

УДК 553.41:552.3 (571.7)

ЗОЛОТАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ КАЛЬЦИТ-ДОЛОМИТОВЫХ КАРБОНАТИТОВ ГУЛИНСКОГО МАССИВА (МАЙМЕЧА-КОТУЙСКАЯ ПРОВИНЦИЯ, ПОЛЯРНАЯ СИБИРЬ): ПЕРВЫЕ ДАННЫЕ

© 2024 г. К. Н. Малич^{1,*}, Г. В. Липенков^{2,**}, Д. А. Озорнин¹, М. В. Наумов²,
И. Ю. Баданина¹, В. А. Булатов¹, А. А. Войтин¹

Представлено академиком Н.А. Горячевым 10.06.2024 г.

Поступило 14.06.2024 г.

После доработки 17.07.2024 г.

Принято к публикации 18.07.2024 г.

С Гулинским массивом ультраосновных и щелочных пород с карбонатитами в пределах Маймече-Котуйской провинции на севере Сибирской платформы ассоциируют комплексные золото-иридиево-осмиеевые россыпные месторождения. В отличие от минералов осмия и иридия, которые генетически связаны с ультраосновными породами, вопрос о коренном источнике золота является предметом дискуссии. На примере кальцит-доломитовых карбонатитов Гулинского массива нами впервые охарактеризованы морфологические и вещественные особенности золотой минерализации. Минералы золота представлены природными Au–Ag-сплавами с содержанием золота (69.64–88.57 мас.%) и серебра (11.73–30.83 мас.%) с низкими концентрациями меди (до 0.18 мас.%), которые преобладают над минералами системы Au–Cu–Ag (природными сплавами $Au_{0.74}Cu_{0.14}Ag_{0.12}$ и $Ag_{0.51}Au_{0.47}Cu_{0.02}$, тетраурикупридом ($AuCu$) и аурикупридом (Cu_3Au)). Для минералов золота характерна ранняя пентландит-троилит-халькопиритовая ассоциация, выявленная в составе идиоморфных полифазных включений. Более поздний галенит (PbS) в составе субдиоморфных монофазных включений замещается церусситом ($PbCO_3$). Выявленное сходство минералов золота и минеральных ассоциаций в золоте из кальцит-доломитовых карбонатитов с таковыми для минералов золота из россыпей Гулинского массива свидетельствует о том, что в золотом рудообразовании значительная роль принадлежала производным ийолит-карбонатитового магматизма.

Ключевые слова: минералы золота, включения сульфидов, карбонатиты, Гулинский массив, Полярная Сибирь

DOI: 10.31857/S2686739724110137

ВВЕДЕНИЕ

С уникальным Гулинским массивом ультраосновных и щелочных пород с карбонатитами в пределах Маймече-Котуйской провинции на севере Сибирской платформы связаны крупные россыпные месторождения осмия и иридия с мелкими россыпями золота [1–3].

Подавляющее большинство минералов платиновой группы (МПГ) из россыпей представлены идиоморфными кристаллами и агрегатами зёрен, образованными Os–Ir-твёрдыми растворами или минералами осмия, которые преобладают над Ru–Os-сульфидами, Pt–Fe-минералами и другими МПГ. Минералы золота состоят из индивидов и агрегатов зёрен различной степени окатанности, среди которых доминирует (80%) электрум ($AuAg$) с содержанием серебра 20–60 мас.%. Электрум входит в состав монофазных и полифазных зёрен, сложенных также самородным золотом (Au), тетраурикупридом ($AuCu$) и аурикупридом (Cu_3Au).

Ранее было показано [1, 4, 5], что платиноидная минерализация генетически связана с дунитами и хромититами Гулинского массива. Вопрос

¹Институт геологии и геохимии им. акад. А.Н. Заварicкого Уральского отделения Российской Академии наук, Екатеринбург, Россия

²Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: dunite@yandex.ru

**E-mail: Gleb_Lipenkov@karpinskyinstitute.ru

о коренном источнике золота остаётся дискуссионным (например, [3, 6–8]). В настоящем сообщении впервые обсуждаются результаты изучения золотой минерализации из кальцит-доломитовых карбонатитов, которые являются наиболее поздними образованиями Гулинского массива. На основании сходства химического состава минералов золота из карбонатитов и аллювиальных отложений р. Гулэ, дренирующей карбонатиты, сделан вывод о коренном источнике золотой минерализации россыпей. Исследование является частью более масштабной задачи, направленной на выявление коренных источников и уточнения условий образования золотой и платиноидной минерализации Гулинского массива.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В строении Гулинского массива выделяется семь фаз внедрения [1, 9, 10]: 1) дуниты и клинопироксениты, 2) мелилитовые породы; 3) якупирангиты-мельтейгиты и близкие к ним щелочные мафиты; 4) ийолиты и ийолит-пегматиты; 5) нефелиновые и щелочные эгириновые сиениты; 6) породы фоскоритовой серии и 7) карбонатиты. В центральной части массива находятся два штока карбонатитов до 5 км в поперечнике – Северный и Южный. Данное исследование базируется на двух крупнообъёмных пробах лимонитизированных кальцит-доломитовых карбонатитов (№№ обр. 22149 и 22147) весом около 60 кг каждая, которые были отобраны из естественных коренных выходов Южного карбонатитового

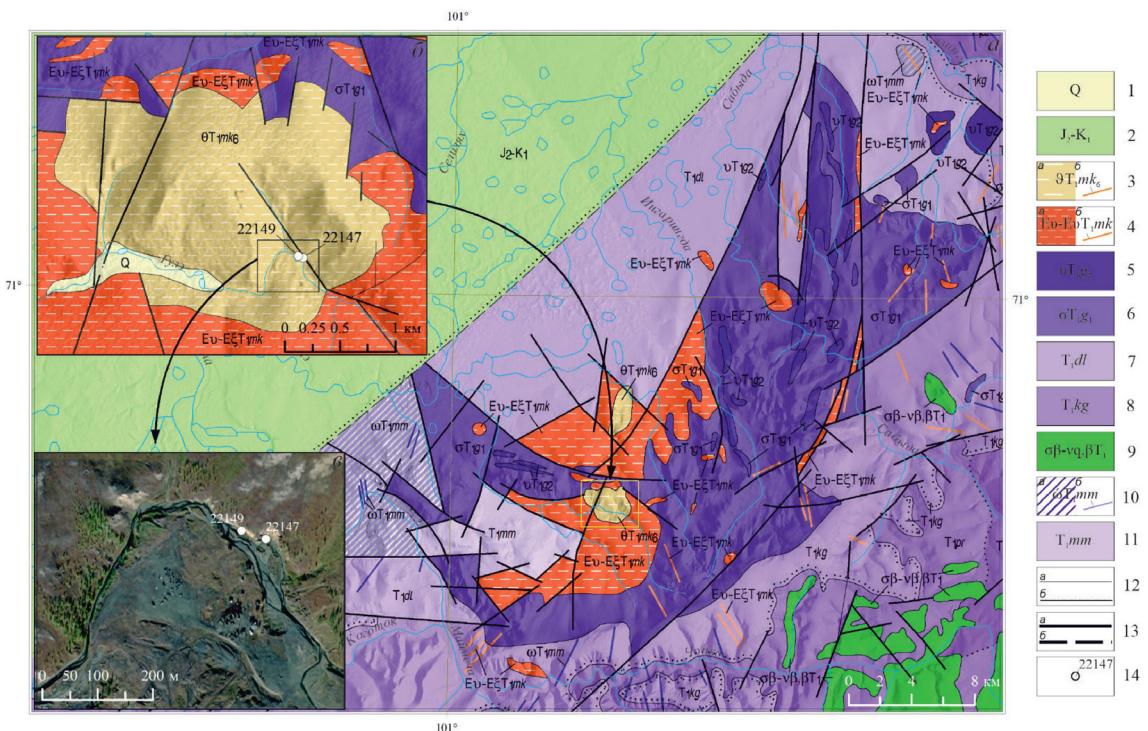


Рис. 1. Обзорная схема района работ: *а* – геологическая карта Гулинского массива по материалам ГК1000/3, лист R-47 (Хета) [11], с упрощениями; *б* – схема геологического строения Южного карбонатитового массива; *в* – места отбора проанализированных проб в долине р. Гулэ на космическом снимке высокого разрешения ESRI Imagery. В *а* и *б* в качестве подложки использован рельеф ARCTIC DEM. Условные обозначения: 1 – аллювиальные отложения поймы и первой надпойменной террасы; 2 – нерасчленённые юрско-меловые терригенные отложения Енисей-Хатангского регионального прогиба; 3, 4 – маймача-котуйский ийолит-карбонатитовый комплекс: 3 – карбонатиты шестой фазы комплекса: *а* – штоки, *б* – дайки, жилы; 4 – нерасчленённые образования со второй по пятую фазы комплекса (мелилитовые породы, якупирангиты и мельтейгиты, ийолиты, нефелиновые сиениты); *а* – штоки, *б* – дайки, жилы; 5, 6 – гулинский клинопироксенит-дунитовый комплекс: 6 – дуниты (первая фаза), 5 – клинопироксениты (вторая фаза); 7 – дельканская свита; 8 – коготокская свита; 9 – нерасчленённые образования катангского долеритового и карамского троктодолерит-лейкогаббрололеритового комплексов; 10, 11 – маймечинский пикрит-маймечитовый комплекс вулканический: 10 – субвуликанические образования (*а* – штоки, *б* – дайки); 11 – покровная фация; 12 – геологические границы: *а* – согласного залегания стратиграфических подразделений и интрузивные контакты, *б* – несогласного залегания; 13 – разломы (*а* – достоверные, *б* – предполагаемые); 14 – места отбора проб.

штока, который обнажается в правом борту долины р. Гулэ (рис. 1). Образцы средне-, крупно-зернистых кальцит-доломитовых карбонатитов состоят из доломита и кальцита размером до 1 см и содержат акцессорные магнетит, фторапатит, пирротин, халькопирит и пирит. Химический состав изученных пород, определённый в Центральной лаборатории ВСЕГЕИ рентгенофлуоресцентным методом (аналитик В. Н. Кириллов), варьирует в следующих пределах (мас.%): $\text{SiO}_2 < 0.02\text{--}0.08$, $\text{Al}_2\text{O}_3 < 0.05$, $\text{TiO}_2 = 0.04\text{--}0.06$, Fe_2O_3 общее — 1.31–1.68, $\text{MnO} = 0.21\text{--}0.31$, $\text{MgO} = 21.9\text{--}22.3$, $\text{CaO} = 30.8\text{--}31.7$, $\text{Na}_2\text{O} < 0.1$, $\text{K}_2\text{O} = 0.01$, $\text{P}_2\text{O}_5 = 0.35\text{--}1.11$, потери при прокаливании — 45.8–46.3; массовая доля золота (метод ICP-MS, аналитик В. А. Шишлов) оказалась низкой (0.019 г/т) или ниже предела обнаружения метода (0.002 г/т).

Минералы золота были выделены из двух проб кальцит-доломитовых карбонатитов с особой тщательностью, исключающей загрязнение, с использованием (1) дробления и промывки до чёрного шлиха в полевых условиях, (2) изодинамического магнитного сепаратора, тяжёлых жидкостей и отбора зёрен золота под бинокуляром в Центральной лаборатории ВСЕГЕИ (Санкт-Петербург). Морфологические особенности минералов золота были изучены с помощью сканирующего электронного микроскопа Tescan Mira LMS с энергодисперсионной приставкой “INCA Energy” 450 X-Max 80 (ЦКП ИГГ УрО РАН “Геоанализ”, Екатеринбург, аналитик Н. С. Чебыкин), используя комбинацию изображений во вторичных и обратно-рассеянных электронах. Далее минералы золота были разделены на четыре фракции крупности (0.2–0.3, 0.3–0.4, 0.4–0.7 и 0.7–1.2 мм, соответственно), после чего смонтированы в эпоксидной смоле и приполовированы наполовину. Химический состав минералов золота и минеральных включений изучен

с использованием рентгеноспектрального микроанализа (РСМА) при помощи САМЕСА SX 100 с пятью волновыми спектрометрами (ЦКП УрО РАН “Геоанализик”). В качестве стандартных образцов использовались чистые металлы Au, Ag, Pd, Co, Ni, Pb, халькопирит (CuFeS_2) и сплав HgTe. При проведении количественных анализов были использованы следующие рентгеновские спектральные линии: Au $\text{M}\alpha$, Ag $\text{L}\alpha$, Hg $\text{M}\alpha$, Pd $\text{L}\beta$, Pb $\text{M}\alpha$, Ni $\text{K}\alpha$, Fe $\text{K}\alpha$, Cu $\text{K}\alpha$, Co $\text{K}\alpha$, S $\text{K}\alpha$. Ускоряющее напряжение составляло 15 кВ, сила тока пучка электронов — 10–40 нА, пространственное разрешение анализа составляло 1–2 мкм. Всего выполнено 125 анализов.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Минералы золота представлены кристаллическими индивидами размером от 200 до 1300 микрон в поперечнике, с хорошо сохранившейся индукционной штриховкой, характерной для поверхностей совместного роста с другими минералами (рис. 2). Средние химические составы минералов золота приведены в табл. 1 и на рис. 3. По составу подавляющее большинство изученных образцов (6 из 8) соответствует Au-Ag-природным сплавам (табл. 1, ан. 1–4, 6, 8, рис. 3) с содержанием золота (69.64–88.57 мас.%) и серебра (11.73–30.83 мас.%), для которых характерно отсутствие или низкие концентрации меди (до 0.18 мас.%). Данные природные сплавы образуют непрерывный ряд твёрдых растворов (рис. 3), что характерно для природных соединений в системе Au-Ag [12]. В двух случаях краевые части образцов 147–4 и 149–3, образованные вторичными оторочками шириной 3–10 микрон, состоят из гипергенного самородного золота (табл. 1, ан. 5 и 9). Другие образцы представлены природными сплавами системы Au-Cu-Ag, где образец 149–2 (табл. 1, ан. 7) характеризуется содержаниями Cu и Ag

Таблица 1. Средние химические составы Au-Ag-Cu-минералов из карбонатитов Гулинского массива по результатам РСМА

№ п.п.	№ обр.	Параметры	Au	Ag	Cu	Сумма	n
Самородное золото, электрум (Au,Ag)							
1	22147-1	Мас. %	88.57	11.73	0.18	100.51	12
		σ , мас. %	0.38	0.29	0.21		
		К.ф.	0.800	0.194	0.006	1	
2	22147-2	Мас. %	81.19	19.09	н.п.о.	100.29	11

Таблица 1. Окончание

№ п.п.	№ обр.	Параметры	Au	Ag	Cu	Сумма	n
		σ, мас. %	1.18	0.98	н.п.о.		
		К.ф.	0.700	0.300	н.п.о.	1	
3	22147-3	Мас. %	81.57	18.28	н.п.о.	99.85	12
		σ, мас. %	1.91	2.16	н.п.о.		
		К.ф.	0.710	0.290	н.п.о.	1	
4	22147-4	Мас. %	69.64	30.83	н.п.о.		10
		σ, мас. %	0.73	0.76	н.п.о.		
		К.ф.	0.553	0.447	н.п.о.	1	
5	22147-4	Мас. %	95.79	4.24	н.п.о.		3
		σ, мас. %	0.02	0.23	н.п.о.		
		К.ф.	0.925	0.075	н.п.о.	1	
6	22149-1	Мас. %	82.05	18.28	н.п.о.	100.33	12
		σ, мас. %	1.57	1.61	н.п.о.		
		К.ф.	0.711	0.289	н.п.о.	1	
Сплавы (Au,Cu,Ag)							
7	22149-2	Мас. %	86.85	7.93	5.26	100.04	10
		σ, мас. %	0.84	0.47	0.36		
		К.ф.	0.739	0.123	0.138	1	
Самородное золото, электрум (Au,Ag)							
8	22149-3	Мас. %	71.51	28.98	н.п.о.	100.49	14
		σ, мас. %	1.04	1.03	н.п.о.		
		К.ф.	0.575	0.425	н.п.о.	1	
9	22149-3	Мас. %	91.59	8.4	н.п.о.		1
		К.ф.	0.857	0.143	н.п.о.	1	
Сплавы (Ag,Au,Cu)							
10	22149-4	Мас. %	62.04	37.28	0.71	100.03	13
		σ, мас. %	3.66	3.73	0.35		
		К.ф.	0.470	0.514	0.016		
Тетрааурикуприд (AuCu)							
11	22149-4	Мас. %	74.39	0.55	25.36	100.30	5
		σ, мас. %	0.51	0.2	0.34		
		К.ф.	0.483	0.006	0.511	1	
Аурикуприд (Cu_3Au)							
12	22149-4	Мас. %	49.93	н.п.о.	50.17	100.1	4
		σ, мас. %	1.04	н.п.о.	0.96		
		К.ф.	0.243	н.п.о.	0.757	1	

Примечание. n – количество анализов, σ – стандартное отклонение, К.ф.– коэффициент в кристаллохимической формуле, н.п.о.– ниже предела обнаружения.

(5.26 и 7.93 мас.%, соответственно) и по составу близок $\text{Au}_{0.74}\text{Cu}_{0.14}\text{Ag}_{0.12}$, тогда как обр. 149–4 (табл. 1, ан. 10–12) состоит из Ag–Au–Cu–сплава состава $\text{Ag}_{0.51}\text{Au}_{0.47}\text{Cu}_{0.02}$, содержащим срастания тетраурикуприда (AuCu) и аурикуприда (Cu_3Au), являющихся продуктами распада твёрдого раствора.

Для изученных минералов золота характерны полифазные и монофазные включения сульфидов (рис. 4 а, б; табл. 2, ан. 1–8), которые представлены Co-содержащим пентландитом (pn),

троилитом (tr), халькопиритом (csp) и галенитом (gn). Отметим, что состав Co-содержащего пентландита характеризуется двумя разновидностями: pn-1, в котором преобладает Fe над Ni и pn-2 с преобладанием Ni над Fe. В образце 147–4 (рис. 4 в, г) установлены включения галенита (табл. 2, ан. 9), по которому образуется гипергенный церуссит (PbCO_3).

Таблица 2. Представительные составы (мас.%) сульфидов в минералах золота карбонатитов Гулинского массива по результатам PCMA

Анализ	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Минерал	Pn-1	Pn-2	Pn-2	Pn-1	Pn-1	Tr	Csp	Csp	Gn
Рисунок	4а	4а	4а	4б	4б	4б	4б	4б	4в
S	33.12	33.27	33.27	33.58	33.43	36.59	34.42	34.92	13.42
Fe	36.11	27.44	27.61	36.91	36.32	62.49	30.21	30.25	н.п.о.
Cu	0.48	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	34.69	34.31	н.п.о.
Ni	28.15	37.94	38.00	27.89	28.75	0.31	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.
Co	1.24	0.83	0.83	1.23	1.19	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.
Pb	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	86.12
Сумма	99.10	99.48	99.71	99.61	99.69	99.39	99.32	99.48	99.54

Формульные коэффициенты

S	8.020	8.055	8.040	8.080	8.041	1.008	2.000	2.004	1.001
Fe	5.022	3.815	3.820	5.096	5.021	0.988	0.999	0.998	—
Cu	0.058	—	—	—	—	—	1.001	0.996	—
Ni	3.736	5.022	5.031	3.662	3.783	0.004	—	—	—
Co	0.164	0.108	0.109	0.162	0.155	—	—	—	—
Pb	—	—	—	—	—	—	—	—	0.999
Сумма	17	17	17	17	17	2	4	4	2

Примечание. Pn-1 – пентландит ($\text{Fe}/\text{Ni} > 1$), Pn-2 – пентландит ($\text{Fe}/\text{Ni} < 1$), Tr – троилит, Csp – халькопирит, Gn – галенит, н.п.о. – ниже предела обнаружения, н.о. – не определяли.

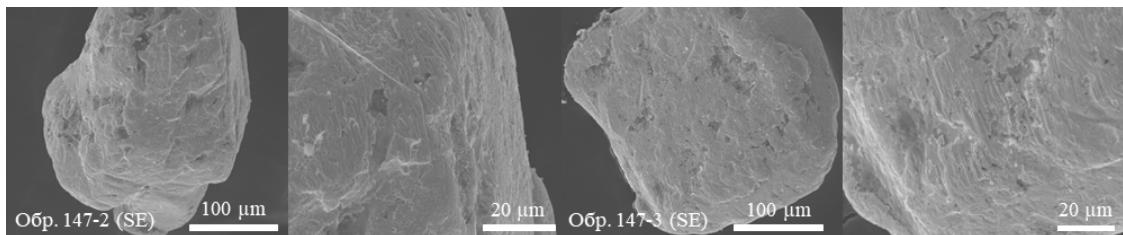


Рис. 2. Типичные морфологические особенности природных Au–Ag–сплавов (обр. 147–2, 147–3) из кальцит–доломитовых карбонатитов Гулинского массива. Изображения во вторичных электронах (а, в–общий вид; б, г – детали).

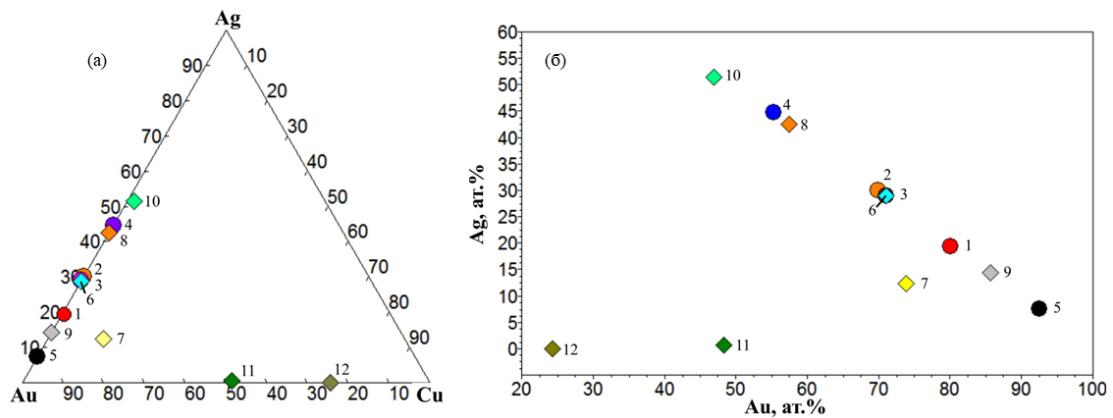


Рис. 3. Средние химические составы минералов золота из кальцит-доломитовых карбонатитов Гулинского массива в координатах Ag–Au–Cu, ат.-% (а) и Ag–Au, ат.-% (б). Цифры 1–12 соответствуют таковым в табл. 1.

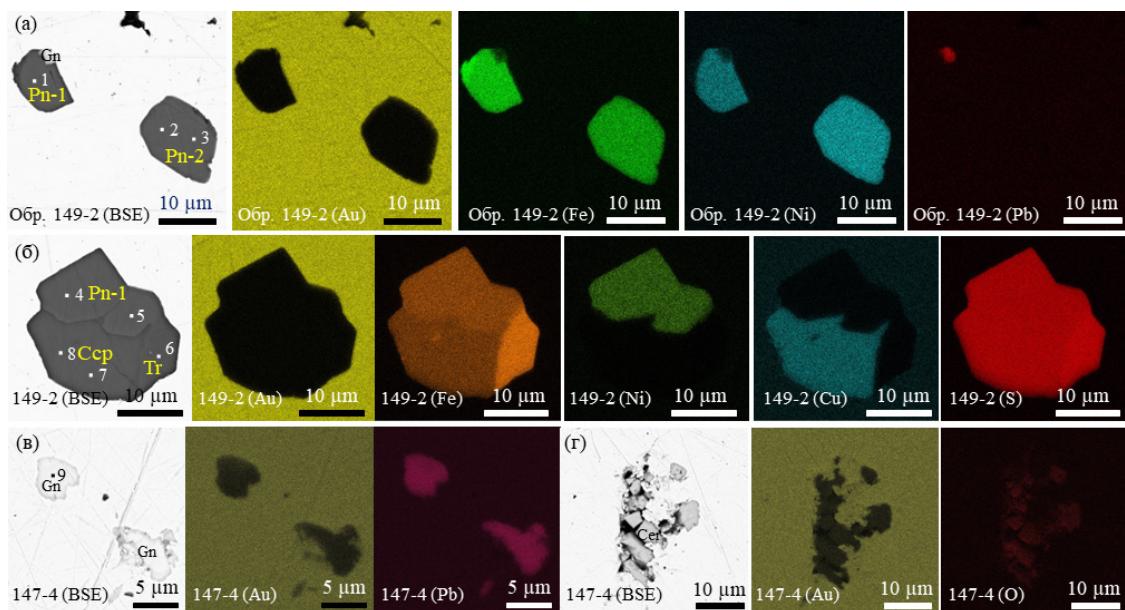


Рис. 4. Типичные особенности морфологии и внутреннего строения минеральных включений золота в минералах доломит-кальцитовых карбонатитов Гулинского массива. Изображения в обратно-рассеянных электронах с вещественным контрастом и рентгеновских лучах Au $\text{K}\alpha$, Fe $\text{K}\alpha$, Ni $\text{K}\alpha$, Cu $\text{K}\alpha$, Pb $\text{M}\alpha$, O $\text{K}\alpha$. Цифры 1–9 на рис. а, б, в–участки проведения рентгеноспектральных микроанализов, соответствующие таковым в табл. 2. Аббревиатура минералов дана в соответствии с рекомендациями в [13]. Pn-1 – пентландит ($\text{Fe}/\text{Ni} > 1$), Pn-2 пентландит ($\text{Ni}/\text{Fe} > 1$), Tr – троилит, Ccp – халькопирит, Gn – галенит, Сер – церуссит.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

Выявленная ассоциация благородно-металлических минералов, судя по характеру их взаимоотношений с минералами включений, в изученных образцах карбонатитов тесно ассоциирует с минералами сульфидов – пентландитом-1, пентландитом-2, троилитом, халькопиритом и галенитом,

которые могут быть отнесены к двум разным парагенезисам. Ранний пентландит-троилит-халькопиритовый парагенезис (рис. 4 б) представлен равновесной первичной ассоциацией сульфидов с чёткими границами между ними в составе полифазных идиоморфных включений. Более поздней является ассоциация галенита в составе субидиоморфных монофазных включений (рис. 4 в),

и церуссита, развивающегося по галениту (рис. 4 г). Именно с пентландит-троилит-халькопиритовой ассоциацией были синхронны Au-Ag-природные сплавы. Образование церуссита знаменует собой преобразование галенита при окислении карбонатитов в зоне гипергенеза. Составы изученных Au-содержащих минералов карбонатитов попадают в области упорядоченных соединений Au и Ag (электрум), Au и Cu (тетрааурикуприд и аурикуприд) (см. табл. 1 и рис. 3). Согласно бинарным диаграммам состояния Au-Cu и Au-Ag [14, 15] верхний температурный предел рудообразования определяется формированием Au-Ag-сплавов (480°C), нижний – формированием тетрааурикуприда (400°C).

Выявленные морфологические особенности золота и его химического состава свидетельствуют об их сходстве с таковыми из россыпных отложений рр. Гулэ и Дунитовая, расположенных в непосредственной близости от Южного карбонатитового штока (например, [3, 16]). Кроме того, установленный нами набор включений сульфидов в Au-Ag-(Cu)-сплавах карбонатитов соответствует набору сульфидных минералов, выявленных в Au-Ag-Cu-природных сплавах из россыпей Гулинского массива [7], а также в карбонатитах Гулинского массива [17]. При изучении минералов-узников (оливина, группы пироксенов, цирконолита, минералов ряда апатит–моаназит) в самородном золоте из россыпей было установлено, что их составы близки к составам аналогичных минералов щелочных и карбонатитовых пород массива [3, 7, 8], свидетельствуя о том, что в золотом рудообразовании значительная роль принадлежала производным ийолит-карбонатитового магматизма.

Золотое оруденение, генетически или парагенетически связанное с карбонатитами, установлено для месторождений России (Ковдорский массив, Кольская провинция), ЮАР (Люлекоп в массиве Палабора) [18] и Австралии (месторождение Вэллэби) [19]. Завершение разведки на гигантском золоторудном месторождении Вэллэби в 1999 году с запасами 2 млн унций золота [20], при веских доказательствах связи оруденения с карбонатитами [19], свидетельствует о том, что золото может быть не только второстепенным ценным компонентом

карбонатитовых месторождений, но и выступать в роли главного полезного ископаемого.

Совокупность полученных результатов позволяет сделать следующие выводы:

(1) На примере кальцит-доломитовых карбонатитов Гулинского массива установлены особенности морфологии и химического состава природных Au-Ag-Cu-сплавов (электрума, самородного золота, тетрааурикуприда и аурикуприда), выявлен набор первичных и вторичных включений в минералах золота. Первичная ассоциация сульфидов представлена пентландитом, троилитом и халькопиритом в составе полифазных идиоморфных включений. Вторичная ассоциация характеризуется монофазными субдиоморфными включениями галенита (PbCO_3) и замещающего его церуссита (PbCO_3).

(2) Сходство минералов золота и минеральных ассоциаций в золоте из кальцит-доломитовых карбонатитов с таковыми для минералов золота из россыпей Гулинского массива свидетельствует о том, что в золотом рудообразовании значительная роль принадлежала производным поздних фаз ийолит-карбонатитового магматизма.

(3) Мы полагаем, что новые минералогические признаки золотого типа оруденения карбонатитов необходимо учитывать при постановке поисковых работ на золото, так как они могут повысить эффективность оценки подобных объектов (в том числе расположенных в других провинциях).

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность И. В. Осадчemu и Н. С. Чебыкину за помощь при проведении полевых и минералогических работ, а также признательны анонимному рецензенту за конструктивные замечания, которые способствовали улучшению рукописи.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания ИГГ УрО РАН (№ госрегистрации 122022600107–1).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Малич К.Н. Платиноиды клинопироксенит-дунистовых массивов Восточной Сибири (геохимия, ми-

- нералогия, генезис). С-Пб.: Санкт-Петербургская картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 1999. 296 с.
2. Лопатин Г.Г. К открытию россыпей благородных металлов в Маймече-Котуйской провинции / Очерки по истории открытых минеральных богатств Таймыра (отв. ред. Самойлов А.Г.). Новосибирск: Издательство Новосибирского университета, филиал "Гео" Издательства СО РАН. 2001. С. 156–158.
 3. Сазонов А.М., Звягина Е.А., Леонтьев С.И., Герннер И.Ф., Краснова Т.С., Колмаков Ю.В., Панина Л.И., Чернышов А.И., Макеев С.М. Платиноносные щелочно-ультраосновные интрузии Полярной Сибири. Томск: изд. ЦНТИ, 2001. 510 с.
 4. Балмасова Е.А., Смольская Л.С., Лопатина Л.А., Лопатин Г.Г., Лазаренков В.Г., Малич К.Н. Самородный осмий и иридосмин Гулинского массива // ДАН. 1992. Т. 323. № 4. С. 748–751.
 5. Малич К.Н., Рудашевский Н.С. О коренной минерализации платиноидов хромититов Гулинского массива // ДАН. 1992. Т. 325. № 5. С. 1026–1029.
 6. Когарко Л.Н., Сенин В.Г. Первая находка золота в коренных породах Гулинского массива (Полярная Сибирь) // ДАН. 2011. Т. 441. № 1. С. 81–82.
 7. Малич К.Н., Сорохтина Н.В., Баданина И.Ю., Кононкова Н.Н. О коренных источниках благородно-металлических россыпей Гулинского массива (Полярная Сибирь): новые минералогические данные // ДАН. 2013. Т. 451. № 1. С. 87–89.
 8. Рябчиков И.Д., Когарко Л.Н., Сазонов А.М., Кононкова Н.Н. Условия формирования золоторудной минерализации в щелочно-ультраосновных магматических комплексах // ДАН. 2016. Т. 468. № 6. С. 680–683.
 9. Егоров Л.С. Ийолит-карbonатитовый плутонизм (на примере маймече-котуйского комплекса Полярной Сибири). Л.: Недра, 1991. 260 с.
 10. Kogarko L.N., Kononova V.A., Orlova M.P., Wooley A.R. Alkaline rocks and carbonatites of the world. Part 2: Former USSR. London, UK: Chapman and Hall, 1995. 226 p.
 11. Липенков Г.В., Мацак М.С., Наумов М.В. Государственная геологическая карта Российской Федерации. М-б 1:1 000 000. Третье поколение. Серия Норильская. Лист R-47 (Хета). Карта дочетвертичных образований. СПб: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ. 2018.
 12. Спиридонов Э.М. Обзор минералогии золота в ведущих типах Au минерализации // Золото Кольского полуострова и сопредельных регионов (Труды Всероссийской (с международным участием) научной конференции, посвященной 80-летию Кольского НЦ РАН. Апатиты, 26–29 сентября 2010 г.). Ред. Ю.Л. Войтеховский. Апатиты, изд. К & М, 2010. С. 143–171.
 13. Warr L.N. IMA–CNMNC approved mineral symbols // Mineralogical Magazine, 2021. V. 85. P. 291–320.
 14. Дриц М.Е., Бочвар Н.Р., Гузей Л.С., Лысова Е.В., Падежнова Е.М., Рохлин Л.Л., Туркина Н.И.. Двойные и многокомпонентные системы на основе меди: Справочник (отв. ред. Абрикосов Н.Х.). Москва: Наука, 1979. 248 с.
 15. Новгородова М.И. Самородные металлы в гидротермальных рудах. М.: Наука, 1983. 286 с.
 16. Войтин А.А., Малич К.Н. Новые данные по типоморфизму и типохимизму минералов золота из россыпей рек Гулэ и Дунитовая (Маймече-Котуйская провинция) / ХХIX Всероссийская научная конференция «Уральская минералогическая школа – 2023». Сборник статей студентов, аспирантов, научных сотрудников академических институтов и преподавателей ВУЗов геологического профиля. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2023. С. 41–44.
 17. Сорохтина Н.В., Когарко Л.Н., Зайцев В.А., Кононкова Н.Н., Асавин А.М. Сульфидные ассоциации карбонатитов и фоскоритов Гулинского массива (Полярная Сибирь) и их перспективность на благородные металлы // Геохимия. 2019. Т. 64. № 11. С. 1111–1132.
 18. Rudashevsky N.S., Kretser Yu.L., Rudashevsky V.N., Sukharzhevskaya E.S. A review and comparison of PGE, noble-metal and sulphide mineralization in phoscorites and carbonatites from Kovdor and Phalaborwa // Phoscorites and carbonatites from mantle to mine: the key example of the Kola alkaline province (Zaitsev A., Wall F., eds.). Mineralogical Society Series, 10. Mineralogical Society, London, 2004. P. 363–393.
 19. Stoltze A.M. A genetic link between carbonatite magmatism and gold mineralization at the Wallaby gold deposit, Eastern Goldfields, Western Australia / 32 International Geological Congress. Abstracts. Florence, 2004. P. 512.
 20. Salier B.P., Groves D.I., McNaughton N.J., Fletcher I.R. The world-class Wallaby gold deposit, Laverton, Western Australia: An orogenic-style overprint on a magmatic-hydrothermal magnetite-calcite alteration pipe? // Mineralium Deposita. 2004. V. 39. P. 473–494.

GOLD MINERALIZATION FROM CALCITE-DOLOMITE CARBONATITE OF THE GULI (MAIMECHA-KOTUI PROVINCE, POLAR SIBERIA): FIRST RESULTS

K. N. Malitch^{a, #}, G. V. Lipenkov^{a, ##}, D. A. Ozornin^a, M. V. Naumov^b, I. Yu. Badanina^a, V. A. Bulatov^a, A. A. Voitin^a

^a*Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russian Federation*

^b*Karpinsky All-Russia Geological Research Institute, St. Petersburg, Russian Federation*

[#]E-mail: dunite@yandex.ru
^{##}E-mail: Gleb_Lipenkov@karpinskyinstitute.ru

Complex gold-iridium-osmium placer deposits associated with the Guli massif of ultramafic, alkaline rocks and carbonatites are located within the Maimecha-Kotui province in the northern part of the Siberian Platform. Unlike natural Os-Ir alloys, which are genetically related to ultramafic rocks, the bedrock source of gold remains controversial. We report, for the first time, morphological and compositional features of gold mineralization from calcite-dolomite carbonatite of the Guli massif. Gold minerals are represented by natural Au–Ag alloys containing gold (69.64–88.57 wt.%) and silver (11.73–30.83 wt.%) with low concentrations of copper (up to 0.18 wt.%), which predominate over minerals of the system Au–Cu–Ag (e.g., natural alloys $\text{Au}_{0.74}\text{Cu}_{0.14}\text{Ag}_{0.12}$ and $\text{Ag}_{0.51}\text{Au}_{0.47}\text{Cu}_{0.02}$, tetra-auricupride (AuCu) and auricupride (Cu_3Au)). Gold minerals are characterized by an early pentlandite-troilite-chalcopyrite association that form polyphase euhedral inclusions. Later galena (PbS) occurring in the form of subhedral monophase inclusions is replaced by cerussite (PbCO_3). The revealed similarity of gold minerals and mineral assemblages in gold from calcite-dolomite carbonatite with those of gold minerals from placer deposits of the Guli massif indicates that derivatives of ijolite-carbonatite magmatism played a significant role in gold ore formation.

Keywords: gold minerals, sulfide inclusions, carbonatite, Guli massif, Polar Siberia