

## **Золото-серебряная минерализация из хромититов ультрамафитового массива Рай-Из (Полярный Урал)**

*A.N. Yurichev*  
*Tomsk State University, Tomsk, Russia*

### **Gold-silver mineralization from chromitites of the Rai-Iz ultramafic massif (Polar Urals)**

**Abstract.** Accessory gold-silver mineralization was identified in chromitites of the Rai-Iz ultramafic massif, which is part of the Khadata ophiolite belt of the Polar Urals. The mineralization includes a three-component (Cu–Au–Ag) natural alloy corresponding to cupriferous gold (?) and native silver. The chemical composition of minerals is shown and mechanism of their formation is proposed.

На Урале сконцентрировано множество проявлений золото-серебряной минерализации, в основном, мелких по своим масштабам и локализованных, преимущественно, в измененных ультраосновных породах. Они распространены неравномерно: большинство проявлений связано с массивами рифейских и раннепалеозойских альпинотипных ультрамафитов, и только некоторые связаны с зональными и стратиформными мафит-ультрамафитовыми комплексами. Проявления этой минерализации в массивах альпинотипных ультрамафитов наиболее широко представлены на Южном Урале и единичны на Среднем и Северном Урале, однако в последних распространены промышленные золотоносные россыпи водотоков, дренирующих ультраосновные породы [Мурзин, 2009]. Находки золото-серебряной минерализации в хромититах из реститовых ультрамафитов – редкое и слабоизученное явление, которое в отдельных случаях позволяет с высокой степенью надежности говорить об особенностях их генезиса.

В процессе изучения вещественного состава хромититов ультрамафитового массива Рай-Из (Полярный Урал) [Вахрушева и др., 2017; Строение..., 1990] на сканирующем электронном микроскопе автором был выявлен трехкомпонентный (Au–Cu–Ag) твердый раствор, отвечающий по химическому составу медистому золоту и самородному серебру. Изученные минералы обычно отмечаются в виде единичных обособленных микровключений размером до 10 мкм. Включения медистого золота, в основном, обнаружены в силикатных интерстициях зерен хромшпинелидов, нередко в непосредственном контакте с ними, а самородное серебро приурочено к мелким трещинкам и кавернам в зернах хромшпинелидов (рис.).

Агрегаты природного Au–Cu–Ag сплава имеют ксеноморфную, комковатую форму с вмято-пластичной, чешуйчатой скульптурой отдельных индивидов (рис. а, б). Размер обособленных зерен варьирует от 1.5 до 4.0 мкм. В химическом составе преобладает Au (56.4–60.8 мас. %) и Cu (29.3–37.4 мас. %), постоянно отмечается Ag (4.5–12.4 мас. %) и реже – Fe (до 0.6 мас. %) (табл.).

Самородное серебро – редкий минерал в ультраосновных породах. Известно несколько сообщений о его находках в реститовых ультрамафитах Урала [Макеев, 1992; Смирнова, 1970; Юричев, 2019; 2021а]. Самородное серебро диагностировано только внутри зерен хромшпинелидов в виде обособленных стустковидных включений, нередко пластинчатой формы, размером 8–10 мкм (рис. в, г). В химическом составе минерала постоянно присутствует Fe (до 0.9 мас. %) (табл.).

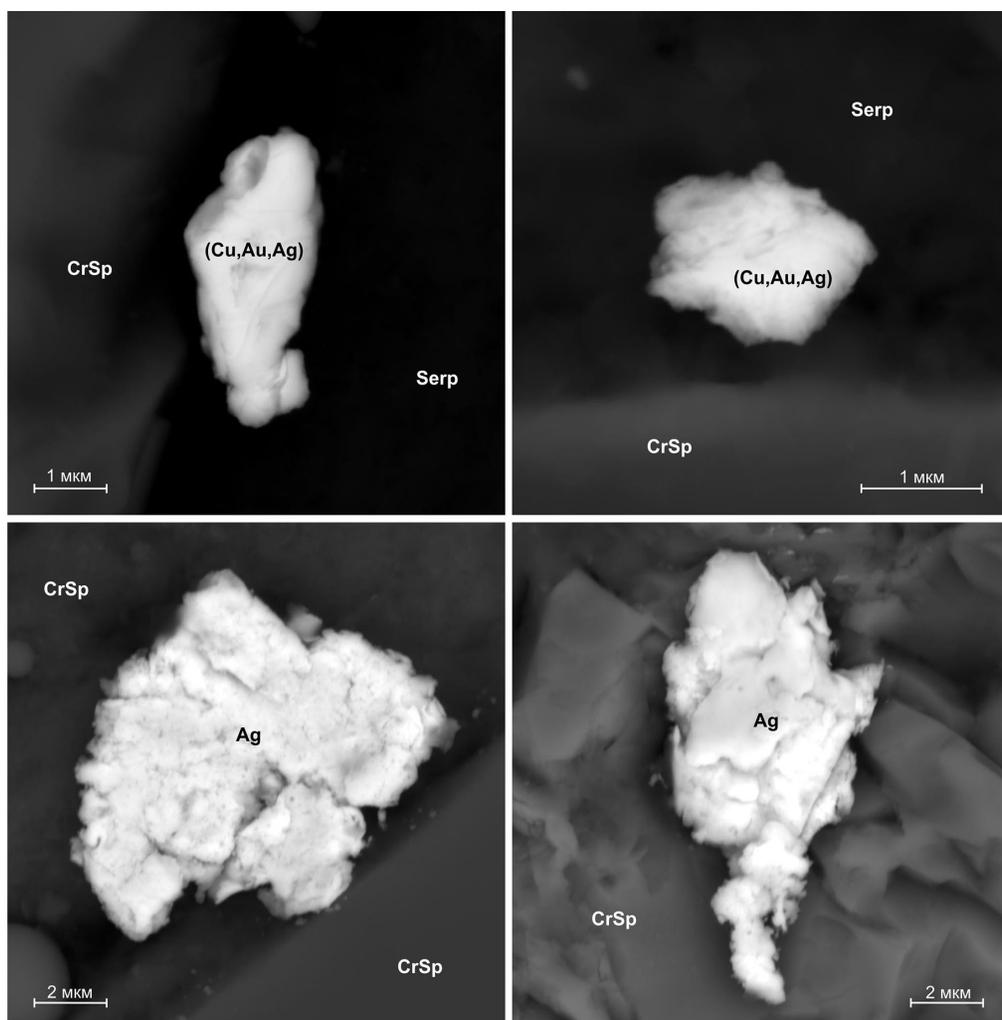


Рис. Акцессорное медистое золото и самородное серебро в хромититах массива Рай-Из (BSE фото).

*CrSp* – хромшпинелид; *Serp* – серпентин.

Мобилизацию и концентрирование самородного серебра мы связываем с процессами серпентинизации и преобразования первичных силикатов, а также находящихсся с ними в парагенезисе акцессорных сульфидов при восстановительных условиях [Смирнова, 1970; Юричев, 2019].

Однако генезис медистого золота не столь однозначен и требует более глубокого изучения. Находки зерен самородного золота в хромититах офиолитовых ультрамафитовых комплексов мира также относительно редки. Такое золото либо не имеет примесей, либо относится к Au-Ag и Au-Cu-Ag твердым растворам или Au-Cu интерметаллидам [Evans et al., 2012; Kojonen et al., 2003; Malitch et al., 2001; Yang et al., 2015; Орсоев и др., 2001; Шайбеков и др., 2015; Юричев, 2021б]. В большинстве находок самородное золото ассоциирует с сульфидами Cu и Ni и связывается с наложенными процессами серпентинизации и хлоритизации. В отдельных случаях отмечалась синхронность самородного золота и хромшпинелида.

**Химический состав медистого золота и самородного серебра из хромититов массива Рай-Из, мас. %**

Образец	Au	Cu	Ag	Fe	Сумма	Формула
Медистое золото						
P-1-10	57.99	33.36	8.51	–	99.86	$Cu_{0.58}Au_{0.33}Ag_{0.09}$
P-1-11	57.37	32.92	8.56	–	98.85	$Cu_{0.58}Au_{0.33}Ag_{0.09}$
P-1-12	57.44	34.40	7.62	–	99.46	$Cu_{0.60}Au_{0.32}Ag_{0.08}$
P-4-42	57.02	30.31	12.34	–	99.67	$Cu_{0.54}Au_{0.33}Ag_{0.13}$
P-4-43	57.42	29.66	12.37	–	99.45	$Cu_{0.54}Au_{0.33}Ag_{0.13}$
P-4-44	58.39	29.27	12.39	–	100.05	$Cu_{0.53}Au_{0.34}Ag_{0.13}$
Y-4/3-38	58.26	32.18	8.88	–	99.32	$Cu_{0.57}Au_{0.34}Ag_{0.09}$
Y-4/3-39	58.83	31.24	8.23	0.55	98.85	$Cu_{0.56}Au_{0.34}Ag_{0.09}Fe_{0.01}$
Y-4/3-40	58.30	31.66	8.33	0.56	98.85	$Cu_{0.56}Au_{0.34}Ag_{0.09}Fe_{0.01}$
Y-4/3-116	59.40	35.54	4.49	–	99.43	$Cu_{0.62}Au_{0.33}Ag_{0.05}$
Y-4/3-117	59.63	34.86	4.74	–	99.23	$Cu_{0.61}Au_{0.34}Ag_{0.05}$
Y-4/3-118	58.19	37.44	4.51	–	100.14	$Cu_{0.64}Au_{0.32}Ag_{0.04}$
Y-4/3-122	56.65	36.87	6.52	–	100.03	$Cu_{0.63}Au_{0.31}Ag_{0.06}$
Y-4/3-123	56.38	36.82	6.44	–	99.64	$Cu_{0.63}Au_{0.31}Ag_{0.06}$
Y-4/3-124	56.66	36.19	6.61	–	99.45	$Cu_{0.62}Au_{0.31}Ag_{0.07}$
Y-325/1-245	60.75	31.98	7.34	0.06	100.12	$Cu_{0.57}Au_{0.35}Ag_{0.08}$
Y-325/1-246	59.49	31.73	7.64	–	98.86	$Cu_{0.57}Au_{0.35}Ag_{0.08}$
Y-325/1-247	60.44	32.30	7.33	–	100.07	$Cu_{0.57}Au_{0.35}Ag_{0.08}$
Самородное серебро						
P-4-144	–	–	98.80	0.63	99.43	$Ag_{0.99}Fe_{0.01}$
P-4-145	–	–	99.09	0.94	100.03	$Ag_{0.98}Fe_{0.02}$
P-4-146	–	–	98.37	0.83	99.2	$Ag_{0.98}Fe_{0.02}$
P-4-147	–	–	99.00	0.51	99.51	$Ag_{0.99}Fe_{0.01}$
Y-399/2-90	–	–	98.53	0.79	99.32	$Ag_{0.98}Fe_{0.02}$
Y-399/2-91	–	–	99.57	0.60	100.17	$Ag_{0.99}Fe_{0.01}$
Y-399/2-92	–	–	98.12	0.82	98.94	$Ag_{0.98}Fe_{0.02}$
Y-399/2-93	–	–	98.95	0.86	99.81	$Ag_{0.98}Fe_{0.02}$

*Примечание.* Химический состав проанализирован на сканирующем электронном микроскопе Tescan Mira 3 LMU с энергодисперсионным детектором UltimMax100 (Oxford Instruments) в ЦКП «Аналитический центр геохимии природных систем» (Томский государственный университет, г. Томск). Измерения проводились при ускоряющем напряжении 20 кВ, силе тока пучка электронов 4.5 нА и времени накопления спектра в точке 60 с в режиме Point&ID (2000000 импульсов). Диаметр пучка зонда 1–2 мкм. В качестве стандартов для Au, Ag, Cu и Fe применены чистые металлы. Используются следующие аналитические линии: La для Au и Ag; Ka для Cu и Fe.

Выявлено, что принадлежность самородного золота к различным парагенетическим ассоциациям согласуется с его различным составом: трехкомпонентным (Au-Cu-Ag) в первичной ассоциации и беспримесным – во вторичной ассоциации [Мурзин и др., 2023].

По нашему мнению, не исключено, что акцессорные включения медистого золота могут относиться к первично мантийному типу, в генезисе которого коровые процессы, связанные с заимствованием металлов из вмещающих пород, не играли какой-либо значимой роли. Таким образом, первичные геохимические характеристики трехкомпонентного твердого раствора (количественные содержания элементов-примесей в составе описанных золотин) могут нести ценную информацию о специфике генезиса родоначального рестита, а также позволяют использовать их в качестве маркерных минералов для сравнительного анализа с аналогичными объектами на этой территории и в пределах других провинций.

## Литература

- Вахрушева Н.В., Ширяев П.Б., Степанов А.Е., Богданова А.Р.* Петрология и хромитоносность ультраосновного массива Рай-Из (Полярный Урал). Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2017. 265 с.
- Макеев А.Б.* Минералогия альпинотипных ультрабазитов Урала. СПб: Наука, 1992. 197 с.
- Мурзин М.В.* Золотое оруденение в ультрамафитах Урала / В кн.: Ультрабазит-базитовые комплексы складчатых областей и связанные с ними месторождения. Екатеринбург, 2009. С. 61–64.
- Мурзин В.В., Малич К.Н., Баданина И.Ю и др.* Минеральные ассоциации хромититов Алапаевского дунит-гарцбургитового массива (Средний Урал) // Литосфера. 2023. Т. 23. № 5. С. 740–765.
- Орсоев Д.А., Толстых Н.Д., Кислов Е.В.* Минерал состава PtCu<sub>3</sub> из хромититов Оспинско-Китойского гипербазитового массива (Вост. Саян) // Записки РМО. 2001. Т. 130. № 4. С. 61–71.
- Смирнова Т.А.* Теллурическое железо в ультраосновных породах Кемпирсайского плутона // Записки ВМО. 1970. Ч. 99. Вып. 6. С. 745–748.
- Строение, эволюция и минерагения гипербазитового массива Рай-Из / Отв. ред. В.Н. Пучков, Д.С. Штейнберг. Свердловск: УрО АН СССР, 1990. 226 с.
- Шайбеков Р.И., Кузнецов С.К., Гайкович М.М., Шевчук С.С.* Сульфидная и благороднометаллическая минерализация в хромовых рудах Лагортинско-Кершорской площади Войкаро-Сыньинского массива (Полярный Урал) // Литосфера. 2015. № 1. С. 75–85.
- Юричев А.Н.* Акцессорные самородные металлы и их оксиды из массивных хромититов Кемпирсайского ультрамафитового массива (Южный Урал, Казахстан) // Известия ТПУ. Инжиниринг георесурсов. 2019. Т. 330. № 7. С. 84–92.
- Юричев А.Н.* Акцессорные минералы золота и серебра в ультрамафитах Кызыр-Бурлюкского массива (Западный Саян) // Руды и металлы. 2021а. № 4. С. 109–120.
- Юричев А.Н.* Акцессорная золото-серебряная минерализация из хромититов Харчерузского ультрамафитового массива (Полярный Урал) // Известия ТПУ. Инжиниринг георесурсов. 2021б. Т. 332. № 3. С. 229–236.
- Evans D.M., Barrett F.M., Prichard H.M., Fisher P.C.* Platinum-palladium-gold mineralization in the Nkenja mafic-ultramafic body, Ubendian metamorphic belt, Tanzania // Mineralium Deposita. 2012. Vol. 47. P. 175–196.
- Kojonen K., Zaccarini F., Garuti G.* First finding of native gold in the chromitites of the Ray-Iz ophiolitic complex, Polar Urals // Geophysical Research. 2003. Vol. 5. P. 8352.
- Malitch K.N., Melcher F., Muhlhans H.* Palladium and gold mineralization in podiform chromitite at Kraubath, Austria // Mineralogy and Petrology. 2001. Vol. 73. P. 247–277.
- Yang J., Meng F., Xu X., et al.* Diamonds, native elements and metal alloys from chromitites of the Ray-Iz ophiolite of the Polar Urals // Gondwana Research. 2015. Vol. 27. № 2. P. 450–485.