

АКЦЕССОРНЫЕ СУЛЬФИДЫ И АРСЕНИДЫ ИЗ ХРОМИТИТОВ ЭРГАКСКОГО УЛЬТРАМАФИТОВОГО МАССИВА, ЗАПАДНЫЙ САЯН

Объект исследования – акцессорная минерализация (сульфиды, сульфоарсениды и арсениды), обнаруженная в массивных хромититах Эргакского ультрамафитового массива, являющегося северо-восточным фрагментом Куртушибинского офиолитового пояса Западного Саяна. Выделены три парагенетические ассоциации рудных минералов, связанные с различными процессами становления и преобразования вмещающих их хромититов. Охарактеризованы типоморфные и химические особенности рудных минералов.

Ключевые слова: Западный Саян, Эргакский массив, ультрамафиты, хромититы, акцессорные сульфиды и арсениды, химизм, генезис.

Ультрамафиты офиолитовых комплексов, являющиеся составной частью мафит-ультрамафитовых поясов складчатых областей, привлекают повышенное внимание исследователей как с позиции генезиса, учитывая их мантийную природу образования и связь с ранними этапами развития складчатых сооружений, так и с позиции рудоносности – своими промышленной хромитоносностью с включением минералов ЭПГ, асбестоносностью и никеленосностью латеритного типа (коры выветривания).

Из рудной минерализации, отмечаемой в реститовых ультрамафитах, только минералогия шпинелидов и минералов ЭПГ к настоящему времени наиболее хорошо изучена. Другие, встречающиеся здесь же, акцессорные рудные минералы (самородные фазы, сульфиды, сульфоарсениды, арсениды) в публикациях освещены значительно слабее.

Основные сложности при поиске и интерпретации акцессорных рудных минералов в реститовых ультрамафитах связаны с их крайне малыми размерами (5–20 мкм, редко до 2 мм), а также с незначительным содержанием в породах – от 0,01 до 0,2%. С помощью рентгеноспектрального микроанализа изучены акцессорные сульфиды, сульфоарсениды и арсениды в хромититах Эргакского ультрамафитового массива, входящего в состав Куртушибинского офиолитового пояса Западного Саяна.

Геологическое строение. Эргакский ультрамафитовый массив представляет собой крайний северо-восточный фрагмент Куртушибинского офиолитового пояса, выделенного ранее в северо-восточной части Западного Саяна [6, 7]. В плане он имеет овальную форму размером 14×8 км и вытянут в субмеридиональном направлении (рис. 1). Тектоническим нарушением субширотного простираения массив разделён на два блока с индивидуальными внутренним строением и петрографическим составом: южный – Лысанский (~75 км²) и северный – Малоэргакский (~10 км²), кото-



**Юричев
Алексей Николаевич**

кандидат геолого-минералогических наук
доцент кафедры петрографии,
старший научный сотрудник лаборатории
геохронологии и геодинамики
juratur@sibmail.com

Национальный исследовательский
Томский государственный университет,
г. Томск



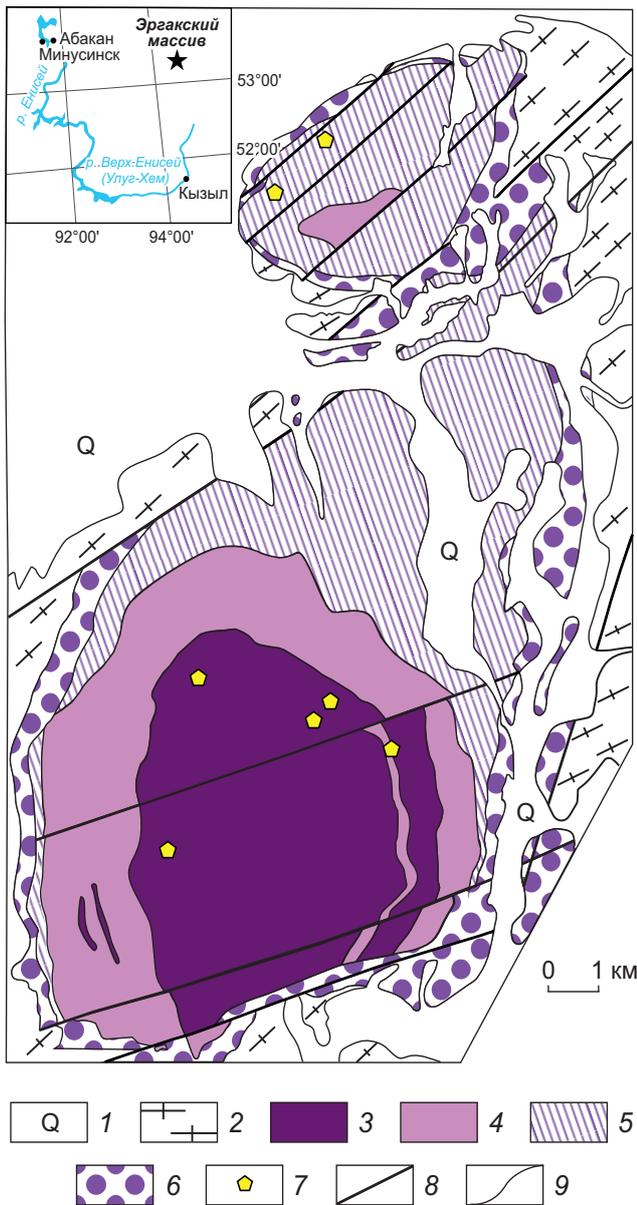


Рис. 1. СХЕМАТИЗИРОВАННАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА ЭРГАКСКОГО УЛЬТРАМАФИТОВОГО МАССИВА (по [4, 10] с корректировками автора):

1 – четвертичные аллювиальные отложения; 2 – венд-нижнекембрийская чингинская серия, V-Є₁chп (базальты, трахибазальты, глинисто-кремнистые, углеродисто-глинисто-кремнистые, хлорит-кремнистые сланцы, микро-кварциты, прослои и линзы метаалевролитов, метапесчаников, метагравелитов, метакогломератов); 3 – гарцбургиты; 4 – дуниты, оливиниты; 5 – серпентиниты, серпентинизированные ультрамафиты нерасчленённые; 6 – серпентиновый меланж; 7 – рудопроявления хромититов; 8 – разрывные нарушения, разломы; 9 – геологические границы

рые по периферии охвачены тектоническим серпентинитовым меланжем. В строении Лысанского блока участвуют ультрамафиты реститового дунит-гарцбургитового полосчатого комплекса. Он сложен ритмично переслаивающимися дунитами и гарцбургитами, претерпевшими интенсивные пластические деформации [9]. В Малоэргакском блоке дуниты и гарцбургиты нередко преобразованы в регенерированные серпентин-оливиновые метаультрамафиты и оливиниты. По периферии блоков широко распространены серпентиниты. Рудопроявления хромититов выявлены в обеих частях массива, и в большинстве своём характеризуются от густовкрапленной до сливной текстурами. Они приурочены преимущественно к дунитам и оливинитам и контролируются полосчатой внутренней структурой массива. По химическому составу хромшпинелиды соответствуют алюмохромитам и хромитам [10].

Эргакский ультрамафитовый массив входит в состав Верхнеамыльского потенциально хромитоносного района, перспективы которого неоднократно рассматривались в работах предшественников [2–4, 10, 13]. При этом в выявленных хромититах также нередко отмечаются содержания минералов ЭПГ [3, 4].

Методика исследования. В соответствии с задачами настоящего исследования был использован традиционный подход к минераграфическому изучению рудных минералов с определением химического состава фаз рентгеновским микроанализом, применением метода растровой электронной микроскопии [15]. Последний включал исследование отдельных зёрен сульфидов, сульфоарсенидов, арсенидов и их агрегатов на сканирующем электронном микроскопе с последующими энергодисперсионным и волнодисперсионным микроанализами. Использовались аппаратура: электронные микроскопы TESCAN Vega 3 SBH, Tescan Vega II LMU с энергодисперсионной (с детектором Si(Li) Standard) INCA Energy 350 и волнодисперсионной INCA Wave 700 приставками. Перед исследованием из отобранных образцов дунитов и хромититов изготавливались плоскопараллельные аншлифы толщиной 3–4 мм с последующим напылением на их изучаемые поверхности слоя углерода (~25–30 нм). Измерения проводились на вольфрамовом катоде при ускоряющем напряжении 20 кВ, текущем токе 15 нА и времени набора спектра 120 с. Диаметр пучка зонда ~2 мкм. Эталонами сравнения служи-

ли стандарты МАС (55 standard Universal Block Layout+F/Cup № 6835). Все анализы выполнены в ЦКП «Аналитический центр геохимии природных систем» ТГУ (аналитик Е.В.Корбовяк). Расчёты химических составов проводились по программе INCA-Issue 18b и дополнительным авторским программам.

Анализ полученных результатов. Исследование акцессорной минерализации выполнено в массивных хромититах Эргакского массива, сложенных в основном хромшпинелидами и по текстурным особенностям разделяемых на густовкрапленные и сливные (рис. 2). Первые состоят на 70–80% из мелко-среднезернистого (0,5–3,0 мм) агрегата зёрен хромшпинелидов и сопровождаются небольшим количеством силикатов, представленных реликтами оливина, серпентином, хромсодержащим хлоритом – киммереритом с примесью талька; вторые – на ~95–97% из мелкозернистого (0,5–2 мм) преимущественно сплошного агрегата хромитовых зёрен при незначительном содержании силикатов в его пределах. Густовкрапленные и сливные хромититы характеризуются близким гомогенным составом. Они умеренно-высокохромисты (Cr_2O_3 ~47–62%) и высокомагнезиальны (MgO ~13–15%).

Выявление акцессорной минерализации в отобранных образцах массивных хромититов стало возможно только путём их детального изучения под микроскопом. В ходе диагностики установлены сульфиды – пентландит $(\text{Ni,Fe})_9\text{S}_8$, кобальтпентландит $(\text{Ni,Co,Fe})_9\text{S}_8$, миллерит NiS , мышьяк содержащий миллерит Ni(S,As) , железистый миллерит $(\text{Ni,Fe})\text{S}$, хизлевудит Ni_3S_2 , железистый хизлевудит $(\text{Ni,Fe})_3\text{S}_2$, галенит PbS , акантит Ag_2S , пирит FeS_2 , халькозин Cu_2S , железистый халькозин $(\text{Cu,Fe})_2\text{S}$, халькопирит CuFeS_2 , стибнит Sb_2S_3 , сульфоарсениды – герсдорфит NiAsS и арсениды – маухерит $\text{Ni}_{11}\text{As}_8$, никелин NiAs .

Сульфиды. Наиболее распространённая и широко представленная по разновидностям группа минералов. Они встречаются в виде мелкозернистых (~5–20 мкм) или агрегативных выделений (до 0,15 мм) как в интерстициях зёрен хромшпинелидов, так и внутри их.

Пентландит (роль Ni возрастает до 43%) наблюдается преимущественно в силикатных интерстициях, намного реже внутри хромшпинелидов. Если в последних он формирует только единичные обособленные мелкие зёрна (до 20 мкм), то в интерстициях также представлен агрегативными выделе-

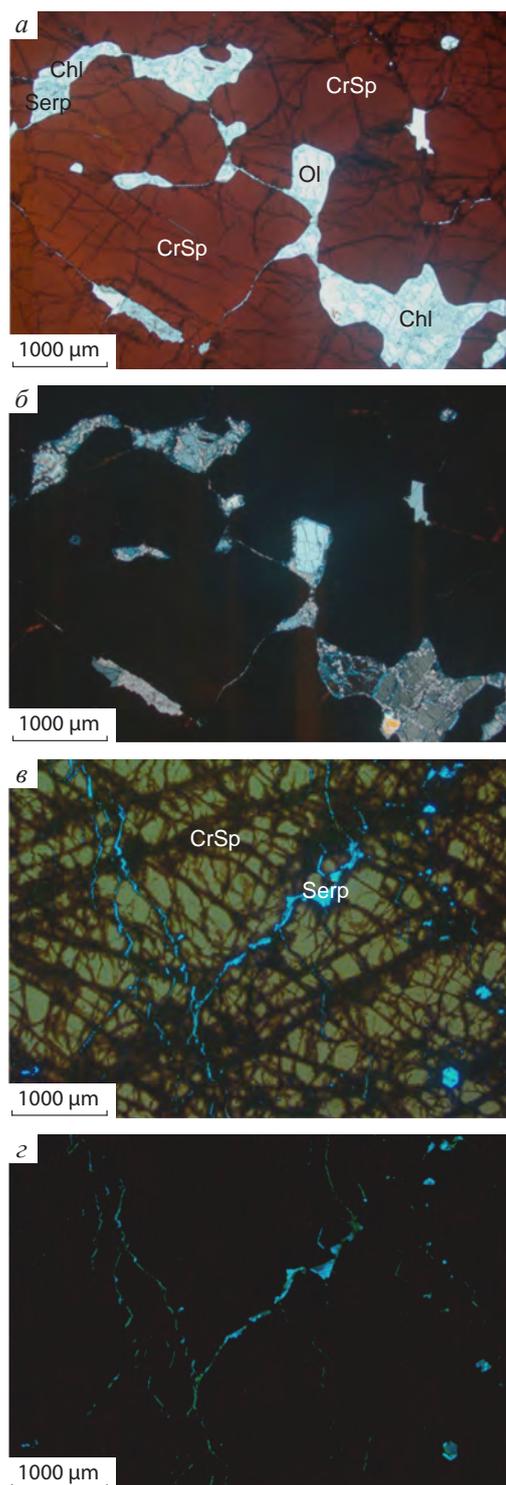


Рис. 2. МАССИВНЫЕ ХРОМИТИТЫ ИЗ ЭРГАКСКОГО УЛЬТРА-МАФИТОВОГО МАССИВА:

a, б – густовкрапленный хромитит; *в, з* – сливной хромитит. Фото шлифов в проходящем свете без анализатора (*a, в*) и с анализатором (*б, з*). CrSp – хромшпинелид; Ol – оливин; Serp – серпентин; Chl – хлорит (киммерерит)

ниями неправильной формы размером до 0,1 мм, по которым активно развивается миллерит (рис. 3, а–в). Нередко вокруг обособленных зёрен пентландита фиксируются каёмки замещения магнетитом. Такие зёрна характеризуются округлым обликом с корродированными границами.

В виде изоморфной примеси в химическом составе никелистых пентландитов постоянно присутствует кобальт (до 4,7%). Выявлено единичное зерно с содержанием Co ~15,3%, которое автором отнесено к кобальтпентландиту (табл. 1).

Миллерит – второй по распространению сульфид, развит повсеместно. Содержится преимущественно в виде самостоятельных округлых или удлинённых зёрен размером до 10 мкм, реже в виде зернистых агрегативных выделений размером до 0,15 мм, которые образуются по пентландиту или «залечивают» трещинки в зёрнах хромшпинелидов (см. рис. 3, в–д). Выделения характеризуются корродированными границами и неправильной формой.

По особенностям химического состава минерала автором выделяются железистая (с содержанием Fe до 13,5%) и мышьяксодержащая (As до 4,4%) разновидности. При этом железистый миллерит отмечается только в виде включений в зёрнах хромшпинелидов, в своём химическом составе имеет примесь Co до 5,9% (см. табл. 1) и часто находится в тесной ассоциации с сульфоарсенидами ЭПГ (см. рис. 3, е).

Хизлевудит встречается в виде мелких (до 0,02 мм) зернистых агрегативных выделений неправильной формы как в силикатах интерстиций, так и в хромитовом цементе (см. рис. 3, ж, з). В его химическом составе постоянно диагностируется примесь железа (до 2,5%). Образцы с повышенным содержанием железа (до 11%) отнесены автором к железистой разновидности (см. табл. 1).

Галенит распространён достаточно широко и отмечается в виде мелких (до 0,01 мм) обособленных зёрен округлой, неправильной формы в неоднородностях зёрен хромшпинелидов (рис. 4, а, б; см. рис. 3, и). Его химический состав близок к стехиометрическому и практически стерилен. Исключением является редкое присутствие в составе примеси железа (до 1,4%) (табл. 2).

Акантит близок по распространению к галениту и также в основном связан с неоднородностями в хромитовом цементе. Минерал содержится в виде мельчайших (до 5 мкм) агрегативных выде-

лений неправильной формы, часто в тесной ассоциации с самородным серебром (см. рис. 4, в–д). Последнее обстоятельство, наряду с малыми размерами акантита, усложняет диагностику его собственного химического состава из-за «заражения» серебром.

Остальные выявленные сульфиды (пирит, халькозин и его железистая разновидность, халькопирит, стибнит) распространены крайне редко. Они обнаружены и изучены на примере нескольких мелких (~5–10 мкм) самостоятельных проявлений, локализованных преимущественно в зонах трещиноватости хромитовых зёрен (см. рис. 3, б, рис. 4, е, ж). Данная группа сульфидов характеризуется беспримесными «чистыми» составами, близкими к стехиометрическим (см. табл. 1, 2). Халькозин часто ассоциирует с миллеритом, а его железистая разновидность (содержание Fe до 11,1%) – с железистым миллеритом и никелистым пентландитом (см. рис. 3, б).

Сульфоарсениды. Имеют крайне ограниченное распространение. Изучены на примере одного зерна субизометрической формы размером ~0,6 мкм, включённого в зерно хромшпинели. По химическому составу выявленный сульфоарсенид соответствует герсдорфиту с примесью кобальта (~0,71%), железа (~0,07%) и сурьмы (~1,84%) (см. табл. 2). Первые два элемента, очевидно, изоморфно замещают в формуле никель, а последний – мышьяк.

Арсениды. Являются второй группой по распространённости после сульфидов в хромититах Эргакского массива и представлены маухеритом и никелином.

Маухерит присутствует в виде мелких (до 4 мкм) обособленных субизометрических зёрен четырёхгранного или пятигранного облика внутри зёрен хромшпинелидов (см. рис. 4, з, и). Химический состав минерала близок к стехиометрическому, в качестве изоморфной примеси в нём постоянно присутствует сурьма (до 1,02%) (см. табл. 2).

Никелин установлен единожды в хромитовом цементе в виде мелкого (~4–5 мкм) округлого выделения-сростка с брейтгауптитом (NiSb). Химический состав минерала близок к стехиометрическому (см. табл. 2).

В заключение сделаем следующие выводы.

Акцессорная минерализация (сульфиды, сульфоарсениды, арсениды) в реститовых ультрамафитах Куртушибинского офиолитового пояса Запад-

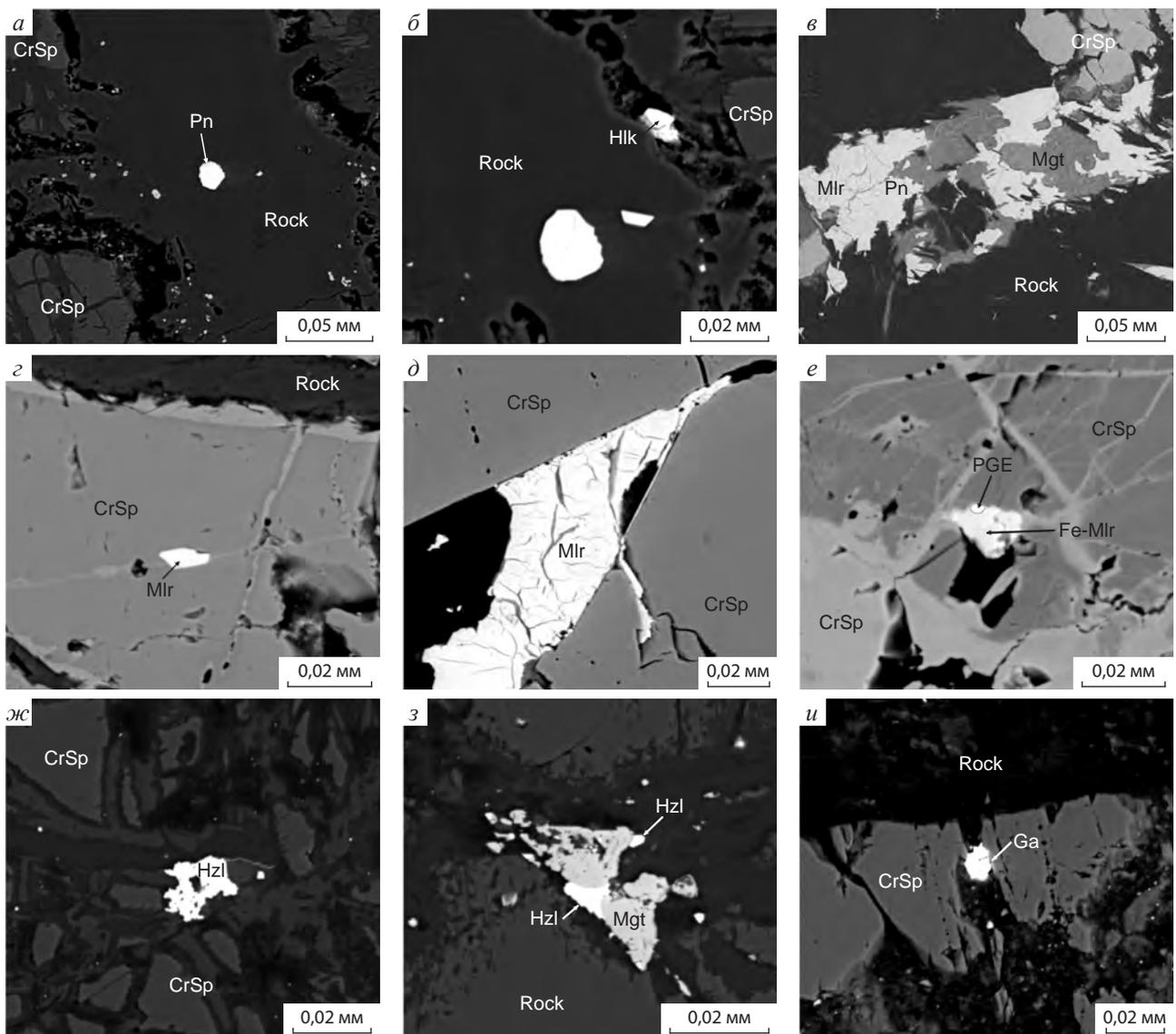


Рис. 3. АКЦЕССОРНАЯ СУЛЬФИДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ ИЗ ХРОМИТИТОВ ЭРГАКСКОГО УЛЬТРАМАФИТОВОГО МАССИВА (режим BSE):

Pn – пентландит; Mlr – миллерит; Fe-Mlr – железистый миллерит; Hzl – хизлевудит; Hlk – халькозин; Ga – галенит; PGE – сульфоарсенид ЭПГ; CrSp – хромшпинелид; Mgt – магнетит; Rock – силикатные интерстиции

ного Саяна практически не изучена. Ранее при проведении тематических исследований данных массивов на хромитовое оруденение ей не уделялось должного внимания несмотря на то, что входящие в её состав рудные минералы служат источником уникальной информации об условиях формирования вмещающих их ультрамафитов [5, 11, 12, 14]. Настоящее исследование даёт новые данные по минералогии и распределению акцессорной сульфидной, сульфоарсенидной и арсенидной минерали-

зации в массивных подиформных хромититах Эргакского ультрамафитового массива.

Полученные результаты показывают, что преобладающими акцессорными минералами являются сульфиды при резко подчинённой роли сульфоарсенидов и арсенидов. По химическому составу, типоморфным особенностям и взаимоотношению друг с другом изученную акцессорную минерализацию можно разделить на три генерации (или парагенетические ассоциации), связанные с различ-

**1. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ АКЦЕССОРНЫХ СУЛЬФИДОВ ПЕРВОЙ И ВТОРОЙ ПАРАГЕНЕТИЧЕСКИХ АССОЦИАЦИЙ
ИЗ МАССИВНЫХ ХРОМИТИТОВ ЭРГАКСКОГО МАССИВА, %**

Минералы	Ni	Co	Fe	Cu	S	As	Сумма	Формула
Пирит	Включения в зёрнах хромшпинелидов							
	–	–	44,66	–	55,18	–	99,84	Fe _{0,93} S _{2,07}
	–	–	45,52	–	54,63	–	100,15	Fe _{0,96} S _{2,04}
Халькопирит	Включения в зёрнах хромшпинелидов							
	–	–	29,49	34,02	35,79	–	99,31	Cu _{0,96} Fe _{0,95} S _{2,09}
Пентландит	Самостоятельные зёрна в интерстициях							
	42,92	2,19	21,30	–	33,59	–	100	(Ni _{5,59} Co _{0,29} Fe _{2,92}) _{8,80} S _{8,20}
	43,07	2,19	21,66	–	33,08	–	100	(Ni _{5,69} Co _{0,29} Fe _{3,01}) _{8,99} S _{8,01}
	41,51	1,25	23,64	–	33,60	–	100	(Ni _{5,40} Co _{0,16} Fe _{3,23}) _{8,79} S _{8,21}
	41,31	2,57	23,20	–	32,92	–	100	(Ni _{5,48} Co _{0,34} Fe _{3,23}) _{9,05} S _{7,95}
	40,92	2,99	22,84	–	33,25	–	100	(Ni _{5,38} Co _{0,39} Fe _{3,16}) _{8,93} S _{8,07}
	Включения в зёрнах хромшпинелидов							
	37,79	4,69	24,37	–	33,14	–	99,99	(Ni _{4,98} Co _{0,62} Fe _{3,38}) _{8,98} S _{8,02}
45,05	3,10	18,24	–	32,61	–	99,00	(Ni _{6,04} Co _{0,41} Fe _{2,57}) _{9,02} S _{7,98}	
Кобальтпентландит	Самостоятельные зёрна в интерстициях							
	36,97	14,30	16,06	–	32,67	–	100	(Ni _{4,94} Co _{1,90} Fe _{2,26}) _{9,10} S _{7,90}
Миллерит	Включения в зёрнах хромшпинелидов							
	63,25	–	0,26	–	36,30	–	99,82	(Ni _{0,95} Fe _{0,01}) _{0,96} S _{1,04}
	64,20	–	–	–	35,29	–	99,49	Ni _{1,00} S _{1,00}
	63,14	–	0,76	–	36,26	–	100,16	(Ni _{0,95} Fe _{0,01}) _{0,96} S _{1,04}
	Самостоятельные зёрна и агрегативные выделения в интерстициях							
	63,68	–	–	–	35,78	–	99,46	Ni _{0,97} S _{1,00}
	66,04	–	–	–	33,45	–	99,49	Ni _{1,07} S _{0,93}
	60,95	1,23	1,33	–	36,59	–	100,11	(Ni _{0,91} Co _{0,02} Fe _{0,02}) _{0,95} S _{1,05}
	62,40	–	1,34	–	35,15	–	98,89	(Ni _{0,97} Fe _{0,02}) _{0,99} S _{1,01}
	Включения в интерстициях, замещение по пентландиту							
63,33	–	1,31	–	35,36	–	100	(Ni _{0,98} Fe _{0,02}) _{1,00} S _{1,00}	
62,10	–	0,91	–	34,48	–	97,49	(Ni _{0,98} Fe _{0,02}) _{1,00} S _{1,00}	
Железистый миллерит	Включения в зёрнах хромшпинелидов							
	45,55	5,91	12,17	–	36,59	–	100,21	(Ni _{0,68} Co _{0,09} Fe _{0,19}) _{0,96} S _{1,04}
	52,04	–	13,45	–	33,42	–	98,92	(Ni _{0,85} Fe _{0,23}) _{1,08} S _{0,92}
	51,06	3,14	11,09	–	33,18	–	98,47	(Ni _{0,84} Co _{0,05} Fe _{0,19}) _{1,08} S _{0,92}
	61,18	–	3,78	–	34,28	–	99,24	(Ni _{0,97} Fe _{0,06}) _{1,03} S _{0,97}
61,12	–	4,03	–	34,52	–	99,67	(Ni _{0,97} Fe _{0,06}) _{1,03} S _{0,97}	
Мышьяк-содержащий миллерит	Включения в зёрнах хромшпинелидов							
	61,88	–	0,88	–	32,22	4,38	99,35	(Ni _{0,99} Fe _{0,01}) _{1,00} (S _{0,94} As _{0,06}) _{1,00}
	Агрегативные выделения в интерстициях							
56,20	1,68	5,69	–	33,32	3,11	100	(Ni _{0,89} Co _{0,02} Fe _{0,09}) _{1,00} (S _{0,96} As _{0,04}) _{1,00}	
Хизлевудит	Включения в зёрнах хромшпинелидов							
	71,67	–	0,74	–	27,59	–	100	(Ni _{2,84} Fe _{0,03}) _{2,87} S _{2,13}
	71,71	–	0,78	–	27,51	–	100	(Ni _{2,85} Fe _{0,03}) _{2,88} S _{2,12}
	70,42	–	1,79	–	27,32	–	99,53	(Ni _{2,82} Fe _{0,08}) _{2,90} S _{2,10}
	Агрегативные выделения в интерстициях							
	70,35	–	2,59	–	27,06	–	100	(Ni _{2,84} Fe _{0,11}) _{2,95} S _{2,05}
69,70	0,54	1,84	–	27,56	–	99,64	(Ni _{2,76} Co _{0,02} Fe _{0,08}) _{2,86} S _{2,14}	
69,96	–	1,20	–	27,16	–	98,32	(Ni _{2,82} Fe _{0,05}) _{2,87} S _{2,13}	
Fe-хизлевудит	Агрегативные выделения в интерстициях							
62,40	–	10,92	–	26,63	–	99,95	(Ni _{2,56} Fe _{0,47}) _{3,03} S _{1,97}	
Халькозин	Тонкозернистые агрегативные выделения в интерстициях							
–	–	2,84	76,61	20,20	–	99,65	(Cu _{1,91} Fe _{0,08}) _{1,99} S _{1,01}	
Fe-халькозин	Включения в зёрнах хромшпинелидов							
	–	–	11,11	66,97	21,26	–	99,34	(Cu _{1,59} Fe _{0,30}) _{1,89} S _{1,11}
	–	–	4,27	74,22	21,42	–	99,91	(Cu _{1,75} Fe _{0,12}) _{1,87} S _{1,13}

**2. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ АКЦЕССОРНЫХ СУЛЬФИДОВ, СУЛЬФОАРСЕНИДОВ И АРСЕНИДОВ
ТРЕТЬЕЙ ПАРАГЕНЕТИЧЕСКОЙ АССОЦИАЦИИ, ОТМЕЧАЕМЫХ В ВИДЕ ВКЛЮЧЕНИЙ В ЗЁРНАХ ХРОМШПИНЕЛИДОВ
ИЗ МАССИВНЫХ ХРОМИТИТОВ ЭРГАКСКОГО МАССИВА, %**

Минералы	Ni	Co	Fe	Pb	Ag	Sb	S	As	Сумма	Формула
Галенит	–	–	–	85,84	–	–	13,43	–	99,27	$Pb_{0,99}S_{1,01}$
	–	–	–	85,56	–	–	13,67	–	99,23	$Pb_{0,97}S_{1,03}$
	–	–	–	86,02	–	–	13,69	–	99,71	$Pb_{0,97}S_{1,03}$
	–	–	0,31	86,39	–	–	13,60	–	100,29	$(Pb_{0,98}Fe_{0,01})_{0,99}S_{1,01}$
	–	–	–	86,32	–	–	13,71	–	100,03	$Pb_{0,98}S_{1,02}$
	–	–	1,41	84,42	–	–	13,71	–	99,55	$(Pb_{0,95}Fe_{0,05})_{1,00}S_{1,00}$
	–	–	–	86,37	–	–	13,75	–	100,12	$Pb_{0,97}S_{1,03}$
	–	–	–	85,47	–	–	13,75	–	99,22	$Pb_{0,96}S_{1,04}$
Акантит	–	–	–	–	86,74	–	13,44	–	100,18	$Ag_{1,92}S_{1,08}$
	–	–	–	–	89,39	–	10,03	–	99,42	*
	–	–	–	–	88,92	–	10,46	–	99,38	*
	–	–	2,64	–	87,26	–	10,16	–	100,06	*
Стибнит	–	–	–	–	–	72,27	27,87	–	100,14	$Sb_{2,04}S_{2,96}$
Герсдорфит	32,66	0,71	0,07	–	–	1,84	18,88	45,24	99,39	$(Ni_{0,95}Co_{0,02})_{0,97}(As_{1,02}Sb_{0,02})_{1,04}S_{0,99}$
	51,67	–	–	–	–	0,90	–	47,34	99,91	$Ni_{1,01}(As_{7,90}Sb_{0,09})_{7,99}$
Маухерит	50,95	–	–	–	–	0,90	–	47,02	98,87	$Ni_{10,94}(As_{7,97}Sb_{0,09})_{8,06}$
	51,41	–	–	–	–	1,02	–	46,99	99,42	$Ni_{11,02}(As_{7,88}Sb_{0,10})_{7,98}$
Никелин	43,82	–	–	–	–	–	–	56,12	99,94	$Ni_{1,00}As_{1,00}$

Примечание. * – «заражение» химического состава минерала присутствием механической примеси самородного серебра.

ными процессами становления и преобразования вмещающих их хромититов.

К первой генетической группе, по-видимому, относятся «первично мантийные» рудные минералы. Из хромититов Эргакского массива автором к ней причислены пирит и халькопирит, отмечаемые в виде мелких обособленных включений в зёрнах хромшпинелидов и характеризующиеся стерильными составами, близкими к стехиометрическим. Наличие халькопирита в составе первой парагенетической ассоциации, наряду с ранее полученными выводами по минерализации ЭПГ (не выявлено ни одного включения металлического твёрдого раствора системы Os–Ir–Ru при постоянном присутствии дисульфидов ряда лаурит–эрликманит) [3, 4], может свидетельствовать о высоком парциальном давлении серы на момент формирования эргакских хромититов.

Акцессорные рудные минералы второй парагенетической ассоциации представлены наиболее широко и встречаются как в силикатных интерстициях, так и в основной хромитовой матрице. К данной группе отнесены исключительно сульфиды (пентландит, кобальтпентландит, миллерит и его железистая разновидность, хизлевудит и его желе-

зистая разновидность, халькозин и его железистая разновидность). Их формирование автор склонен связывать с массовой лизардитизацией хромититов и включающих их дунитов во время регрессивного регионального метаморфизма [11, 14], когда высвобождавшиеся при серпентинизации оливинов никель и кобальт соединялись с серой гидротермальных растворов и кристаллизовались преимущественно в виде сульфидов системы Fe–Ni–Co–S. Характерная особенность данной минеральной ассоциации – присутствие в ней в основном сульфидов никеля и железа с высокой изоморфной примесью кобальта и развитием процессов взаимодиффузии компонентов, что приводит к образованию редких разновидностей сульфидных минералов (никелистого и кобальтистого пентландитов, железистых разновидностей миллерита, хизлевудита, халькозина), и почти полное отсутствие медьсодержащих сульфидов. Исключением является только халькозин, который, вероятно, формировался по первичному халькопириту.

Сульфиды второй парагенетической ассоциации (железистые миллериты) в хромититах Эргакского массива часто находятся в тесной ассоциации с сульфоарсенидами ЭПГ. Ранее подобная связь

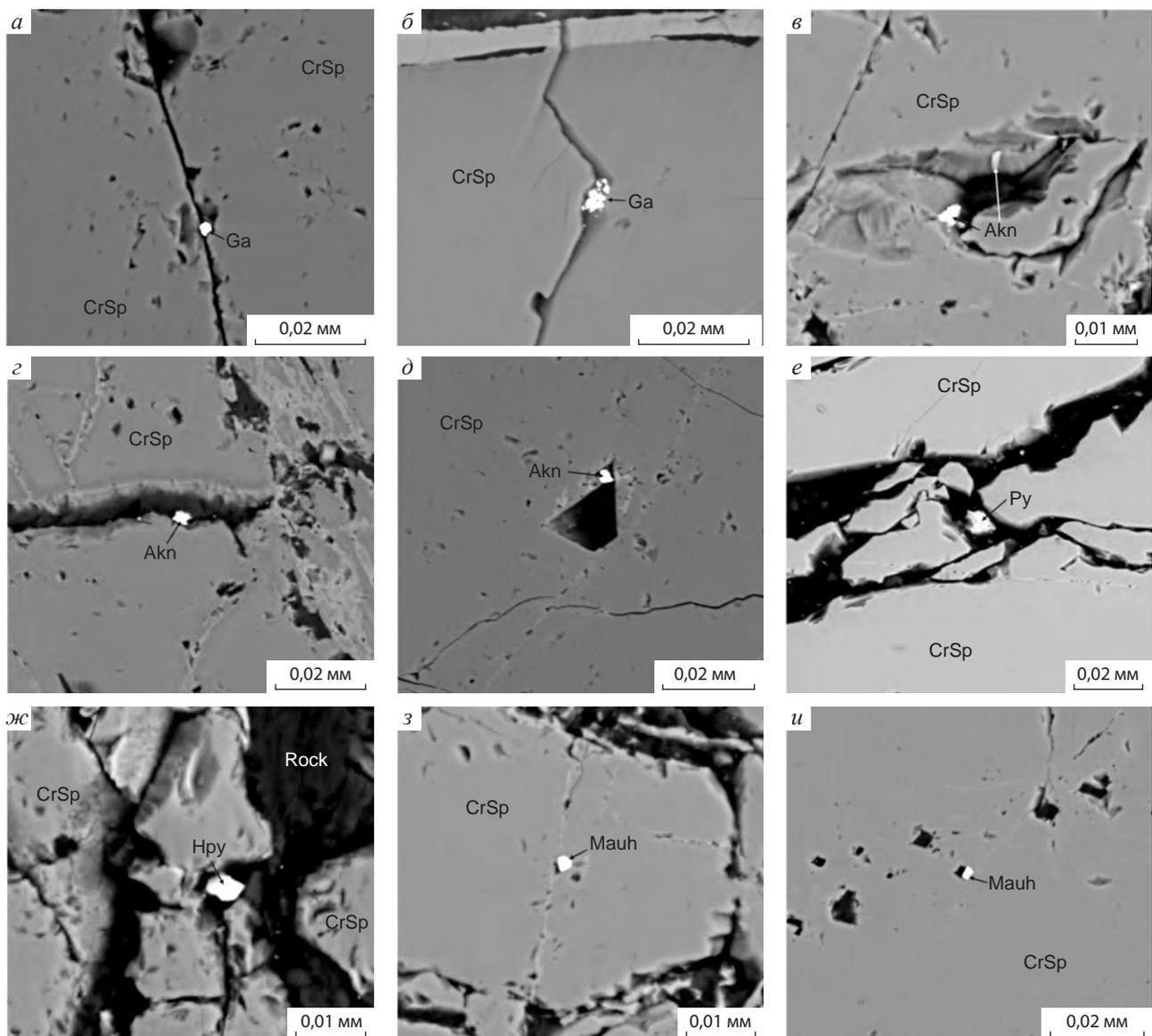


Рис. 4. АКЦЕССОРНАЯ СУЛЬФИДНАЯ И АРСЕНИДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ ИЗ ХРОМИТИТОВ ЭРГАКСКОГО УЛЬТРАМАФИТОВОГО МАССИВА (режим BSE):

Ga – галенит; Akn – акантит; Py – пирит; Hpy – халькопирит; Mauh – маухерит; CrSp – хромшпинелид; Rock – силикатные интерстиции

отмечалась в реститовых ультрамафитах Урала [1, 5, 8], что, очевидно, указывает на одновременное (или близкое по времени) формирование сульфидов данной парагенетической ассоциации и вторичных сульфидов и сульфоарсенидов ЭПГ, а также на их возможную связь с едиными процессами регрессивного регионального метаморфизма.

Третья парагенетическая ассоциация представлена сульфидами (галенитом, акантитом, стибни-

том), сульфоарсенидом (герсдорфитом) и арсенидами (маухеритом, никелином). Для неё характерно накопление редких «нетипичных» для реститовых ультрамафитов элементов (Pb, Ag, Sb, As), которые выступают не в качестве примесей, а становятся минералообразующими. Появление данной ассоциации автор предположительно связывает с процессом ремобилизации элементов под воздействием просачивающихся более поздних наложен-

ных флюидов, богатых летучими (S, As) и цветными элементами.

Выделенный в отдельную разновидность мышьяксодержащий миллерит (As до 4,4%), особен-

ность которого состоит в замещении части серы мышьяком, очевидно, является переходной разновидностью от второй парагенетической ассоциации к сульфоарсенидным фазам третьей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дистлер В.В., Крячко В.В., Юдовская М.А. Условия образования оруденения платиновых металлов в хромитовых рудах Кемпирсайского рудного поля // Геология рудных месторождений. 2003. Т. 45. № 1. С. 44–74.
2. Забияка А.И. Верхнеамыльский хромитоносный район // Геология и полезные ископаемые Красноярского края. Красноярск, 2008. Вып. 9. С. 314–324.
3. Кривенко А.П., Подлипский М.Ю., Агафонов Л.В. Рудная минерализация гипербазитов Эргакского массива и перспективы его хромитоносности // Состояние и освоение природных ресурсов Тувы и сопредельных регионов Центральной Азии. Геоэкология природной среды и общества. Кызыл, 2005. Вып. 8. С. 32–44.
4. Кривенко А.П., Подлипский М.Ю., Кубышев А.И., Катанов С.Г. Перспективы хромитоносности и платиноносности гипербазитов Верхнеамыльского района в Западном Саяне // Минеральные ресурсы Красноярского края. Красноярск, 2002. Кн. 1. С. 314–324.
5. Макеев А.Б. Минералогия альпинотипных ультрабазитов Урала. – СПб.: Наука, 1992.
6. Петрология и метаморфизм древних офиолитов (на примере Полярного Урала и Западного Саяна) / В.С.Соболев, Н.Л.Добрецов, Ю.Е.Молдавцев и др. – Новосибирск: Наука, 1977.
7. Подвижность редких элементов при субдукционном метаморфизме (на примере глаукофановых сланцев Куртушибинского хребта, Западный Саян) / Н.И.Волкова, С.И.Ступаков, Г.А.Бабин и др. // Геохимия. 2009. № 4. С. 401–414.
8. Савельев Д.Е., Сергеев С.Н., Блинов И.А. Акцессорная минерализация в хромититах мантийного разреза офиолитов Крака // Вестн. Академии наук Республики Башкортостан. 2018. Т. 29. № 4. С. 63–72.
9. Чернышов А.И., Кичеева А.В., Подлипский М.Ю. Петроструктурные неоднородности ультрамафитов Эргакского хромитоносного массива (Западный Саян) // ЗРМО. 2016. Т. 145. № 5. С. 25–38.
10. Чернышов А.И., Лоскутов И.Ю., Кичеева А.В., Подлипский М.Ю. Потенциальная хромитоносность ультрамафитов Эргакского массива, северо-восток Западного Саяна // Руды и металлы. 2018. № 1. С. 47–53.
11. Юричев А.Н. Акцессорные сульфиды из реститовых ультрамафитов // Руды и металлы. 2015. № 2. С. 29–35.
12. Юричев А.Н. Акцессорные сульфиды Кемпирсайского ультрамафитового массива, Южный Урал // Руды и металлы. 2018. № 4. С. 67–75.
13. Юричев А.Н. Калнинский ультрамафитовый массив Западного Саяна: рудная минерализация и ее генетическая природа // Изв. Томского политехнического университета. 2015. Т. 326. № 2. С. 61–69.
14. Economou M.I., Naldrett A.J. Sulfides associated with podiform bodies of chromite at Tsangli, Ermetria, Greece // Miner. Deposits. 1984. Vol. 19. № 4. P. 289–297.
15. Reed S.J.B. Electron microprobe analysis and scanning electron microscopy in geology. – N.Y.: Cambridge University Press, 2005.

ACCESSORY SULPHIDES AND ARSENIDES FROM CHROMYTITES OF ERGAKSKY ULTRAMAFIC MASSIF, WESTERN SAYANY AREA

A.N.Yurichev (Tomsk State University, Tomsk)

The study focus is on accessory mineralization (sulphides, sulphoarsenides and arsenides) found in massive chromitites of Ergaksky ultramafic massif, which is a north-eastern fragment of Kurtushibinsky ophiolite belt of the Western Sayany area. Three paragenetic associations of ore minerals associated with various processes of formation and transformation of chromitites hosting them are identified. Typomorphic and chemical features of ore minerals are characterized.

Keywords: Western Sayany area, Ergaksky massif, ultramafites, chromitites, accessory sulphides and arsenides, chemistry, genesis.