

Акцессорные минералы золота и серебра в ультрамафитах Кызыр-Бурлюкского массива (Западный Саян)

Gold and silver accessory minerals in ultramafites of the Kyzыр-Burlyuksky ultramafic massif (Western Sayan)

Юричев А. Н.

Yurichev A. N.

Объектом исследования являются акцессорные минералы золота и серебра (самородное серебро, медистое золото, луанхейт (Ag_3Hg), неназванная минеральная фаза (Cu,Ag,Hg)), впервые диагностированные в дунитах и аподунитовых серпентинитах Кызыр-Бурлюкского ультрамафитового массива, входящего в состав Куртушибинского офиолитового пояса Западного Саяна. Выявленные рудные минералы в основном отмечаются в виде единичных гипидиоморфных, неправильных микроскопических выделений (0,5–3,0 мкм) преимущественно внутри магнетита, значительно реже в зёрнах аваруита. Охарактеризованы их типоморфные и химические особенности, показана естественная обстановка нахождения в породообразующей силикатной матрице. Формирование и концентрирование рассмотренных акцессорных минералов связываются с наложенными низкотемпературными процессами преобразования (гидратации) исходных ультраосновных пород. При этом присутствие луанхейта и неназванной фазы (Cu,Ag,Hg), наряду с обнаруженным ранее потаритом (PdHg), вероятно, является свидетельством низкотемпературных условий минералообразования при проявлении эпигенетических процессов серпентинизации (низкоградного метаморфизма) за счёт растворов, обогащённых ртутью. Не исключается, что источником таких растворов могли выступать внедрявшиеся позднее в основное ультрамафитовое тело интрузивы габбрового состава.

Ключевые слова: Западный Саян, офиолиты, Кызыр-Бурлюкский массив, реститовые ультрамафиты, золото, серебро, химизм, генезис.

The study focuses on gold and silver accessory minerals (native silver, cuprous gold, luanheite (Ag_3Hg), unspecified mineral phase (Cu,Ag,Hg), first diagnosed in dunites and apodunite serpentinites of the Kyzыр-Burlyuksky ultramafic massif, which is part of the Kurtushibin ophiolite belt of Western Sayan. The revealed ore minerals are mainly observed in the form of single hypidiomorphic, irregular microscopic precipitates (0.5–3.0 μm) mainly inside magnetite, much less often in grains of avaruite. Typomorphic and chemical features of ore minerals, their natural setting in rock-forming silicate matrix are characterized. Formation and concentration of these accessory minerals is associated with superimposed low-temperature transformation (hydration) processes affecting original ultramafic rocks. At the same time, the presence of luanheite and an unnamed phase (Cu,Ag,Hg), along with the previously identified potarite (PdHg), is probably evidence of low-temperature conditions of mineral formation during the manifestation of epigenetic processes of serpentinization (low-grade metamorphism) due to solutions enriched in mercury. The source of such solutions could be gabbro intrusions that penetrated later into the main ultramafic body.

Keywords: Western Sayan, ophiolites, Kyzыр-Burlyuksky massif, restite ultramafic rocks, gold, silver, chemism, genesis.

Для цитирования: Юричев А. Н. Акцессорные минералы золота и серебра в ультрамафитах Кызыр-Бурлюкского массива (Западный Саян). Руды и металлы. 2021. № 4. С. 109–120. DOI: 10.47765/0869-5997-2021-10031.

For citation: Yurichev A. N. Gold and silver accessory minerals in ultramafites of the Kyzыр-Burlyuksky ultramafic massif (Western Sayan). Ores and metals, 2021, № 4, pp. 109–120. DOI: 10.47765/0869-5997-2021-10031.

Минералы золота и серебра в составе реститовых ультрамафитов офиолитовых комплексов относятся к числу крайне редких находок. До настоящего времени они слабо изучены и характеризуются неоднозначной генетической интерпретацией, очевидно, из-за сложности их поиска и последующего анализа (микроскопические, до ~ 10 мкм, размеры выделений и незначительные, до ~ 0,1 %, содержания).

При изучении вещественного состава рудной аксессуарной минерализации в аншлифах, изготовленных из образцов дунитов и их серпентинизированных разностей Кызыр-Бурлюкского массива, автором впервые были диагностированы микроскопические включения минералов золото-серебряной специализации. В статье приводится химическая типизация выявленных минералов и делается предположение о механизме их образования. Отражена естественная обстановка нахождения установленной минерализации в породообразующей матрице.

Геологическое строение исследуемого массива. Кызыр-Бурлюкский ультрамафитовый массив расположен на западном склоне хребта Эргак-Таргак-Тайга и является фрагментом Куртушибинского офиолитового пояса Западного Саяна [4, 18]. Он имеет удлинённую форму, ориентированную в северо-западном направлении с крутым погружением на северо-восток (рис. 1). Мощность массива составляет от 1 до 2,5 км. Вдоль его юго-западного контакта с вмещающими зелёными сланцами венд-кембрийского возраста картируется зона серпентинитового меланжа. С северо-востока массив перекрывается более молодыми осадочными отложениями позднесилурийского возраста.

Массив сложен преимущественно реститовыми дунитами и их серпентинизированными разностями с редкими жильными телами ортопироксенитов [13]. Дуниты прорываются многочисленными мелкими субизометрическими интрузивными телами и дайками габброидов. Последние имеют субнормальную ориентировку по отношению к простиранию массива и, вероятно, образовались при внедре-

нии расплава вдоль трещин отрыва, появившихся при поперечном сдавливании массива. В экзоконтактовых зонах габброидов постоянно прослеживаются породы верлит-клинопироксеновой ассоциации, которые, очевидно, являются реакционно-метасоматическими образованиями, возникшими в результате воздействия высокотемпературных основных расплавов на консолидированные дуниты. В эндоконтактовых частях массива и вдоль разломов отмечается интенсивная серпентинизация (антигоритизация).

Дуниты имеют преимущественно крупнозернистое строение и постоянно обнаруживают признаки пластических деформаций, выражающиеся в неоднородном субблоковом и мозаичном погасании зёрен оливина, в характерных полосах сброса и проявлении по краям зёрен синтектонической рекристаллизации. По химическому составу оливин занимает пограничное положение между форстеритом и хризолитом ($Fa = 10,5\text{--}10,9\%$) [13]. Зёрна хромшпинелидов встречаются редко, в виде аксессуарной вкрапленности, их размер менее 0,5 мм. Они имеют субизометрическую, реже эвгедральную форму и по классификации Н. В. Павлова [10] соответствуют преимущественно хромпикотитам и реже субферриалюмохромитам.

Методика исследования. В соответствии с задачами настоящего исследования использовался традиционный подход минераграфического изучения рудных минералов с определением химического состава фаз рентгено-спектральным микроанализом, с применением метода растровой электронной микроскопии [23]. Последний метод включал изучение отдельных зёрен и их агрегатов на сканирующем электронном микроскопе с дальнейшими энергодисперсионным и волнодисперсионным микроанализами. Использовалась следующая аппаратура: электронные микроскопы Tescan Mira 3 LMU с энергодисперсионным детектором UltimMax100 (Oxford Instruments), Tescan Vega II LMU с энергодисперсионной (с детектором Si(Li) Standard) INCA Energy 350 и волнодисперсионной INCA Wave 700 приставками. Перед исследованием из отобранных об-

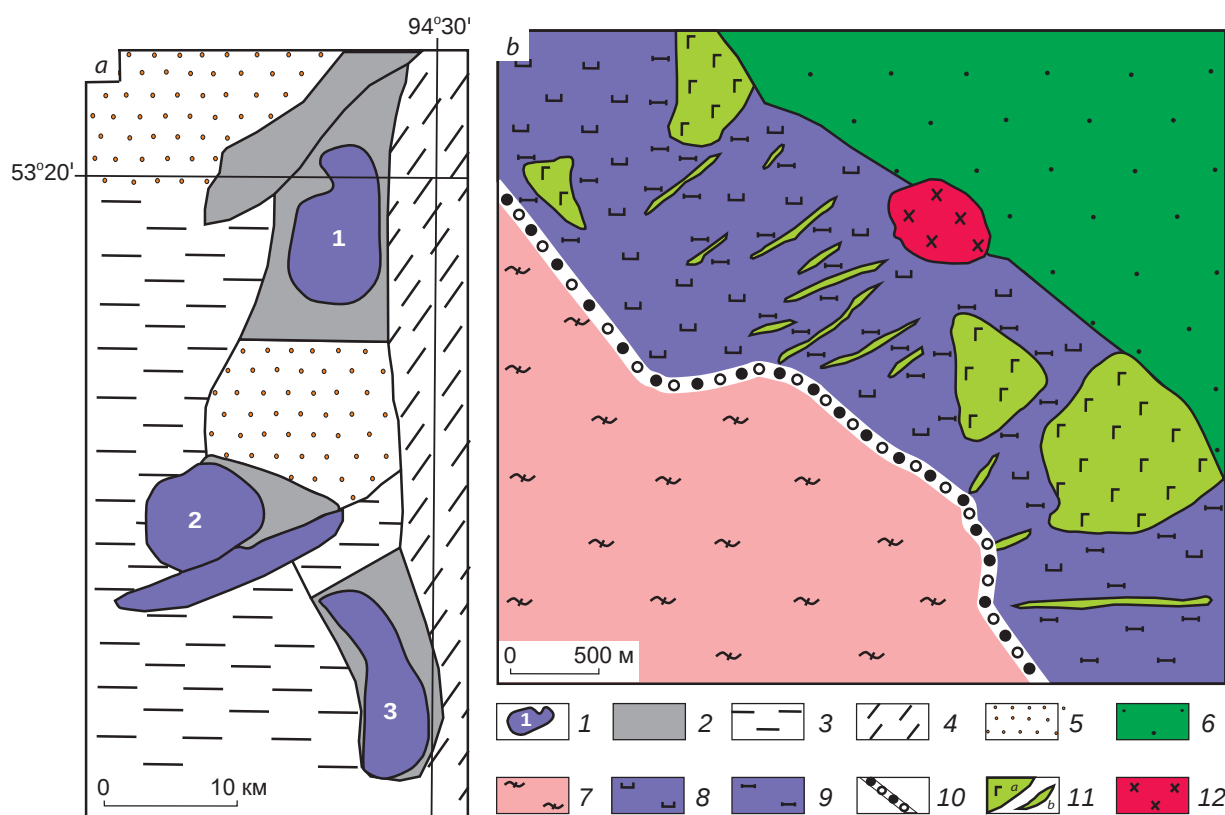


Рис. 1. Схемы геологического строения Куртушибинского офиолитового пояса Западного Саяна [4] (a), Кызыр-Бурлюкского массива [13] (b):

1 – ультрамафитовые массивы (1 – Эргакский, 2 – Калнинский, 3 – Кызыр-Бурлюкский); 2 – вулканогенно-осадочные толщи (метабазальты, плагиориолиты, сланцы кремнистые, углистые, глаукофановые); каледонские складчатые системы: 3 – Западно-Саянская, 4 – Хемчикско-Систигхемская; 5 – среднепалеозойские впадины; 6 – осадочные отложения; 7 – сланцы по основным вулканитам; 8 – дуниты; 9 – верлиты; 10 – зона меланжа; 11 – габбро (a – штоки, b – дайки); 12 – диориты

Fig. 1. Geological structure schemes: a – Kurtushibinsky ophiolite belt, Western Sayan [4], b – Kyzыр-Burlyuksky massif [13]:

1 – ultramafic massifs (1 – Ergaksky, 2 – Kalninsky, 3 – Kyzыр-Burlyuksky); 2 – volcano-sedimentary strata (metabasalt, plagioryolite, siliceous, carbonaceous, glaucophane shales); Caledonian fold systems: 3 – Western Sayan, 4 – Khemchiksko-Sistighemskaya; 5 – Middle Paleozoic depressions; 6 – sedimentary deposits; 7 – shale formed on basic volcanic rocks; 8 – dunite; 9 – verlite; 10 – mélangé zone; 11 – gabbro (a – stocks, b – dikes); 12 – diorite

разцов дунитов и хромититов были изготовлены плоскопараллельные аншлифы толщиной 3–4 мм с последующим напылением на изучаемые поверхности слоя углерода (~ 25–30 нм). Измерения проводились на вольфрамовом катоде при ускоряющем напряжении 20 кВ, текущем токе 15 нА и времени набора спектра

120 с. Диаметр пучка зонда составил 1–2 мкм. В качестве эталонов сравнения применялись стандарты MAC (55 Standard Universal Block Layout + F/Cup № 6835): для Au, Ag, Cu, Fe, Pd, Pt – чистые металлы; для Hg – HgTe. Используются аналитические линии: La для Au, Ag, Pd и Pt; Ka для Fe и Cu; Ma для Hg.



Все анализы выполнены в ЦКП «Аналитический центр геохимии природных систем» ТГУ (г. Томск, аналитик Е. В. Корбовяк). Расчёты химических составов проводились по программе INCA-Issue 18b и по дополнительным авторским программам.

Анализ полученных результатов. В процессе изучения аншлифов главных типов пород Кызыр-Бурлюкского массива акцессорные минералы золота и серебра были диагностированы только в дунитах и аподунитовых серпентинитах. В ортопироксенитах, верлитах и габброидах данный тип минерализации не выявлен. Учитывая микроскопический размер выделений минерализации, её обнаружение и диагностика представились возможными только путём трудоёмкого детального изучения всей рабочей поверхности аншлифов под микроскопом. Выявленные акцессорные минералы в основном присутствуют в виде единичных гипидиоморфных, неправильных микроскопических выделений (0,5–3,0 мкм), главным образом внутри магнетита, значительно реже в зёрнах аваруита. По химическому составу установлены самородное серебро, медистое золото, луанхеит (Ag_3Hg) и неназванная фаза (Cu,Ag,Hg).

Самородное серебро – наиболее распространённый из выделенных минералов, наблюдается как в неизменённых дунитах, так и в их серпентинизированных разновидностях. При этом в первых серебро образует отдельные обособленные сгустковидные выделения пластинчатой округлой формы в основной силикатной матрице (рис. 2, а, b), а в составе вторых часто отмечается в виде более разуплотнённых и дезинтегрированных выделений в тесном парагенезисе с магнетитом или внутри его крупных неправильных зёрен (см. рис. 2, с–f). Размер таких выделений достигает 10 мкм. В «свежих» дунитах химический состав минерала характеризуется практически полной «стерильностью» за исключением незначительной примеси железа (до 2,8 %); в серпентинизированных разновидностях наблюдается тенденция к возрастанию в составе роли железа (до 8,2 %) и появлению примесей меди (до 5,0 %) и палладия (до 1,1 %) (таблица). При

этом, если медь – обычная примесь для серебра, и Ю. А. Волченко [12] ранее выявлял даже медистое серебро в альпинотипных ультрамафитах, то примеси железа и палладия менее типичны. Автор склонен относить их к механическим, «загрязняющим» химический состав самородного серебра путём вхождения в него в виде тонкодисперсных включений. В пользу данного предположения свидетельствует обнаружение обособленного микроскопического выделения самородного палладия внутри одного из выделений самородного серебра (см. рис. 2, e, f).

Медистое золото (купроаурид?) выявлено только в аподунитовых серпентинитах, имеет неправильную комковатую форму, с вмятопластичной и чешуйчатой скульптурой отдельных индивидов (рис. 3, а, b). Минерал фиксируется исключительно в виде микроскопических (до 2 мкм) выделений в магнетите. В его химическом составе существенно преобладают два компонента: золото (52–61 %) и медь (30–40 %), а серебро диагностируется в виде постоянной примеси (7–9 %) (см. табл.). Также отмечено, что при достаточно широких границах смесимости золота и меди часто сохраняется их пропорциональное соотношение, стремящееся к $\text{Au} / \text{Cu} = 2 / 1$. Выявленное медистое золото обнаруживает значительное сходство с подобными природными сплавами из хромититов Харчерузского и Войкаро-Сыньинского массивов (Полярный Урал) и хромититов арсенидного никель-кобальтового месторождения Бени-Буазера (Марокко) (рис. 4) [16, 21].

Луанхеит чаще образует мелкие (до 1 мкм) гипидиоморфные, округлые включения исключительно в зёрнах магнетита (см. рис. 3, с). Постоянно в химическом составе минерала встречаются примеси никеля (до 5,1 %), меди (до 1,9 %) и палладия (до 2,0 %) (см. табл.), которые, с учётом «стерильности» вмещающего магнетита и полученных пересчётов на формулу луанхеита, автор склонен относить к механическим.

Неназванная фаза (Cu,Ag,Hg) редка, выявлена в виде очень мелких (до 0,6 мкм) вытянутых выделений в краевых частях зёрен ава-

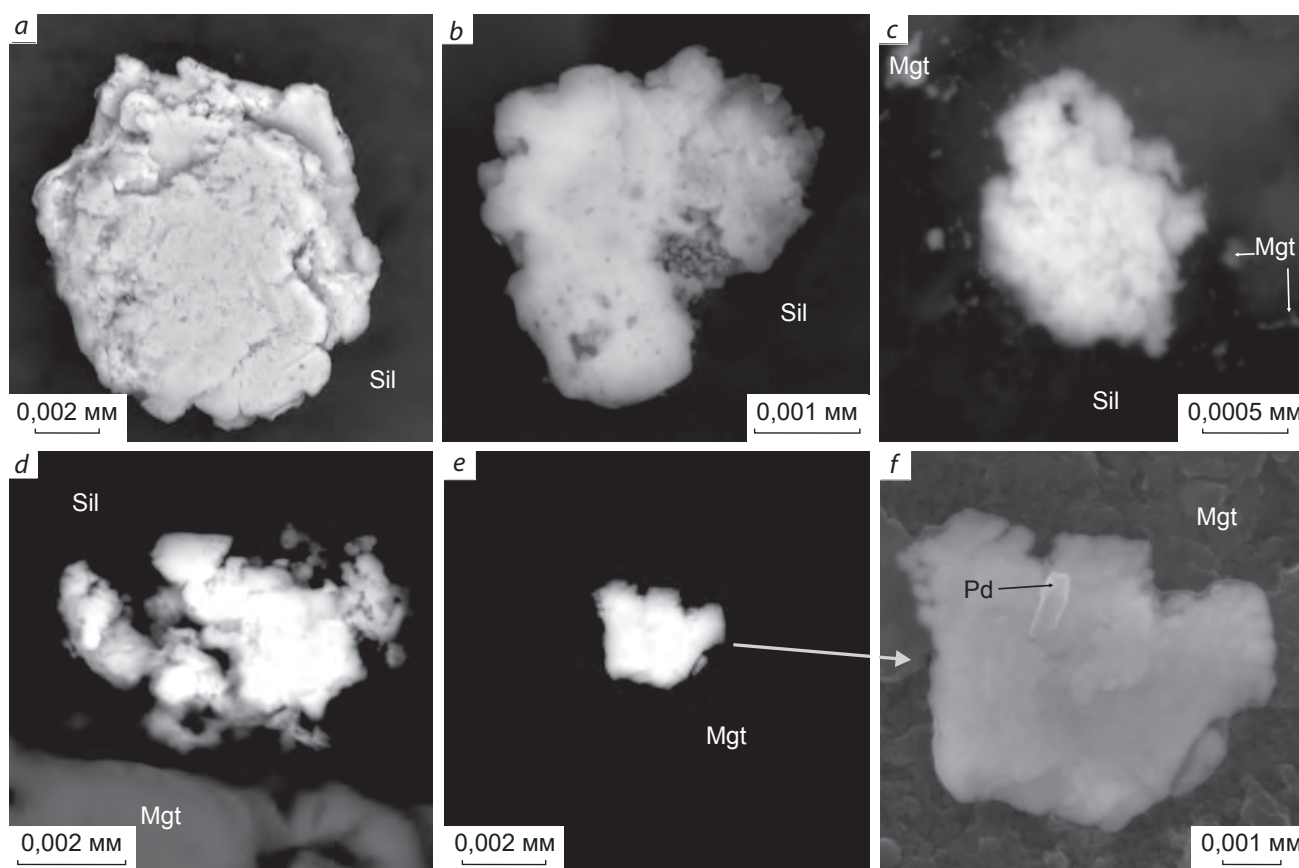


Рис. 2. Микрофотографии самородного серебра в дунитах (a, b) и аподунитовых серпентинитах (c–f) Кызыр-Бурлюкского массива:

a–e – режим BSE; f – режим SE; Sil – силикатная матрица; Mgt – магнетит; Pd – палладий

Fig. 2. Microphotographs of native silver in dunite (a, b) and apodunite serpentinite (c–f) of Kyzyl-Burlyuksky massif:

a–e – BSE mode; f – SE mode; Sil – silicate matrix; Mgt – magnetite; Pd – palladium

руита Ni_3Fe (см. рис. 3, d). Часто в химическом составе триады диагностируется незначительная (менее 1 %) примесь палладия (см. табл.).

Выводы. Полученные данные – первое свидетельство наличия акцессорной золото-серебряной минерализации в дунитах и аподунитовых серпентинитах Кызыр-Бурлюкского ультрамафитового массива Западного Саяна. Впервые в данных породах установлены и охарактеризованы самородное серебро, медистое золото, луанхеит и неназванная минеральная фаза (Cu, Ag, Hg).

Самородное серебро – большая редкость для ультраосновных пород. К настоящему времени известно всего несколько сообщений о находках данного металла в реститовых ультрамафитах Урала [7, 12, 15]. При этом информация о химическом составе серебра авторами сообщений из-за малых размеров выделений практически не приводится. В настоящей работе описан химический состав самородного серебра как в «свежих» дунитах, так и в серпентинизированных разностях. Во-первых, минерал характеризуется практически

Химический состав акцессорной золото-серебряной минерализации из дунитов и аподунитовых серпентинитов Кызыр-Бурлюкского ультрамафитового массива, вес. %

Chemical composition of accessory gold-silver mineralization from dunite and apodunite serpentine, Kyzyl-Burlyuksky ultramafic massif, weight %

Ag	Au	Pd	Cu	Ni	Fe	Hg	Сумма	Формула
Самородное серебро (Ag)								
Дуниты								
99,41	–	–	–	–	0,74	–	100,15	Ag _{0,99} Fe _{0,01}
99,36	–	–	–	–	0,78	–	100,14	Ag _{0,99} Fe _{0,01}
97,08	–	–	–	–	2,30	–	99,38	Ag _{0,96} Fe _{0,04}
98,09	–	–	–	–	1,78	–	99,87	Ag _{0,97} Fe _{0,03}
96,56	–	–	–	–	2,83	–	99,39	Ag _{0,95} Fe _{0,05}
Аподунитовые серпентиниты								
93,57	–	–	–	–	6,10	–	99,67	Ag _{0,89} Fe _{0,11}
91,46	–	–	–	–	8,26	–	99,72	Ag _{0,85} Fe _{0,15}
96,51	–	–	–	–	2,80	–	99,31	Ag _{0,95} Fe _{0,05}
93,61	–	–	4,37	–	0,80	–	98,78	Ag _{0,91} Cu _{0,07} Fe _{0,02}
93,66	–	–	5,00	–	1,02	–	99,69	Ag _{0,90} Cu _{0,08} Fe _{0,02}
94,01	–	–	4,63	–	1,14	–	99,78	Ag _{0,90} Cu _{0,08} Fe _{0,02}
96,43	–	0,90	–	–	0,90	–	98,22	Ag _{0,97} Fe _{0,02} Pd _{0,01}
97,15	–	0,96	–	–	0,83	–	98,94	Ag _{0,97} Fe _{0,02} Pd _{0,01}
98,25	–	0,89	–	–	1,02	–	100,16	Ag _{0,97} Fe _{0,02} Pd _{0,01}
95,69	–	0,91	–	–	2,27	–	98,88	Ag _{0,95} Fe _{0,04} Pd _{0,01}
96,19	–	1,15	–	–	2,20	–	99,55	Ag _{0,95} Fe _{0,04} Pd _{0,01}
96,02	–	–	–	–	3,31	–	99,33	Ag _{0,94} Fe _{0,06}
96,39	–	–	–	–	3,12	–	99,51	Ag _{0,94} Fe _{0,06}
96,00	–	2,69	–	–	0,86	–	99,55	Ag _{0,94} Fe _{0,05} Pd _{0,01}
96,65	–	2,38	–	–	1,08	–	100,10	Ag _{0,94} Fe _{0,05} Pd _{0,01}
93,08	–	5,25	–	–	0,97	–	99,29	Ag _{0,89} Fe _{0,10} Pd _{0,01}
96,20	–	–	–	–	2,15	–	98,35	Ag _{0,96} Fe _{0,04}
97,26	–	–	–	–	2,31	–	99,57	Ag _{0,96} Fe _{0,04}
Медистое золото (Au,Cu,Ag)								
Аподунитовые серпентиниты								
7,24	53,28	–	39,66	–	–	–	100,18	Cu _{0,65} Au _{0,28} Ag _{0,07}
7,85	51,69	–	40,43	–	–	–	99,97	Cu _{0,65} Au _{0,27} Ag _{0,08}
9,02	61,09	–	30,07	–	–	–	100,19	Cu _{0,55} Au _{0,36} Ag _{0,09}
9,13	60,54	–	30,26	–	–	–	99,92	Cu _{0,55} Au _{0,35} Ag _{0,10}
Луанхейт Ag₃Hg								
Дунит								
56,55	–	1,73	1,24	4,7	–	35,43	99,64	Ag _{2,97} Ni _{0,45} Cu _{0,11} Pd _{0,09} Hg _{1,00}
57,27	–	1,66	1,59	4,38	–	35,15	100,06	Ag _{3,02} Ni _{0,43} Cu _{0,14} Pd _{0,09} Hg _{1,00}
55,37	–	1,5	1,55	5,13	–	35,32	98,87	Ag _{2,92} Ni _{0,49} Cu _{0,14} Pd _{0,08} Hg _{1,00}
56,21	–	1,74	1,91	5,01	–	35,25	100,12	Ag _{2,97} Ni _{0,48} Cu _{0,17} Pd _{0,09} Hg _{1,00}
56,35	–	2,02	1,32	4,84	–	35,59	100,12	Ag _{2,95} Ni _{0,46} Cu _{0,12} Pd _{0,11} Hg _{1,00}
Фаза (Cu,Ag,Hg)								
Аподунитовые серпентиниты								
42,73	–	–	41,38	–	–	15,52	99,63	Cu _{0,58} Ag _{0,35} Hg _{0,07}
39,7	–	0,72	44,48	–	–	14,4	99,3	Cu _{0,61} Ag _{0,32} Hg _{0,06} Pd _{0,01}
37,67	–	0,87	47,7	–	–	14,04	100,29	Cu _{0,64} Ag _{0,29} Hg _{0,06} Pd _{0,01}

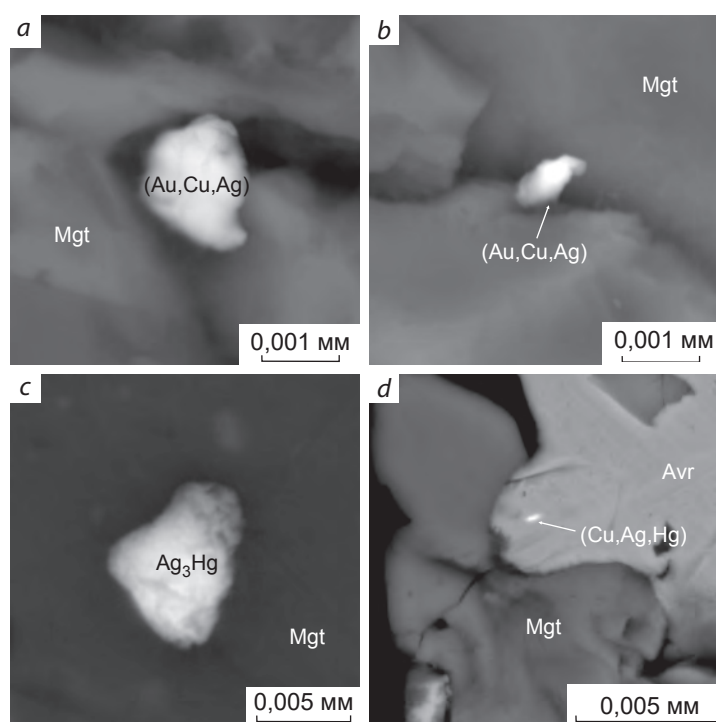


Рис. 3. Микрофотографии акцессорной золото-серебряной минерализации в ультрамафитах Кызыр-Бурлюкского массива (режим BSE):

Mgt – магнетит; Avr – аваруйт

Fig. 3. Microphotographs of accessory gold-silver mineralization in Kyzyl-Burlyuksky massif ultramafite (BSE mode):

Mgt – magnetite; Avr – avaruit

полной «стерильностью» с незначительной примесью железа (до 2,8 %), во-вторых, по мере увеличения степени серпентинизации вмещающих ультрамафитов отмечаются возрастание в составе серебра роли железа (до 8,2 %), а также появление примесей меди (до 5,0 %) и палладия (до 1,1 %). Необычное для серебра повышенное содержание железа ранее также подчёркивалось А. Б. Макеевым в массиве Рай-Из (Полярный Урал) [7]. Автор склонен связывать это обстоятельство, наряду с примесью палладия, с механическим «загрязнением» химического состава самородного серебра этими элементами путём их вхождения в него в виде самородных тонкодисперсных включений в результате процессов серпентинизации.

Химический состав диагностированного медистого золота в аподунитовых серпентинитах Кызыр-Бурлюкского массива отличается от такового ранее выявленных золотин в реститовых ультрамафитах (преимущественно серпентинитах) Южного Урала, Восточного Саяна и Южной Тувы (см. рис. 4). Состав последних соответствует электруму или ме-

дистому высокопробному золоту и характеризуется существенно меньшим содержанием меди в триаде. Однако изученные золотины обнаруживают высокое сходство с подобными природными сплавами из хромититов Полярного Урала (Россия) и Марокко.

Луанхеит относится к числу достаточно редких минералогических находок, что, очевидно, связано с его незначительными размерами и выявлением только при микроскопическом изучении аншлифов. Он известен в золотоносной россыпи р. Луанхе (КНР) [19] и в золото-полиметаллических рудах рудопроявления «Полярная Надежда» (Полярный Урал, Россия) [8]. Подобная находка вместе с находками медистого золота в ультрамафитах Кызыр-Бурлюкского массива позволяет предположить возможность обнаружения в массиве золотоносной минерализации.

Формирование и концентрирование рассмотренных акцессорных минералов золота и серебра автор склонен связывать с наложенными низкотемпературными процессами преобразования (гидратации) исходных ультраосновных пород [7, 16]. При этом присутствие

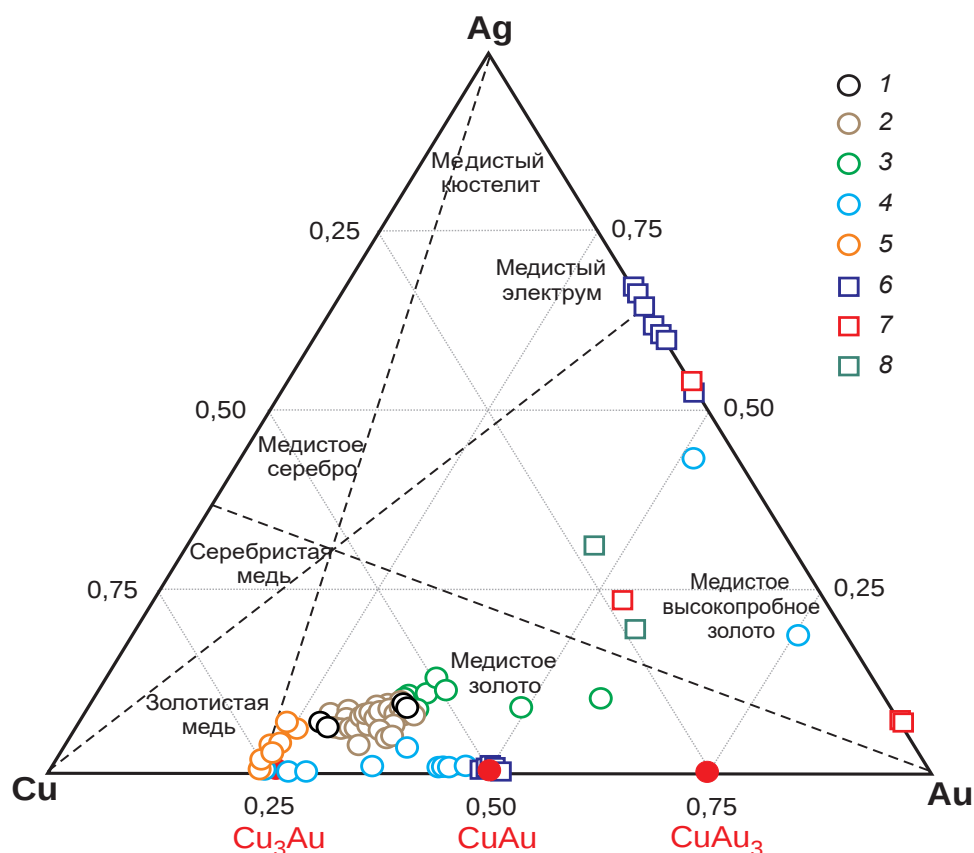


Рис. 4. Тройная диаграмма Cu–Au–Ag с составами (ат. доли) трёхкомпонентных природных сплавов золота, меди и серебра из различных ультрамафитовых объектов:

1 – аподунитовые серпентиниты Кызыр-Бурлюкского массива (Западный Саян); 2 – хромититы Харчерузского массива (Полярный Урал) [16]; 3 – хромититы арсенидного никель-кобальтового месторождения Бени-Буазера (Марокко) [21]; 4 – родингиты золоторудного месторождения Золотая Гора (Карабашский массив, Южный Урал) [9, 20]; 5 – хромититы Войкаро-Сыньинского массива (Полярный Урал) [6, 14]; 6 – хромититы и серпентиниты Агардагского массива (Южная Тува) [5]; 7 – мафит-ультрамафиты Хурай-Жалгинского массива (Восточный Саян) [3]; 8 – ультрамафиты Оспинско-Китойского массива (Восточный Саян) [1, 2]; красными кружками на диаграмме отмечено положение теоретических составов известных природных сплавов меди и золота

Fig. 4. Triple Cu–Au–Ag plot showing compositions (at. %) of three-component natural gold, copper and silver alloys from various ultramafite massifs:

1 – apodunite serpentinite of Kyzыр-Burlyuksky massif (Western Sayan); 2 – chromitite of Kharcheruzsky massif (Polar Urals) [16]; 3 – chromitite of the Beni-Buazera arsenide Ni-Co deposit (Morocco) [21]; 4 – rodingite of the Zolotaya Gora gold deposit (Karabashsky massif, South Urals) [9, 20]; 5 – chromitite of Voikaro-Syninsky massif (Polar Urals) [6, 14]; 6 – chromitite and serpentinite of Agardagsky massif (South Tuva) [5]; 7 – mafite-ultramafites of Khurai-Zhalginsky massif (Eastern Sayan) [1, 2]; red circles show position of theoretical compositions of the known natural copper and gold alloys

луанхеита и неназванной фазы (Cu, Ag, Hg), наряду с выявленным здесь же ранее потаритом PdHg [17], вероятно, указывает на то, что их формирование происходило в условиях невысоких температур [11, 22], при проявлении эпигенетических процессов серпентинизации

(низкоградного метаморфизма) за счёт растворов, обогащённых ртутью. Не исключается, что источником таких растворов могли быть внедрявшиеся позднее в основное ультрамафитовое тело интрузивы габбрового состава.

Список литературы

1. Григорьева А. В., Дамдинов Б. Б., Служеникин С. Ф. Рудная минерализация в ультрабазитах и метасоматитах Оспинско-Китойского массива (Восточный Саян) // Геология рудных месторождений. – 2018. – Т. 60, № 2. – С. 141–163.
2. Дамдинов Б. Б. Нетрадиционные типы благороднометалльной минерализации в офиолитах Восточно-Саянского и Джидинского поясов: специальность 25.00.11. «Геология, поиски и разведка твёрдых полезных ископаемых, минерагения»: автореф. дис. на соискание учёного степен. канд. геол.-минерал. наук / Дамдинов Булат Батуевич. – Улан-Удэ: Геологический институт СО РАН, 2004. – 24 с.
3. Жмодик С. М., Миронов А. Г., Жмодик А. С. Золотоконцентрирующие системы офиолитовых поясов (на примере Саяно-Байкало-Муйского пояса). – Новосибирск: Гео, 2008. – 304 с.
4. Кривенко А. П., Подлипский М. Ю., Кубышев А. И., Катанов С. Г. Перспективы хромитоносности и платиноносности гипербазитов Верхнеамыльского района в Западном Саяне // Минеральные ресурсы Красноярского края. – Красноярск: РИЦ КНИИГиМС, 2002. – С. 314–324.
5. Кудрявцева А. И., Кудрявцев В. И. Проявление медистого и серебристого золота в благороднометалльном оруденении Южно-Тувинского гипербазитового комплекса // Состояние и освоение природных ресурсов Тувы и сопредельных регионов Центральной Азии. Геоэкология природной среды и общества. – Кызыл: ТувИКОПР СО РАН, 2003. – С. 45–48.
6. Кузнецов С. К., Онищенко С. А., Котельников В. Г., Филиппов В. Н. Медно-золото-палладиевая минерализация в ультрабазитах Полярного Урала // Доклады академии наук. – 2007. – Т. 414, № 1. – С. 67–69.
7. Макеев А. Б. Минералогия альпинотипных ультрабазитов Урала. – СПб.: Наука, 1992. – 197 с.
8. Набелкин О. А., Смирнов Д. И., Крапива Л. Я. Микрогубчатый электрум и ртутьсодержащие минералы золота в рудах золото-полиметаллического рудопроявления «Полярная Надежда» на Полярном Урале // Минералогия во всем пространстве сего слова: проблемы укрепления минерально-сырьевой базы и рационального использования минерального сырья: Материалы Годичного собрания РМО и Фёдоровской сессии – 2012. – СПб.: Лема, 2012. – С. 199–200.
9. Новгородова М. И., Цепин А. И., Горшков А. И., Кудревич И. М., Вяльсов Л. Н. Новые данные по кристаллохимии и свойствам природных интерметаллических соединений системы медь – золото // Записки Всесоюзного минералогического общества. – 1977. – Ч. 106, вып. 5. – С. 540–552.
10. Павлов Н. В. Химический состав хромшпинелидов в связи с петрографическим составом пород ультраосновных интрузивов // Труды Геологического института РАН. – 1949. – Вып. 103, № 3. – С. 1–91.
11. Спиридонов Э. М., Орсов Д. А., Аriskин А. А., Николаев Г. С., Кислов Е. В., Коротаева Н. Н., Янаскурт 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.
12. Строение, эволюция и минерагения гипербазитового массива Рай-Из / отв. ред. В. Н. Пучков, Д. С. Штейнберг. – Свердловск [Екатеринбург]: УрО АН СССР, 1990. – 228 с.
13. Чернышов А. И., Воробьёва 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.



14. Шайбеков Р. И., Кузнецов С. К., Гайкович М. М., Шевчук С. С. Сульфидная и благороднометалльная минерализация в хромовых рудах Латоргинско-Кершорской площади Войкаро-Сыньинского массива (Полярный Урал) // Литосфера. – 2015. – № 1. – С. 75–85.
15. Юричев А. Н. Акцессорные самородные металлы и их оксиды из массивных хромититов Кемпирсайского ультрамафитового массива (Южный Урал, Казахстан) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2019. – Т. 330, № 7. – С. 84–92.
16. Юричев А. Н. Акцессорная золото-серебряная минерализация из хромититов Харчерузского ультрамафитового массива (Полярный Урал) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332, № 3. – С. 229–236.
17. Юричев А. Н. Акцессорная благороднометалльная минерализация в ультрамафитах Кызыр-Бурлюкского массива (Западный Саян) // Металлогения древних и современных океанов – 2021. Сингенез, эпигенез и гипергенез. Научное издание. – Миасс : ЮУ ФНИЦ МиГ УрО РАН, 2021. – С. 109–113.
18. Юричев А. Н., Чернышов А. И. Платиноносность хромититов Куртушибинского офиолитового пояса, Западный Саян: новые данные // Записки Российского минералогического общества. – 2019. – Т. 148, № 5. – С. 113–125.
19. Dianxin S., Jianxiong Z., Jianhong Z., Daxi B. Luanheite – a new mineral // Acta Mineral. – Sinica. – 1984. – V. 4. – P. 97–101.
20. Murzin V. V., Chudnenko K. V., Palyanova G. A., Varlamov D. A., Naumov E. A., Pirajno F. Physico-chemical model of formation of Cu–Ag–Au–Hg solid solutions and intermetallic alloys in the rodingites of the Zolotaya Gora gold deposit (Urals, Russia) // Ore Geology Reviews. – 2018. – Vol. 93. – P. 81–97.
21. Oen I. S., Kieft C. Nickeline with pyrrhotite and cubanite exsolutions, Ni–Co rich loellingite and an AuCu alloy in Cr–Ni ores from Beni-Bousera, Morocco // Neues Jahrbuch Fur Mineralogie, Monatshefte. – 1974. – P. 1–8.
22. 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 // The Canadian Mineralogist. – 1994. – Vol. 32. – P. 271–294.
23. Reed S. J. B. Electron microprobe analysis and scanning electron microscopy in geology. – N. Y. : Cambridge University Press, 2005. – 189 p.

References

1. Grigor'eva A. V., Damdinov B. B., Sluzhenikin S. F. Rudnaya mineralizatsiya v ul'trabazitakh i metasomatitakh Ospinsko-Kitoiskogo massiva (Vostochnyi Sayan) [Ore mineralization in ultrabasites and metasomatites of the Ospino-Kitoi massif (Eastern Sayan)], *Geologiya rudnykh mestorozhdenii* [Geology of Ore Deposits], 2018, V. 60, No 2, pp. 141–163. (In Russ.).
2. Damdinov B. B. Netraditsionnye tipy blagorodnometall'noi mineralizatsii v ofiolitakh Vostochno-Sayanskogo i Dzhidinskogo pojasov [Unconventional types of noble metal mineralization in ophiolites of the East Sayan and Jida belts: Extended abstract of candidate's thesis], Ulan-Ude, Geologicheskii institut SO RAN Publ., 2004, 24 p.
3. Zhmodik S. M., Mironov A. G., Zhmodik A. S. Zolotokontsentriruyushchie sistemy ofiolitovykh pojasov (na primere Sayano-Baikalo-Muiskogo poiasa) [Gold-centering systems of ophiolite belts (on the example of the Sayano-Baikal-Mui belt)], Novosibirsk, Geo Publ., 2008, 304 p.
4. Krivenko A. P., Podlipskii M. Yu., Kubyshev A. I., Katanov S. G. Perspektivy khromitonosnosti i platinonosnosti giperbazitov Verkhneamyl'skogo raiona v Zapadnom Sayane [Prospects of chromite and platinum-bearing hyperbasites of the Verkhneamyl'sky district in the Western Sayan], Mineral'nye resursy Krasnoyarskogo kraia [Mineral Resources of the Krasnoyarsk Territory], Krasnoyarsk, RITs KNIIGiMS Publ., 2002, pp. 314–324. (In Russ.).
5. Kudryavtseva A. I., Kudryavtsev V. I. Proyavleniye medistogo i serebristogo zlota v blagorodnometall'nom orudenenii Yuzhno-Tuvinskogo giperbazitovogo kompleksa [The manifestation of copper and silver gold in the noble metal mineralization of the South Tuva hyperbasite complex], Sostoyanie i osvoenie prirodnykh resursov Tuvy i soprodel'nykh regionov Tsentral'noi Azii. Geoekologiya prirodnoi

- sredy i obshchestva [The state and development of natural resources of Tuva and adjacent regions of Central Asia. Geoecology of the natural environment and society], Kyzyl, TuvIKOPR SO RAN Publ., 2003, pp. 45–48.
6. Kuznetsov S. K., Onishchenko S. A., Kotel'nikov V. G., Filippov V. N. Medno-zoloto-palladievaya mineralizatsiya v ul'trabazitakh Polyarnogo Urala [Copper-gold-palladium mineralization in ultrabasites of the Polar Urals], *Doklady Akademii nauk [Reports of the Academy of Sciences]*, 2007, V. 414, No 1, pp. 67–69. (In Russ.).
 7. Makeev A. B. Mineralogiya al'pinotipnykh ul'trabazitov Urala [Mineralogy of alpine-type ultrabasites of the Urals], St. Petersburg, Nauka Publ., 1992, 197 p.
 8. Nabelkin O. A., Smirnov D. I., Krapiva L. Ya. Mikroгubchatyi elektrum i rtut'soderzhashchie mineraly zolota v rudakh zoloto-polimetallichesкого rudoproyavleniya “Polyarnaya Nadezhda” na Polyarnom Urale [Microgubbed electrum and mercury-containing gold minerals in the ores of the gold-polymetallic ore occurrence “Polar Hope” in the Polar Urals], *Mineralogiya vo vsem prostranstve sego slova: problemy ukrepleniya mineral'no-syr'evoi bazy i ratsional'nogo ispol'zovaniya mineral'nogo syr'ya: Materiali Godichnogo sobraniya RMO i Fedorovskoi sessii – 2012 [Mineralogy in the whole space of this word: problems of strengthening the mineral resource base and rational use of mineral raw materials: Materials of the Annual Meeting of the RMO and the Fedorov session – 2012]*, St. Petersburg, Lema Publ., 2012, pp. 199–200.
 9. Novgorodova M. I., Tsepin A. I., Gorshkov A. I., Kudrevich I. M., Vyal'sov L. N. Novye dannye po kristallokhimii i svoistvam prirodnym intermetallicheskikh soedineniiy sistemy med' – zoloto [New data on crystal chemistry and properties of natural intermetallic compounds of the copper – gold system], *Zapiski Vsesoyuznogo mineralogicheskogo obshchestva [Notes of the All-Union Mineralogical Society]*, 1977, V. 106, I. 5, pp. 540–552. (In Russ.).
 10. Pavlov N. V. Khimicheskii sostav khromshpinelidov v svyazi s petrograficheskim sostavom porod ul'traosnovnykh intruzivov [Chemical composition of chrome spinelides in connection with the petrographic composition of ultrabasic intrusive rocks], *Trudy Geologicheskogo instituta RAN [Proceedings of the Geological Institute of the Russian Academy of Sciences]*, 1949, V. 103, No 3, pp. 1–91. (In Russ.).
 11. Spiridonov E. M., Orsoev D. A., Ariskin A. A., Nikolaev G. S., Kislov E. V., Korotaeva N. N., Yapa-skurt V. O. Hg- i Cd-soderzhashchie mineraly Pd, Pt, Au, Ag sul'fidonosnykh bazitov i giperbazitov Ioko-Dovyrenskogo intruziva v baikalidakh Severnogo Pribaikal'ya [Hg- and Cd-containing minerals Pd, Pt, Au, Ag of sulfide-bearing basites and hyperbasites of the Yoko-Dovyren intrusive in the Baikal rocks of the Northern Baikal region], *Geokhimiya [Geochemistry International]*, 2019, V. 64, No 1, pp. 43–58. (In Russ.).
 12. Stroenie, evolyutsiya i minerageniya giperbazitovogo massiva Rai-Iz [Structure, evolution and minerageny of the Rai-Izz hyperbasite massif], Sverdlovsk, UrO AN SSSR Publ., 1990, 228 p.
 13. Chernyshov A. I., Vorob'eva A. V., Yurichev A. N. Petrologiya Kyzyr-Burlyukskogo mafit-ul'tramafitovogo massiva (severo-vostok Zapadnogo Sayana) [Petrology of the Kyzyr-Burluk mafic-ultramafic massif (northeast of Western Sayan)], *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov [Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering]*, 2020, V. 331, No 8, pp. 199–207. (In Russ.).
 14. Shaibekov R. I., Kuznetsov S. K., Gaikovich M. M., Shevchuk S. S. Sul'fidnaya i blagorodnometall'naya mineralizatsiya v khromovykh rudakh Latorginsko-Kershorskoi ploshchadi Voikaro-Syn'inskogo massiva (Polyarnyi Ural) [Sulfide and precious metal mineralization in chrome ores of Latorginsko-Kershorskaya area of Voikaro-Syn'yinsky massif (Polar Urals)], *Litosfera [Lithosphere]*, 2015, No 1, pp. 75–85. (In Russ.).
 15. Yurichev A. N. Aktsessornye samorodnye metally i ikh oksidy iz massivnykh khromititov Kempirsaiskogo ul'tramafitovogo massiva (Yuzhnyi Ural, Kazakhstan) [Accessory native metals and their oxides from massive chromitites of the Kempirsai ultrabasic massif (Southern Urals, Kazakhstan)], *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov [Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering]*, 2019, V. 330, No 7, pp. 84–92. (In Russ.).
 16. Yurichev A. N. Aktsessornaya zoloto-serebryanaya mineralizatsiya iz khromititov Kharcheruzskogo ul'tramafitovogo massiva (Polyarnyi Ural) [Accessory gold-silver mineralization from chromitites of the Kharcheruz ultramafic massif (Polar Urals)], *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov [Bulletin of the Tomsk Poly-*

- technic University. Geo Assets Engineering*], 2021, V. 332, No 3, pp. 229–236. (In Russ.).
17. Yurichev A. N. *Aktsessornaya blagorodnometal'naya mineralizatsiya v ul'tramafitakh Kyzыр-Burlyukского massiva (Zapadnyi Sayan)* [Accessory noble-metal mineralization in ultramafic rocks of the Kyzыр-Burlyuk massif (Western Sayan)], *Metallogeniya drevnikh i sovremennykh okeanov – 2021. Singenez, epigenez i gipergenez. Nauchnoe izdanie [Metallogeny of ancient and modern oceans – 2021. Syngenes, epigenesis and hypergenesis. Scientific publication]*, Miass, YuU FNTs MiG UrO RAN Publ., 2021, pp. 109–113.
 18. Yurichev A. N., Chernyshov A. I. *Platinonosnost' khromititov Kurtushibinskogo ofiolitovogo poyasa, Zapadnyi Sayan: novye dannye* [Platinum-bearing chromitites of the Kurtushibinsky ophiolite belt, Western Sayan: new data], *Zapiski Rossiiskogo mineralogicheskogo obshchestva [Notes of the Russian Mineralogical Society]*, 2019, V. 148, No 5, pp. 113–125. (In Russ.).
 19. Dianxin S., Jianxiong Z., Jianhong Z., Daxi B. Luanheite – a new mineral, *Acta Mineral, Sinica*, 1984, V. 4, pp. 97–101.
 20. Murzin V. V., Chudnenko K. V., Palyanova G. A., Varlamov D. A., Naumov E. A., Pirajno F. Physicochemical model of formation of Cu–Ag–Au–Hg solid solutions and intermetallic alloys in the rodingites of the Zolotaya Gora gold deposit (Urals, Russia), *Ore Geology Reviews*, 2018, V. 93, pp. 81–97.
 21. Oen I. S., Kieft C. Nickeline with pyrrhotite and cubanite exsolutions, Ni–Co rich loellingite and an AuCu alloy in Cr–Ni ores from Beni-Bousera, Morocco, *Neues Jahrbuch Fur Mineralogie, Monatshefte*, 1974, pp. 1–8.
 22. 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, *The Canadian Mineralogist*, 1994, V. 32, pp. 271–294.
 23. Reed S. J. B. *Electron microprobe analysis and scanning electron microscopy in geology*, N. Y., Cambridge University Press, 2005, 189 p.

Автор

Юричев Алексей Николаевич

кандидат геолого-минералогических наук
доцент, старший научный сотрудник
juratur@sibmail.com

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский
государственный университет», г. Томск

Author

Yurichev Alexey Nikolaevich

PhD
Associate Professor, senior researcher
juratur@sibmail.com

Tomsk State University,
Tomsk, Russia