

**СОСТАВ И ПРОИСХОЖДЕНИЕ ВЫСОКОХРОМИСТЫХ ШПИНЕЛЕЙ  
ИЗ ТЕРРИГЕННЫХ ТОЛЩ БАШКИРСКОГО ПОДНЯТИЯ НА ЮЖНОМ УРАЛЕ**

В значительном по размерам Башкирском поднятии, располагающемся в южной части обширного Камско-Бельского перикратонного прогиба, в настоящее время выделены Маярдакская, Макарово-Нугушская и Шатакская мантийно-диапировые структуры [3, 4], в пределах которых среди рифей-вендских и палеозойских терригенных комплексов пород выявлены пока немногочисленные россыпи алмазов и их традиционных спутников — хромшпинелидов, хромдиопсидов, пикроильменитов и гранатов, которые несомненно связаны с древним рифей-вендским и, возможно, среднепалеозойским щелочно-ультраосновным магматизмом. Ряд находок алмазов и их спутников обнаружено и при изучении шлихов из современных аллювиальных отложений. Из разнообразной по составу группы хромшпинелидов из протолочек терригенных пород и современных отложений в настоящее время с помощью микронзонда изучено уже более 200 зерен, из которых около 50 обладают высокохромистым составом.

Осуществленное ранее изучение состава хромшпинелидов из различных ультраосновных и щелочно-ультраосновных пород показало, что наиболее глубинным происхождением обладают хромшпинелиды из включений гранатовых перидотитов в алмазоносных кимберлитах и лампроитах. Содержание оксида хрома в них достигает 62-67 % [1, 8], однако в самих отмеченных глубинных породах оно крайне редко достигает подобных содержаний (см. статью И.А. Малахова в данном сборнике). Следует также иметь в виду, что при наиболее высоких давлениях кристаллизуются алмазы октаэдрического габитуса, кривогранные же алмазы и ромбододекаэдры, свойственные Архангельской алмазоносной провинции и промышленным россыпям Красновишерского района на западном склоне Северного Урала, кристаллизовались при несколько более низком давлении, и равновесные с ними хромшпинелиды соответственно характеризуются содержаниями хрома несколько ниже отмеченных. Уместно в связи с этим сослаться на монографию А. Джейкса [2], который многократно фиксировал в алмазоносных лампроитах хромшпинелиды, содержащие 55-59 %  $Cr_2O_3$  и даже существенно ниже.

Обращает на себя внимание существование определенной связи между хромистостью и железистостью таких хромшпинелидов: наиболее хромистые их разновидности в глубинных включениях, по-видимому, претерпели частичный метаморфизм и характеризуются обычно железистостью 45-50 %, в то время как неметаморфизованные высокохромистые шпинели во включениях в алмазах обладают более низкой железистостью — от 30 до 35 %, а в сростках с алмазами — в среднем 39 %.

Несомненно, представляет большой интерес проанализировать с этих позиций полученный за последние годы большой химико-аналитический материал по составу хромшпинелидов из разновозрастных терригенных толщ и современных аллювиальных россыпей в пределах обширного Башкирского блока, детальное геологическое изучение которого одним из авторов статьи осуществляется уже на протяжении многих лет. Мы располагаем данными около полусотни микронзондовых анализов высокохромистых шпинелей, представительные анализы которых приводятся в табл. 1 и 2.

Характерно, что среди них также выделяется две группы, одна из которых представлена более магнизиальными, а вторая — более железистыми хромшпинелидами.

Как следует из приведенных в табл. 1 химико-аналитических данных хромшпинелидов и результатов их пересчета на главные минеральные составляющие и на основные расчетные параметры с учетом их стехиометрии, все они обладают сравнительно невысокой железистостью, характерной для первичных, более высокотемпературных шпинелей.

Поскольку часть двухвалентного железа могла в дальнейшем частично окислиться, нами величина железистости рассчитана как с учетом всего железа, так и лишь двухвалентного. О возможности частичного окисления железа свидетельствует и расчетное содержание магнетитового минала в них — в неметаморфизованных и явно мантийных хромшпинелидах количество нормативного магнетита обычно не превышает 4-5 % [6].

Магнезиальные высокохромистые шпинели из терригенных пород Башкирского блока

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8
Номера проб	1645	5009	1706	6019	6000	6076	1287	3178
TiO <sub>2</sub>	0,21	0,13	0,12	0,14	0,11	0,17	0,14	0,14
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,62	10,37	8,93	12,07	11,86	13,81	8,67	10,83
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	57,26	57,74	62,97	58,22	56,33	58,31	60,97	61,72
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,78	6,44	1,46	4,36	5,29	2,82	3,95	1,34
FeO	9,79	10,10	13,40	10,60	9,11	11,60	9,39	13,80
MnO	0,27	0,30	0,25	0,40	0,30	0,39	0,36	0,15
MgO	15,40	15,30	13,10	15,30	15,80	15,10	15,30	13,30
Сумма	99,34	100,40	100,20	101,09	98,79	102,20	98,74	101,3
Пересчет на кристаллохимическую формулу на 32 (O)								
Ti	0,040	0,025	0,023	0,026	0,021	0,032	0,027	0,027
Al	3,207	3,109	2,734	3,571	3,570	4,022	2,654	3,253
Cr	11,598	11,610	12,934	11,553	11,372	11,390	12,519	12,437
Fe <sup>3+</sup>	1,115	1,232	0,285	0,824	1,016	0,525	0,772	0,257
Fe <sup>2+</sup>	2,097	2,145	2,899	2,214	1,946	2,389	2,040	2,934
Mn	0,059	0,065	0,055	0,085	0,065	0,082	0,079	0,032
Mg	5,885	5,815	5,069	5,728	6,010	5,561	5,908	5,060
Главные минеральные составляющие, %								
Ульвошпинель	0,76	0,47	0,44	0,49	0,40	0,59	0,51	0,50
Шпинель	19,99	19,40	17,06	22,28	22,28	25,09	16,56	20,30
Магнохромит	53,38	53,18	46,21	49,20	52,75	44,29	57,16	42,85
Хромит	18,92	19,27	34,51	22,89	18,23	26,76	20,95	34,75
Магнетит	6,95	7,69	1,78	5,14	6,34	3,27	4,82	1,60
Основные расчетные параметры, %								
Железистость (с FeO <sub>сумм</sub> )	35,3	36,7	38,6	34,7	33,0	34,4	32,3	38,7
Железистость (с FeO)	26,3	26,9	36,4	27,9	24,5	30,0	25,7	36,7
Хромистость	78,3	78,9	82,5	76,4	76,1	73,9	82,5	79,3
Доля Fe <sup>3+</sup> в R <sup>3+</sup>	7,0	7,7	1,8	5,2	6,4	3,3	4,8	1,6

Примечание: 1-3 – Узьяно-Азнагуловский; 4-6 – Макарово-Кулгунинский; 7 – Апшакский; 8 – Маярдакский участки.

Для таких магнезиальных высокохромистых шпинелей характерно также существенное превышение расчетной величины магнохромитового минала над хромитовым. В более железистых и вероятно частично метаморфизованных хромшпинелидах, состав которых приведен в табл. 2, общая железистость колеблется от 49 до 73 %, а с учетом лишь доли закисного железа – от 47 до 66 %, что явно отличает их от первичных – более магнезиальных. Обращает на себя внимание, что среди как магнезиальных, так и железистых высокохромистых шпинелей встречаются разновидности, содержащие 60 % Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, характерные для алмазоносных фаций пород, однако подобная высокая хромистость в железистых шпинелях может иметь и вторичную природу [6] и характерна, в частности, для альпинотипных ультрамафитов и генетически связанных с ними хромитов [7]. Однако на Урале имеется лишь три подобных ультраосновных массива, и вряд ли изученные хромистые шпинели из россыпей имеют подобное происхождение, за исключением анализа из пробы 2029к, где отмечается сильный вынос алюминия и привнос хрома и железа из кристаллической решетки проанализированного зерна.

Как следует из приведенных данных по составу хромшпинелидов из пород лампроитового комплекса, для них характерен высокохромистый состав, причем их хромистость еще более повышается за счет наложенных процессов метаморфизма.

Сопоставление состава высокохромистых шпинелей из россыпей Башкирского поднятия с красновишерскими свидетельствует о практически полной их идентичности. Поскольку последние на основе детального изучения состава гранатов, клинопироксенов, хромшпинелидов и пикроильменитов несомненно обладают кимберлитовой или лампроитовой природой [5], можно полагать, что и изученные хромшпинелиды из россыпей Башкирского блока обладают подобным же происхождением.

## Железистые высокохромистые шпинели из терригенных пород Башкирского блока

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8
Номера проб	306	6194	1647	3285	200к	515к	2029к	205к
TiO <sub>2</sub>	0,06	0,28	0,15	0,22	0,03	0,20	0,08	0,05
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,62	11,10	12,24	9,56	10,53	11,93	3,20	7,16
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	59,77	59,97	57,63	60,30	58,66	55,51	57,86	61,19
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,15	1,01	2,23	2,72	2,35	3,64	10,47	3,85
FeO	17,20	17,50	19,60	18,50	18,40	17,80	22,40	17,80
MnO	0,52	0,29	0,39	0,57	0,52	0,52	0,47	0,38
MgO	10,70	10,90	9,64	9,98	9,73	10,30	6,51	9,88
Сумма	101,00	101,00	101,80	101,80	100,20	99,86	101,00	100,30
Пересчет на кристаллохимическую формулу на 32 (O)								
Ti	0,012	0,055	0,029	0,043	0,006	0,039	0,017	0,010
Al	3,257	3,394	3,730	2,940	3,277	3,689	1,049	2,258
Cr	12,297	12,299	11,779	12,440	12,245	11,513	12,726	12,946
Fe <sup>3+</sup>	0,422	0,197	0,433	0,534	0,466	0,72	2,191	0,776
Fe <sup>2+</sup>	3,735	3,788	4,229	4,035	4,060	3,896	5,206	3,983
Mn	0,115	0,064	0,085	0,126	0,116	0,116	0,111	0,086
Mg	4,162	4,203	3,715	3,882	3,829	4,028	2,700	3,941
Главные минеральные составляющие, %								
Ульвошпинель	0,22	1,02	0,55	0,81	0,11	0,74	0,31	0,19
Шпинель	20,34	21,14	23,25	18,33	20,47	23,00	6,55	14,11
Магнохромит	31,65	31,22	23,08	30,06	27,38	27,22	27,16	35,13
Хромит	45,16	45,39	50,40	47,47	49,13	44,55	52,30	45,73
Магнетит	2,63	1,23	2,70	3,33	2,91	4,49	13,68	4,85
Основные расчетные параметры, %								
Железистость (с FeO <sub>сумм</sub> )	50,0	48,7	55,7	54,1	54,2	53,4	73,3	54,7
Железистость (с FeO)	47,3	47,4	53,2	51,0	51,5	49,2	65,9	50,3
Хромистость	79,1	78,4	76,0	80,9	78,9	75,7	92,4	85,1
Доля Fe <sup>3+</sup> в R <sup>3+</sup>	2,6	1,2	2,7	3,4	2,9	4,5	13,7	4,9

Примечание: 1, 4 – Маярдакский; 2 – Макарово-Кулгунинский; 3 – Узьяно-Азнагуловский; 5-8 – Бурзянский участки.

Таблица 3

## Хромшпинелиды из рифейских лампроитоподобных пород машакской серии Шатакской зоны (с участка Хребет Большой Шатак)

Номера проб	150105		150108		
TiO <sub>2</sub>	0,0	0,0	0,0	0,29	0,0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,14	9,34	11,12	9,56	7,23
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	54,96	59,83	56,01	57,78	61,66
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,51	3,59	4,4	4,04	5,57
FeO	7,07	13,55	13,08	14,16	19,67
MgO	17,53	12,86	13,02	12,47	9,58
Сумма	100,51	99,17	97,63	98,3	103,71
Пересчет на кристаллохимическую формулу на 32 (O)					
Ti	0,0	0,0	0,0	0,058	0,0
Al	3,366	2,887	3,455	2,984	2,218
Cr	10,848	12,405	11,673	12,097	12,69
Fe <sup>3+</sup>	1,786	0,708	0,872	0,804	1,092
Fe <sup>2+</sup>	1,477	2,973	2,884	3,0136	4,283
Mg	6,523	5,027	5,116	4,922	3,717
Главные минеральные составляющие, %					
Ульвошпинель	0,0	0,0	0,0	0,72	0,0
Шпинель	21,04	18,04	21,59	18,65	13,86
Магнохромит	60,5	44,8	42,36	42,88	32,6
Хромит	7,29	32,74	30,6	32,73	46,71
Магнетит	11,19	4,42	5,45	5,03	6,82
Основные расчетные параметры, %					
Железистость (с FeO <sub>сумм</sub> )	33,3	42,3	42,3	44,5	59,1
Железистость (с FeO)	18,5	37,2	36,1	38,9	53,5
Хромистость	76,3	81,1	77,2	80,2	85,1
Доля Fe <sup>3+</sup> в R <sup>3+</sup>	11,2	4,4	5,5	5,1	6,8



1. **Архангельская алмазоносная провинция** / Богатиков О.А., Гаранин В.К., Кононова В.А. и др. М.: Изд. МГУ, 1999. 524 с.
2. **Джейкс А., Луис Дж., Смит К.** Кимберлиты и лампроиты Западной Австралии. Пер. с англ. М.: Мир, 1989. 430 с.
3. **Казаков И.И., Макушин А.А.** Перспективы коренной алмазоносности Башкирского мегантиклинория и сопредельных структур: Мат-лы Всерос. сов. Сыктывкар: Геопринт, 2001. С. 97-100.
4. **Макушин А.А.** Перспективы коренной алмазоносности Республики Башкортостан // Отечественная геология. 1997. № 7. С. 33-36.
5. **Малахов И.А.** Генетическая природа и алмазоносность туффзитов Красновишерского района на Северном Урале на основе изучения их состава и типохимизма минералов // Геология и металлогения Урала: Сб. науч. тр. Екатеринбург: ОАО "УГСЭ", 2000. С. 183-216.
6. **Малахов И.А.** Особенности высокотемпературного метаморфизма хромитовых руд в альпинотипных массивах Урала, сопровождающегося повышением их качества // Петрология магматических и метаморфических комплексов. Вып. 2: Мат-лы науч. конф. Томск: ЦНТИ, 2001. С. 306-311.
7. **Павлов Н.В., Кравченко Г.Г., Чурынина И.И.** Хромиты Кемпирсайского плутона. М.: Наука, 1968.- 168 с.
8. **Соболев Н.В.** Глубинные включения в кимберлитах и проблема состава верхней мантии. Труды ИГиГ СО АН СССР. Вып. 183. Новосибирск: Наука, 1974. 264 с.

УДК 551.461+553.491: 321.6 (470.5)

**И.А. Малахов**

### **ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ПРИРОДА АНОМАЛЬНО ВЫСОКОХРОМИСТЫХ ШПИНЕЛЕЙ В ХРОМИТАХ УРАЛА И УСЛОВИЯ ИХ ОБРАЗОВАНИЯ**

Аномально высокохромистым составом, как уже давно известно [1, 8], обладают шпинели во включениях в алмазах, в сростках с алмазами, а также в глубинных включениях гранатовых перидотитов, содержащихся в кимберлитах. Содержание хрома в них обычно колеблется от 62 до 67 %  $Cr_2O_3$ , и такие хромшпинелиды обычно относят к алмазной субфации кимберлитов. Вместе с тем в основной массе кимберлитов всех регионов, включая Восточную Сибирь и Архангельскую область, широко распространены хромшпинелиды, характеризующиеся более умеренной хромистостью, содержащие 40-55 % оксида хрома. В этом отношении представляют определенный интерес данные по среднему их составу, приведенные в табл. 1.

Еще шире распространены хромшпинелиды в ультраосновных породах и генетически и пространственно связанных с ними хромитовых рудах. При этом с дунитовыми фациями альпинотипных массивов ультрамафитов, очень широко распространенных на Урале, обычно связаны более высокохромистые руды, содержащие 45-55 %  $Cr_2O_3$ , а с гарцбургитами – более глиноземистые и умеренно хромистые руды, содержащие 35-40 % хрома.

Аномально высокохромистые шпинели, содержащие более 60 % оксида хрома, встречаются в дунитах альпинотипных массивов Урала крайне редко и пока были зафиксированы лишь в Кемпирсайском массиве на Южном Урале, где располагается, пожалуй, самое крупное месторождение высококачественных хромитовых руд. Однако в хромитовых рудах такие хромшпинелиды встречаются гораздо чаще. Значительное их количество в рудах этого массива было проанализировано Н.В. Павловым с коллегами [6], а в полярноуральских альпинотипных массивах - Райзском, Войкаро-Сыньинском и Сыумкеуском - А.Б. Макеевым и Н.И. Брянчаниновой [2].

Значение детального изучения хромшпинелидов очень велико еще и потому, что они, обладая весьма сложным и переменным составом, могут выступать в качестве надежных индикаторов условий формирования вмещающих их пород [11]. В дальнейшем мы показали, что они обладают очень низкой термодинамической прочностью, вследствие чего их удобно использовать для оценки температуры, давления и величины парциального давления кислорода при их первоначальном образовании или последующем метаморфизме.