

УДК 552.321.6:553.08

РУДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ АГАРДАГСКОГО УЛЬТРАМАФИТОВОГО МАССИВА (РЕСПУБЛИКА ТЫВА)

А.Н. Юричев, А.И. Чернышов, А.С. Кульков

Томский государственный университет

E-mail: juratur@sibmail.com

Исследованы особенности рудной минерализации Агардагского ультрамафитового массива, расположенного в юго-восточной части Республики Тыва. Показаны типоморфизм и химический состав минералов. Полученные данные позволили установить степень частичного плавления исходного субстрата и температуру его метаморфического преобразования при перемещении и консолидации в земной коре. Удалось проследить эволюционную направленность изменения химического состава хромшпинелидов и ассоциирующих с ними сульфидов, которая определяется условиями их деплетирования в верхней мантии и последующими метаморфогенными преобразованиями.

Ключевые слова:

Реститы, дуниты, гарцбургиты, хромититы, хромшпинелиды, сульфиды.

Key words:

Restites, dunites, harzburgites, chromitites, chromspinelides, sulfides.

Введение

Ультраосновные породы являются источником рудных и нерудных полезных ископаемых – Au, элементов платиновой группы (ЭПГ), Ni, Cu, Cr, асбеста, драгоценных и поделочных камней. В связи с острым дефицитом легирующих добавок для черной металлургии в последние годы резко возрос интерес к изучению ультрамафитовых массивов как единственному источнику хрома.

Объектом настоящего исследования является Агардагский ультрамафитовый массив, расположенный на юго-востоке республики Тыва, с которым связано хромитовое оруденение.

В статье рассматривается эволюция вещественного состава хромшпинелидов и ассоциирующих с ними сульфидов в процессе формирования пород и их последующих метаморфических изменений.

Краткая геологическая характеристика исследуемого объекта

Агардагский массив (R_3 , по [1, 2]) является одним из крупных в составе Южно-Тувинского пояса и структурно приурочен к Агардагской шовной зоне, которая отделяет Сангиленский срединный массив от раннекаледонской Восточно-Таннуольской складчатой зоны. Он представляет собой линзообразное тело длиной около 20 км при ширине до 3,5 км, вытянутое в северо-восточном направлении согласно со складчатой структурой региона. Контакты с породами вмещающей рамы тектонические, что подтверждается наличием тектонических клиньев кристаллических сланцев в зонах экзоконтакта и тесно связанных с ними отторженцев ультрамафитов [3]. Вмещающие породы относятся к кускунугской свите ($V-E_1$) и представлены кристаллическими сланцами с прослоями известняков, кремнистых и терригенных пород [4].

Массив сложен главным образом породами дунит-гарцбургитового полосчатого комплекса. В эндоконтактных частях они замещается серпенти-

нитами, среди которых отмечаются тела клинопироксенитов. Наряду с ультрамафитами в массиве присутствуют небольшие дайко- и штокообразные тела габбро-диабазов и диабазов, которые нередко превращены в родингиты [5]. Ультрамафиты исследуемого объекта претерпели интенсивные пластические деформации и постоянно обнаруживают признаки метаморфических пород.

В Агардагском массиве выявлено большое количество хромитовых проявлений [4, 5]. Они образуют линзовидные, полосчатые и шлировидные тела. Проявления хромититов, как правило, приурочены к полям развития дунитов.

Методика исследования

Рудные минералы в породах Агардагского массива изучались в проходящем и отраженном свете на поляризационном микроскопе Axioscop 40 Pol. Анализ их вещественного состава выполнен методом рентгеноспектрального микроанализа [6] на электронном сканирующем микроскопе «Tescan Vega II LMU», оборудованном энергодисперсионным спектрометром (с детектором Si (Li) Standard) INCA Energy 350 и волнодисперсионным спектрометром INCA Wave 700 в Центре коллективного пользования (ЦКП) «Аналитический центр геохимии природных систем» Томского государственного университета (ТГУ) (г. Томск). Для этого из отобранных образцов пород с рудной минерализацией были изготовлены плоскопараллельные аншлифы толщиной 3...4 мм по рекомендуемым методикам [6]. Перед проведением анализов на исследуемые поверхности предварительно напыляли слой углерода толщиной 25...30 нм. Последующие расчеты химических составов проводились по программе INCA-Issue 18b и по дополнительным авторским программам.

Выявление содержаний золота и платиноидов в хромитовых рудах также выполнено в ЦКП «Аналитический центр геохимии природных систем»

ТГУ на квадрупольном ICP MS – спектрометре серии Agilent 7500. Для анализа предварительно подготавливались порошки, путем истирания сливных и густовкрапленных хромитов.

Рудная минерализация

Хромшпинелиды являются главными рудными минералами, в дунитах и гарцбургитах они наблюдаются в виде редкой разрозненной вкрапленности отдельных зерен, реже образуют небольшие сростания (рис. 1, а). Их размеры преимущественно составляют 0,5...1,5 мм, встречаются более крупные индивиды, до 3 мм, а сростания до 15 мм. Мелкие зерна обычно субизометричные и эвгедральные, а более крупные индивиды и сростания имеют не-

правильную форму. Удлиненные зерна и сростания хромшпинелидов иногда обнаруживают субпараллельную ориентировку и отражают директивность породы. Отчетливо проявляется ксеноморфизм по отношению к зернам оливина. В отдельных индивидах хромшпинелидов отмечаются пойкилитовые включения мелких зерен оливина.

Хромшпинелиды обычно имеют вишнево-красный, красно-бурый цвет, а по трещинкам и периферии – черный, вследствие замещения магнетитом. По краям они обычно резорбированы, иногда по трещинкам кливажа отмечается их дезинтеграция и растаскивание. Отдельные зерна дезинтегрированы на субблоки. Отмечается футлярное строение отдельных индивидов, когда зерна

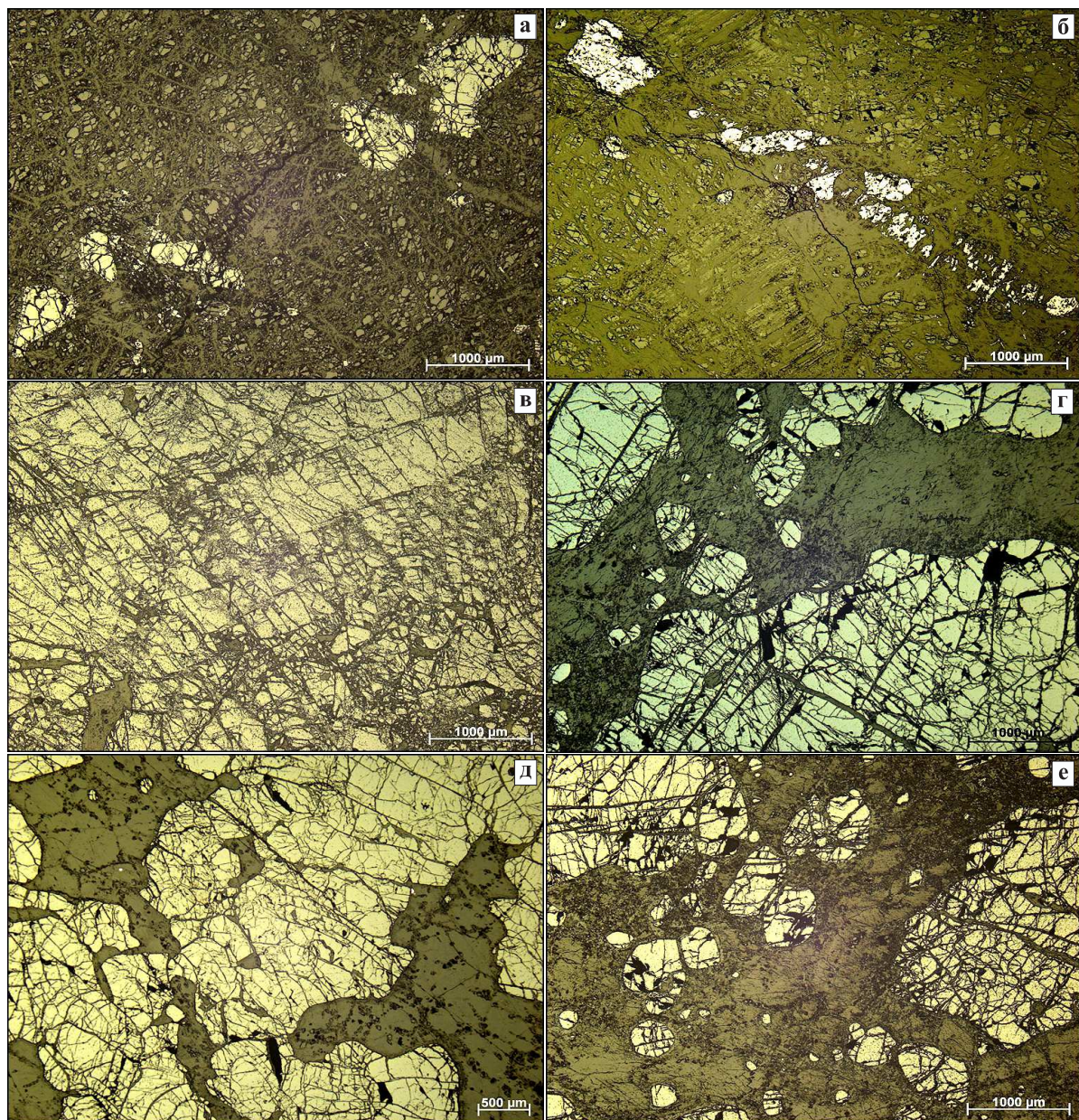


Рис. 1. Хромшпинелиды в породах Агардагского массива: а) дунит с редкой вкрапленностью хромшпинелидов (обр. 15011/3); б) гарцбургит с жилкой хромшпинелидов (обр. 15002); в-е) хромититы: в) сливные (обр. 15013/7), г) нодулярные (обр. 15016/2), д) густовкрапленные (обр. 15023/1), е) вкрапленные (обр. 15023/2)

хромшпинелидов по периферии обрамляются каймой серпентина, затем каймой магнетита. Иногда в серпентинизированных разновидностях отмечаются параллельные жилки и струйчатые обособления хромшпинелидов (рис. 1, б). При этом жилки хромшпинелидов имеют вкрапленную структуру, а хромшпинелиды образуют удлиненные зерна и вытянутые сросшиеся агрегаты вдоль простирания этих жилкок.

Среди дунитов и аподунитовых серпентинитов отмечаются многочисленные тела хромититов (более 150 проявлений, по [4]), представленные чаще в виде линзовидных обособлений вкрапленных и сливных руд. Их простирание обычно согласное с полосчатостью ультрамафитов. По структурным особенностям выделяются сливные, нодулярные, густовкрапленные и вкрапленные хромититы.

Сливные хромититы (хромшпинелиды (CrSp) ~ 90...95, хлорит (Chl) ~ 5...10 %) представляют сплошную сливную массу, образованную, очевидно, в результате тесного срастания отдельных зерен хромшпинелидов, фрагменты границ которых иногда прослеживаются в отдельных участках (рис. 1, в). Они нередко разбиты субпараллельными трещинками на линзовидные и лентовидные блоки, которые вытягиваются в одном направлении и отражают наложенную директивность. В участках с интенсивной трещиноватостью наблюдается дробление хромититов на остроугольные обломки и их дезинтеграция на отдельные индивиды. Трещинки и полости в хромититах выполнены бесцветным хлоритом.

Нодулярные хромититы (CrSp ~ 50, серпентин (Serp) ~ 25, кальцит (Cls) ~ 25 %) состоят из нодулей, представляющих собой округлые сливные срастания хромшпинелидов (рис. 1, г). Их размер в диаметре составляет 15...25 мм, контуры плавные с заливообразными изгибами. Нодули обычно разбиты хаотичными трещинками, которые выполняются жилками кальцита и серпентина. Нередко они также содержат округлые мелкие включения серпентин-кальцитового состава. Цементирующая масса сложена пластинчатыми зернами и поперечно-волокнистыми жилками хризотила, а также микрозернистыми агрегатами и жилками кальцита.

В густовкрапленных хромититах (CrSp ~ 70...85, Chl ~ 20...30, Cls до 20 %) хромшпинелиды наблюдаются как в виде отдельных зерен, так и в виде сливных срастаний (рис. 1, д). Зерна хромшпинелидов имеют субизометричную либо неправильную форму с размерами 0,5...3 мм, а агрегативные срастания — до 10 мм и более. Они обычно интенсивно трещиноватые. Вдоль наиболее крупных трещин отмечаются деформации, часто со сдвигом, которые сопровождаются катаклизмом. В результате образуются вытянутые катаклазированные индивиды, вокруг которых наблюдается интенсивное дробление. Это способствует формированию наложенной директивности. Цементирующая масса сложена хлоритовым чешуйчатым агрегатом, среди

которого иногда отмечается заметное количество кальцита в виде агрегатов, окрашенных гидроокислами железа в грязно-бурый цвет.

Во вкрапленных хромититах (CrSp ~ 50...70, Serp ~ до 50, Cls до 30 %) хромшпинелиды отмечены как в виде отдельных зерен, так и в виде их агрегативных срастаний (рис. 1, е). Размер отдельных зерен составляет 0,5...2 мм, агрегативных срастаний — 3...4 мм. Зерна чаще имеют неправильную ксенобластовую форму и наблюдаются в виде порфиобласт на фоне серпентинового и кальцитового агрегатов. Они часто разбиты субпараллельными трещинками. При этом образуются удлиненные индивиды и срастания, которые ориентируются субпараллельно и отражают директивную либо сланцеватую текстуру. Иногда в зонах интенсивного расланцевания они пластически деформируются и растаскиваются в линзовидные и лентовидные сегрегации. Зерна и агрегаты хромшпинелидов часто содержат мелкие пойкилобластовые включения серпентина.

Согласно классификации Н.В. Павлова [7], в породах Агардагского массива среди хромшпинелидов выделяются высокохромистые разновидности — хромиты и алюмохромиты, значительно реже отмечаются субферрихромиты (рис. 2, а). Фигуративные точки составов первых двух разновидностей на треугольной диаграмме и на бинарных диаграммах (рис. 3, а–в) формируют единый линейный тренд, отражающий уменьшение магнезиальности, глиноземистости и содержаний ванадия при увеличении содержаний хрома и железа (табл. 1). При этом в хромитах содержания хрома достигают 67,3 мас. %. В субферрихромитах устанавливаются наиболее высокая примесь никеля (до 0,38 мас. %) и кобальта (до 0,28 мас. %).

Оценка химического состава хромшпинелидов с использованием экспериментальных данных [9] позволила определить степень частичного плавления мантийного субстрата при формировании ультрамафитов Агардагского массива. Согласно расчетам и графическим построениям (рис. 3, г), данные породы формировались при значительной вариации степени частичного плавления мантийного источника — 25...41 %. С использованием оливин-хромшпинелиевого геотермометра Дж. Фабри [10] определены температуры формирования пород, которые составляют от 825 до 646 °C (табл. 2).

Методом ICP-MS анализа в хромитовых рудах Агардагского массива выявлены следующие содержания платиноидов: Pt=0,0012...0,0040, Ir=0,0051...0,0178, Pd=0,0226...0,0316 г/т. Полученные значения позволяют предполагать палладиевую специализацию минералов платиновой группы (ЭПГ) в изученных рудах. Золото, при пороге чувствительности прибора 0,0002 г/т, в хромититах не обнаружено.

Сульфидная минерализация отмечается в хромититах в виде рассеянной вкрапленности мелких зерен в интерстициях между индивидами хромшпи-

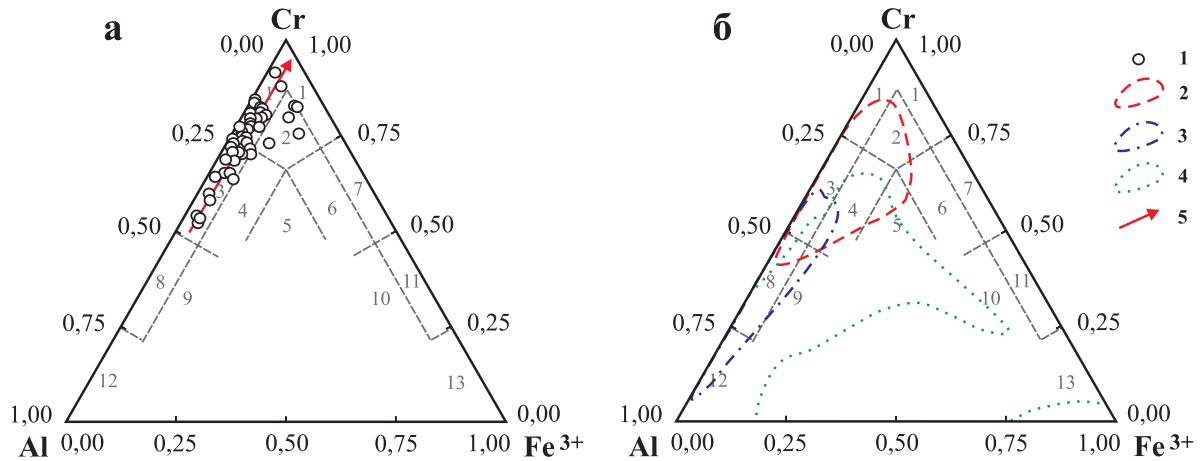


Рис. 2. Составы хромшпинелидов из ультрамафитов и хромититов Агардагского массива (а), а также поля составов шпинелидов из ультрамафитов различных геодинамических обстановок (б) [8] на классификационной диаграмме Н.В. Павлова [7]: 1) хромиты; 2) субферрихромиты; 3) алюмохромиты; 4) субферриалюмохромиты; 5) ферриалюмохромиты; 6) субалюмоферрихромиты; 7) феррихромиты; 8) хромпикотиты; 9) субферрихромпикотиты; 10) субалюмохроммагнетиты; 11) хроммагнетиты; 12) пикотиты; 13) магнетиты. Условные обозначения: 1 – ультрамафиты Агардагского массива; 2 – ультрамафиты глубоководных желобов (ГЖ); 3 – ультрамафиты срединно-океанических хребтов (СОХ); 4 – ксенолиты ультрамафитов из базальтов; 5 – тренд, отражающий увеличение степени рестирования ультрамафитов

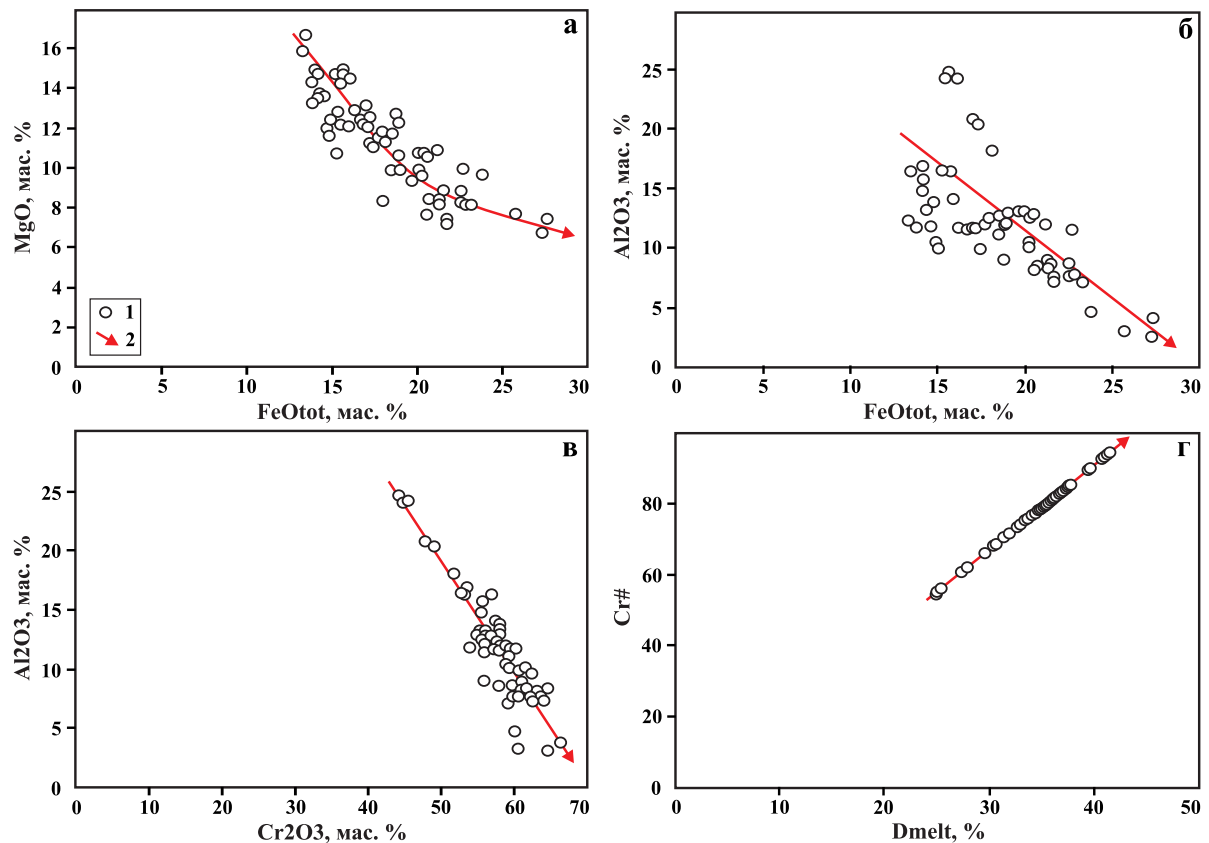


Рис. 3. Бинарные диаграммы (а-г) для хромшпинелидов из ультрамафитов и хромититов Агардагского массива: 1) исследуемые хромшпинелиды; 2) эволюционный тренд составов хромшпинелидов, отражающий степень рестирования вмещающих его ультрамафитов. График (г) отражает зависимость значений параметра Cr# хромшпинелидов от степени частичного плавления лерцолита D_{melt} (по экспериментальным данным [9]): $Cr\# = [Cr_2O_3 / (Cr_2O_3 + Al_2O_3)] \times 100\%$; $D_{melt} = 0,426 \cdot Cr\# + 1,538$

Таблица 1. Химический состав хромшпинелидов в породах и рудах Агардагского массива, мас. %

Порода	Образец	MgO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	MnO	FeO	CoO	NiO	CuO	ZnO	Сумма
Хромиты													
Дуниты	15011/4	9,87	10,03	–	–	59,21	–	20,16	–	–	–	–	99,27
Дуниты	15011/4	9,66	10,42	–	0,43	58,91	–	20,23	–	–	–	–	99,65
Дуниты	15011/3	7,66	8,14	–	–	63,22	–	20,54	–	–	–	–	99,56
Дуниты	15018	8,83	8,54	–	–	59,82	–	21,51	–	–	–	–	98,70
Дуниты	15018	8,86	8,7	–	–	57,87	–	22,51	–	–	–	–	97,94
Дуниты	15018	8,23	8,87	–	–	61,07	–	21,29	–	–	–	–	99,46
Дуниты	15025/2	8,16	7,71	–	–	59,81	–	22,87	–	–	–	–	98,55
Дуниты	15025/2	8,21	7,53	–	–	60,65	–	22,57	–	–	–	–	98,96
Гарцбургиты	15025	8,43	8,31	–	–	61,11	–	21,34	–	–	–	–	99,19
Гарцбургиты	15025	7,16	7,19	–	–	62,47	–	21,74	–	–	–	–	98,56
Гарцбургиты	15024	7,43	7,59	–	–	62,21	–	21,75	–	–	–	–	98,98
Гарцбургиты	15024	8,42	8,32	–	–	61,41	–	20,71	–	–	–	–	98,86
Хромиты	12003/1	11,68	10,06	0,18	0,22	61,65	0,63	14,85	–	0,15	–	–	99,42
Хромиты	12015/19	11,15	9,87	0,10	0,09	60,65	0,36	17,39	–	0,20	–	–	99,81
Хромиты	15013/2	10,70	8,32	0,14	0,12	64,72	0,54	15,30	–	–	–	–	99,84
Хромиты	15013/2	12,38	9,63	–	0,17	62,32	0,25	14,89	–	0,12	0,13	–	99,89
Хромиты	15013/7	11,19	3,61	–	0,15	66,64	0,82	17,28	–	0,10	–	–	99,79
Хромиты	15013/7	8,61	3,22	–	0,12	67,29	0,84	18,65	–	0,12	–	–	98,87
Хромиты	15020	12,80	7,52	–	0,11	63,80	–	15,28	–	–	–	–	99,51
Хромиты	15020	12,19	7,31	0,08	0,11	63,97	–	15,55	0,17	0,12	–	–	99,50
	Среднее (20)	9,58	8,04	–	0,17	61,94	–	19,32	–	0,14	–	–	99,19
«Ранние» хромиты													
Дуниты	15027	11,74	12,67	–	–	56,75	–	18,56	–	–	–	–	99,72
Дуниты	15027	11,67	12,55	–	0,23	55,79	0,34	17,96	–	–	–	–	98,54
Дуниты	15011/4	12,24	12,04	–	–	56,08	–	18,95	–	–	–	–	99,31
Дуниты	15011/3	10,71	12,51	–	–	55,71	–	20,35	–	–	–	–	99,28
Дуниты	15011/3	10,49	12,84	–	0,4	55,04	–	20,58	–	–	–	–	99,35
Гарцбургиты	15010	9,92	11,55	–	–	55,81	–	22,72	–	–	–	–	100,00
Гарцбургиты	15012	11,49	11,98	–	–	58,24	–	17,75	–	–	–	–	99,46
Гарцбургиты	15020/1	9,87	12,86	–	–	57,68	–	18,99	–	–	–	–	99,40
Гарцбургиты	15012	9,87	11,12	–	0,45	59,48	–	18,53	–	–	–	–	99,45
Гарцбургиты	15012	10,62	11,83	–	–	58,67	–	18,88	–	–	–	–	100,00
Хромиты	15023/2	13,31	11,53	–	0,10	60,33	0,38	13,80	–	0,16	–	–	99,61
Хромиты	15023/2	14,27	11,70	–	0,09	59,53	0,30	13,81	–	–	–	–	99,70
Хромиты	12015/19	12,10	11,65	0,12	0,15	58,14	0,35	17,00	–	–	0,19	0,18	99,88
Хромиты	12015/19	12,05	11,66	0,22	0,09	57,67	0,32	17,10	0,23	–	–	–	99,34
Хромиты	15013/7	15,90	12,21	–	–	57,64	0,33	13,31	–	–	0,11	0,18	99,68
Хромиты	12003/1	13,60	11,71	0,11	0,10	59,09	0,34	14,54	–	0,16	0,12	–	99,77
Хромиты	12004/1	12,88	11,76	0,13	0,17	57,46	0,42	16,31	0,25	0,19	–	–	99,57
Хромиты	12004/1	12,40	11,53	–	0,11	57,82	0,57	16,71	–	0,11	–	–	99,25
	Среднее (18)	11,95	11,98	–	0,19	57,61	0,37	17,55	–	–	–	–	99,65
Субферрихромиты													
Дуниты	15025/2	8,1	7,17	–	–	59,37	0,6	23,21	–	–	–	–	98,45
Гарцбургиты	12011/2	9,68	4,56	0,29	0,25	59,92	0,72	23,75	0,16	0,28	–	–	99,61
Хромиты	12011/2	7,42	4,48	0,18	0,11	55,99	2,23	27,60	0,28	0,38	–	0,39	99,06
Хромиты	12011/2	6,70	2,54	0,12	–	60,60	2,11	27,30	0,13	0,16	–	–	99,66
Хромиты	12011/2	7,65	2,97	0,21	0,24	60,24	1,97	25,74	–	0,14	–	–	99,16
	Среднее (5)	7,91	4,34	0,20	0,20	59,22	1,53	25,52	0,19	0,24	–	–	99,35
Алюмохромиты													
Дуниты	15027	10,69	13,15	–	–	55,36	–	20,06	–	–	–	–	99,26
Гарцбургиты	15020/1	9,3	13,08	–	–	56,16	–	19,67	–	–	–	–	98,21
Хромиты	12006/1	14,69	16,32	0,11	–	53,21	0,35	15,16	–	0,17	–	–	100,01
Хромиты	12006/1	12,09	13,96	–	0,13	57,56	0,23	15,89	–	0,14	–	–	100,00
Хромиты	12012/3	14,92	24,64	0,14	0,15	44,21	0,30	15,64	–	–	–	–	100,00
Хромиты	12012/3	14,21	24,20	0,17	–	45,60	–	15,48	0,13	0,20	–	–	99,99
Хромиты	12012/3	14,40	24,14	0,28	–	44,86	0,24	16,08	–	–	–	–	100,00
Хромиты	12013/2	12,54	20,33	0,19	0,19	49,04	0,26	17,25	0,20	–	–	–	100,00
Хромиты	12013/2	11,37	18,11	–	0,27	51,83	0,35	18,08	–	–	–	–	100,01
Хромиты	12013/2	13,11	20,77	0,19	0,31	47,89	0,58	17,01	–	0,13	–	–	99,99
Хромиты	15016	14,85	16,83	0,07	0,19	53,49	–	14,09	–	0,12	–	–	99,64
Хромиты	15016	13,46	15,75	–	0,19	55,72	0,28	14,18	–	0,13	–	–	99,71
Хромиты	15023/1	14,73	14,75	0,12	0,17	55,53	0,37	14,15	–	0,18	–	–	100,00
Хромиты	15023/1	13,72	13,23	0,11	0,18	57,87	0,34	14,34	–	0,20	–	–	99,99
Хромиты	15023/1	16,68	16,42	–	0,23	52,74	0,31	13,46	–	0,15	–	–	99,99
	Среднее (15)	13,38	17,71	0,15	0,20	52,07	0,33	16,04	–	0,16	–	–	100,04

Примечание: здесь и далее определение химического состава осуществлялось на электронном сканирующем микроскопе «Tescan Vega II LMU», оборудованном энергодисперсионным спектрометром (с детектором Si (Li) Standard) INCA Energy 350 и волнодисперсионным спектрометром INCA Wave 700 в ЦКП «Аналитический центр геохимии природных систем» ТГУ (г. Томск), оператор А.С. Кульков.

нелидов и представлена преимущественно миллеритом и хизлевудитом при подчиненной роли последнего (рис. 4, а).

Миллерит наблюдается в виде округлых, вытянутых зерен размером до 0,1 мм нередко в ассоциации с хизлевудитом (рис. 4, б). Они характеризуются корродированными границами, латунно-желтым цветом в отраженном свете и невысоким рельефом. Полученные химические составы миллерита отличаются от его стехиометрического состава повышенным содержанием никеля при пониженном содержании серы, отмечается примесь железа и кобальта (табл. 3).

Таблица 2. Температурные равновесия, рассчитанные по оливин-хромшпинелидовому геотермометру Дж. Фабри [10] для ультрамафитов Агардагского массива

Порода	Образец	Оливин		Хромшпинелид				T, °C
		MgO	FeO	Cr ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	FeO	MgO	
Дуниты	15011/4	12,24	18,95	56,08	12,04	6,96	51,99	825
	15011/3	10,71	20,35	55,71	12,51	8,23	50,84	790
	15011/3	7,66	20,54	63,22	8,14	6,20	52,24	646
	15018	8,83	21,51	59,82	8,54	4,89	52,25	650
	15018	8,86	22,51	57,87	8,70	8,33	49,66	771
	15025/2	8,16	22,87	59,81	7,71	8,04	49,89	742
	15027	10,69	20,06	55,36	13,15	6,15	52,40	716
Гарцбургиты	15027	11,74	18,56	56,75	12,67	6,50	52,24	780
	15010	10,93	21,16	53,84	11,86	8,57	50,33	799
	15020/1	9,87	18,99	57,68	12,86	9,05	49,77	765
	15025	8,43	21,34	61,11	8,31	8,91	48,61	757
	15025	7,16	21,74	62,47	7,19	8,16	50,27	698

Хизлевудит представлен зернами округлой, неправильной формы размером до 0,07 мм, которые в отраженном свете имеют желтовато-кремовые цвета. Он обычно тесно ассоциирует с миллеритом и нередко по периферии замещается последним. Химический состав минерала отличается от его стехиометрического состава несколько пониженным содержанием никеля при повышенном содержании серы (табл. 3).

Таблица 3. Химический состав сульфидных минералов из хромититов, вес. %

Минерал	Образец	Ni	Co	Fe	S	Сумма
Миллерит	15016	63,92	—	—	36,05	99,97
	15016	63,84	0,60	0,31	35,25	100,00
	15016/2	62,46	—	0,30	37,23	99,99
	15016/2	62,29	1,68	0,38	35,54	99,89
	15023/1	64,45	—	—	33,55	100,00
	15023/1	66,74	—	—	33,26	100,00
	15023/1	66,50	—	—	33,50	100,00
	15023/1	67,16	—	—	32,64	99,80
	15023/1	65,87	—	—	34,12	99,99
	15023/1	65,82	—	—	34,18	100,00
	15023/1	67,10	—	—	32,73	99,83
	15023/1	66,56	—	—	33,44	100,00
	среднее (12)	65,26	—	—	34,29	99,99
Хизлевудит	15023/1	71,96	—	—	28,03	99,99
	15023/1	71,86	—	—	28,16	100,02
	среднее (2)	71,90	—	—	28,10	100,00

Обсуждение результатов и выводы

Анализ химических составов хромшпинелидов в породах и рудах позволяет выделить единый тренд их эволюции, характеризующий уменьшение магнезиальности, глиноземистости и содержаний ванадия при увеличении содержаний хрома и железа. Данный тренд отражает изменение составов хромшпинелидов в мантийных условиях [11, 12] и, очевидно, обусловлен степенью рестирования вмещающих ультрамафитов. На подобные изменения состава хромшпинелидов обращали внимание зарубежные исследователи при изучении ультрамафитов из офиолитовых комплексов [13].

По химизму хромшпинелиды относятся к высокохромистым минералам (алюмохромитам и хромитам) и характеризуются палладиевой специализацией ЭПГ. По составу они отвечают минералам верхнемантийного субстрата с высокой степенью частичного плавления (25...41 %), который испытал пластические метаморфические преобразования при температурах 825 до 646 °C, и соответствуют хромшпинелидам из ультрамафитов глубоководных желобов (рис. 2, б).

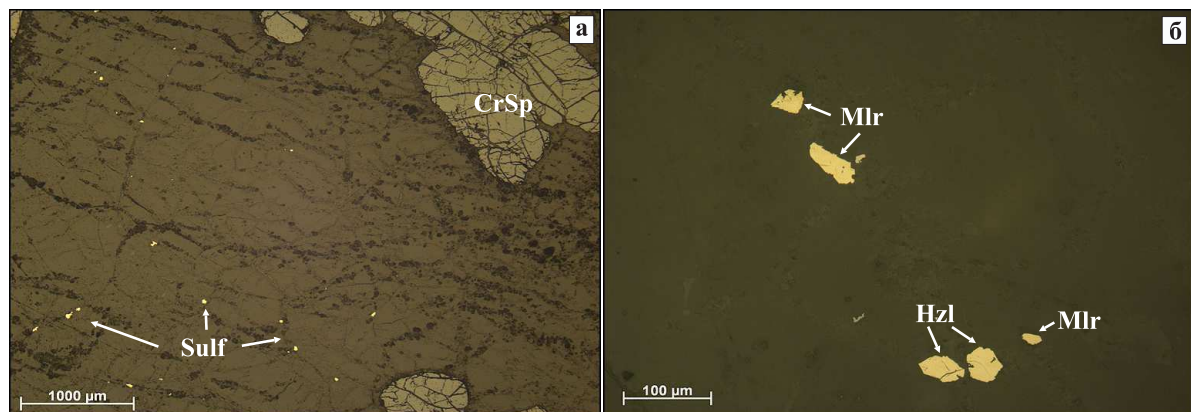


Рис. 4. Сульфидная минерализация в хромититах Агардагского массива: CrSp – хромшпинелиды; Sulf – сульфиды; Mlr – миллерит; Hzl – хизлевудит

Сульфидная минерализация, наблюдаемая в хромититах в виде рассеянной вкрапленности мелких зерен в интерстициях между индивидами хромшпинелидов, представлена поздними (эпигенетическими) выделениями миллерита и хизлевудита. Данные минералы, по предположению авторов, образовались в условиях низкотемпературного гидротермального процесса, который способствовал перераспределению никеля и обособлению его в виде самостоятельных минеральных фаз. При

этом миллерит, очевидно, формировался по хизлевудиту в условиях привноса серы.

Таким образом, в реститовых ультрамафитах выявляется эволюционная направленность в изменении химического состава хромшпинелидов и ассоциирующих с ними сульфидов, которая определяется, главным образом, условиями их деплетирования в верхней мантии, а также последующими метаморфогенными преобразованиями в земной коре.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козаков И.К., Ковач В.П., Ярмолюк В.В. и др. Корообразующие процессы в геологическом развитии Тувино-Монгольского массива: Sm-Nd изотопные и геохимические данные по гранитоидам // Петрология. – 2003. – Т. 11. – № 5. – С. 491–511.
2. Pfander J.A., Jochum K.P., Kozakov I., et al. Coupled evolution of back-arc and island arc – like mafic crust in the late – Neoproterozoic Agardagh Tes-Chem ophiolite, Central Asia: evidence from trace element and Sr-Nd-Pb isotope data // Contrib. Mineral Petrol. – 2002. – V. 143. – P. 154–174.
3. Гончаренко А.И. Деформация и петроструктурная эволюция альпинотипных гипербазитов. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1989. – 404 с.
4. Никитчин П.А. К вопросу о геологическом строении и хромитонности Агардагского гипербазитового массива / Материалы по геологии Тувинской АССР. Вып. 1. – Кызыл: Тув. кн. изд-во, 1969. – С. 43–47.
5. Агафонов Л.В., Лхамсүрэн Ж., Кужугет К.С., Ойдуп Ч.К. Платиноносность ультрамафит-мафитов Монголии и Тувы. – Уланбаатар: Монгольский государственный университет науки и технологии, 2005. – 224 с.
6. Reed S.J.B. Electron microprobe analysis and scanning electron microscopy in geology. – N.Y.: Cambridge University Press, 2005. – 189 p.
7. Павлов Н.В. Химический состав хромшпинелидов в связи с петрографическим составом пород ультраосновных интрузивов // Труды Геологического института РАН. – 1949. – Вып. 103. – 91 с.
8. Савельев Д.Е. Хромитонность гипербазитовых массивов Южного Урала: автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. – Пермь, 2012. – 42 с.
9. Леснов Ф.П., Подлипский М.Ю. Геохимия акцессорных хромшпинелидов из пород Эргакского хромитонного гипербазитового массива и условия его формирования (Западный Саян) // ДАН. – 2008. – Т. 422. – № 5. – С. 660–664.
10. Fabries J. Spinel-olivine Geothermometry in Peridotites from Ultramafic Complexes // Contrib. Miner. and Petrol. – 1979. – V. 69. – № 4. – P. 329–336.
11. Перевозчиков Б.В., Плотников А.В., Макиев Т.Т. Природа вариаций состава рудной и акцессорной хромшпинели ультрабазитового массива Сыум-Кеу (Полярный Урал) // Известия вузов. Геология и разведка. – 2007. – № 4. – С. 32–39.
12. Юричев А.Н., Чернышов А.И. Рудная минерализация идарского дунит-гарцбургитового комплекса (Северо-Запад Восточного Саяна) // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 321. – № 1. – С. 69–75.
13. Dick H.J.B., Bullen T. Chromian spinel as a petrogenetic indicator in abyssal and alpine-type peridotites and spatially associated lavas // Contrib. Mineral. Petrol. – 1984. – V. 84. – P. 54–76.

Поступила 10.12.2012 г.