

## СУЛЬФИДЫ ИЗ УЛЬТРАМАФИТОВ ОФИОЛИТОВ: СТРУКТУРНЫЕ И ХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ, ВОПРОСЫ ГЕНЕЗИСА

А.Н. Юричев

*Томский государственный университет, г. Томск, juratur@sibmail.com*

Ультрамафитовые массивы дунит-гарцбургитового состава, входящие в состав офиолитовых комплексов, являются составной частью мафит-ультрамафитовых поясов складчатых областей. В последние несколько десятилетий они привлекают большое внимание широкого круга исследователей как с позиции генезиса, учитывая их мантийную природу образования и связь с ранними этапами развития складчатых сооружений, так и с позиции рудоносности (хромитоносностью, асбестоносностью, никеленосностью латеритного типа и включением благороднометаллической минерализации и ЭПГ). Однако к настоящему времени спорность многих аспектов петрологии ультрамафитов офиолитов обусловлена недостаточной изученностью этих интереснейших образований. В частности, слабая проработанность минералогических аспектов данных массивов не дает возможности обобщения этих объектов на минералогическом уровне.

Из рудной минерализации, отмечаемой в реститовых ультрамафитах, только минералогия хромшпинелидов является в настоящее время наиболее хорошо изученной, другие рудные минералы, в частности, сульфиды – в литературе освещены значительно слабее.

Трудности в диагностике сульфидов связаны с их крайне малыми размерами (10–40 мкм, очень редко – до 2 мм), а также с их очень незначительным содержанием в породах – от 0,01 до 0,2 %. С привлечением рентгеноспектрального микроанализа на электронном сканирующем микроскопе «Tescan Vega II LMU», оборудованном энергодисперсионным и волнодисперсионным спектрометрами в ЦКП «Геохимия природных систем», ТГУ (г. Томск) выполнено изучение сульфидной минерализации в реститовых ультрамафитовых массивах Восточного и Западного Саянов и Тывы. В ходе данного исследования среди сульфидов установлены: пентландит, никелистый пентландит, никель-кобальтистый пентландит, кобальтпентландит, миллерит, хизлевудит, железистый хизлевудит.

Пентландит и его химические разновидности отмечаются в виде единичных зерен с общим содержанием в породе до долей процента. Минерал образует обособленные мелкие трещиноватые зерна

прямоугольной, округлой формы размером до 0,2 мм по границам зерен оливина и мельчайшие (до 0,03 мм), чаще треугольные выделения внутри зерен хромшпинелидов (рис. 1, а, б). В самостоятельных зернах прослеживается весьма отчетливая октаэдрическая спайность, по системе (111). Цвет минерала бело-желтый, отражательная способность высокая. Он нередко наблюдается в ассоциации с миллеритом и хизлевудитом, иногда образует сростки с магнетитом и аваруитом. В отдельных аншлифах вокруг зерен пентландита отмечается развитие гематитовой «рубашки» (рис. 1, б).

Химический состав собственно пентландита близок своей стехиометрической формуле и одинаков как в самостоятельных зернах, так и во включениях (табл. 1). В его составе наблюдается широкий изоморфизм между железом, никелем и кобальтом, что позволяет выделить никелистые (роль Ni возрастает до ~ 38 %) и никель-кобальтистые (содержание Co возрастает до ~ 5 % при значениях Ni ~ 40–41 %) разновидности. Выделено несколько зерен, отнесенных по химическому составу автором к кобальтпентландиту  $(Co, Ni, Fe)_9S_8$ .

Миллерит распространен широко и отмечается в основной массе породы в виде самостоятельных округлых, удлинённых зерен или в виде зернистых агрегативных выделений размером до 0,15 мм в ассоциации с пентландитом и хизлевудитом, нередко в составе гематитовой массы (рис. 1, б, з–е). Выделения характеризуются корродированными границами, неправильной формой, латунно-желтым цветом в отраженном свете и невысоким рельефом. Химический состав минерала близок своей стехиометрической формуле, в отдельных анализах отмечается примесь кобальта до 1,79 % и железа до 1,98 % (табл. 1).

Хизлевудит явился широко распространенным сульфидом и отмечен повсеместно во всех пробах исследованных ультрамафитов. Он встречается в виде мелких желтовато-кремовых в отраженном свете агрегативных включений неправильной формы, заполняющих трещинки в зернах хромшпинелидов (рис. 1, в), а также, преимущественно, в виде рассеянной вкрапленности самостоятельных мелких зерен размером до 0,05 мм в интерстициях между зернами оливина и хромшпинелида (рис. 1, д–е).

Таблица 1. Средний химический состав сульфидных минералов, вес. %

Минерал	Объект	Ni	Co	Fe	Cr	S
Пентландит	Эргакский	32,29	1,76	32,73	–	33,21
Никелистый пентландит	Эргакский	37,74	1,45	27,83	–	32,98
Никель-кобальтистый пентландит	Эргакский	40,77	4,22	21,86	–	33,14
Кобальтпентландит	Эргакский	23,82	25,35	17,37	–	33,46
Миллерит	Агардагский	65,26	1,79	0,38	–	34,29
	Эргакский	64,41	0,59	0,15	–	35,22
Хизлевудит	Агардагский	71,90	–	–	–	28,10
	Калнинский	70,95	0,55	0,92	1,13	27,36
	Эргакский	74,16	–	–	–	25,84
Железистый хизлевудит	Эргакский	65,15	0,89	4,28	–	29,67

Примечание: цифры, выделенные курсивом – элемент отмечается не повсеместно, тах содержание.

Минерал обычно наблюдается в ассоциации с миллеритом и нередко по периферии замещается последним. По химизму изученный хизлевудит отличается от его стехиометрического состава несколько пониженным содержанием никеля при повышенном содержании серы. В химическом составе часто отмечается примесь железа (0,23–1,43 %), реже – кобальта (0,04–0,55 %). В хизлевудитах из ультрамафитов Калнинского массива в химических составах выявлена примесь хрома (0,90–1,71 %), что, по мнению автора, объясняется «заражением» минерала присутствующим в нем тонкодисперсным хромитом. В ультрамафитах Эргакского массива выявлены зерна хизлевудита с высоким содержанием железа (до 12,2 %), которые автором были отнесены к железистому хизлевудиту.

Проведенные исследования показывают, что преобладающими акцессорными сульфидными минералами ультрамафитов офиолитовых комплексов являются сульфиды Fe, Ni и Co. По химическому составу и типоморфным особенностям выявленные сульфиды можно разделить на две генерации, которые связаны с различными процессами становления и преобразования вмещающих их ультрамафитов.

Сульфиды первой генетической группы являются «первично мантийными» и отмечаются преимущественно в неизмененных (не затронутых метаморфизмом) реститовых ультрамафитах в виде включений в хромшпинелидах, а также мелких самостоятельных рассеянных зерен в основной матрице породы. К ним среди относятся собственно пентландиты. Другие исследователи [Макеев, 1992; Щербакова, 2000] на примере альпинотипных

ультрабазитов Полярного Урала, к данной группе, помимо собственно пентландита, также относят: пирит, троилит, никелистый троилит, халькопирит, железистый пентландит, медистый пентландит, купропентландит, а также малосульфидные фазы железа, никеля и меди:  $(\text{Fe}_2\text{Cu})_3\text{S}_2$ ,  $(\text{Fe}, \text{Cu})_3\text{S}_2$ ,  $(\text{Cu}_2\text{Fe})_3\text{S}_2$ ,  $(\text{Fe}_2\text{Ni})_3\text{S}_2$ .

Сульфиды второй парагенетической ассоциации отмечены во всех исследованных в работе объектах и представлены никелистым и никель-кобальтистым пентландитами, кобальтпентландитом, миллеритом, хизлевудитом и железистым хизлевудитом. Их формирование, очевидно, связано с процессом аутометаморфической  $\alpha$ -лизардитизации ультрамафитов в зеленосланцевую фацию регрессивного регионального метаморфизма, когда высвобождавшиеся при серпентинизации оливинов и пироксенов никель и кобальт соединялись с серой гидротермальных растворов и кристаллизовались в виде сульфидов системы Fe-Ni-Co-S. Металлогеническая особенность и химизм этих образований состоит в том, что во второй генерации присутствуют в основном сульфиды никеля и железа (при подчиненной роли последнего) с высокой изоморфной примесью кобальта и почти полностью отсутствуют или крайне редко встречаются медьсодержащие фазы сульфидов. При этом также характерной чертой сульфидного парагенезиса второй генерации является широкое развитие процессов взаимодиффузии компонентов на границах срастаний зерен разных минералов, что приводит к образованию редких разновидностей сульфидных минералов: никелистого пентландита, никель-кобальтистого пентландита, железистого хизлевудита и других.

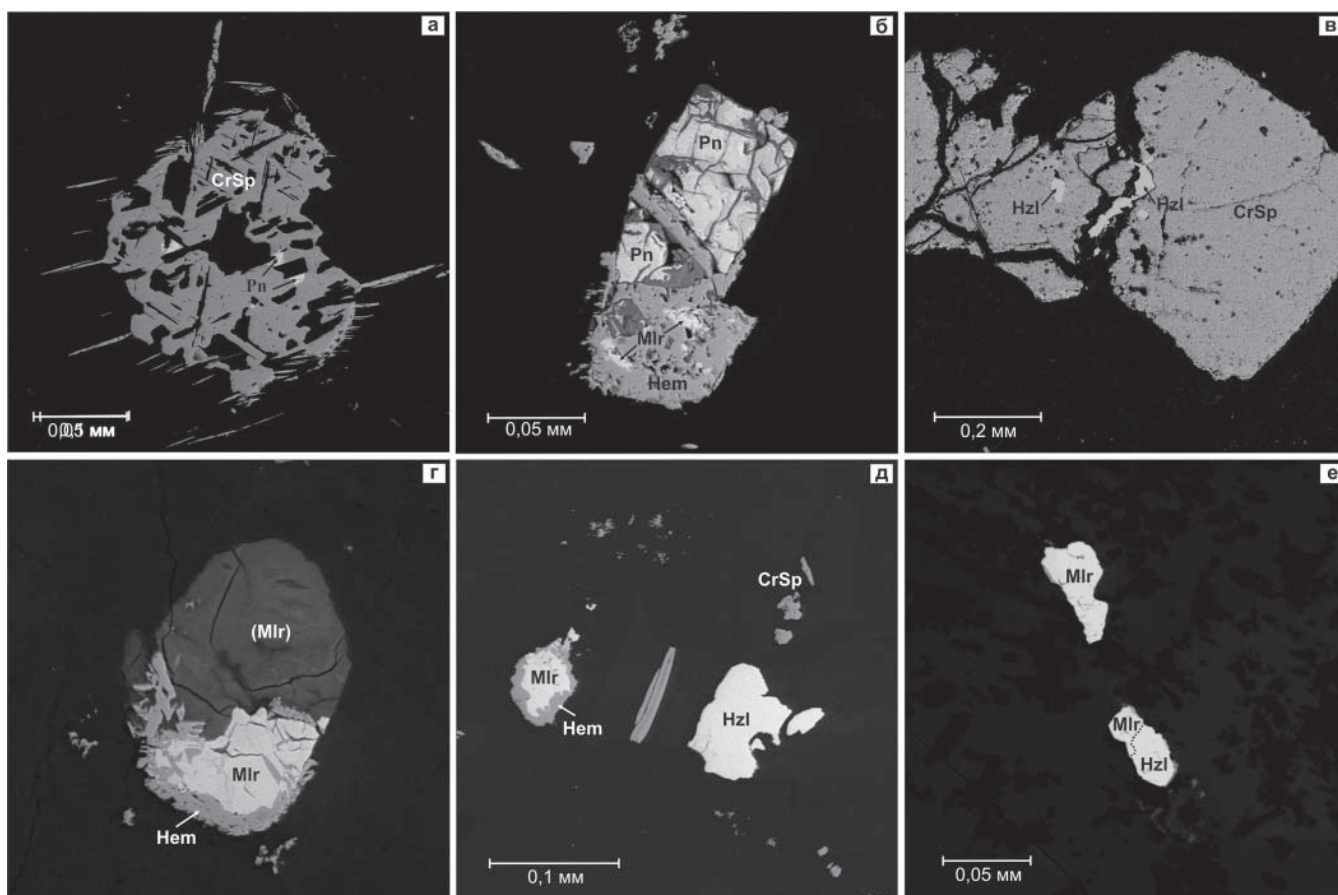


Рис. 1. Акцессорная сульфидная минерализация из реститовых ультрамафитов Восточного и Западного Саянов, республики Тыва: *а* – выключения «первично мантийного» пентландита в зерне хромшпинели (Идарский массив); *б* – зерно «первично мантийного» пентландита в основной силикатной массе породы (Идарский массив) *в* – агрегативные включения хизлевудита, «залечивающие» трещинки в зернах хромшпинелидов (Калнинский массив); *г* – не полностью скрытое шлифовкой самостоятельное зерно миллерита, замещаемое гематитом (Эргакский массив); *д–е* – выделения миллерита и хизлевудита и взаимоотношение между ними в основной матрице породы (Идарский массив и Агардагский массив соответственно). *Pn* – пентландит; *Hzl* – хизлевудит; *Mlr* – миллерит; *CrSp* – хромшпинель; *Hem* – гематит

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Макеев А.Б. Минералогия альпинотипных ультрабазитов Урала: Наука. СПб.: Наука, 1992. 197 с.
2. Щербакова А.В. Геологическое строение и особенности попутной сульфидной минерализации хромитовых месторождений Полярного Урала: автореф. дис. ... к.г.-м.н. Москва, 2000. 22 с.