

7. **Соболев Н.В.** Глубинные включения в кимберлитах и проблема состава верхней мантии // Тр. ИГиГ СО АН СССР. Вып. 183. Новосибирск: Наука, 1974. 264 с.

8. **Чайковский И.И.** Петрология и минералогия интрузивных алмазоносных пирокластитов Вишерского Урала. Пермь: Изд-во Пермского ун-та. 2001. 323 с.

УДК 38.49.15 (470.5)

**П.Л. Бурмако**

## **СОСТАВ ХРОМШПИНЕЛИДОВ АЛЬПИНОТИПНЫХ МАССИВОВ УРАЛА И ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССОВ МЕТАМОРФИЗМА НА ЕГО ИЗМЕНЕНИЕ**

В пределах Уральского региона насчитывается более 300 альпинотипных гипербазитовых массивов, примерно десятая часть из которых традиционно считается хромитоносной. Среди них наиболее крупные и известные во всем мире месторождения Кемпирсайского массива на Южном Урале и введенное в эксплуатацию в самое последнее время месторождение Рай-Изского массива в Полярноуральском регионе.

В связи с тем, что Кемпирсайское месторождение сейчас находится за границей, на территории Казахстана, а на месторождении Райизского массива возможна лишь сезонная добыча хромитовых руд, ставится задача перспективной оценки известных хромитоносных массивов на этот вид минерального сырья. Альпинотипные массивы Челябинской области играют в этом немаловажную роль.

По давно уже устоявшимся представлениям, в альпинотипных массивах выделяется два типа хромитового оруденения: высокохромистое – связанное с дунитами либо с полосчатым дунит-гарцбургитовым комплексом, причем приуроченное также только к дунитовым полосам различной мощности, и, по данным И.А. Малахова [1], располагающееся структурно выше дунитовой части разреза. Второй тип – высокоглиноземистый, приурочен к области, сложенной исключительно гарцбургитами, которые перекрывают дунит-гарцбургитовый полосчатый комплекс. Этот тип является наиболее распространенным на Урале и в той или иной степени присутствует практически во всех альпинотипных массивах. Отмечаемый в настоящее время третий тип хромитового оруденения, связанный с дунит-клинопироксенитовым комплексом, возникновение которого обуславливается воздействием на гипербазиты перекрывающих их габброидов, особого промышленного значения не имеет и отмечается на Хабаровинском, Алапаевском и еще целом ряде альпинотипных массивов Среднего и Южного Урала.

В результате изучения строения четырех альпинотипных массивов Челябинской области, относящихся к западному обрамлению Восточно-Уральского поднятия – Куликовского, Уйского, Успеновского и Татищевского, установлено, что расположенное в них хромитовое оруденение принадлежит к двум из пяти выделенных И.А. Малаховым [1] формационных типов хромитовых месторождений – Кракинскому и Верблюжегорскому.

К Кракинскому типу, представляющему самые верхние части рудоносного дунит-гарцбургитового полосчатого комплекса, относятся хромитовые месторождения Успеновского массива, сложенные сплошными рудами. Все эти месторождения приурочены к маломощным полосам дунитов, по всей видимости, вторичного происхождения, с которыми связано большое количество мелких хромитовых тел и сегрегаций, сложенных высокохромистыми хромитовыми рудами. Некоторые типичные составы хромшпинелидов из подобных хромитовых обособлений Успеновского массива приведены в табл. 1.

Состав хромшпинелидов из этих сегрегаций характеризуется относительно повышенным содержанием оксида хрома – около 50 %, небольшим количеством  $Al_2O_3$ , не превышающим 20 %, и незначительным присутствием в составе хромита трехвалентного железа. Последнее может свидетельствовать, с одной стороны, об относительно высокой глубине формирования данных хромшпинелидов, где парциальное давление кислорода было пониженным [2], а с другой, – что представляется более реальным, о наложении на сформированные ранее высокоглиноземистые хромитовые руды процессов вторичного высокотемпературного метаморфизма в глубинных условиях, приведшего к повышению их качества.

Состав некоторых типичных хромшпинелидов Успеновского и Уйского массивов Челябинской области

Массив	Успеновский					Уйский		
	1	2	3	4	5	6	7	8
Компоненты, %								
TiO <sub>2</sub>	0.36	0.38	0.33	0.34	0.37	--	--	--
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.09	15.51	14.28	13.46	13.26	12.93	11.34	11.71
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	51.08	55.80	55.73	57.68	54.53	53.01	50.06	53.46
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.08	0.80	2.41	0.26	4.60	5.66	10.56	7.87
FeO	12.06	13.39	13.18	16.10	12.98	16.67	17.50	14.04
MnO	0.12	0.10	0.16	0.23	0.33	--	--	--
MgO	15.06	13.88	13.83	11.78	13.61	11.73	10.61	12.92
NiO	0.16	0.10	0.06	0.16	0.26	--	--	--
CoO	0.01	0.04	0.03	0.01	0.02	--	--	--
Сумма	100.02	100.00	100.01	100.02	99.96	100.00	100.00	100.00
Основные минеральные группировки, %								
Ульвошпинель	1.2	1.4	1.2	1.2	1.3	--	--	--
Шпинель	34.5	28.9	26.5	25.4	24.8	24.8	22.0	22.3
Магнохромит	34.7	36.7	38.6	31.2	40.2	32.1	30.0	39.8
Хромит	27.2	32.9	30.8	41.9	28.2	36.2	34.9	28.3
Магнетит	2.4	1.0	2.9	0.3	5.5	6.9	13.1	9.6
Главные расчетные параметры								
Железистость, f %	31.0	35.1	34.8	43.4	34.9	43.0	48.1	37.9
Хромистость, Y %	64.2	70.7	72.4	74.2	73.4	73.3	74.8	75.4
Доля Fe <sup>3+</sup> в R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	2.4	1.0	2.9	0.3	5.6	6.9	13.1	9.6
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /FeO <sub>сум</sub>	3.67	3.96	3.63	3.53	3.19	2.44	1.85	2.53

Примечание. Таблица составлена по литературным данным.

Таким образом, хромитовые руды данного формационного типа в Успеновском массиве имеют повышенную хромистость, практически во всех случаях превышающую 64 %, относительно невысокую железистость – порядка 30-34 % и минимальную долю Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> среди всех трехвалентных оксидов.

Относительно хромитовых месторождений и рудопроявлений Уйского массива следует отметить, что, несмотря на явно недостаточное количество анализов рудных хромшпинелидов (всего 3 анализа), имевшихся в нашем распоряжении, все они относятся к высокохромистому типу с содержанием Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> выше 50 %, а количество алюминия в них не превышает 13 %. Судя же по повышенному содержанию трехвалентного железа среди всех трехвалентных оксидов и высокой железистости (см. табл. 1), эти хромитовые обособления, скорее всего, претерпели изменения в приповерхностных условиях, выразившиеся в увеличении их хромистости и железистости за счет уменьшения содержания в них Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Относительно хромшпинелидов из хромитовых месторождений и рудопроявлений Татищевского и Куликовского массивов следует отметить: несмотря на то, что эти массивы относятся к различным поясам ультраосновных массивов, первый принадлежит Полтаво-Брединской синклинали, а второй входит в состав Миасско-Кацбахского пояса гипербазитов. По составу хромитовых обособлений они очень сходны между собой (табл. 2).

Хромшпинелиды этих двух массивов характеризуются типично глиноземистым составом и отнесены к так называемому Верблюжегорскому типу месторождений хромитов в альпинотипных массивах [2]. При относительно невысоком содержании Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, обычно не превышающем 40-45 %, они содержат повышенное количество алюминия – практически всегда выше 25 %, а иногда достигающее величины 30 и даже более процентов. Соответственно и хромистость подобных хромитовых обособлений невысока и лишь в метаморфизованных их разновидностях превышает 60 %, обычно же составляет величину порядка 40-49 %. Доля трехвалентного железа среди всех трехвалентных оксидов практически всегда незначительна и не превышает 1-4 %. Повышение хромистости выше 60 % в хромшпинелидах из хромитовых месторождений и рудопроявлений этих массивов связано с процессом вторичного высокотемпературного метаморфического их изменения в условиях повышенной глубинности.

## Типичные составы хромшпинелидов Куликовского и Татищевского массивов Челябинской области

Массив	Куликовский				Татищевский			
	4	3	3	4	3	1	1	1
Кол-во анализов	4	3	3	4	3	1	1	1
Компоненты, %	1	2	3	4	5	6	7	8
TiO <sub>2</sub>	н/опр.	н/опр.	н/опр.	н/опр.	0.18	н/опр.	--	0.35
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21.86	31.34	33.55	29.55	30.06	25.62	19.43	23.97
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	46.19	36.72	34.97	38.62	37.92	42.55	50.25	45.93
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.62	2.27	1.68	2.41	2.36	3.21	2.32	0.21
FeO	16.68	14.94	14.21	15.30	14.92	13.32	13.70	15.92
MnO	0.37	0.22	0.25	0.26	--	--	--	--
MgO	11.98	14.20	14.67	13.62	14.35	14.75	14.31	13.59
NiO	н/опр.	н/опр.	0.34	0.34	н/опр.	н/опр.	--	--
Сумма	99.69	99.69	99.67	100.10	99.79	99.45	100.01	99.97
Основные минеральные группировки, %								
Ульвошпинель	--	--	--	--	0.6	--	--	1.2
Шпинель	40.1	54.6	57.8	51.9	52.4	45.6	35.6	43.2
Магнохромит	15.5	8.0	6.9	9.4	10.9	20.8	30.7	18.7
Хромит	41.3	34.9	33.5	36.0	33.5	30.0	31.0	36.7
Магнетит	3.1	2.5	1.8	2.7	2.6	3.6	2.7	0.2
Главные расчетные параметры								
Железистость, f %	43.9	37.1	35.2	38.7	36.8	33.6	33.7	38.4
Хромистость, Y %	58.6	44.0	41.1	46.7	45.8	52.7	63.4	56.2
Доля Fe <sup>3+</sup> в R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	3.1	2.5	1.8	2.7	2.6	3.6	2.7	0.2
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /FeO <sub>сум</sub>	2.43	2.16	2.22	2.21	2.22	2.63	3.18	2.85

Примечание. Таблица составлена по литературным данным.

Влияние процессов метаморфизма на изменение состава хромшпинелидов прекрасно иллюстрируется авторскими данными по содержанию основных компонентов, полученными при микронзондовом изучении хромитов из двух новых месторождений Татищевского массива: "Иванушкино" и "Слава" (табл. 3).

Как видно из представленных в табл. 3 данных типичных составов хромшпинелидов изученных месторождений Татищевского массива, все они имеют явно зональное строение. Центральная часть зерен всех типов руд: от убоговкрапленных до сплошных, сложена высокоглиноземистыми разностями с содержанием оксида хрома около 45 %, при этом количество Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> всегда больше 20 %. Доля трехвалентного железа же обычно не превышает 5,5 %. В краевой части зерен хромшпинелидов наблюдается резкий рост содержания Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> на 10-15, а иногда до 20 % за счет количества алюминия, снижающегося с 25 до 7-10, а в некоторых случаях даже до 4 %. Это явно свидетельствует об интенсивном метаморфическом преобразовании руд уже после становления массива и образования самих хромитовых месторождений. Снижение доли трехвалентного железа среди всех трехвалентных оксидов в краевой части некоторых хромитовых зерен однозначно говорит о том, что изменение этих хромшпинелидов происходило в явно восстановительных условиях, на повышенной глубине и при низких значениях величины парциального давления кислорода.

Очень плохая полируемость краевой части практически всех зерен хромшпинелидов из этих хромитовых месторождений, наблюдаемая нами при изготовлении полированных препаратов для микронзондового анализа, выражается в резком повышении пористости по периферии зерна и свидетельствует о том, что удаляемый из кристаллической решетки хромита алюминий здесь же кристаллизуется в виде многочисленных мелких выделений пластинчатой формы. В результате предыдущих исследований [2] установлено, что по своему составу этот пластинчатый минерал соответствует высокоглиноземистому амезиту, относящемуся к группе хлорита.

Кроме этого в некоторых зернах хромшпинелидов наблюдается образование типичной каймы обрастания, сложенной магнетитом с незначительной примесью хрома и магния (см. табл. 3, анализ 9). Образование ее связано, в первую очередь, с низкотемпературным водным метаморфизмом в приповерхностных условиях.



Влияние процессов метаморфизма на состав хромшпинелидов  
из хромитовых руд Татищевского альпинотипного массива

Рудопроявление	"Иванушкино"				"Слава"					
	6		6		19/2	19/2	16	16	23	23
Характеристика руд	Убоговкрапленные		Вкрапленные		Густовкрапленные		Сплошные			
Часть зерна	центр	край	центр	край	центр	край	центр	край	кайма	
Компоненты, %	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
TiO <sub>2</sub>	0.23	0.22	0.12	0.12	0.23	0.28	0.20	0.32	0.03	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25.02	7.71	23.85	4.29	24.71	7.33	25.19	10.73	0.04	
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	45.29	60.11	45.19	51.66	42.54	59.04	44.39	56.02	2.81	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.17	1.88	7.43	20.30	5.78	3.71	1.68	7.68	66.55	
FeO	10.18	21.53	6.82	8.81	9.09	17.34	12.35	11.20	28.66	
MnO	0.21	0.54	0.19	0.31	0.19	0.30	0.21	0.19	0.03	
MgO	17.61	7.30	19.35	15.52	17.54	9.87	15.30	14.97	1.49	
Сумма	103.71	99.29	102.95	101.01	100.08	97.87	99.32	101.11	99.61	
Кристаллохимическая формула										
Ti <sup>4+</sup>	0.040	0.046	0.041	0.047	0.041	0.057	0.036	0.061	0.007	
Al <sup>3+</sup>	6.785	2.490	6.469	1.319	6.906	2.362	7.161	3.200	0.015	
Cr <sup>3+</sup>	8.239	13.027	8.222	10.642	7.978	12.761	8.463	11.214	0.679	
Fe <sup>3+</sup>	0.896	0.389	1.258	3.981	1.028	0.762	0.304	1.463	15.293	
Fe <sup>2+</sup>	1.959	4.936	1.340	1.920	1.803	3.964	2.491	2.371	7.320	
Mn <sup>2+</sup>	0.041	0.125	0.037	0.069	0.038	0.069	0.043	0.041	0.007	
Mg <sup>2+</sup>	6.040	2.983	6.637	6.029	6.201	4.023	5.501	5.649	0.679	
Основные минеральные группировки, %										
Ульвошпинель	0.7	0.9	0.4	0.4	0.8	1.1	0.7	1.1	0.1	
Шпинель	42.3	15.5	40.4	8.2	43.1	14.7	44.7	19.9	0.1	
Магнохромит	33.0	21.7	42.5	66.5	34.2	35.4	23.9	50.5	4.2	
Магнезиоферрит	--	--	--	0.6	--	--	--	--	--	
Хромит	18.4	59.5	8.9	--	15.5	44.1	28.8	19.4	4.2	
Магнетит	5.6	2.4	7.8	24.3	6.4	4.7	1.9	9.1	91.4	
Главные расчетные параметры										
Железистость, f %	24.5	62.3	16.8	24.2	22.5	49.6	31.2	29.6	91.5	
Хромистость, Y %	54.8	84.0	56.0	89.0	53.6	84.4	54.2	77.8	97.9	
Доля Fe <sup>3+</sup> в R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	5.6	2.4	7.9	25.0	6.5	4.8	1.9	9.2	95.7	
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /FeOсум	3.05	2.59	3.35	1.91	2.98	2.86	3.20	3.09	0.03	

Примечание. Анализы выполнены на рентгеновском микроспектральном анализаторе. Аналитик В.Н. Ослоповских.

В заключение необходимо подчеркнуть, что процессы высокотемпературного глубинного метаморфического изменения хромитовых руд не только не снижают содержания в них оксида хрома, как считалось ранее, а наоборот, его количество в хромитовых рудах резко повышается за счет выноса из кристаллической решетки алюминия. Отрицательно на качестве хромитовых руд сказываются процессы низкотемпературного водного метаморфизма, приводящие к резкому повышению содержания в их составе магнетита.

Исследования выполнены частично за счет средств по гранту Минвуза России PD02-1.5-44.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Малахов И.А. Особенности высокотемпературного метаморфизма хромитов альпинотипных массивов Урала, приводящего к повышению качества руд // Петрология магматических и метаморфических комплексов // Мат-лы 2-й ежегодной научной конференции. Томск, 2001. С. 306-311.
2. Малахов И.А., Савохин И.В., Бурмако П.Л., Кузнецов В.И. Влияние процессов метаморфизма и метасоматизма на состав хромшпинелидов в ультрамафитах и хромитах Урала // Изв. УГГГА. Серия: Геология и геофизика. Вып. 13. Екатеринбург, 2001. С. 66-73.