

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-

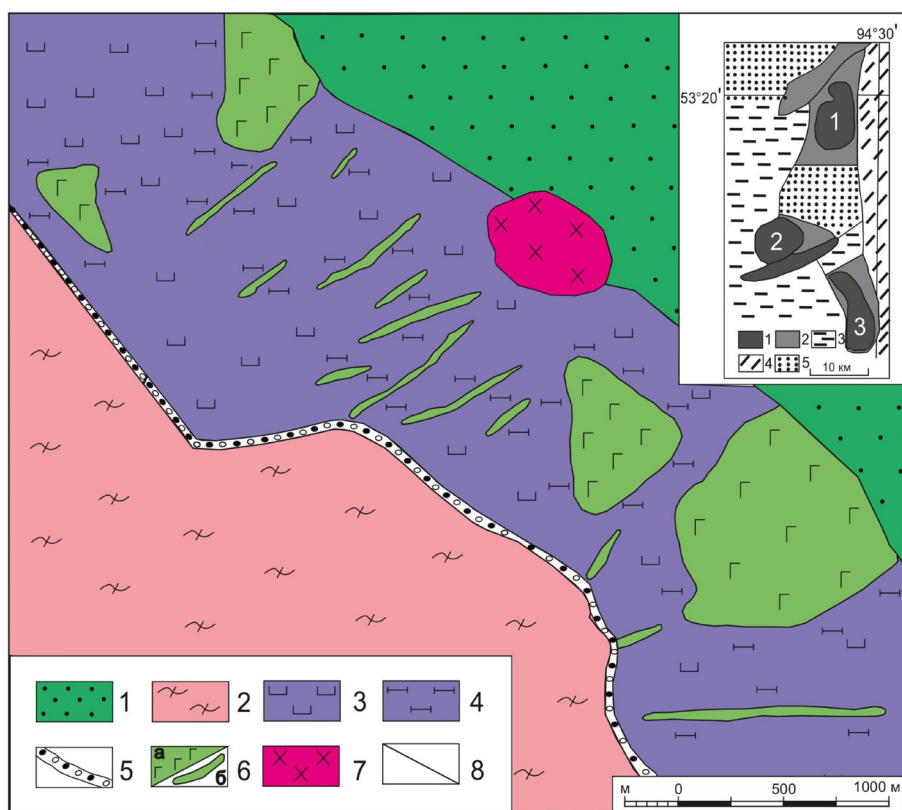


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Кызыр-Бурлюкского массива (составлена С.В. Лодыгиным при проведении поисковых работ на хромиты в 2008–2011 гг.).

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 – Калининский, 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.).

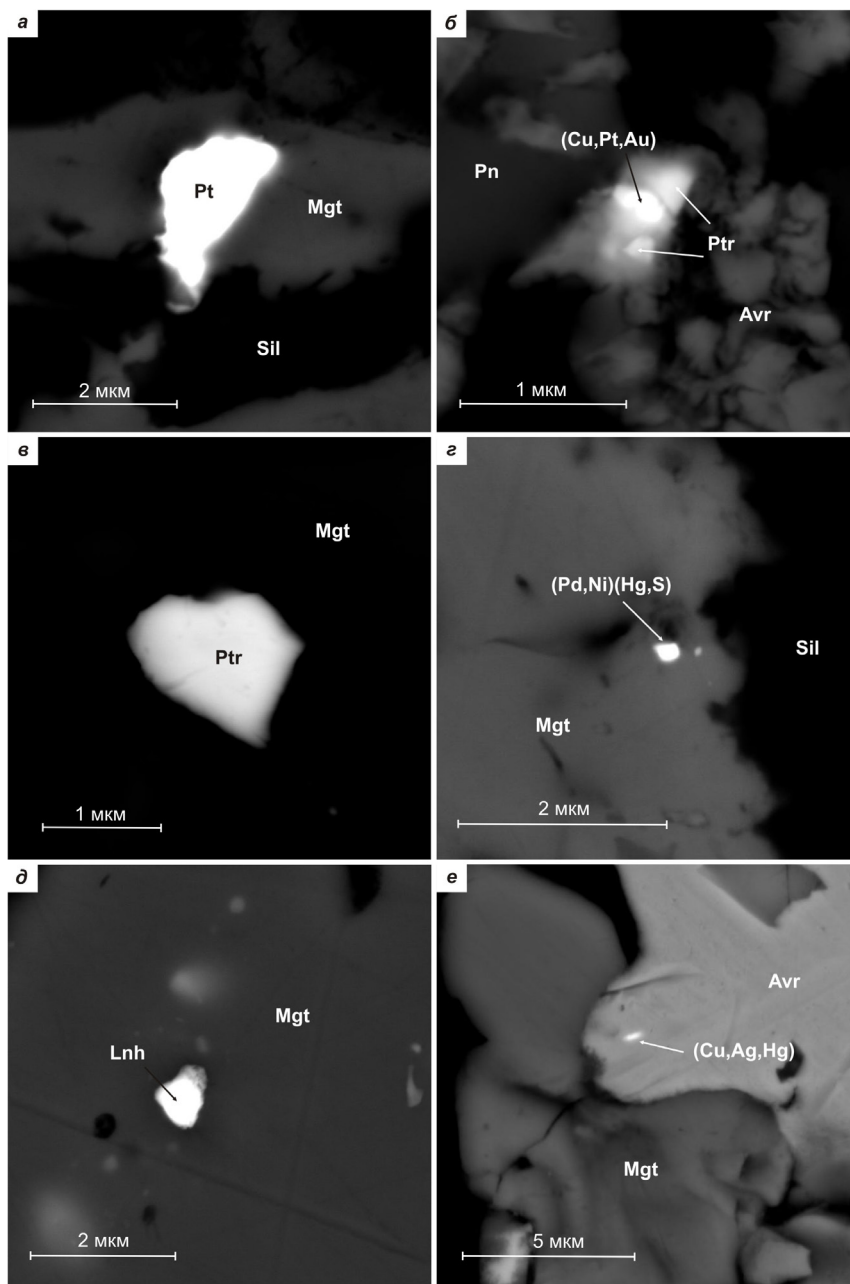


Рис. 2. Акцессорная благороднометаллическая минерализация дунитов и аподунитовых серпентинитов Кызыр-Бурлюкского ультрамафитового массива: а) самородная медно-никелистая платина в ксеноморфном зерне магнетита; б) включение потарита в зерне аваруита; в) включение потарита в магнетите; г) микровключение 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.).

Луанхеит 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 луанхеита, 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., Янакерт 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 хромититов 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.