

**ВКРАПЛЕННЫЕ ХРОМИТОВЫЕ РУДЫ – НАДЕЖНЫЙ ИСТОЧНИК СЫРЬЯ
ДЛЯ УРАЛЬСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В БУДУЩЕМ**

Хромитовые руды принадлежат к одному из самых важных источников минерального сырья, используемого в различных областях промышленности. Их роль особенно велика для Урала, поскольку здесь располагаются три ферросплавных завода – два крупных в Серове и Челябинске, соответственно потребляющие 500 и 600 тыс. т товарной руды, а также один небольшой Ключевской (20-30 тыс. т), расположенный в районе пос. Двуреченск. Большое количество высококачественных хромитов для нужд химической промышленности используется Первоуральским хромпиковым заводом на Среднем Урале, потребляющим 120-140 тыс. т руды ежегодно, и Ново-Троицким заводом химреактивов на Южном Урале. Значительное количество хромитового сырья потребляют также Саткинский огнеупорный завод (140-160 тыс. т руды), выпускающий хромомagneзитовые кирпичи, которые являются наиболее надежным и долговечным материалом, используемым в качестве огнеупоров, Нижне-Тагильский металлургический комбинат, потребляющий 40-60 тыс. т хромитов также для производства огнеупоров и, наконец, Уралмаш, которому необходимо для этих же целей 10-15 тыс. т хромитовой руды. Эти заводы и предприятия все вместе ежегодно потребляют до 1,5 млн тонн высококачественного хромитового сырья, в том числе около 900 тыс. тонн предприятия Свердловской области [2].

Раньше, когда существовал СССР, все нужды потребителей - отмеченных заводов и предприятий покрывались за счет практически единственного Кемпирсайского месторождения высокохромистых руд, находящегося в юго-восточной части крупного одноименного массива на Южном Урале. Географически это месторождение в настоящий момент расположено на территории Казахстана, и лишь в небольшой степени нужды промышленности удовлетворялись за счет использования глиноземистых руд Сарановского месторождения на Среднем Урале (для производства огнеупоров). В лучшие годы в Кемпирсайском рудном узле открытым и подземным способами добывалось около 3,5 млн тонн хромитов [2, 12]. В дальнейшем, после распада СССР, Россия, и в первую очередь Уральский регион, остались практически без надежных промышленных запасов разведанного высококачественного хромитового сырья. Единственным разведанным месторождением хромитов на Урале оказалось Сарановское месторождение умеренно хромистых и более глиноземистых руд, связанное со стратифицированным перидотит-габбро-норитовым комплексом пород.

В отличие от платформенных зональных расслоенных габбро-ультрамафитовых массивов типа Бушвельда в ЮАР и Великой Дайки в Зимбабве, с которыми пространственно и генетически связаны основные мировые запасы хромитовых руд, в складчатых областях, в том числе и на Урале, распространены ультрамафитовые дунит-гарцбургитовые комплексы [6], принадлежащие к числу альпинотипных ассоциаций, с которыми и связана промышленная хромитовосность. Из находящихся на Урале более 300 ультраосновных массивов лишь некоторые (более 30) содержат высококачественные хромитовые руды в промышленных количествах, причем пространственно и генетически эти руды чаще всего связаны с дунитами. Небольшие хромитовые шпировидные обособления, непосредственно встречающиеся в реститогенных гарцбургитах, практически всегда обладают более глиноземистым составом и наиболее высокотемпературным постмагматическим генезисом. Как правило, такие руды, обладающие массивной текстурой и обычно не требующие обогащения, для промышленности представляют меньший интерес из-за умеренного содержания в них хрома. Однако в настоящее время, из-за нехватки руд, они используются в том числе и для производства феррохрома на Серовском заводе.

Наиболее крупные скопления таких руд отмечаются в Первомайском массиве, включая широко известную Карасьегорскую группу месторождений, в Алапаевском массиве (группа Поденных месторождений, Горемычное, Поляков Камень и др), в Уфалейском массиве (Уфалейское, Чернореченское и Песчанская группа месторождений), месторождения 2,7-10, 10-А,19,26,30 и др. в Верблюжьегорском массиве [1] и др. Обращает на себя внимание хорошо всем известная генетическая и пространственная приуроченность высокохромистых руд и слагающих их хромшпинелидов к дунитовым фациям в составе альпинотипных ультраосновных массивов. Однако

подобная зависимость характерна лишь для руд, не претерпевших в дальнейшем высоко- и низкотемпературный метаморфизм.

Характерно, что высокохромистые хромитовые руды различных текстурных типов – от сплошных и густовкрапленных до редковкрапленных практически всегда связаны с дунитами. Распространение таких пород обычно существенно меньше, чем реститогенных гарцбургитов, слагающих подавляющее большинство альпинотипных массивов. Однако целый ряд таких ультраосновных массивов на Среднем и Южном Урале слагается преимущественно дунитовыми фациями ультрамафитов и практически не содержит гарцбургитов и тем более двупироксеновых перидотитов – лерцолитов, располагающихся чаще всего в приапикальных частях массивов (Нуралинский и Караша-Кольский массивы на Южном Урале). С существенно дунитовыми и обычно небольшими по размерам массивами пространственно и генетически связано ограниченное количество хромитовых месторождений – как вкрапленных (Первое Студеновское, Острогорское и др. в Верхне-Тагильском массиве), Гологорское месторождение в одноименном массиве и ряд других более мелких рудопроявлений.

Многолетние поиски сплошных и густовкрапленных хромитов – аналогов Кемпирсайского месторождения в Уральском регионе пока не дали ощутимых результатов: оно во многом является уникальным. При этом его специфика связана не только с высококачественным составом руд, содержащим в среднем около 55-58 % Cr_2O_3 , и аномально высоким (около 4) отношением $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{FeO}$, но и явным преобладанием среди них сплошных и густовкрапленных текстурных типов, обычно не требующих существенного обогащения.

Полученная в последние годы информация [5, 6], обобщающая данные проведенных на Урале геологоразведочных и тематических работ, позволяет относить к наиболее перспективному кемпирсайскому типу лишь руды в дунит-гарцбургитовом массиве Рай-Из, который располагается на Приполярном Урале. Высокохромистые руды в этом массиве располагаются среди обширного поля дунитов и приуроченного к нему крупного рудного узла, включающего в первую очередь Центральное месторождение, где несколько лет назад началась промышленная их добыча, составившая с начала эксплуатации месторождения 50 тыс. тонн. Согласно ТЭО, выполненного Уралгипрорудой, разведанные запасы категорий C_1 и C_2 составляют 30 млн т со средним содержанием Cr_2O_3 в рудах около 31 %. При этом величина прогнозных ресурсов определяется в 40-45 млн т [2].

Следует также отметить, что добываемые в последние годы в этом месторождении сплошные хромиты (из 9-й рудной залежи) обладают не столь крупными запасами, которые бы позволяли их рассматривать как надежный источник подобного сырья на долгий срок. К тому же добыча руд в настоящее время производится нерациональным способом – путем добычи сплошной руды из наиболее богатых участков залежи. Главная же масса хромитовых руд Центрального, а также Западного и Юго-Западного месторождений в основном представлена средне- и редковкрапленным текстурными типами, содержащими соответственно 50-70 и 30-50 % Cr_2O_3 , что свидетельствует о необходимости проведения систематического их обогащения. Доля густовкрапленных разновидностей руд составляет не более 20 % от суммарного их количества. Такие руды обычно фиксируются в центральной части жильных тел, вместе с рудами нодулярной текстуры, которые, по данным разведки, тяготеют к лежащему боку выявленных рудных тел [3].

Основные текстурные типы хромитов и содержание в них хрома

Среди хромитовых руд выделяют богатые и бедные, границей между которыми служит содержание в них оксида хрома: в первых она превышает 45-50 % Cr_2O_3 , а во вторых – меньше этой величины. В геологической литературе существует также четкое разделение хромитовых руд различной генетической принадлежности на пять главных текстурных типов: массивные или сплошные, содержащие свыше 90 % Cr_2O_3 , густовкрапленные (70-90 % Cr_2O_3), средневкрапленные (50-70 % Cr_2O_3), редковкрапленные (30-50 % Cr_2O_3) и убоговкрапленные (30 % и менее). Минимальная граница забалансовых руд, существовавшая ранее, соответствовала 5-10 % Cr_2O_3 [13]. Таким образом, сплошные и густовкрапленные руды можно использовать в сыром виде (без обогащения), а из средне- и редковкрапленных руд обычно получают хромитовые концентраты. На практике же обогащению подвергаются все текстурные типы руд. Напомним, что даже на уникальном по степени рудоносности Кемпирсайском промышленном объекте, характеризующемся аномально высоким количеством богатых сплошных и густовкрапленных хромитов, в Хром-Тау

располагается обогатительная фабрика, где из относительно бедных хромитовых руд получают хромитовые концентраты, содержащие более 55 % Cr_2O_3 .

Нужно подчеркнуть, что в металлургии РФ обычно используются хромитовые руды или их концентраты, содержащие не менее 45 % Cr_2O_3 , при отношении $\text{Cr}_2\text{O}_3 / \text{FeO}_{\text{сумм}}$ не менее 2,5, при содержании кремнезема не более 10 % и фосфора менее 0,013 %. В огнеупорной промышленности требования к сырью еще более жесткие: в случае использования высокохромистых руд Cr_2O_3 в них должно быть не менее 45 %, SiO_2 – не более 8 %, FeO – не более 14 %, CaO – не более 1,32 %, а в случае использования низкохромистых руд – содержание Cr_2O_3 – не менее 33 %, SiO_2 – не более 8,5 %, а CaO – не более 2 %.

В связи с проблемой возможности использования для производства феррохрома и для нужд химической и огнеупорной промышленности более бедных по содержанию хрома вкрапленных хромитовых руд можно сослаться также на действующие в настоящее время на Урале технические условия, разработанные наиболее крупным потребителем хромитовых руд – Челябинским электрометаллургическим комбинатом, которые позволяют для производства феррохрома использовать относительно бедные руды, содержащие не менее 16 % Cr_2O_3 , суммарного железа, в пересчете на FeO , не более 20 % и SiO_2 – не более 18 % (ГОСТ 15848.1-90, 3-90, 12-90). Согласно тем же техническим условиям, используемые для производства феррохрома исходные хромитовые руды должны содержать 47-50 % Cr_2O_3 при соотношении $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ не менее 3,0-3,5, а получаемые из бедных руд хромитовые концентраты должны обладать содержанием Cr_2O_3 более 48-50 % и соотношением $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ выше 3,5-3,6.

Требования зарубежной промышленности к богатым хромитовым рудам и концентратам – весьма близки: они учитывают суммарную массовую долю в рудах Cr_2O_3 и Al_2O_3 : для металлургии – 61 %, для производства огнеупоров – 60 %, в химической промышленности – не менее 55 %. При этом высокая магнезиальность хромитов расценивается положительно. Отметим, что соотношение $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{FeO}_{\text{сумм}}$ при этом не учитывается (В наиболее широко используемых хромитовых рудах Бушвельского месторождения оно в среднем составляет 2,1).

Результаты изучения хромитовых руд уральских месторождений

Недавно нами были обобщены результаты изучения большой группы уральских месторождений хромитов, обладающих четким геолого-структурным контролем, различным составом и происхождением и располагающихся на различных горизонтах ультраосновного разреза [6]. Обращает на себя внимание, что редко- и средневкрапленные руды встречаются во всех пяти выделяемых формационных типах: курмановском, кемпирсайском, кракинском, верблюжьегорском и хабарнинском.

При этом сплошные и густовкрапленные высокохромистые руды, ассоциирующие с дунитами в составе дунит-гарцбургитовых комплексов, связаны лишь со вторым и третьим типами. Как уже отмечалось, кемпирсайский тип встречается очень редко, а для более распространенного кракинского характерны более мелкие по мощности, простираению и падению рудные тела с незначительными масштабами распространения в них сплошных и густовкрапленных руд. Хорошие по качеству хромитовые руды встречаются также в пятом формационном типе, где они приурочены к дунитам в составе вторичных дунит-верлит-клинопироксенитовых комплексов, формирующихся обычно на контакте дунит-гарцбургитового комплекса с более молодыми габброидами. При этом содержащиеся в них хромитовые руды обладают несколько более железистым, но явно высокохромистым (около 50 % Cr_2O_3) составом слагающих их хромшпинелидов.

Среди группы несомненно перспективных среднеуральских месторождений вкрапленных руд следует рассматривать, в первую очередь, Алапаевскую группу месторождений хромитовых руд. Согласно данным В.Е. Боликова и др. [2], суммарные ресурсы хромитовых руд в центральной и северной части массива достигают 85,1 млн т. Однако встречающиеся здесь руды в основном бедновкрапленные и содержат лишь 10-14 % Cr_2O_3 . Опытные работы, ранее проведенные группой уральских геологов [4], свидетельствуют о простоте и надежности получения из них рудных концентратов с помощью гравитационно-флотационного метода обогащения и весьма высокохромистом составе этих концентратов (53-55 % Cr_2O_3).

До недавнего времени среди серии мелких месторождений Алапаевского массива за весьма длительный срок их эксплуатации было добыто более 220 тыс. т массивных и густовкрапленных хромитов и еще остается запасов сплошных хромитовых руд около 300 тыс. тонн. Правда, в

большинстве случаев они представляют остатки ранее добывавшихся руд на целом ряде относительно небольших месторождений, и добыча их малорентабельна.

В настоящее время производится добыча хромитов на Поденной группе месторождений, на месторождениях "Вершина р. Алапахи", "Полуденном" и ряде других. Количество добываемых хромитов, однако, относительно невелико и определяется первыми десятками тыс. тонн сплошных и густовкрапленных руд в год. Основным потребителем хромитов является Нижне-Тагильский металлургический завод, использующий их для производства огнеупоров.

Рядом коммерческих фирм недавно были разработаны технико-экономические соображения геологического изучения и добычи хромитов в Центральной и Северной частях Алапаевского массива при минимально промышленном содержании оксида хрома порядка 10-15 %. Выполненные технико-экономические расчеты показывают, что разведка и освоение наиболее крупного Курмановского месторождения, как одного из основных горнодобывающих объектов в Центральной части Алапаевского массива открытым, а во втором периоде его освоения подземным способами, включая строительство обогатительной фабрики вблизи пос. Асбестовского, технологически обоснованно и экономически эффективно. При годовой производительности рудника 400 тыс. тонн хромитовой руды и общем сроке существования рудника 28 лет достигается производство товарного хромоворудного концентрата из вкрапленных руд в 86,0 и 80,6 тыс. т в год [2].

Согласно данным поисковых работ, сопровождавшихся ограниченными масштабами бурения, Курмановское месторождение вкрапленных руд представлено двумя пластовыми и двумя линзовидными телами, характеристика которых приводится в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика запасов хромитов в рудных телах Курмановского месторождения [2]

Номер рудного тела	Длина по простиранию, м	Длина по падению, м	Средняя мощность тела, м	Плотность руд, т/м ³	Запасы млн. т	Средн. содер. Cr ₂ O ₃ , %
1	800	285,0	7,5	3	5,130	13,7
2	550	185,0	7,5	3	2,289	15,4
3	73	5,5	26,0	3	0,032	19,8
4	90	11,5	15,0	3	0,046	14,2
Итого	-	-	-	-	7,497	14,2

По результатам поисковых работ на Курмановском участке в 1987-1992 гг. прогнозные ресурсы были переоценены и по состоянию на начало 1996 г. составили по категории P₁ до глубины 100 м – 5,2 млн т. и по категории P₂ в интервале глубин 100-300 м – 10,4 млн т. Таким образом, суммарные прогнозные ресурсы вкрапленных руд Курмановского месторождения составляют 15,6 млн т.

Если же учесть перспективы на наличие подобных же месторождений вкрапленных руд по участкам, находящимся в 1,5-2,0 км от Курмановского месторождения, куда входит и месторождение "Вкрапленное", то общие прогнозные ресурсы вкрапленных руд в Центральной части Алапаевского массива могут достигать 30 млн т. Хотя подсчитанные запасы и прогнозные ресурсы Курмановского месторождения в результате недавно проведенных оценочных работ существенно сократились, оно продолжает оставаться одним из наиболее перспективных промышленных хромитовых месторождений на Среднем Урале.

Состав рудных хромшпинелидов из вкрапленных руд двух наиболее крупных месторождений в центральной части Алапаевского массива приводится в табл. 2

Помимо центральной части в пределах Алапаевского хромитоносного массива вкрапленные руды располагаются и в северо-восточной его части (Северный участок), к ЮЗ от границы его с более молодым по возрасту массивом габброидов. В зоне его контактового воздействия как раз и располагается один из наиболее перспективных рудоносных участков, представленный дунитами, входящими в состав вторичного дунит-верлит-пироксенитового комплекса, образующегося по исходным реститогенным гарцбургитам. Встречающиеся в нем бедно- и убоговкрапленные хромитовые руды принадлежат к Хабарнинскому V формационному типу и, по данным силикатных анализов, обладают высокохромистым, но более железистым составом. Здесь же располагается группа сплошных хромитовых тел разрабатываемого в настоящее время месторождения "Ш Поденный рудник", принадлежащего к Верблюжьегорскому формационному типу.

Состав хромшпинелидов из вкрапленных руд Вкрапленного и Курмановского месторождений в Алапаевском массиве (микронзондовый анализ)

Тип оруденения Месторождение	Курмановский [4]							
	Вкрапленное				Курмановское			
Место анализа	центр	край	центр	край	центр	центр	центр	центр
TiO ₂	0,12	0,18	0,18	0,12	0,4	0,36	--	--
Al ₂ O ₃	11,34	10,85	10,70	10,03	10,11	10,59	17,75	17,58
Cr ₂ O ₃	62,54	62,85	61,98	62,00	58,06	58,61	45,46	47,42
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00	0,63	0,00	8,89	4,02	4,58	1,67
FeO	14,16	15,34	13,76	14,63	8,70	11,51	16,33	18,83
MnO	0,16	0,22	0,15	0,24	0,26	0,14	--	--
MgO	13,08	12,14	13,2	11,94	13,38	14,64	17,00	14,50
Сумма	101,40	101,58	100,60	98,96	100,00	100,00	100,00	100,00
Главные минеральные составляющие, %								
Ульвошпинель	0,29	0,43	0,43	0,30	1,47	1,28	--	--
Шпинель	20,43	18,51	20,22	17,51	19,24	19,86	31,7	31,6
Магнохромит	41,47	39,16	42,88	40,82	45,16	49,63	42,5	45,0
Хромит	37,02	40,03	35,70	39,51	28,95	24,14	12,8	9,3
Магнетит	0,00	0,00	0,76	0,00	5,19	5,08	13,0	14,1
Основные расчетные параметры, %								
Железистость $f_{\text{сум}}$	37,8	41,5	44,2	40,7	41,2	36,7	40,3	44,0
Железистость f	37,8	41,5	36,9	40,7	26,7	30,6	35,0	42,2
Хромистость Y	78,7	79,5	79,5	80,6	79,3	78,8	63,2	64,4
Доля Fe ³⁺ в R ³⁺ Z	0,0	0,0	0,8	0,0	10,4	4,9	5,7	2,1
Cr ₂ O ₃ /FeO'	4,42	4,10	4,33	4,24	3,48	3,87	2,22	2,33

Наиболее крупные их концентрации были ранее выявлены в районе месторождений Малокаменского и "Баканов Ключ". Оба они представлены исключительно бедно- и средневкрапленными полосчатыми рудами, разведанными редкой сетью буровых скважин. Прогнозные ресурсы этих месторождений оцениваются по категории P₂ соответственно в 12 и 15 млн т и по категории P₃ – 4 и 10 млн т. Состав хромшпинелидов, отобранный из ряда проб из фракций обычных и немагнитных концентратов, свидетельствует о весьма высокохромистом их составе (табл. 3).

Таблица 3

Состав концентратов хромшпинелидов из бедновкрапленных руд месторождений Малокаменское и "Баканов Ключ" по данным силикатного анализа [7, 9]

Формационный тип Месторождение	Хабаринский [4]				
	Малокаменское				"Баканов Ключ"
Концентрат	обычный	немагнитный	обычный	немагнитный	Сред. состав
TiO ₂	0,92	0,28	1,01	0,25	0,60
Al ₂ O ₃	10,44	6,65	10,26	9,95	9,98
Cr ₂ O ₃	57,75	48,53	59,11	55,79	52,92
Fe ₂ O ₃	3,37	16,61	0,14	5,85	6,74
FeO	15,01	21,38	20,52	17,86	15,94
MnO	0,12	0,45	0,08	--	--
MgO	12,73	7,76	8,78	10,43	11,34
Сумма	100,34	101,66	99,90	100,13	97,52
Главные минеральные составляющие, %					
Ульвошпинель	2,2	0,7	3,71	0,6	1,5
Шпинель	19,9	13,3	19,76	19,4	19,8
Магнохромит	41,5	25,7	24,87	32,0	37,0
Хромит	32,3	39,2	51,49	40,7	33,2
Магнетит	4,1	21,1	0,17	7,3	8,5
Основные расчетные параметры, %					
Железистость $f_{\text{сум}}$	44,3	72,4	56,9	55,4	48,4
Железистость f	39,8	60,7	56,7	49,0	44,1
Хромистость Y	78,8	83,0	79,4	79,0	78,1
Доля Fe ³⁺ в R ³⁺ Z	4,2	21,3	0,2	7,3	8,6
Cr ₂ O ₃ /FeO'	3,20	1,34	2,86	2,41	2,40

В дальнейшем на основе использования вкрапленных руд в этих месторождениях предполагается добывать и обогащать ежегодно не менее 100 тыс. товарной руды в год, содержащей 10-14 % Cr_2O_3 [2].

Другим весьма перспективным объектом на хромитовое сырье является **Ключевской рудоносный массив** площадью около 100 кв. км, располагающийся в 35 км к ЮВ от Екатеринбурга. Хотя хромитовые тела встречаются как в дунитах, так и в гарцбургитах, промышленный интерес представляют лишь месторождения вкрапленных руд, находящиеся в южной дунитовой части, где выделяется крупная синклиналиная структура.

В южном ее крыле располагаются месторождения: Ревдинское, Первомайское и "Барсучьи Ямы", а в северном крыле – Козловские, Самохваловские и "Рудный участок 52". Согласно исследованиям Л.Д. Булькина [13], вкрапленные руды всех месторождений южной части массива приурочены к дунитам дунит-верлитового вещественного комплекса и имеют вторичное происхождение. По нашим данным, суммарные запасы вкрапленных хромитовых руд отмеченных месторождений в южной части Ключевского массива до глубины 250 м составляют более 38 млн т со средним содержанием Cr_2O_3 около 9 %. Однако на этих глубинах полного выклинивания рудных зон не зафиксировано, в связи с чем запасы могут быть значительно увеличены. Средний состав хромшпинелидов из концентратов вкрапленных руд ряда месторождений отмеченного массива приводится в табл. 4.

Таблица 4
Состав концентратов из вкрапленных руд Ключевского массива на Среднем Урале [9]

Формационный тип	Хабаринский [4]				
	Козловское-1	"Барсучьи Ямы"	Козловское-2	"Рудный участок 52"	Первомайское-2
Тип оруденения	Густовкрапленный			Среднекрапленный	
Al_2O_3	8,56	9,36	8,54	13,86	7,71
Cr_2O_3	56,55	55,19	57,22	54,97	54,72
Fe_2O_3	7,05	7,54	4,07	1,24	4,84
FeO	12,66	11,32	15,33	14,99	15,37
MgO	13,06	13,89	10,98	11,96	10,16
Сумма	97,88	97,3	96,14	97,02	92,80
Пересчет на основные минеральные группировки, %					
Шпинель	16,79	18,28	17,24	26,90	16,23
Магнхромит	47,99	50,35	38,84	31,81	37,87
Хромит	26,39	21,97	38,67	39,75	39,40
Магнетит	8,83	9,40	5,25	1,54	6,50
Основные расчетные параметры %					
Железистость $f_{\text{сж}}$	44,9	42,2	49,2	43	52,1
Железистость f	35,2	31,4	43,9	41,3	45,9
Хромистость Y	81,6	79,8	81,8	72,7	82,6
Доля Fe^{3+} в $\text{R}^{3+}Z$	8,8	9,4	5,2	1,5	6,5
$\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{FeO}$	2,98	3,05	3,01	3,41	2,78

Влияние процессов метаморфизма на состав вкрапленных хромитовых руд

В последние годы нами и другими уральскими исследователями рудообразующих хромшпинелидов из хромитовых руд большой группы месторождений Среднего и Южного Урала было однозначно установлено существенное влияние на их исходный состав. При этом вкрапленные руды изменяются даже гораздо интенсивнее, чем сплошные и густовкрапленные, хотя направленность процесса вторичного изменения во всех случаях одинаковая: при высокотемпературном метаморфизме из кристаллической решетки рудных хромшпинелидов удаляется значительное количество алюминия (с образованием микровростков и кайм хлорита), вследствие чего состав хромшпинелидов становится более хромистым [1, 5, 7, 8]. Подобный же процесс изменения состава хромшпинелидов за последние два года неоднократно описывался Б.В. Перевозчиковым в Рай-Изском и Войкаро-Сыннинском массивах [11]. При низкотемпературном же водном метаморфизме наряду с частичным выносом алюминия происходит также частичный вынос магния и хрома и привнос двух- и трехвалентного железа, иногда вплоть до образования залежей магнетита за счет хромита, что, в частности, отмечается в северо-западной части Варшавского массива на Южном Урале.

Более детально вопросы влияния процессов высокотемпературного метаморфизма на состав различных типов руд, часто сопровождавшихся своеобразным облагораживанием их состава, нами с привлечением большого количества выполненных микронзондовых анализов хромшпинелидов специально рассматривались на примере сплошных и густовкрапленных руд из целого ряда уральских массивов [1, 5, 6]. Что касается средне- и редковкрапленных руд, то слагающие их хромшпинелиды при процессах высокотемпературного метаморфизма подвергаются процессам своеобразного "облагораживания" даже более интенсивно, чем сплошные – вследствие более интенсивного просачивания в таких рудах метасоматических гидротермальных растворов, способствующих их вторичному преобразованию. Ранее группой исследователей состава вкрапленных хромитовых руд в ряде среднеуральских альпинотипных массивов был сделан вывод, что получаемые при их обогащении хромитовые концентраты обладают даже более хромистым составом, чем ассоциирующие с ними сплошные руды [4], что вполне объяснимо с точки зрения влияния наложенных процессов высокотемпературного их изменения и преобразования.

Ниже приводятся систематические данные по составу вкрапленных руд для выделяемых нами основных формационных типов, свидетельствующие, что их состав практически идентичен сплошным и густовкрапленным в тех же массивах (табл. 5-8). При этом если сопоставить состав проанализированных авторами [3] хромшпинелидов из всех основных разновидностей вкрапленных руд в массиве Рай-Из, то он практически одинаков (см. табл. 5). От хромистых шпинелей из руд уникального Кемпирсайского массива, судя по данным Н.В. Павлова и др. [10], их отличает лишь более высокая доля в них трехвалентного железа, свидетельствующая об их кристаллизации в условиях более высокой активности кислорода – на меньшей глубине, в пределах земной коры.

Несомненно, представляет большой интерес проведение подобного сопоставления в различных текстурных типах вкрапленных руд Алапаевского массива. Такого рода сопоставления состава руд приводятся в табл. 6.

Таблица 5

Состав хромшпинелидов из вкрапленных руд массива Рай-Из на Приполярном Урале по данным микронзондового анализа [10]

Вкрапленность	Густая		Средняя			Убогая	
	TiO ₂	0,1	0,12	0,12	0,1	0,1	0,2
Al ₂ O ₃	5,9	7,1	8,39	13,69	9,49	10,96	11,39
Cr ₂ O ₃	57,38	58,12	65,53	52,18	58,79	55,19	54,86
Fe ₂ O ₃	8,09	6,11	3,03	7,26	5,83	7,03	4,63
FeO	17,17	16,38	11,11	12,68	11,11	13,10	14,25
MnO	0,35	0,27	0,22	0,00	0,00	0,15	0,15
MgO	9,86	10,54	15,22	14,07	14,68	13,51	12,32
Сумма	98,85	98,64	103,62	99,98	100,00	100,14	97,78
Пересчет на основные минеральные группировки, %							
Ульвошпинель	0,26	0,31	0,28	0,24	0,24	0,48	0,45
Шпинель	11,88	14,16	15,41	25,61	17,98	20,79	22,17
Магнохромит	38,33	39,01	55,31	40,97	52,38	44,03	38,48
Хромит	39,15	38,74	25,44	24,51	22,35	26,19	33,14
Магнетит	10,39	7,78	3,55	8,67	7,05	8,51	5,76
Основные расчетные параметры, %							
Железистость <i>f</i>	49,4	46,6	29,1	33,6	29,8	35,2	39,4
Хромистость <i>Y</i>	86,7	84,6	84,0	71,9	80,6	77,2	76,4
Доля Fe ³⁺ в R ³⁺ Z	10,4	7,8	3,6	8,7	7,1	8,5	5,8
Cr ₂ O ₃ /FeO	2,35	3,66	5,74	3,71	4,57	2,84	2,82

Как можно судить из сопоставления химико-аналитических данных, приведенных в табл. 6 и 7, повышение степени высокотемпературного метаморфизма не только ультраосновных пород, но и генетически связанных с ними хромитовых руд приводит к последовательному повышению хромистости слагающих руды хромшпинелидов. Это особенно четко видно, когда мы сопоставляем данные состава из центральной и краевых частей проанализированных рудных зерен и результаты систематического изучения состава хромшпинелидов из разнообразных текстурных типов руд в различных частях рудных тел.

В Верблюжьегорском хромитоносном массиве на Южном Урале, насчитывающем 46 месторождений и рудопроявлений, ранее считали, что здесь количественно преобладают высокоглиноземистые и умеренно хромистые сплошные руды, пространственно и генетически

связанные с гарцбургитами, добыча которых стала проводиться начиная с 30-х годов прошлого столетия. Более высокохромистые руды встречаются лишь на небольшом участке в ЮВ части массива. Однако при детальном петрографическом изучении хромитов массива нами было установлено решающее влияние широко распространенных вторичных процессов антигортитизации, которые изменяют исходный состав не только самих ультрамафитов, но и находящихся в них сплошных и вкрапленных хромитовых тел.

Таблица 6

Сопоставление состава рудных хромшпинелидов из различных разновидностей руд Алапаевского массива по данным силикатного анализа (Татаринов и Красновский, 1940)

Тип руд	Верблюжьегорский [6]							
	Густовкрапленный		Среднекрапленный				Редко-вкрапленный	
Месторождение	"I Норское"		"Подкорытовское"	"I Поденный"			"I Норское"	"Подкорытовское"
SiO ₂	10,13	10,41	9,78	15,06	17,82	12,63	14,10	21,50
TiO ₂	--	--	--	0,27	0,27	0,26	0,22	--
Al ₂ O ₃	15,38	15,36	20,95	15,79	12,87	18,48	9,26	11,02
Cr ₂ O ₃	36,07	35,30	27,13	26,22	22,69	29,38	39,20	19,41
FeO _{сум}	13,98	13,98	14,82	11,38	11,66	12,37	11,71	13,07
MnO	--	0,12	--	--	--	--	0,17	--
NiO	--	--	--	0,38	0,40	--	0,20	--
CaO	0,86	1,12	2,80	0,40	--	0,64	0,16	0,58
MgO	19,84	20,01	20,71	24,89	27,72	22,49	21,70	26,40
П.п.п.	0,91	2,20	4,55	0,68	0,80	0,60	3,46	8,02
Сумма	97,17	98,50	100,74	95,16	94,23	96,85	100,18	100,00
Вычисленный состав после исключения примесей								
TiO ₂	--	--	--	0,51	0,61	0,35	0,38	--
Al ₂ O ₃	16,03	16,06	30,16	17,15	10,95	25,03	5,09	16,66
Cr ₂ O ₃	51,13	50,68	39,06	45,58	45,05	39,78	64,11	43,60
Fe ₂ O ₃	5,53	5,96	0,82	10,80	20,39	10,01	3,13	9,79
FeO	14,99	14,87	17,24	10,51	5,89	5,70	16,25	23,51
MnO	--	0,18	--	--	--	--	0,29	--
NiO	--	--	--	0,72	0,90	--	0,35	--
MgO	12,88	12,85	12,81	15,82	18,24	20,13	10,72	7,43
Сумма	100,56	100,60	100,09	101,09	102,03	101,00	100,32	100,99
Основные расчетные параметры, %								
Железистость f сум	46,5	46,9	44,0	41,8	42,7	29,1	49,9	70,9
Железистость f	39,5	39,4	43,0	27,2	15,3	13,7	46,0	64,0
Хромистость Y	68,2	67,9	46,5	64,1	73,4	51,6	89,4	63,7
Доля Fe ³⁺ в R ³⁺ Z	6,6	7,1	0,9	12,6	24,0	11,2	4,0	12,0
Cr ₂ O ₃ /FeO'	2,56	2,51	2,17	2,25	1,86	2,70	3,99	1,35

Судя по приведенным в табл. 7 составам хромшпинелидов, в центральной и краевых частях одного из хромитовых тел Верблюжьегорского массива, высокотемпературный метаморфизм, связанный с процессами антигортитизации, не только не снижает качества хромитов, судя по содержанию в них триоксида хрома и отношению в них Cr₂O₃/FeO', но даже приводит к существенному повышению их хромистости. Лишь в лежачем боку залежи их состав ухудшается вследствие последующих тектонических деформаций и низкотемпературного метаморфизма.

Наконец, рассмотрим самый малоглубинный пятый тип хромитового оруденения, представленный помимо Хабаровинского массива (жилы 5-1 и 5-2) на Южном Урале, частично изученным и рассмотренным Малокаменским месторождением в Алапаевском массиве и Верхне-Александровским и рядом других месторождений в Верхнейвинском массиве на Среднем Урале. Во всех этих объектах руды претерпели высокотемпературный контактовый метаморфизм при выделении молодых габброидов девонского возраста. Состав хромшпинелидов из разных частей одного из крупных рудных тел Верхнейвинского массива приводится в табл. 8.

Состав хромшпинелидов из различных частей хромитового тела месторождения № 19 в Верблюжьегорском массиве одноименного формационного типа

Местоположение	Висячий бок		Центральная часть		Лежачий бок	
	среднекрапленный		массивный		густокрапленный	
Текстуриный тип						
Место анализа	центр	край	центр	край	центр	край
TiO ₂	0,08	0,2	0,07	0,05	0,15	0,25
Al ₂ O ₃	13,13	5,05	23,07	23,34	13,68	7,6
Cr ₂ O ₃	56,60	62,92	48,22	48,86	53,73	54,27
Fe ₂ O ₃	4,06	4,48	2,21	3,49	6,05	10,61
FeO	10,75	13,44	6,84	4,24	15,41	15,92
MnO	0,24	0,36	0,16	0,14	0,25	0,33
MgO	15,14	12,27	18,61	20,66	12,55	11,21
Сумма	100,00	98,72	99,18	100,78	101,82	100,19
Главные минеральные группировки, %						
Ульвошпинель	0,19	0,51	0,16	0,11	0,36	0,62
Шпинель	24,41	10,03	40,53	39,96	25,44	14,87
Магнохромит	46,78	51,59	42,17	49,51	33,59	40,62
Хромит	23,8	32,2	14,66	6,6	33,43	30,62
Магнетит	4,82	5,68	2,48	3,82	7,18	13,26
Основные расчетные параметры, %						
Железистость <i>f</i> сум	34,8	44,4	21	16,7	48,2	56
Железистость <i>f</i>	28,5	38,1	17,1	10,3	40,8	44,3
Хромистость <i>Y</i>	74,3	89,3	58,4	58,4	72,5	82,7
Доля Fe ³⁺ в R ³⁺ Z	4,8	5,7	2,5	3,8	7,2	13,3
Cr ₂ O ₃ /FeO	3,93	3,60	5,47	6,62	2,58	2,13

Таблица 8

Состав хромшпинелидов из хромитового тела Верхне-Александровского месторождения (Верх-Нейвинский массив)

Местоположение	Висячий бок		Центральная часть		Лежачий бок	
	массивный		массивный		среднекрапленный	
Текстуриный тип						
Место анализа	центр	край	центр	край	центр	край
TiO ₂	0,20	0,17	0,20	0,25	0,08	0,17
Al ₂ O ₃	9,66	9,12	7,88	9,07	10,30	9,98
Cr ₂ O ₃	65,51	65,21	65,13	64,34	60,55	61,59
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	2,05	2,00
FeO	13,39	18,14	13,48	13,35	14,00	14,55
MnO	0,27	0,44	0,22	0,19	0,22	0,30
MgO	11,57	9,12	12,37	11,59	12,75	12,62
Сумма	100,66	102,31	99,3	98,86	99,95	101,21
Основные минеральные группировки						
Ульвошпинель	0,47	0,41	0,49	0,61	0,20	0,41
Шпинель	7,05	8,73	12,00	8,49	19,68	18,91
Магнохромит	47,26	34,73	48,38	47,29	41,95	41,57
Хромит	34,33	47,68	35,93	34,84	35,67	36,70
Магнетит	0,00	0,00	0,00	0,00	2,50	2,42
Алюмошпинель	10,86	8,45	3,21	8,77	0,00	0,00
Основные расчетные параметры						
Железистость <i>f</i> сум	39,4	52,7	37,9	39,3	41,1	42,1
Железистость <i>f</i>	39,4	52,7	37,9	39,3	38,1	39,3
Хромистость <i>Y</i>	82,0	82,7	84,7	82,6	79,8	80,5
Доля Fe ³⁺ в R ³⁺ Z	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	2,4
Cr ₂ O ₃ /FeO	4,89	3,59	4,83	4,82	3,82	3,77

Полученные нами микрозондовые анализы из густокрапленных и среднекрапленных руд этого месторождения, приведенные в табл. 9, также свидетельствуют о большом сходстве составов хромшпинелидов из различных текстурных типов руд, претерпевших в последующее время сравнительно слабый низкотемпературный метаморфизм.

Состав хромшпинелидов из густо- и средневкрапленных руд Верх-Нейвинского массива

Тип руд	Густовкрапленный			Средневкрапленный			
TiO ₂	0,23	0,22	0,20	0,08	0,17	0,17	0,17
Al ₂ O ₃	8,82	8,28	7,88	10,30	9,98	10,17	10,13
Cr ₂ O ₃	66,46	63,14	65,13	60,55	61,59	60,33	60,43
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	2,05	2,00	3,99	2,21
FeO	13,86	15,57	13,48	14,00	14,55	12,31	14,09
MnO	0,24	0,32	0,22	0,22	0,30	0,23	0,24
MgO	13,32	11,19	12,37	12,75	12,62	14,16	12,72
Сумма	102,93	98,72	99,28	99,95	101,21	101,36	99,99
Пересчет на основные минеральные группировки, %							
Ульвошпинель	0,55	0,55	0,49	0,20	0,41	0,41	0,41
Шпинель	15,26	14,70	12,00	19,68	18,91	19,04	19,37
Магнохромит	47,49	40,89	48,38	41,95	41,57	48,03	42,15
Хромит	35,54	42,29	35,93	35,67	36,70	27,76	35,36
Магнетит	-	-	-	2,50	2,42	4,77	2,70
Алюмошпинель	1,17	1,56	3,21	-	-	-	-
Основные расчетные параметры %							
Железистость $f_{\text{жм}}$	36,9	43,8	37,9	38,1	39,3	32,8	38,3
Хромистость Y	83,5	83,6	84,7	79,8	80,5	79,9	80,0
Доля Fe ³⁺ в R ³⁺ Z	-	-	-	2,5	2,4	4,8	2,7
Cr ₂ O ₃ /FeO	4,80	4,06	4,83	3,82	3,77	3,79	3,76

Заклучение

Проведенный анализ пространственного положения различных разновидностей сплошных и вкрапленных руд в целом ряде альпинотипных массивов Урала однозначно свидетельствует, что сплошные руды свойственны, в первую очередь, глиноземистым рудам, ассоциирующим и генетически связанным с гарцбургитовыми по составу массивами. Такие руды имеют, по-видимому, позднемагматическое происхождение и слагают большое количество мелких шлиров и жиллообразных тел. Что касается слабо распространенных среди них вкрапленных руд, имеющих вероятно гидротермальное происхождение, то их обычно немного и при добыче их не используют и складывают в отвалах.

Что касается состава и текстурных разновидностей хромитовых руд, располагающихся в дунитах и генетически с ними связанных, то они почти во всех уральских массивах представлены вкрапленным типом, имеющим вторичное пневматолит-гидротермальное происхождение, что недавно нами подробно было рассмотрено в одной из публикаций [5]. Сплошные руды здесь широко распространены лишь в Кемпирсайском и частично в Рай-Изском ультраосновных массивах.

Приведенные в работе данные однозначно свидетельствуют, что лишь на Среднем Урале в Алапаевском и Ключевском массивах прогнозные ресурсы вкрапленных хромитовых руд превышают 100 млн т. Значительные запасы небогатых вкрапленных руд не менее 30-40 млн т находятся также в массиве Рай-Из на Приполярном Урале (месторождения Центральное, Западное и Юго-Западное). Но для их использования необходимо сооружать стационарные или передвижные обогатительные фабрики, которые позволят получать в промышленных количествах высококачественные хромитовые концентраты. Выполненные ранее расчеты для вкрапленных руд месторождений, располагающихся в пределах Алапаевского массива [2], свидетельствуют о рентабельности их сооружения и эксплуатации. При этом необходимо ежегодно получать не менее 500 тыс т подобных концентратов, дополняя их другими источниками получения хромитовых руд. Главное, что мы при этом решаем многие вопросы социальной сферы, пользуемся уже существующими линиями высоковольтных передач и ограничиваемся небольшими расстояниями для их перевозки по располагающимся здесь же железным дорогам до потребляющих такие рудные концентраты заводов и предприятий.

На Алапаевском и подобных ему массивах разведочных работ, по существу, не проводилось, поэтому в настоящее время главный вопрос – в проведении буровых и разведочных работ и в подтверждении запасов сплошных и, в первую очередь, вкрапленных руд на уральских месторождениях хромитов, генетически связанных с альпинотипными комплексами.

Исследования выполнены за счет грантов Минобразования PD-1,5-44 и A03-2,13-5.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алексеев А.В., Малахов И.А., Бурмако П.Л. Метаморфизм хромитовых руд Верблюжье-горского массива (Южный Урал) // Эволюция внутриконтинентальных подвижных поясов: Материалы научной конференции (IX чтения А.Н. Заварицкого). Екатеринбург: Институт геологии и геохимии УрО РАН, 2003. С. 185-189.
2. Боликов В.Е., Беркович В.Х., Балец А.Е. Хромитовые месторождения Уральского региона // Изв. вузов. Горный журнал. Уральское горное обозрение. 1997. № 3-4. С. 36-48.
3. Макеев А.Б., Брянчанинова Н.И. Типоминералогия ультрабазитов Полярного Урала. СПб.: Наука, 1999. 252 с.
4. Малахов И.А. Положение различных типов хромитового оруденения в разрезе ультрамафитов Урала, их состав и особенности метаморфизма // Эволюция внутриконтинентальных подвижных поясов: Материалы научной конференции (IX чтения А.Н. Заварицкого). Екатеринбург: ИГТ УрО РАН, 2003. С.185-189.
5. Малахов И.А., Алексеев А.В., Бурмако П.Л. Многостадийность формирования хромитов в гарцбургитах уральских массивов и влияние на их состав процессов метаморфизма // Известия УГТГА. Вып. 18. Серия: Геология и геофизика. Екатеринбург: Изд-во УГТГА, 2003. С. 78-85.
6. Малахов И.А., Бурмако П.Л., Алексеев А.В. Условия формирования разных формационных типов хромитового оруденения в альпинотипных массивах Урала // Современные проблемы формационного анализа, петрология и рудоносность магматических образований: Тезисы докладов. Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал "ГЕО" С. 209-210.
7. Малахов А.Е., Пуркина Т.А., Телегин Б.А. О хромитоносности ультрабазитовых массивов Среднего Урала // Магматические формации, метаморфизм, металлогения Урала, ч.II. Свердловск: УФАН СССР, 1969. С. 121-127.
8. Малахов И.А., Савохин И.В., Бурмако П.Л. и др. Влияние процессов метаморфизма и метасоматизма на состав хромшпинелидов в ультрамафитах и хромитах Урала // Известия УГТГА. Вып.13. Серия: Геология и геофизика, 2001. С. 66-73
9. Малахов И.А., Шилова Т.А., Телегин Б.А. Хромиты // Геология СССР. Том XII. Полезные ископаемые. М., 1973. С. 387-410.
10. Павлов Н.В., Кравченко Г.Г., Чупрынина И.И. Хромиты Кемпирсайского плутона. М.: Наука, 1968. 197 с.
11. Перевозчиков Б.В., Ситчихин О.В. Среднетемпературный метаморфизм хромитовых руд высокохромистого магнезиального типа (на примере массива Рай-Из на Полярном Урале) // Геология и полезные ископаемые Западного Урала: Мат-лы регион. научно-практической конференции. Пермь: Изд. Перм. университета, 2003. С. 65-70.
12. Полезные ископаемые: Учеб. для техникумов / Под. ред. И.Ф. Романовича. 2-е изд. М.: Недра, 1992. 543 с.: ил.
13. Реестр хромитопроявлений в альпинотипных ультрабазитах Урала / Перевозчиков Б.В., Булыкин Л.Д., Попов И.И. и др. Пермь: КамНИИКИГС, 2000. 474 с.

УДК 38.35.21+38.41.27 (470.5)

И.А. Малахов

СОСТАВ И ПРОИСХОЖДЕНИЕ АРМОЛКОЛИТА, ЕГО ГЕНЕТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ И ВОЗМОЖНОСТЬ ОБНАРУЖЕНИЯ НА УРАЛЕ

Армолколлит, обладающий составом $Fe_{0,3}Mg_{0,5}Ti_2O_5$, принадлежит к сложным оксидам титана и был открыт в 1970 г А.Т.Андерсоном и др. [8]. Согласно их исследованиям, он относится к группе орторомбических-дипирамидальных минералов. У него был выявлен серый цвет зерен, плотность - 4, твердость - 6, параметры элементарной ячейки: $a = 9,7762$, $b = 10,0341$, $c = 3,7504$. Интенсивность рентгеновской дифракции (I / I_0): 3,468(1), 1,958 (0,8), 2,763 (0,25). По расчетным молекулярным данным, в армолколлите содержится 14,54 % MgO, 8,64 % FeO и 76,82 % TiO_2 . В дальнейшем он был установлен и изучен С. Хеггерти в лунном реголите, после экспедиций Аполло-11 и Аполло-12 на