитового и расслоенного дунит-верлит-клинопироксенит-габброидного комплексов, разделенных Восточно-Хабарнинской ассоциацией (ВХА). Последняя по набору пород (дуниты, клинопироксениты, габбро-нориты), составу минералов, геохимии РЗЭ и редокс-состоянию близка Платиноносному поясу Урала. Дуниты преобладают. В пределах их развития в 30-е годы прошлого века проводилась добыча хромитовых руд. Предметом изучения явились руды, вскрытые карьером 2 месторождения 5, а также породы ВХА, опробованные серией пересечений. Образование руд принято связывать с формированием дунит-верлитовой серии, а само оруденение относить к типу повышенной железистости [Реестр..., 2000].

Вариации состава акцессорных хромшпинелей из реститогенных ультрамафитов подтверждают их принадлежность дунит-гарцбургит-лерцолитовой серии (рис. 4). В породах ВХА состав рудных акцессориев в координатах «железистость-хромистость» чрезвычайно разнообразен. Здесь независимо от количественных соотношений оливина и клинопироксена можно выделить три дискретные группы: 1) относительно высокохромистые ($\text{Cr}\# = 80 \pm 5\%$) и маложелезистые ($f' = 50 \pm 10\%$) хромшпинели, близкие по составу хромшпинелям из дунитов Платиноносного пояса, 2) среднехромистые ($\text{Cr}\# = 55 \pm 5\%$) хромшпинели повышенной (60-80 %) железистости и 3) титансодержащие хроммагнетиты ($\text{TiO}_2 = 0,5-3,8$ мас. %, $\text{Cr}_2\text{O}_3 = 1-8$ мас. %). Эти же группы акцессориев отчетливо различаются по содержанию Fe_2O_3 и TiO_2 (рис. 5, 6). Величина отклонения фигуративных точек от линии «глинозем-оксид хрома» (cv/ рис. 5) пропорциональна суммарному содержанию этих компонентов: ближе всего к линии располагаются составы маложелезистой группы, наиболее удалены акцессории третьей группы, вторая, «среднехромистая» группа занимает промежуточное положение. В координатах $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ первые две группы обнаруживают четкую прямую зависимость (шпинелевый тренд), третья группа показывает обратную зависимость (титаномагнетитовый тренд) – см. рис. 6. Нередко в пределах одного обнажения можно встретить все три группы акцессориев.

Таблица 2

Химический состав и плотность хромититов м-ния 5 в Хабаринском массиве

Компоненты, мас. %	8870	8871	8872	8873	8874	8876	8877
TiO ₂	0,31	0,34	0,32	0,24	0,25	0,40	0,49
Al ₂ O ₃	11,25	11,10	10,69	10,83	11,11	11,06	10,85
Cr ₂ O ₃	54,64	56,00	56,39	54,47	53,12	52,94	53,27
FeO*	18,09	17,36	17,64	22,20	22,56	22,56	21,38
MnO	—	—	—	—	0,53	—	0,59
MgO	14,45	14,09	14,11	11,05	11,24	11,55	12,10
Сумма	98,74	98,88	99,15	98,79	98,81	98,51	98,68
Cr#, %	76,51	77,19	77,96	77,13	76,23	76,25	76,71
f', %	30,27	31,80	31,78	45,41	43,81	42,86	39,27
Плотность, г/см ³	3,50	3,48	3,56	3,55	2,62	2,68	3,26

Примечания. Хромититы: обр. 8870 – средневкрапленный массивный, обр. 8871, 8873 – средневкрапленный полосчатый, обр. 8872 – пятнисто-полосчатый средневкрапленный, обр. 8874, 8876 – убоговкрапленный полосчатый, обр. 8877 – средневкрапленный полосчато-такситовый. Остальные примечания – в табл. 1.

Состав рудной хромшпинели варьирует в узких пределах, близок составу первой группы акцессорных хромшпинелей и практически аналогичен рудной хромшпинели латераль-секреционных месторождений кемпирсайского типа, например, месторождению Б. Башарт в массиве Южный Крака (см. рис. 4). Аналогия с кемпирсайским типом прослеживается и в зависимости состава хромшпинели от ее количества [Чашухин и др., 2007] (рис. 7).

По-видимому, отмеченные особенности состава оксидов отражают этапы формирования пород Восточно-Хабаринской ассоциации, включая стадию метасоматической переработки реликтов реститогенных ультрамафитов под действием магмы, в ходе дифференциации которой образовались породы этой ассоциации. Породы и руды по-разному реагировали на эту переработку – об этом можно судить по степени изменчивости состава хромшпинелей, прежде всего, по вариациям концентраций трехвалентных компонентов и титана (см. рис. 5, 6). Наиболее устойчивы хромититы, состав хромшпинели которых изменился слабо. По сравнению с ними хромшпинели пород первой группы (можно предполагать, что их эдуктом были породы дунит-гарцбургит-лерцолитовой серии) содержат заметно больше TiO₂ и Fe₂O₃, замещающих оксид хрома. Повышенные концентрации оксида железа в акцессорных хромшпинелях отражают увеличение летучести кислорода в ходе метасоматической переработки, что подтверждается прямыми расчетами с привлечением данных мессбауэровской спектроскопии [Чашухин и др., 2007].

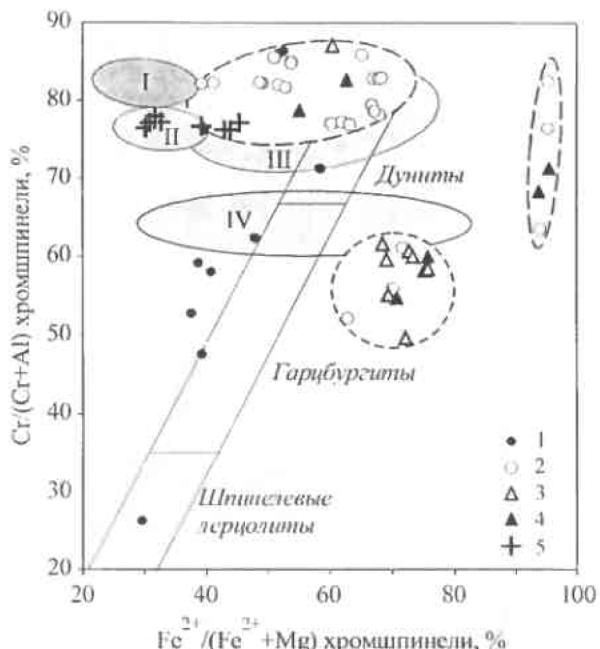


Рис. 4. Соотношения хромистости и железистости хромшпинели в породах и рудах Хабаринского массива.

1 – дунит-гарцбургит-лерцолитовая серия, 2-5 – Восточнохабаринская ассоциация: 2 – дуниты, 3 – клинопироксеновые дуниты, 4 – клинопироксениты, в том числе оливин-содержащие, 5 – хромититы карьера 5-2. Штриховыми линиями ограничены поля составов акцессорных хромшпинелей и магнетитов. Эллипсы: I-II – высокохромистые хромшпинели руд кемпирсайского типа: I – ГРП юго-восточного блока Кемпирсайского массива, II – м-ния Б. Башарт, массив Южный Крака; III-IV – [Иванов, 1990, 1997]; III – акцессорные хромшпинели дунитов Платиноносного пояса, IV – акцессорные и рудные хромшпинели Сарановского массива. Расчет количества катионов Fe²⁺ в хромшпинели проведен при допущении стехиометрии ее состава.

РУДООБРАЗОВАНИЕ

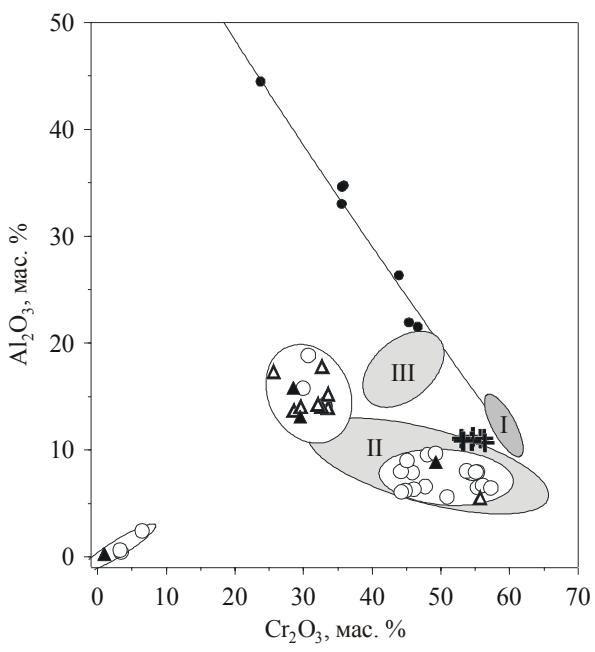


Рис. 5. Соотношения массовых долей глинозема и окиси хрома в хромшпинелях из ультрамафитов Хабарнинского массива.

Эллипсы – поля составов рудных хромшпинелей: I – м-ния Б. Башарт, II – Платиноносного пояса, III – Сарановского массива. Остальные условные обозначения те же, что на рис. 4.

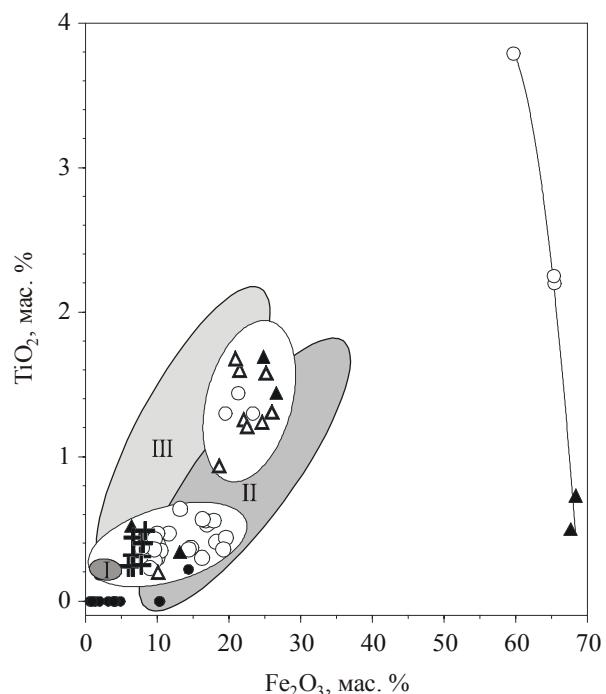


Рис. 6. Соотношения TiO_2 и Fe_2O_3 в хромшпинелях и магнетитах из пород и руд Хабарнинского массива.

Условные обозначения те же, что на рис. 4.

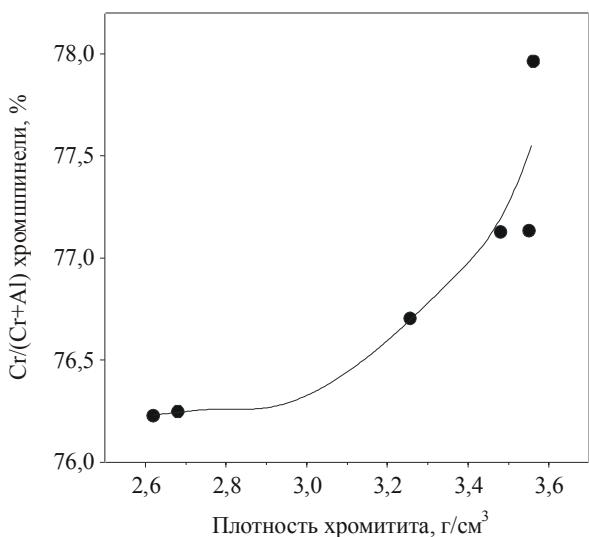


Рис. 7. Зависимость хромистости рудной хромшпинели от плотности руд из карьера 2 месторождения 5 в Восточнохабарнинской ассоциации Хабарнинского массива. Проведена линия наименьших квадратов.

Таким образом, на основе изучения закономерностей состава хромшпинели можно предполагать, что хромитовое оруденение, локализованное в пределах Восточнохабарнинской ассоциации, относится к кемпирсайскому типу и генетической связи с ней не имеет.

Выходы

1. Хромитовое оруденение массива Средний Крака полигенно. Высокохромистые хромиты генетически связаны с реститогенными дунитами и образуют единый комплекс, аналогичный ортомагматической хромитит-дунитовой серии кемпирсайского типа. Глиноземистые руды и вмещающие их дуниты являются метасоматическими апогарцбургитовыми образованиями алапаевского типа.

2. Есть основания предполагать, что хромитовые руды Восточно-Хабарнинской ассоциации представляют собой реликты высокохромистого латераль-секреционного оруденения кемпирсайского типа.

ЕЖЕГОДНИК-2007

Работа выполнена при финансовой поддержке программы ОНЗ-2 «Фундаментальные проблемы геологии, условия образования и принципы прогноза традиционных и новых типов крупномасштабных месторождений стратегических видов минерального сырья» и гранта Президента РФ «Поддержка ведущих научных школ».

Список литературы

Варлаков А.С. Петрография, петрохимия и геохимия гипербазитов Оренбургского Урала. М.: Наука, 1978. 238 с.

Иванов О.К. Расслоенные хромитоносные ультрамафиты Урала. М.: Наука, 1990. 243 с.

Иванов О.К. Концентрически-зональные пироксенит-дунитовые массивы Урала. Екатеринбург: УрГУ, 1997. 488 с.

Колман Р.Г. Офиолиты. М.: Мир, 1979. 262 с.

Петрология пост-гарцбургитовых интрузивов кемпирсайско-хабарнинской офиолитовой ассоциации. Свердловск: УрО РАН, 1991. 160 с.

Реестр хромитопроявлений в альпинотипных ультрабазитах Урала. Пермь, 2000. 474 с.

Савельева Г.Н., Денисова Е.А. Структурно-геологическая карта ультраосновных массивов Крака. Масштаб 1:100000 // Типовые геологические карты разных районов территории СССР / Ред. Ю.М. Пущаровский. М.: ГИН АН СССР, 1989.

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

Чащухин И.С., Вотяков С.Л., Щапова Ю.В. Кристаллохимия хромшпинели и оксистермобарометрия ультрамафитов складчатых областей. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2007. 310 с.

Чащухин И.С., Булыкин Л.Д., Чащухина В.А. О природе хромитового оруденения в породах дунит-клинопирексенитового комплекса офиолитов Среднего Урала // Ежегодник-2004. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2005. С. 353-358.

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.