

АКЦЕССОРНЫЕ СУЛЬФИДЫ ИЗ РЕСТИТОВЫХ УЛЬТРАМАФИТОВ

А.Н.Юричев

Томский государственный университет

Приведены особенности акцессорных сульфидов из реститовых ультрамафитов Восточного и Западного Саян, Республики Тыва. Описаны их типоморфизм и специфические черты химического состава. Выявлено, что преобладающими акцессорными сульфидными минералами реститовых ультрамафитов являются сульфиды Fe, Ni и Co, которые разделены на две генетические группы. Каждая генерация сульфидов связана с различными процессами становления и преобразования вмещающих ультрамафитов.

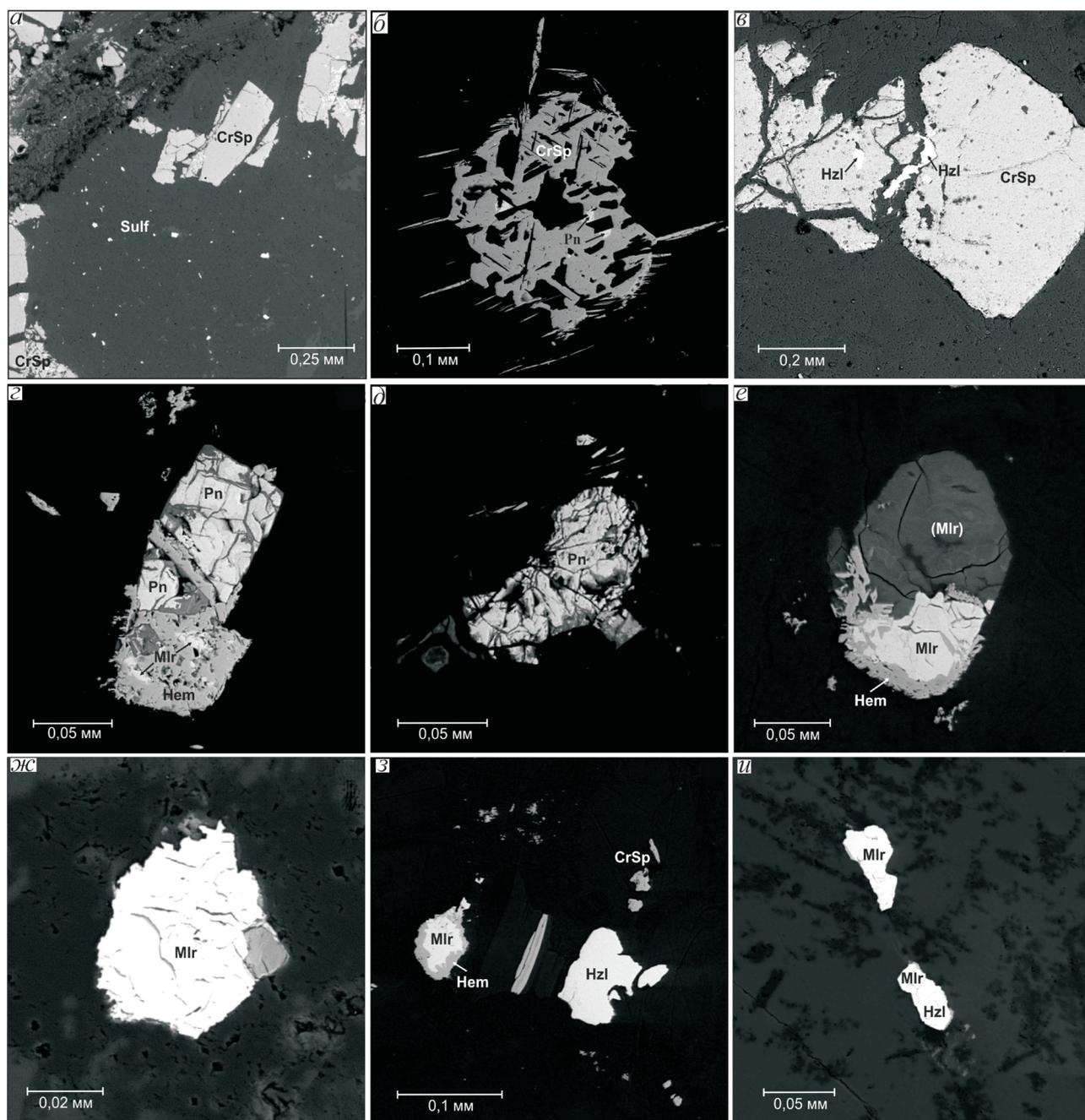
Ключевые слова: реститы, ультрамафиты, акцессорные сульфиды, химизм, пентландит, миллерит, хизлевудит.

Ультрамафитовые реститовые массивы дунит-гарцбургитового состава – составная часть мафит-ультрамафитовых поясов складчатых областей. В последние несколько десятилетий они привлекают все большее внимание исследователей как образования мантийного генезиса, связанные с ранними этапами развития складчатых сооружений, известные промышленной хромитоносностью, асбестоносностью, никеленосностью латеритного типа с благороднометальной и платиноидной минерализацией. В настоящее время спорность многих аспектов петрологии реститовых ультрамафитов обусловлена недостаточной изученностью этих интереснейших образований. В частности, слабая проработанность аспектов, касающихся минералогии массивов, не дает возможности их обобщения. Установлено, что одним из главных носителей генетической информации является минерал, а не только порода. Изучив в достаточной степени минералогию объекта, можно восстановить историю его образования и преобразования.

Хромитовые месторождения в ультрамафитовых массивах офиолитовых поясов все чаще

рассматриваются как комплексные хромитово-платиноидные, в которых элементы платиновой группы образуют собственные минералы или рассеяны в акцессорных сульфидах [5, 12], поэтому изучение химизма попутной сульфидной минерализации имеет важное научное и практическое значение.

Из рудной минерализации, отмечаемой в реститовых ультрамафитах, только минералогия хромшпинелидов в настоящее время наиболее хорошо изучена [3, 4, 6–10, 13, 15, 17, 19], другие рудные минералы, в частности сульфиды, в литературе освещены значительно слабее [4, 5, 12]. Трудности в диагностике сульфидов обусловлены их крайне малыми размерами (10–40 мкм, очень редко до 2 мм) и весьма незначительным содержанием в породах от 0,01 до 0,2%. С помощью рентгеноспектрального микроанализа [20] 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, изучена акцессорная сульфидная минерализация в породах реститового идарского дунит-гарцбургитового



Акцессорная сульфидная минерализация из реститовых ультрамафитов Восточного и Западного Саян, Республики Тыва:

а – сульфидная минерализация в основной матрице породы между зернами хромшпинели (Эргакский массив); *б* – включения «первично мантийного» пентландита в зерне хромшпинели (идарский комплекс); *в* – агрегативные включения хизлевудита, «залечивающие» трещинки в зернах хромшпинелидов (Калнинский массив); *г*, *д* – зерна «первично мантийного» пентландита в основной силикатной массе породы (идарский комплекс); *е* – не полностью скрытое шлифовкой самостоятельное зерно миллерита, замещаемое гематитом (идарский комплекс); *ж* – зерно миллерита с корродированными краями (Агардагский массив); *з*, *и* – выделения миллерита и хизлевудита, взаимоотношение между ними в основной матрице породы (идарский комплекс и Агардагский массив соответственно); Sulf – сульфидная минерализация; Pn – пентландит; Hzl – хизлевудит; Mir – миллерит; CrSp – хромшпинель; Hem – гематит

комплекса Канской глыбы Восточного Саяна [14], а также в ультрамафитовых массивах из офиолитовых комплексов – Калнинском (Западный Саян, Красноярский край) [1, 11], Эргакском и Агардагском (Республика Тыва) [2, 3, 16, 18]. В ходе данного исследования среди сульфидов установлены пентландит, никелистый пентландит, никель-кобальтистый пентландит, кобальтпентландит, миллерит, хизлевудит, железистый хизлевудит.

Пентландит и его химические разновидности зафиксированы в ультрамафитах идарского комплекса и Эргакского массива, где их количество варьирует от единичных зерен до долей процента. Минерал образует обособленные мелкие трещиноватые зерна прямоугольной, округлой форм размером до 0,2 мм по границам зерен оливина и мельчайшие (до 0,03 мм), чаще треугольные, выделения внутри зерен хромшпинелидов (рисунок, а, б, г, д). В самостоятельных зернах отмечается весьма отчетливая октаэдрическая спайность по системе (111). Цвет минерала бело-желтый, отражательная способность высокая. Он нередко встречается в ассоциации с миллеритом и хизлевудитом, иногда образует сростки с магнетитом и аваруитом. В отдельных аншлифах вокруг зерен пентландита прослеживается гематитовая «рубашка» (см. рисунок, з). Химический состав собственно пентландита близок к его стехиометрической формуле и одинаков как в самостоятельных зернах, так и во включениях (таблица). В его составе наблюдается широкий изоморфизм между Fe, Ni и Co, что позволяет выделить никелистые (роль Ni возрастает до ~38%) и никель-кобальтистые (содержание Co увеличивается до ~5% при значениях Ni ~40–41%) разновидности. В ультрамафитах Эргакского массива выделено несколько зерен, отнесенных по химическому составу автором к кобальтпентландиту (Co, Ni, Fe)₉S₈ (см. таблицу).

Миллерит отмечен во всех исследуемых объектах за исключением Калнинского массива. Он встречается в основной массе породы в виде самостоятельных округлых, удлинённых зерен или зернистых агрегативных выделений размером до 0,15 мм в ассоциации с пентландитом и хизлевудитом, нередко в составе гематитовой мас-

сы (см. рисунок, г, е–и). Выделения характеризуются корродированными границами, неправильной формой, латунно-желтым цветом в отраженном свете и невысоким рельефом. Химический состав минерала близок к стехиометрической формуле, в отдельных анализах имеется примесь Co до 1,79% и Fe до 1,98% (см. таблицу).

Хизлевудит – широко распространенный сульфид, присутствующий во всех пробах пород из исследуемых реститовых ультрамафитов. Он встречается в виде мелких желтовато-кремовых в отраженном свете агрегативных включений неправильной формы, заполняющих трещинки в зернах хромшпинелидов (см. рисунок, в), а также преимущественно в виде рассеянной вкрапленности самостоятельных мелких зерен размером до 0,05 мм в интерстициях между индивидами хромшпинелидов (см. рисунок, а, з–и). Минерал обычно ассоциирует с миллеритом, по периферии нередко замещается последним. Химический состав изученного хизлевудита от стехиометрического отличается несколько пониженным содержанием Ni при повышенном количестве S, часто фиксируется примесь Fe (0,23...1,43%), реже Co (0,04...0,55%). В хизлевудитах из ультрамафитов Калнинского массива установлена примесь Cr (0,90...1,71%), что, по мнению автора, объясняется «заражением» минерала присутствующим в нем тонкодисперсным хромитом. В ультрамафитах реститового идарского комплекса и Эргакского массива выявлены зерна хизлевудита с высоким содержанием Fe (до 12,2%), которые отнесены нами к железистому хизлевудиту. В данной его разновидности постоянно отмечается примесь Co (0,64...0,89%) (см. таблицу).

Таким образом, проведенные исследования показывают, что преобладающими акцессорными сульфидными минералами реститовых ультрамафитов являются сульфиды Fe, Ni и Co. По химическому составу и типоморфным особенностям их можно разделить на две генерации или парагенетические ассоциации, которые связаны с различными процессами становления и преобразования вмещающих ультрамафитов.

Сульфиды первой генетической группы – «первично мантийные» и содержатся преимущественно в не затронутых метаморфизмом

Химический состав сульфидных минералов из реститовых ультрамафитов, вес. %

Объект	Образец	Ni	Co	Fe	Cr	S		
1	2	3	4	5	6	7		
<i>Пентландит</i>								
Включения в зернах шпинелидов								
Идарский	23/1-3-1	31,56	1,25	33,05	–	34,14		
	23/1-2-2	32,07	1,16	33,92		32,86		
	23/1-2-4	32,79	1,07	32,60		33,53		
	Среднее (3)	32,14	1,16	33,19		33,51		
Самостоятельные обособленные зерна								
Идарский	23/1-1-1	32,34	1,57	32,85	–	33,24		
	23/1-1-2	32,24	1,64	32,49		33,63		
	23/1-2-1	31,96	1,46	33,42		33,16		
	23/1-3-с1	32,63	2,38	32,18		32,81		
	Среднее (4)	32,29	1,76	32,73		33,21		
<i>Никелистый пентландит</i>								
Эргакский	Эр 201_5	37,74	1,45	27,83	–	32,98		
<i>Никель-кобальтистый пентландит</i>								
Эргакский	Эр 1_3	40,72	3,34	22,47	–	33,47		
	Эр 1_4	40,83	5,11	21,25		32,82		
	Среднее (2)	40,77	4,22	21,86		33,14		
<i>Кобальтпентландит</i>								
Эргакский	Эр 1_1	24,49	23,87	17,82	–	33,82		
	Эр 1_2	23,14	26,83	16,92		33,10		
	Среднее (2)	23,82	25,35	17,37		33,46		
<i>Миллерит</i>								
Идарский	2010-2-2	65,98	0,03	1,98	–	32,02		
Агардагский	15016.1-1	63,95	–	–	–	36,05		
	15016.1-2	63,84	0,60	0,31		35,25		
	15016.2-1	62,46	–	0,31		37,23		
	15016.2-2	62,29	1,79	0,38		35,54		
	15023/1.1-1	64,45	–	–		33,55		
	15023/1.1-2	66,74				33,26		
	15023/1.1-3	66,50				33,50		
	15023/1.2-1	67,36				32,64		
	15023/1.3-1	65,88				34,12		
	15023/1.3-2	65,82				34,18		
	15023/1.4-1	67,25				32,75		
	15023/1.4-2	66,56				33,44		
	Среднее (12)	65,26				34,29		
	Эргакский	Эр 201_1				66,37	–	–
Эр 1_5		62,45			0,59	0,15	36,81	
Среднее (2)		64,41					35,22	
<i>Хизлевулит</i>								
Идарский	2010-1-1	71,02			0,04	1,08	–	27,86
	2010-1-3	72,41		0,23	27,36			
	2010-1-4	72,11	–	0,35	27,53			
	Среднее (3)	71,85		0,55	27,59			
Агардагский	15023/1.1-4	71,97	–	–	–	28,03		
	15023/1.2-2	71,84				28,16		
	Среднее (2)	71,90				28,10		

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6	7
Калнинский	C-37-733_4	72,39	–	1,34	–	26,27
	C-37-733_5	71,32		1,43		27,25
	C-37-733_1	70,37		0,99		28,64
	C-37-733_2	71,44		1,09		27,47
	C-36-271_1	70,39	0,38	0,74	1,38	27,11
	C-36-271_2	71,09	–	0,45	0,90	27,56
	C-36-271_3	70,40		0,90	1,71	26,99
	C-36-271_4	71,68		0,54	0,75	27,03
	C-36-271_5	70,14		0,73	1,03	28,10
	C-36-271_1	70,25	0,55	0,97	1,03	27,20
	Среднее (10)	70,95		0,92	1,13	27,36
Эргакский	Эр 201_2	74,12	–	–	–	25,88
	Эр 201_3	73,96				26,04
	Эр 201_4	74,39				25,61
	Среднее (3)	74,16				25,84
<i>Железистый хизлевудит</i>						
Идарский	2010-1-2	63,32	0,64	12,12	–	23,92
Эргакский	Эр 1_7	65,15	0,89	4,28	–	29,67

Примечание. Химический состав определен О.В.Бухаровой, А.С.Кульковым 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).

реститовых ультрамафитах в виде включений в хромшпинелидах, а также мелких самостоятельных рассеянных зерен в основной матрице породы. Среди изученных сульфидных минералов к ним относятся собственно пентландиты из ультрамафитов реститового идарского комплекса Восточного Саяна. Другими исследователями [4, 12] на примере альпинотипных ультрабазитов Полярного Урала к данной группе, помимо собственно пентландита, причислены пирит, троилит, никелистый троилит, халькопирит, железистый пентландит, медистый пентландит, купропентландит, а также малосульфидные фазы Fe, Ni и Cu: $(Fe_2Cu)_3S_2$, $(Fe, Cu)_3S_2$, $(Cu_2Fe)_3S_2$, $(Fe_2Ni)_3S_2$.

Сульфиды второй парагенетической ассоциации отмечены во всех исследованных объектах и представлены никелистым и никель-кобальтистым пентландитами, кобальтпентландитом, миллеритом, хизлевудитом, железистым хизлевудитом. Их формирование, очевидно, связано с процессом автометаморфической α -лизардитизации ультрамафитов в зеленосланцевую фацию регрессивного регионального метаморфизма, когда высвобождавшиеся при серпентинизации

оливинов и пироксенов Ni и Co соединялись с серой гидротермальных растворов и кристаллизовались в виде сульфидов системы Fe-Ni-Co-S. Металлогеническая особенность и химизм таких образований состоят в наличии в основном сульфидов Ni и Fe (при подчиненной роли последнего) с высокой изоморфной примесью Co и почти полном отсутствии или крайне редкой встречаемости медьсодержащих фаз сульфидов. Медь присутствует главным образом в качестве самородной фазы. При этом характерная черта данного парагенезиса – 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 др.

Сравнительный анализ составов акцессорных сульфидных минералов из реститовых ультрамафитов рассмотренных массивов и аналогичных данных из реститовых ультрамафитов Полярного Урала [4, 12] показывает, что их составы в целом близки, но различаются по набору и количеству минералов, входящих в парагенетические ас-

социации. Эта особенность, а также некоторые различия в химическом составе сульфидов, очевидно, обуславливаются спецификой исходного рестита, химизмом среды и флюидного режима формирования каждого конкретного геологического объекта.

А.Б.Макеевым [4] по результатам исследования реститовых ультрамафитов Полярного Урала сделано предположение о существовании и третьей генетической группы сульфидов, которая возникает в заключительный этап гидротермального изменения ультрамафитов с образованием антигоритовых серпентинитов в зонах контактов массивов с породами рамы, зонах меланжа и тектонической активации – сбросах и надвигах. К данной группе им отнесен следующий набор минералов: тунгстенит (WS_2), сфалерит, молибденит, бейрихит, паркерит ($Ni_3Bi_2S_2$), гауэрит (MnS_2), герсдорфит ($NiAsS$), теннантит ($Cu_{12}As_4S_{13}$), германит, медистый миллерит, медистый хизлевудит, фаза Cu_3S_2 , магнитный моноклинный пирротин и пирит. Характерная особенность акцессорных сульфидов третьей генерации – накопление в них минералов редких элементов (W, Bi, Ge, As, Mo и др.), которые выступают здесь не в качестве примесей, а становятся минералообразующими. Однако для однозначного выделения и интерпретации третьей генетической группы акцессорных сульфидов необходимы дополнительные исследования подобной минерализации в реститовых ультрамафитах из различных складчатых областей России и мира.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Еханин Д.А.* Геологическое строение и перспективы рудоносности Калнинского ультрабазитового массива // Разведка и охрана недр. 2010. № 9. С. 24–28.
2. *Кривенко А.П., Подлипский М.Ю., Агафонов Л.В.* Петрология и минералогия гипербазитов Эргакского массива // Состояние и освоение природных ресурсов Тувы и сопредельных регионов Центральной Азии. Геоэкология природной среды общества. Кызыл. 2004. С. 61–77.
3. *Леснов Ф.П., Подлипский М.Ю., Поляков Г.В., Палесский С.В.* Геохимия акцессорных хромшпинелидов из пород Эргакского хромитоносного гипербазитового массива и условия его формирования (Западный Саян) // ДАН. 2008. № 5. С. 660–664.
4. *Макеев А.Б.* Минералогия альпинотипных ультрабазитов Урала. – СПб.: Наука, 1992.
5. *Молошаг В.П., Гараева А.А., Нечкин Г.С., Вороница Л.К.* Акцессорная сульфидная минерализация платиноносного пояса (на примере Косвинского дунитового тела Кытлымского массива) // Ультрабазит-базитовые комплексы складчатых областей и связанные с ними месторождения: Мат-лы Третьей Международной конференции. Екатеринбург, 2009. Т. 2. С. 54–56.
6. *Округин А.В.* Значение типоморфизма хромшпинелидов для прогнозирования коренных источников россыпной платины восточной части Сибирской платформы // Отечественная геология. 2005. № 5. С. 3–10.
7. *Перевозчиков Б.В., Плотников А.В., Макиев Т.Т.* Природа вариаций состава рудной и акцессорной хромшпинели ультрабазитового массива Сыум-Кеу (Полярный Урал) // Изв. вузов. Геология и разведка. 2007. № 4. С. 32–39.
8. *Савельев Д.Е., Сначев В.И.* Бедновкрапленные хромовые руды Южного Урала и перспективы их практического использования // Руды и металлы. 2012. № 2. С. 36–40.
9. *Савельев Д.Е., Сначев В.И., Савельева Е.Н., Бажин Е.А.* Геология, петрогеохимия и хромитоносность габбро-гипербазитовых массивов Южного Урала. – Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2008.
10. *Савельев Д.Е., Федосеев В.Б.* Сегрегационный механизм формирования тел хромититов в ультрабазитах складчатых поясов // Руды и металлы. 2011. № 5. С. 35–42.
11. *Чернышов А.И., Юричев А.Н.* Петроструктурная эволюция ультрамафитов Калнинского хромитоносного массива в Западном Саяне // Геотектоника. 2013. № 4. С. 31–46.
12. *Щербакова А.В.* Геологическое строение и особенности попутной сульфидной минерализации хромитовых месторождений Полярного Урала: Автореф. дис... канд. геол.-минер. наук. – М., 2000.
13. *Юричев А.Н.* Акцессорные шпинелиды из ультрамафитов: индикаторы условий формирования // Руды и металлы. 2013. № 6. С. 30–34.
14. *Юричев А.Н.* Мафит-ультрамафитовый магматизм Канской глыбы и его рудный потенциал, Северо-

- Запад Восточного Саяна // Руды и металлы. 2013. № 3. С. 11–20.
15. Юричев А.Н., Чернышов А.И. Эволюция составов шпинелиевой минерализации из различных формационных типов мафит-ультрамафитовых комплексов Канской глыбы (Восточный Саян) // Отечественная геология. 2012. № 2. С. 42–50.
16. Юричев А.Н., Чернышов А.И., Кульков А.С. Рудная минерализация Агардагского ультрамафитового массива (республика Тыва) // Изв. ТПУ. 2013. Т. 323. № 1. С. 130–136.
17. Aswad K.J.A., Aziz N.R.H., Koyi H.A. Cr-spinel compositions in serpentinites and their implications for the petrotectonik history of the Zagros Suture Zone, Kurdistan Region, Iraq // Geological magazine. 2011. Vol. 148. P. 802–818.
18. *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 / J.A.Pfander, K.P.Jochum, I.Kozakov et al. // Contrib. Mineral. Petrol. 2002. Vol. 143. P. 154–174.
19. Power M.R., Pirrie D., Andersen J.C., Wheeler P.D. Testing the validity of chrome spinel chemistry as a provenance and petrogenetic indicator // Geology. 2000. Vol. 28. P. 1027–1030.
20. Reed S.J.B. Electron microprobe analysis and scanning electron microscopy in geology. – N.Y.: Cambridge University Press, 2005.

Юричев Алексей Николаевич,
кандидат геолого-минералогических наук
juratur@sibmail.com

ACCESSORY SULFIDES FROM RESTITIC ULTRAMAFITES

A.N.Yurichev

The paper presents the features of accessory sulfides from restitic ultramafites of Eastern and Western Sayan and Tuva Republic. Typomorphism and individual rock chemistry features are shown. As demonstrated, the predominant accessory sulfide minerals of restitic ultramafites are sulfides of Fe, Ni and Co, which are classified into two genetic groups. Each generation of sulfides associates with individual sequence of formative processes and transformations of the host ultramafic rocks.

Key words: restite, ultramafite, accessory sulfide, chemistry, pentlandite, millerite, heazlewoodite.