

Дистанов Э.Г. Колчеданно-полиметаллические месторождения Сибири. Новосибирск: Наука, 1977. 351 с.

Зеркалов В.И. Минералогия и геология колчеданных медно-свинцово-цинковых месторождений северо-восточного Салаира. Автореф. дис. к.г.-м.н. Томск, 1962. 20 с.

Лабазин Г.С. Структурно-морфологические особенности полиметаллических месторождений Салаирских рудников и геологические условия их нахождения // Цветные металлы. 1940. № 3. С. 14–20.

Латухов А.С. Зональность колчеданно-полиметаллических месторождений. Новосибирск: Наука, 1975. 264 с.

А.Н. Юричев

Томский государственный университет, г. Томск

juratur@sibmail.com

Акцессорная благороднометалльная минерализация в ультрамафитах Кызыр-Бурлюкского массива (Западный Саян)

Метаморфические ультрамафиты Куртушибинского офиолитового пояса распространены среди метаморфизованных венд-кембрийских осадочно-вулканогенных отложений в северо-восточной части Западного Саяна [Соболев, Добрецов, 1977]. Их массивы наблюдаются в виде многочисленных тектонических блоков и пластин, окруженных серпентинитовым меланжем, и имеют цепочечное расположение в ЮЗ-СВ направлении. Объектом настоящего исследования является слабоизученный Кызыр-Бурлюкский ультрамафитовый массив, расположенный в юго-западной оконечности Куртушибинского офиолитового пояса, который в отличие от других массивов пояса не содержит хромитового оруденения (рис. 1) [Кривенко и др., 2002; Юричев, Чернышов, 2019]. До настоящего времени ничего не было известно и об акцессорной благороднометалльной минерализации массива.

При изучении вещественного состава рудной акцессорной минерализации в аншлифах, изготовленных из образцов дунитов и их серпентинизированных разновидностей Кызыр-Бурлюкского массива, впервые диагностированы микроскопические включения минералов платиновой группы (МПГ). В работе приводится химическая типизация выявленных минералов и делается предположение о механизме их образования.

Кызыр-Бурлюкский массив расположен на западном склоне хребта Эргак-Таргак-Тайга, слагаемая водораздел рр. Пряха-Кызыр-Бурлюк, правых притоков р. Амыл. Он имеет удлиненную форму, ориентирован в северо-западном направлении с крутым погружением в северо-восточном направлении (рис. 1). Массив сложен дунитами свежего облика и редкими жильными телами ортопироксенитов. Дуниты прорываются многочисленными мелкими субизометричными интрузивными телами и дайками габброидов [Чернышов и др., 2020]. В экзоконтактовых зонах последних постоянно обнаруживаются породы верлит-клинопироксеновой ассоциации, очевидно, являющиеся реакционно-метасоматическими образованиями, возникшими в результате воздействия высокотемпературных основных расплавов на консолидированные дуниты. В эндоконтактовых частях массива и вдоль разломов отмечается интенсивная серпентинизация (антигоритизация).

Акцессорная благороднометалльная минерализация диагностирована только в дунитах и аподунитовых серпентинитах массива. МПГ отмечаются в виде единичных гипидиоморфных, неправильных микроскопических выделений (0.5–3.0 мкм), главным образом, внутри магнетита, значительно реже – в зернах аваруита. По химическому составу среди них уста-

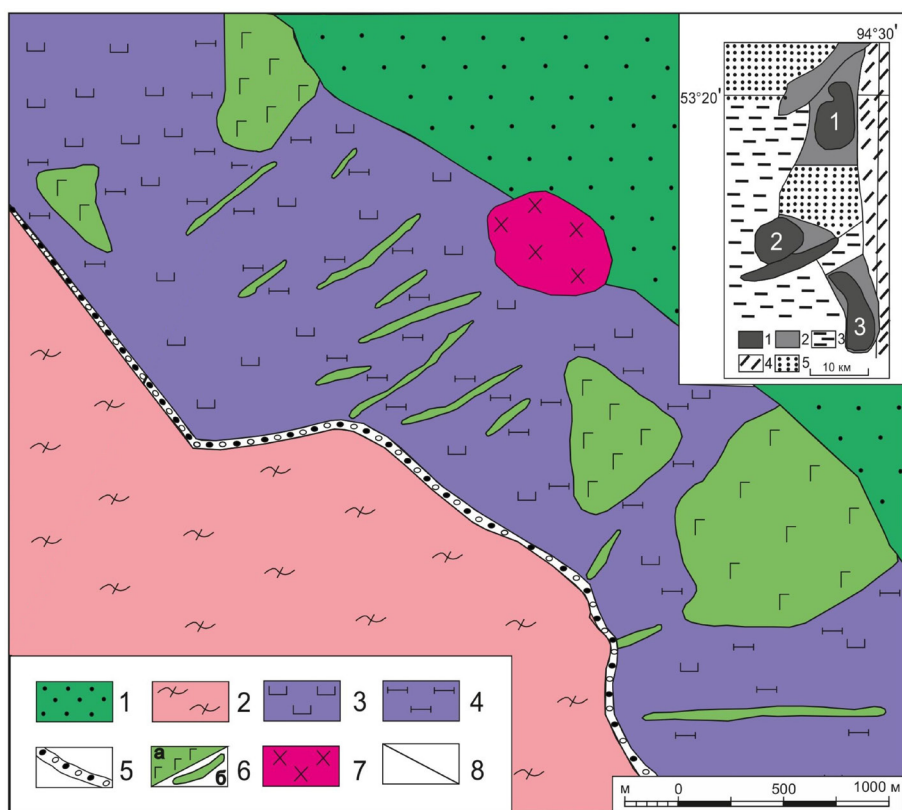


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Кызыр-Бурлюкского массива (составлена С.В. Лодыгиным при проведении поисковых работ на хромиты в 2008–2011 гг.).

1 – осадочные отложения; 2 – сланцы по основным вулканитам; 3 – дуниты; 4 – верлиты; 5 – меланж; 6 – габбро: а) штоки, б) дайки; 7 – диориты; 8 – геологические границы.

Врезка – схема строения Куртушибинского офиолитового пояса Западного Саяна [Кривенко и др., 2002]: 1 – ультрамафитовые массивы: 1 – Эргакский, 2 – Калнинский, 3 – Кызыр-Бурлюкский; 2 – вулканогенно-осадочные толщи: metabазальты, плагиориолиты, сланцы кремнистые, углистые, глаукофановые; 3, 4 – каледонские складчатые системы: 3 – Западно-Саянская, 4 – Хемчикско-Систигхемская; 5 – среднепалеозойские впадины.

новлены самородная платина, потарит (PdHg), неназванная фаза состава $(\text{Pd,Ni})(\text{Hg,S})$. Также выявлены минералы Ag – луанхейт (Ag_3Hg) и неназванная фаза состава (Cu,Ag,Hg) .

Химический состав минералов проанализирован на СЭМ Tescan Mira 3 LMU с ЭДС UltimMax100 (Oxford Instruments) и Tescan Vega II LMU с ЭДС (с детектором Si(Li) Standard) INCA Energy 350 и ВДС INCA Wave 700 в ЦКП «Аналитический центр геохимии природных систем», ТГУ (г. Томск). Измерения проводились на вольфрамовом катоде при ускоряющем напряжении 20 кВ, текущем токе 15 нА и времени набора спектра 120 с. Диаметр пучка зонда 1–2 мкм. В качестве стандартов для Pt, Pd, Au, Ag, Ni, Cu были применены чистые металлы, для S – пирит, для Hg – HgTe. Использованы аналитические линии: L_{α} для Pt, Pd, Au, Ag; K_{α} для S, Ni, Cu; M_{α} для Hg.

Самородная платина отмечается в виде мелких (2–3 мкм) зерен исключительно внутри выделений магнетита (рис. 2а). В ее химическом составе установлены примеси Cu и Ni (до 9 и 3 мас. %, соответственно) (табл.).

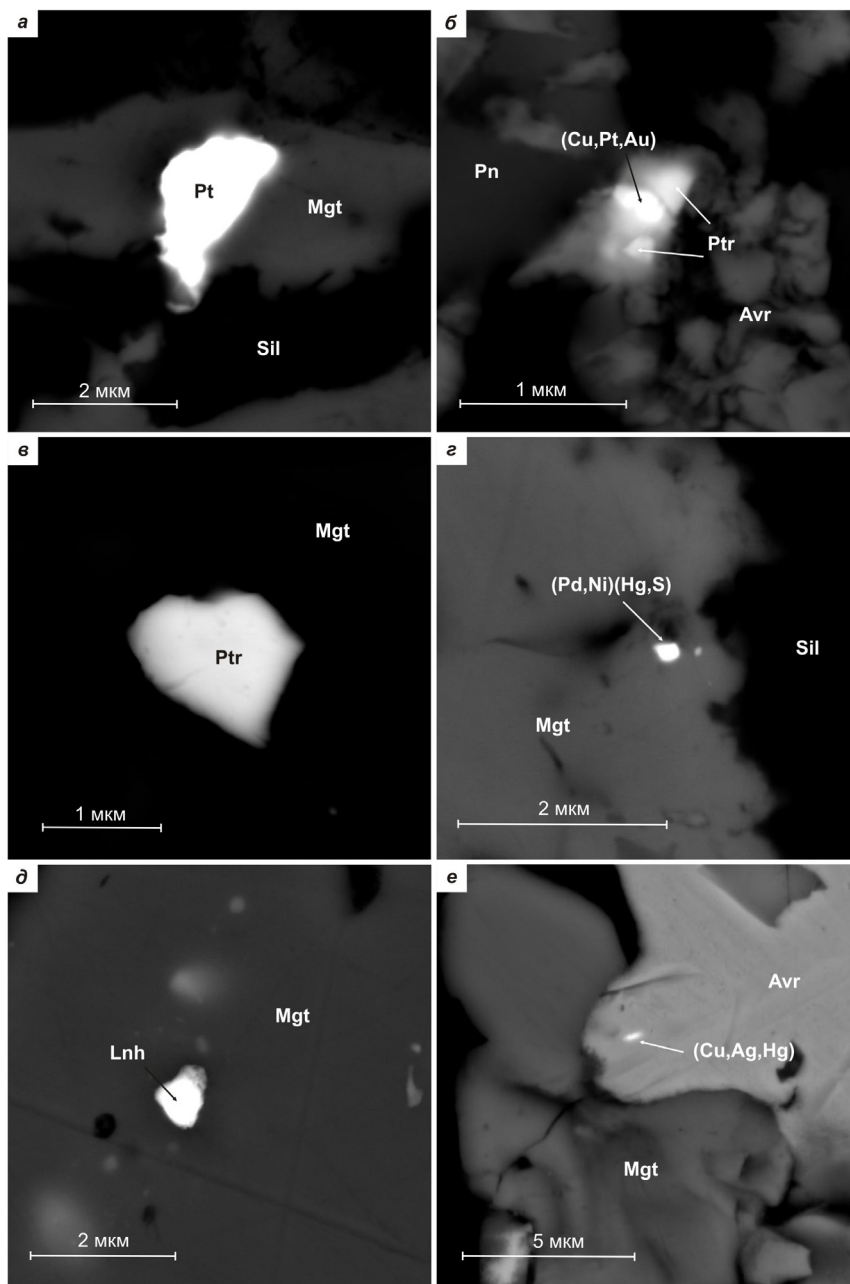


Рис. 2. Акцессорная благороднометаллическая минерализация дунитов и аподунитовых серпентинитов Кызыр-Бурлюкского ультрамафитового массива: а) самородная медно-никелистая платина в ксеноморфном зерне магнетита; б) включение потарита в зерне аваруита; в) включение потарита в магнетите; г) микровключение не названной фазы состава (Pd,Ni)(Hg,S) в магнетите; д) включение луанхейта в магнетите; е) микровключение не названной фазы состава (Cu,Ag,Hg) в зерне аваруита.

Pt – медно-никелистая платина, Ptr – потарит, Lnh – луанхейт, Mgt – магнетит, Avr – аварунит, Sil – вмещающая силикатная матрица. BSE-фото.

**Химический состав аксессуарных МПГ из дунитов и серпентинитов
Кызыр-Бурлюкского ультрамафитового массива, мас. %**

Образец	Pd	Pt	Ag	Au	Ni	Cu	Hg	S	Сумма	Формула
Медно-никелистая платина (Pt,Cu,Ni)										
7006-17-218	–	89.06	–	–	2.05	7.81	–	–	98.92	$Pt_{0.74}Cu_{0.20}Ni_{0.06}$
7006-17-219	–	88.85	–	–	2.94	8.38	–	–	100.17	$Pt_{0.71}Cu_{0.21}Ni_{0.08}$
7006-17-220	–	89.64	–	–	1.93	7.37	–	–	98.94	$Pt_{0.76}Cu_{0.19}Ni_{0.05}$
7006-17-221	–	92.23	–	–	1.86	5.62	–	–	99.71	$Pt_{0.80}Cu_{0.15}Ni_{0.05}$
7006-17-222	–	88.47	–	–	2.12	9.02	–	–	99.62	$Pt_{0.72}Cu_{0.22}Ni_{0.06}$
Потарит PdHg										
7006-12-234	32.64	9.04	–	–	–	–	57.59	–	99.27	$(Pd_{1.07}Pt_{0.16})_{1.23}Hg_{1.00}$
7006-12-177	33.73	6.38	–	–	–	–	59.47	–	99.58	$(Pd_{1.07}Pt_{0.11})_{1.18}Hg_{1.00}$
7006-12-179	34.06	4.28	–	–	–	–	61.92	–	100.26	$(Pd_{1.04}Pt_{0.07})_{1.11}Hg_{1.00}$
7006-12-237	33.92	3.37	–	–	–	–	61.65	–	98.93	$(Pd_{1.04}Pt_{0.05})_{1.09}Hg_{1.00}$
7006-12-238	33.92	4.63	–	–	–	–	61.36	–	99.92	$(Pd_{1.04}Pt_{0.08})_{1.12}Hg_{1.00}$
7006-2-35	34.95	–	3.67	–	–	0.56	61.75	–	100.93	$(Pd_{1.06}Ag_{0.11}Cu_{0.03})_{1.20}Hg_{1.00}$
7006-2-36	34.44	–	3.42	–	–	0.53	62.35	–	100.74	$(Pd_{1.04}Ag_{0.10}Cu_{0.02})_{1.16}Hg_{1.00}$
7006-2-38	35.06	–	3.66	–	–	0.69	61.80	–	101.21	$(Pd_{1.07}Ag_{0.11}Cu_{0.03})_{1.21}Hg_{1.00}$
7006-7-106	34.70	–	–	2.32	–	–	62.22	–	99.24	$(Pd_{1.05}Au_{0.04})_{1.09}Hg_{1.00}$
7006-7-107	34.82	–	–	2.03	–	–	62.00	–	98.85	$(Pd_{1.06}Au_{0.03})_{1.09}Hg_{1.00}$
7006-7-108	34.36	–	–	2.09	–	–	62.43	–	98.88	$(Pd_{1.03}Au_{0.03})_{1.06}Hg_{1.00}$
7006-12-239	35.13	–	–	–	–	–	64.54	–	99.67	$Pd_{1.02}Hg_{0.98}$
7006-13-184	31.84	–	–	–	–	3.06	64.40	–	99.29	$(Pd_{0.93}Cu_{0.14})_{1.07}Hg_{0.93}$
7006-12-178	24.86	10.35	–	3.36	–	11.44	49.32	–	99.33	$Pd_{0.94}(Cu_{0.73}Pt_{0.22}Au_{0.07})_{1.02}Hg_{1.00}$
(Pd,Ni)(Hg,S)										
7006-14-193	29.92	–	–	–	9.88	–	54.68	5.20	99.68	$(Pd_{0.65}Ni_{0.38})_{1.03}(Hg_{0.63}S_{0.37})_{1.00}$
7006-14-194	29.48	–	–	–	10.20	–	54.96	5.30	99.95	$(Pd_{0.63}Ni_{0.39})_{1.02}(Hg_{0.62}S_{0.37})_{0.99}$
7006-14-195	29.42	–	–	–	10.06	–	54.05	5.46	98.99	$(Pd_{0.63}Ni_{0.39})_{1.02}(Hg_{0.61}S_{0.39})_{1.00}$
7006-16-210	33.21	–	–	–	2.44	–	64.04	–	99.68	$(Pd_{0.97}Ni_{0.13})_{1.10}Hg_{0.90}$
7006-16-211	31.81	–	–	–	2.89	0.97	62.85	1.21	99.72	$(Pd_{0.85}Ni_{0.14}Cu_{0.04})_{1.03}(Hg_{0.89}S_{0.11})_{1.00}$
7006-16-212	33.02	–	–	–	2.30	–	64.44	–	99.76	$(Pd_{0.96}Ni_{0.12})_{1.08}Hg_{0.92}$
Луанхейт Ag ₃ Hg										
7006-15-201	1.73	–	56.55	–	4.70	1.24	35.43	–	99.64	$Ag_{2.97}Ni_{0.45}Cu_{0.11}Pd_{0.09}Hg_{1.00}$
7006-15-202	1.66	–	57.27	–	4.38	1.59	35.15	–	100.06	$Ag_{3.02}Ni_{0.43}Cu_{0.14}Pd_{0.09}Hg_{1.00}$
7006-15-203	1.50	–	55.37	–	5.13	1.55	35.32	–	98.87	$Ag_{2.92}Ni_{0.49}Cu_{0.14}Pd_{0.08}Hg_{1.00}$
7006-15-204	1.74	–	56.21	–	5.01	1.91	35.25	–	100.12	$Ag_{2.97}Ni_{0.48}Cu_{0.17}Pd_{0.09}Hg_{1.00}$
7006-15-205	2.02	–	56.35	–	4.84	1.32	35.59	–	100.12	$Ag_{2.95}Ni_{0.46}Cu_{0.12}Pd_{0.11}Hg_{1.00}$
(Cu,Ag,Hg)										
7029-8-53	–	–	42.73	–	–	41.38	15.52	–	99.63	$Cu_{0.58}Ag_{0.35}Hg_{0.07}$
7029-8-54	0.72	–	39.70	–	–	44.48	14.40	–	99.3	$Cu_{0.61}Ag_{0.32}Hg_{0.06}Pd_{0.01}$
7029-8-55	0.87	–	37.67	–	–	47.70	14.04	–	100.29	$Cu_{0.64}Ag_{0.29}Hg_{0.06}Pd_{0.01}$

Примечание. Формулы потарита, луанхейта и фазы состава (Pd,Ni)(Hg,S) рассчитаны на один анион, платины и фазы состава (Cu,Ag,Hg) – на сумму катионов, равную 1.

Потарит наиболее распространен среди МПГ массива. Он обнаружен в виде гипидиоморфных зерен размером до 1.5 мкм как в магнетите, так и аваруите (рис. 26–в). В его химическом составе зафиксированы Cu, Au, Ag или Pt (см. табл.), при этом они практически никогда не встречаются вместе в одном анализе. Примеси Ag или Au наблюдаются, в основном, в потарите из магнетита, а примесь Pt – в потарите из аваруита. Подобные нетипичные

примеси в потарите можно отнести к механическим, «загрязняющим» химический состав минерала путем вхождения в него в виде тонкодисперсных включений. В пользу данного предположения свидетельствуют рассчитанные стехиометрические составы, а также обнаружение внутри потарита обособленного выделения твердого раствора Cu–Pt–Au (рис. 2б).

Неназванная фаза состава (Pd,Ni)(Hg,S), занимающая своеобразное промежуточное положение между потаритом и высокоцитом, выявлена в виде мелких (до 0.3 мкм) гипидиоморфных включений в магнетите (рис. 2г, табл.).

Луанхейт отмечается в виде мелких (до 1 мкм) гипидиоморфных округлых включений исключительно в зернах магнетита (рис. 2д). Постоянно в химическом составе минерала обнаруживаются примеси Ni (до 5.1 мас. %), Cu (до 1.9 мас. %) и Pd (до 2.0 мас. %) (см. табл.), которые, с учетом «чистоты» вмещающего магнетита и полученных пересчетов на формулу луанхейта, можно считать механической.

Неназванная фаза состава (Cu,Ag,Hg) редка и выявлена в виде мелких (до 0.6 мкм) вытянутых выделений в краевых частях зерен аваруита (рис. 2е). Часто в химическом составе триады диагностируется незначительная (менее 1 мас. %) примесь Pd (табл.).

Таким образом, полученные данные являются первым свидетельством обнаружения аксессуарной благороднометалльной минерализации в дунитах и аподунитовых серпентинитах Кызыр-Бурлюкского ультрамафитового массива Западного Саяна. Выявленные МПП характеризуются исключительно Pd-Pt специализацией. Заметное количество Hg в минералах, вероятно, свидетельствует о том, что их формирование происходило в условиях закрытой системы при невысоких температурах [Prichard et al, 1994; Спиридонов и др., 2019], а ведущая роль потарита указывает на проявление эпигенетических процессов низкоградного метаморфизма (серпентинизации) за счет пневматолитовых ртутьсодержащих растворов.

Литература

Кривенко А.П., Подлипский М.Ю., Кубышев А.И., Катанов С.Г. Перспективы хромитоносности и платиноносности гипербазитов Верхнеамьельского района в Западном Саяне // Минеральные ресурсы Красноярского края. Красноярск: РИЦ КНИИГиМС, 2002. С. 314–324.

Соболев В.С., Добрецов Н.Л. Петрология и метаморфизм древних офиолитов (на примере Полярного Урала и Западного Саяна). Новосибирск: Наука, 1977. 222 с.

Спиридонов Э.М., Орсов Д.А., Арискин А.А., Николаев Г.С., Кислов Е.В., Коротаева Н.Н., Янакурт В.О. Hg- и Cd-содержащие минералы Pd, Pt, Au, Ag сульфидоносных базитов и гипербазитов Йоко-Довыренского интрузива в байкалидах Северного Прибайкалья // Геохимия. 2019. Т. 64. № 1. С. 43–58.

Чернышов А.И., Воробьева А.В., Юричев А.Н. Петрология Кызыр-Бурлюкского мафит-ультрамафитового массива (северо-восток Западного Саяна) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2020. Т. 331. № 8. С. 199–207.

Юричев А.Н., Чернышов А.И. Платиноносность хромитов Куртушибинского офиолитового пояса, Западный Саян: новые данные // Записки РМО. 2019. Т. 148. № 5. С. 113–125.

Prichard H.M., Ixer R.A., Lord R.A., Maynard J., Williams N. Assemblages of platinum-group minerals and sulfides in silicate lithologies and chromite-rich rocks within the Shetland ophiolite // Canadian Mineralogist. 1994. Vol. 32. P. 271–294.