

1. **Беус А.А., Григорян С.В.** Геохимические методы поисков и разведки месторождений твердых полезных ископаемых. М.: Недра, 1975. 270 с.
2. **Кривцов А.И.** Геологические основы прогнозирования и поисков медно-порфировых месторождений. М.: Недра, 1983. 256 с.
3. **Омельяненко Б.И.** Околорудные гидротермальные изменения пород. М.: Недра, 1978. 215 с.
4. **Продуктивные гранитоиды и метасоматиты медно-порфировых месторождений (на примере Урала) / Грабежев А.И., Белгородский А.Е.** Екатеринбург: Наука. Урал. отделение, 1992. 200 с.

УДК 551.461+553.321.6(470.5)

А.В. Алексеев

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ И МЕТАМОРФИЗМ ХРОМИТОВЫХ РУД ХАЛИЛОВСКОГО МАССИВА

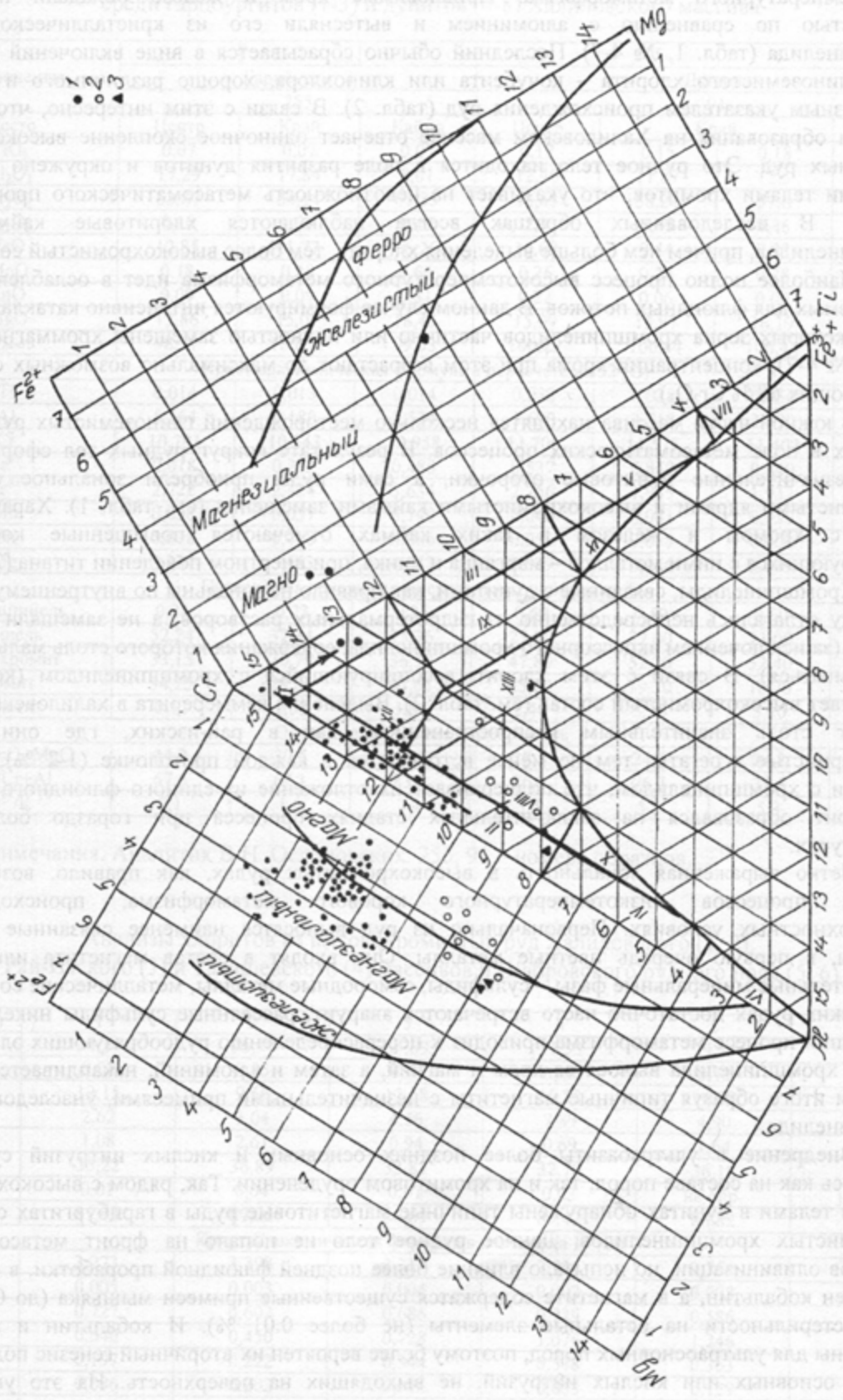
Происхождение хромитовых руд, а также метасоматические процессы, протекающие в разные этапы их геологической жизни, давно являются предметом пристального внимания исследователей. Существует два основных взгляда на формирование руд – первично магматический [1] и метасоматический [4] их генезис. При этом не отрицается наличие вторичных процессов метаморфизма, существенно сказывающихся на составе хромитовых руд. На примере Халиловского массива нами выделены несколько стадий метаморфизма, разных по времени и характеру проявления, но пространственно совмещенных в пределах единого рудного поля.

Халиловский массив расположен на Южном Урале в поле развития ультраосновного магматизма в зоне сочленения Центрально-Уральского поднятия с Магнитогорским погружением в западном борту Вознесенско-Присакмарской зоны. Он вытянут в длину на 30 км, согласно господствующему простиранию структур вмещающих толщ и региональных разломов при средней ширине 9-10 км, вертикальной мощности ультрамафитов не менее 3,5-4,0 км.

В строении массива принимают участие гарцбургиты при подчиненном развитии дунитов и крайне незначительном распространении жильных пироксенитов. Более поздние габброиды либо прорывают (южная часть массива) гипербазиты и образуют жильную серию, либо (северная часть) перекрывают их, нередко с согласными контактами.

Массив распадается на несколько блоков, разделенных разломами, причем центральный блок считается наиболее приподнятым и характеризуется наибольшим развитием дунитовой составляющей. Дуниты образуют жилы субмеридионального простирания, к которым в подавляющей массе приурочено хромитовое оруденение. Остальные блоки сложены гарцбургитами с редкими шлировидными телами дунитов без хромита, изредка содержащими небольшие шлиры и сегрегации высокоглиноземистых и беднохромистых руд.

Происхождение хромитовых руд Халиловского массива связано с метасоматическими процессами высокотемпературной оливинизации, на что впервые обратила внимание С.В. Москалева [4]. Глубинные горизонты массива испытали гидротермальную проработку, приведшую к формированию метасоматической колонны, в которой роль эдукта играли гарцбургиты, а результатом стали мономинеральные дуниты с оруденением. Хромитовые залежи возникали на конечных стадиях процесса в результате отложения из восходящих гидротерм хрома, железа и ряда других металлов, высвобождающихся из решетки замещаемого при этом энстатита. Наиболее подвижные элементы (кремний, алюминий, кальций) выносились гидротермами в более высокие горизонты и участвовали в формировании вторичных энстатитов и оливин-энстатитовых пород. Именно этими процессами объясняется тесная связь состава рудных хромшпинелидов с вмещающими породами. Так, с дунитами идут высокохромистые разновидности хромшпинелей (Cr_2O_3 от 11 и выше формульных единиц в пересчете на 24 катиона), с гарцбургитами, – постмагматические высокоглиноземистые (Cr_2O_3 менее 11 формульных единиц) (см. рисунок). Хромшпинелиды из вторичных пироксенитов по составу практически не отличаются от глиноземистых разновидностей.



Состав хромитовых руд из дунитов (1), гардбургитов (2) и энстатитов (3) Халиловского массива

Гидротермальная проработка нередко проходит по участкам скопления первичных магматических глиноземистых руд, и в этом случае протекают процессы первичного высокотемпературного метаморфизма. Привносимые хром и железо обладали повышенной активностью по сравнению с алюминием и вытесняли его из кристаллической решетки хромшпинелида (табл. 1, № 4-7). Последний обычно сбрасывается в виде включений и/или кайм высокоглиноземистого хлорита – кочубейта или клинохлора, хорошо различимого и служащего своеобразным указателем происхождения руд (табл. 2). В связи с этим интересно, что подобным условиям образования на Халиловском массиве отвечает одиночное скопление высокохромистых нодулярных руд. Это рудное тело находится в поле развития дунитов и окружено типичными жильными телами хромитов, что указывает на невозможность метасоматического происхождения нодулей. В исследованных образцах всегда наблюдаются хлоритовые каймы вокруг хромшпинелидов, причем чем больше выделения хлорита, тем более высокохромистый состав руд.

Наиболее полно процесс высокотемпературного метаморфизма идет в ослабленных зонах, проницаемых для флюидных потоков. В данном случае формируются интенсивно катаклазированные руды, в которых зерна хромшпинелидов частично или полностью замещены хроммагнетитом (см. табл. 1, № 4-7), концентрации хрома при этом возрастают до максимально возможных содержаний (достигающих 68 % Cr_2O_3).

В южной части массива находятся несколько месторождений глиноземистых руд, частично попавших в поле метасоматических процессов. В результате вокруг рудных тел сформировались очень незначительные дунитовые оторочки, а сами руды приобрели зональное строение с глиноземистыми ядрами и высокохромистыми каймами замещения (см. табл. 1). Характерно, что наряду с хромом и железом в таких каймах отмечаются повышенные концентрации ассоциирующихся с ними металлов – марганца и цинка, при инертном поведении титана [2].

Хромшпинелиды, связанные с дунитами, как правило не зональны по внутреннему строению, поскольку отлагались непосредственно из гидротермальных растворов, а не замещали первичный субстрат (за исключением акцессорного хромшпинелида, содержания которого столь малы, что могут не учитываться). В связи с этим хлорит, ассоциирующийся с хромшпинелидом (кеммерерит), приобретает высокохромистый состав (см. табл. 2). Выделения кеммерерита в халиловских рудах не обладают столь значительным распространением, как в рай-изских, где они образуют крупнозернистые агрегаты, тем не менее встречаются в каждой протолочке (1-2 %), нередко в сростании с хромшпинелидом, что подчеркивает их отложение из единого флюидного потока, но кеммерерит образовался на заключительных стадиях процесса при гораздо более низких температурах.

Четко выраженная зональность в высокохромистых рудах, как правило, возникает при развитии процессов низкотемпературного корового метаморфизма, происходящего в приповерхностных условиях. Первоначально из руд выносятся наименее связанные в решетке элементы, в первую очередь цветные металлы. Они входят в состав магнетита или образуют самостоятельные минеральные фазы – сульфиды, самородные металлы, металлические соединения, в халиловских рудах достаточно часто встречаются аварунит, рассеянные сульфиды никеля и цинка. Дальнейший процесс метаморфизма приводит к перераспределению рудообразующих элементов: из решетки хромшпинелида выносятся хром и магний, а затем и алюминий, накапливается железо, в конечном итоге образуя типичные магнетиты с незначительными примесями, унаследованными от хромшпинелида.

Внедрение в ультрабазиты более поздних основных и кислых интрузий существенно отразилось как на составе пород, так и на хромитовом оруденении. Так, рядом с высокохромистыми рудными телами в дунитах обнаружены типичные магнетитовые руды в гарцбургитах с реликтами глиноземистых хромшпинелидов. Данное рудное тело не попало на фронт метасоматических процессов оливинизации, но испытало влияние более поздней флюидной проработки, в составе руд обнаружен кобальтин, а в магнетите содержатся существенные примеси мышьяка (до 0.15 %) при полной стерильности на остальные элементы (не более 0.01 %). И кобальтин и мышьяк не характерны для ультраосновных пород, поэтому более вероятен их вторичный генезис под действием поздних основных или кислых интрузий, не выходящих на поверхность. На это указывают и процессы оталькования во вмещающих породах, а их локальный характер и пространственная разобщенность с высокохромистыми рудами свидетельствуют о более позднем по сравнению с оливинизацией прохождении.

Состав хромшпинелидов из массивных хромитовых руд
среди гарибургитов (1-3) и дунитов (4-8) Халиловского массива

Компоненты	1	2	3	4	5	6	7
	Гарибургиты			Дуниты			
	255			91			
Место	Центр	Край	Кайма	Центр	Край		Кайма
TiO ₂	0,07	0,07	0,07	0,17	0,15	0,18	0,07
Al ₂ O ₃	17,29	17,84	8,01	12,40	11,87	12,5	1,49
Cr ₂ O ₃	53,87	54,14	61,33	58,63	58,24	57,6	67,79
Fe ₂ O ₃	0,10	1,36	2,43	2,3	4,49	4,46	1,83
FeO	12,85	11,77	16,26	10,69	9,44	9,23	21,66
MnO	0,18	0,18	0,66	0,26	0,22	0,28	0,44
ZnO	0,09	0,09	0,31	0,22	0,06	0,00	0,15
MgO	13,86	15,07	18,45	15,09	15,97	16,19	6,62
Сумма	98,31	100,52	99,53	100,29	100,44	100,44	100,05
Кристаллохимическая формула в пересчете на 32 (O)							
Ti	0,014	0,013	0,014	0,032	0,028	0,034	0,015
Al	5,164	5,180	2,524	3,690	3,518	3,690	0,494
Cr	10,791	10,543	12,958	11,706	11,575	11,402	15,089
Fe ³⁺	0,018	0,252	0,488	0,537	0,849	0,840	0,387
Fe ²⁺	2,722	2,424	3,634	2,256	1,985	1,932	5,101
Mn	0,038	0,037	0,149	0,040	0,041	0,039	0,105
Zn	0,018	0,018	0,066	0,051	0,015	0,000	0,043
Mg	5,234	5,553	4,167	5,679	5,986	6,043	2,778
Пересчет на основные минеральные группировки, %							
Ульвошпинель	0,24	0,23	0,25	0,60	0,50	0,60	0,28
Шпинель	32,24	32,34	15,76	23,00	22,00	23,00	3,09
Магнохромит	33,15	36,79	36,30	47,80	52,70	52,40	31,61
Хромит	34,25	29,06	44,63	25,20	19,50	18,70	62,61
Магнетит	0,12	1,58	3,06	2,40	5,30	5,20	2,42
Основные расчетные параметры %							
f=FeO/FeO+MgO	34,2	30,5	46,6	28,5	24,9	24,2	64,74
Y=Cr/Cr+Al	67,6	67,1	83,7	76,0	76,7	75,6	96,83
Z=Fe ²⁺ /R ³⁺	0,1	1,6	3,1	3,4	5,3	5,3	2,43

Примечания. Аналитик В.Н. Ослоповских. 255, 91 – номера образцов.

Таблица 2

Анализы хлоритов из высокохромистых руд Халиловского (1, 2),
Рай-Изского (3) и Татищевского (4) массивов и Шабровского рудного поля (5, 6)

Компоненты	1	2	3	4	5	6
SiO ₂	34,29	36,77	34,69	31,55	29,39	28,28
TiO ₂	0,07	0,05	0,04	0,03	0,12	0,12
Al ₂ O ₃	12,15	9,66	12,58	16,53	16,59	16,33
Cr ₂ O ₃	2,62	3,04	4,56	7,89	4,90	5,59
FeO	1,08	2,61	0,94	0,69	1,64	1,64
MgO	35,22	36,89	33,87	32,70	36,18	33,61
CaO	0,01	0,04	0,01	0,03	не опр.	не опр.
Сумма	85,43	89,05	86,69	89,42	88,82	85,57
Кристаллохимическая формула в расчете на 14 (O)						
Si ²⁺	3,273	3,398	3,314	2,924	2,754	2,755
Ti ⁴⁺	0,005	0,003	0,004	0,002	0,008	0,009
⁴ Al ³⁺	0,727	0,602	0,686	0,729	0,586	0,630
⁶ Al ⁴⁺	0,640	0,450	0,728	1,076	1,246	1,245
Cr ³⁺	0,197	0,222	0,344	0,578	0,363	0,431
Fe ²⁺	0,086	0,202	0,076	0,053	0,129	0,134
Mg ²⁺	5,011	5,082	4,817	4,517	5,054	4,881
Ca ²⁺	0,001	0,004	0,001	0,003	-	-

Примечание. 1, 2 - аналитик В.Н. Ослоповских, 3 -- автор А.Б. Макеев [2], 4 -- автор П.Л. Бурмако [3], 5-6 -- автор И.В. Савохин [3].

Наконец, в северной части массива развиты протяженные (до 200 м по длине при мощности 20-50 м) зоны серпентинизированных гарцбургитов (дунитов?) с убоговкрапленными рудами, полностью замещенными серпентином. При микроскопических исследованиях отчетливо видна хлоритовая кайма вокруг зерен бывших хромшпинелидов, по границам выделяется магнетит с реликтами хромита, а центральная часть практически полностью замещена серпентином. Подобные преобразования достаточно редки и происходят в локальных зонах под действием кислых растворов.

Таким образом, в пределах единого хромоворудного поля устанавливается целый ряд метасоматических процессов, каждый из которых привел к изменению, и нередко полному, составу хромитовых руд. Но если процессы высокотемпературного преобразования приводят к обогащению руд хромом и, отчасти, железом, а следовательно – улучшению их качества, то низкотемпературные явления приводят к формированию низкохромистых магнетитов, не имеющих существенного промышленного значения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бетехтин А.Г., Кашин С.А. Хромиты СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1937. Т. 1. 388 с.
2. Макеев А. Б., Брянчанинова Н. И. Топоминералогия ультрабазитов Полярного Урала. 1999. 252 с.
3. Малахов И.А., Савохин И.В., Бурмако П.Л., Кузнецов В.И. Влияние процессов метаморфизма и метасоматизма на состав хромшпинелидов в ультрамафитов и хромитах Урала // Известия Уральской гос. горно-геол. акад. Серия: Геология и геофизика. Екатеринбург, 2001. Вып. 13. С. 66-73.
4. Москалева С.В. Гипербазиты и их хромитоносность. Л., 1974. 279 с.

УДК 553.32 (470.5)

И.А. Никулина

ПЕРСПЕКТИВЫ МАРГАНЦЕНОСНОСТИ ПРИПОЛЯРНОГО УРАЛА

На современном уровне изученности на Урале выделяются 11 стратиграфических уровней марганценосности - от среднерифейского до верхнемелового-нижнепалеогенового. Из них только верхнемеловой-нижнепалеогеновый (североуральский) уровень на сегодняшний день является промышленно значимым: в настоящее время добыча марганцевых руд в России ведется практически только на Тыннинском месторождении в Северо-Уральском бассейне [4].

Северо-Уральский бассейн протягивается узкой меридиональной полосой почти на 300 км от широты г. Серова на юге и до пос. Бурмантово на севере и включает 15 месторождений. 9 из них разведаны детально: Березовское, Ново-Березовское, Южно-Березовское, Екатерининское, Марсятское, Юркинское, Лозьвинское, Ивдельское, Тыннинское; 5 месторождений исследованы на стадиях предварительной разведки или поисково-оценочных работ: Бурмантовское, Южно-Ивдельское, Вишерское, Глухарненское, Колинское. Кроме того, выделяется ряд перспективных площадей, в пределах которых пласты марганцевых руд промышленной мощности вскрыты несколькими профилями скважин.

По общему мнению, марганцеворудный бассейн не ограничивается описанной территорией. На основании детального изучения стратиграфии и тектоники мезокайнозоя Северного Зауралья установлено, что этот бассейн охватывает лишь часть обширной зоны шельфа инфрапалеоценовой трансгрессии, которая наступала с севера. Следовательно, рудосодержащие осадки этого возраста могут быть найдены по простирацию шельфа вдоль восточного склона Урала. В целом бассейн должен соответствовать всей сохранившейся от размыва области шельфа самой древней трансгрессии палеогена на Урале [6]. Эти соображения обусловили целесообразность проведения прогнозных исследований к северу от Северо-Уральского бассейна, на территории Ханты-Мансийского автономного округа.

Методика прогнозных построений определяется масштабом работ, изученностью оцениваемой площади и объемом информации по эталонным объектам.

Геологическим заданием предусматривался мелкомасштабный прогноз (1:500000), что предполагает применение простых методических схем и элементарных приемов математической