

МИНЕРАЛЫ И ПАРАГЕНЕЗИСЫ МИНЕРАЛОВ

УДК 541.412+549.283+235.47

© Д. чл. В. Т. КАЗАЧЕНКО, С. Н. ЛАВРИК, Е. В. ПЕРЕВОЗНИКОВА,
П. П. САФРОНОВ, Н. В. СКАРЕВА

САМОРОДНЫЕ МЕТАЛЛЫ И ИНТЕРМЕТАЛЛИДЫ В АЛЛЮВИИ МОКРУШИНСКОЙ ПЛОЩАДИ ТАУХИНСКОГО ТЕРРЕЙНА (ЮГО-ВОСТОЧНЫЙ СИХОТЭ-АЛИНЬ)

Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, 690022,
пр. 100-летия Владивостока, 159;
e-mail: vkazachenko@mail.ru, e-mail: elenavalper@yandex.ru

Ассоциации твердых растворов Au, Ag, Hg, Sb, Pb, Sn, Cu, Ni, Zn и Co в составе частиц размером менее 0.07 мм изучены в аллювиальных отложениях Мокрушинской площади. Экзогенные частицы в подпочвенном слое образованы путем восстановления и экстракции металлов органическими соединениями (цианидами — ?), растворенными в грунтовых водах (с последующим их переотложением), либо амальгамированием восстановленных металлов в элювии золотоносных пород. Вероятный источник золота и серебра — магматические и гидротермальные породы палеоценовой взрывной структуры и метаморфизованные породы триаса. Возможны рудопроявления и россыпи золота на площадях, окружающих палеоценовые структуры взрывного магматизма, и на участках с коренными выходами металлоносных пород триаса (Таухинский и Самаркинский террейны).

Ключевые слова: самородные металлы, интерметаллические соединения, мелкие частицы, надпочвенный слой, аллювий, россыпи золота, палеоцен, взрывные структуры.

V. T. KAZACHENKO, S. N. LAVRIK, E. V. PEREVOZNIKOVA, P. P. SAFRONOV,
N. V. SKOSAREVA. NATIVE METALS AND INTER-METALLIC COMPOUNDS
IN ALLUVIUM OF MOKRUSHINSKAYA AREA OF TAUHINSKY TERRAIN
(SOUTHEAST OF THE SIKHOTE-ALIN')

Solid solution associations of Au, Ag, Hg, Sb, Pb, Sn, Cu, Ni, Zn, and Co composing exogenic and endogenic particles lesser than 0.07 mm in size are characterized for alluvial sediments of Mokrushinskaya area. Among them, exogenic particles were formed by two ways: through reduction and extraction (with subsequent re-deposition) of metals by organic compounds (supposedly cyanides) dissolved in the ground waters of the soil-vegetation layer or through amalgamation of reduced metals immediately in the subsurface products of the gold-bearing rock disintegration. Sources of Au and Ag belong to magmatic and hydrothermal rocks (or ores) of the Paleocene explosive structure, as well as metamorphosed Triassic metalliferous sediments and rodingites. It is possible that presence of hydrothermal Au-Sb-Hg ore occurrences and placers of precious metals has a spatial association with explosive structures of the Paleocene ultrabasic-intermediate (alkaline-subalkaline) magmatic complex of the Sikhote-Alin. Promising for gold placers are also areas with outcrops of Triassic metamorphosed metalliferous sediments and rodingites in Taukhinsky and Samarkinsky terrains.

Key words: native metals, inter-metallic compounds, small particles, subsoil layer, alluvium, gold placers, Paleocene, explosive structure.

ВВЕДЕНИЕ

Таухинский террейн является фрагментом неокомской аккреционной призмы, сложенной юрскими и раннемеловыми терригенно-турбидитовыми хаотическими образованиями. В его меланжевом комплексе в виде олистолистов и олистоплак присутствуют пермские и триасовые кремни, юрские кремнисто-глинистые отложения, а также фрагменты девон-пермских и триасовых рифовых массивов. Породы Таухинского террейна прорваны и перекрыты позднемеловыми преимущественно кислыми образованиями Восточно-Сихотэ-Алинского вулcano-плутонического пояса и продуктами палеогенового кислого, бимодального и высокоглиноземистого базальтового вулканизма Хасано-Амурского ареала (Геодинамика..., 2006).

Мокрушинская площадь, расположенная в Ольгинском рудном районе, характеризуется отсутствием поселений, промышленных или иных предприятий. В пределах водосбора ее ключей неизвестны россыпные или коренные месторождения благородных металлов, но в последнее время выявлены выходы интересных в практическом отношении контактово-метаморфизованных триасовых металлоносных осадков (с неизвестным ранее Au-Pd-Pt оруденением нетрадиционного типа) и родингитов, обогащенных Au, Ag, Pt и Pd и содержащих разнообразные минералы этих металлов (Казаченко и др., 2008, 2009). Кроме того, на Мокрушинской площади обнаружены палеоценовые магматические образования, с которыми также связана Au-Pd-Pt минерализация (Казаченко и др., 2012, 2013). Породы этого неизвестного ранее в Сихотэ-Алине магматического комплекса, слагающие вместе с флюидолитами эксплозивную структуру, представлены необычными по структурным и текстурным особенностям магматическими образованиями, состав которых изменяется от ультраосновного до среднего и от субщелочного до щелочного. К ним относятся флогопит-оливиновые, а также слюдисто-полевошпатовые и амфибол-полевошпатовые породы, которые, по результатам предварительного изучения отнесены к керсантитам, минеттам и амфиболовым лампрофирам. К этому же комплексу относятся, очевидно, и впервые встреченные на Мокрушинской площади субщелочные горнблендиты и карбонатитоподобные породы. Флюидолиты и лампрофиры ряда керсантит—минетта, слагающие Мокрушинскую эксплозивную структуру, обнаружены нами также в гранитном обрамлении Владимирского массива (керсантиты и минетты) в виде рвущих тел, а также в окрестностях с. Уборка (флюидолиты). Можно полагать, что эксплозивные структуры палеоценового комплекса со слюдистыми лампрофирами довольно широко распространены в Сихотэ-Алине. Известно, что с подобными породами ряда керсантит—минетта связаны крупные и суперкрупные месторождения золота (Rock and Groves, 1988; Rock, 1990; Wyman and Kerrich, 1989a, 1989b, 1993; Currie and Williams, 1993; Taylor et al., 1994; Ashley et al., 1994; Duggan and Jaques, 1996; Huang et al., 2002).

Особенностью благороднометальной минерализации в контактово-метаморфизованных металлоносных осадках, родингитах, а также в магматических и гидротермально-измененных породах эксплозивной структуры являются редкие в природе минеральные формы Au, Ag, Pt и Pd и очень мелкие размеры частиц минералов (первые мкм, реже — десятков мкм). Иногда встречается коллоидно-дисперсное золото. Целью данных исследований являлась предварительная оценка россыпеобразующей роли контактово-метаморфизованных металлоносных осадков, родингитов, а также магматических и гидротермально-измененных пород эксплозивной структуры.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Предпочтение было отдано изучению неполированных частиц по целому ряду причин. Прежде всего из-за полировки становится невозможным изучение микроморфологии поверхности частиц, а также химического состава содержимого пор и покрывающих частицы пленок. Это обстоятельство исключает возможность решения важнейших вопросов — выяснения генезиса (эндогенного или экзогенного) частиц (по микроморфологии их поверхности), а также получения сведений об элементном составе среды минералообразования (по содержимому пленок и пор) и роли органического вещества в процессах минералообразования. Многие частицы, представляющие собой совокупность мельчайших зерен различных минералов в жидкой субстанции (самородной ртути), очевидно, вообще невозможно отполировать. Они будут просто «размазаны» на твердых поверхностях. Наличие соединений Hg с очень низкой (как можно предполагать) твердостью может привести к загрязнению поверхности частиц тончайшими «примазками» растертого материала и к искажению реальных составов минералов. С другой стороны, высокая локальность метода (специально использовался электронный микроскоп с энергодисперсионной приставкой, а не рентгеноспектральный микроанализатор) и возможность выбора достаточно ровных, перпендикулярных к электронному пучку участков неполированных частиц (контроль осуществлялся по резкому изображению всей поверхности при большом увеличении) позволяет получать хорошие результаты для минералов, сложенных, тяжелыми металлами (из-за высоких атомных масс даже значительные погрешности в определении массовых процентов мало сказываются на коэффициентах в формулах) (проверено нами многократно на широко распространенных минералах с известными формулами). Кроме того, имеются (и использовались) неограниченные возможности для контроля достоверности результатов по их воспроизводимости (путем многократных определений в пределах одного и того же зерна минерала).

Частицы, выделенные из шлихов, закреплялись на электропроводящем скотче, наклеенном на горизонтальную поверхность специального столика. Анализы выполнялись без предварительного напыления частиц (из-за их электропроводности) в Центре коллективного пользования ИБМ ДВО РАН методом аналитической растровой электронной микроскопии с помощью РЭМ EVO 40XVP фирмы Carl Zeiss (Германия), оснащенном энергодисперсионным рентгеновским спектрометром INCA Energy с «безазотным» полупроводниковым детектором (ООО Oxford Instruments, Англия). Измерения производились при ускоряющем напряжении 20 kV и токе электронного пучка от 200—300 pA (интенсивность сигнала не менее 2000 имп/сек) до 1.0—1.5 nA (4000—7000) в зависимости от количества Hg в изучавшихся зернах. Расчеты выполнялись с помощью программного комплекса ЭД спектрометра по стандартной методике, предусматривающей приведение концентраций элементов к величинам, в сумме составляющим 100 %. Содержания C, N и O не приведены в таблицах (см. ниже) из-за невысокой точности количественных определений этих элементов.

Для расчета формул минералов данные анализов пересчитывались на суммы атомов, равные: 1 — самородные золото, ртуть, железо и олово; 2 — CuAu (купроаурид, тетрааурикуприд или, возможно, рожковит), юаньцзянит, соединения (Au,Ag)(Hg,Pb,Sb,Sn), AuPb, (Sn,Pb)Hg, PbHg и Pb(Hg,Sb); 3 —

(Au,Ag)(Sb,Hg,Pb,Sn)₂ и PbHg₂; 4 — юйянгит, (Sn,Pb)Hg₃, PbHg₃ и Pb₃Hg; 5 — (Au,Ag)₄Hg, амальгама (Au,Ag)₂(Hg,Pb,Sb,Sn)₃, PbHg₄, (Pb,Co)₄Hg; 6 — (Au,Ag)₅Hg; 7 — Cu₂Au₅, (Au,Ag)₃(Hg,Pb)₄, Au(Hg,Pb)₆, Pb₄Hg₃; 8 — Pb₇Hg; 9 — Pb₄Hg₅, Pb₅Hg₄.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Несколько шлиховых проб было отобраны в устье небольшого ключа Мокрушинской площади, дренирующего выходы контактово-метаморфизованных металлоносных осадков, родингитов, а также магматических и гидротермально-измененных пород взрывной структуры Мокрушинской площади. В результате промывки проб до серых шлихов и последующей расситовки были получены фракции –0,07 мм с многочисленными твердыми частицами желтой, красной и белой окраски, а также каплями жидкости металлического облика белого цвета.

Минералогический анализ шлихов показал, что по морфологическим особенностям твердые частицы характеризуются значительной изменчивостью — от уплощенных «лепешек», чешуек, комковатых и бесформенных зерен до кристаллов и шариков. Некоторые частицы белого цвета с обликом твердого вещества на самом деле представляют собой суспензию микроскопических зерен минералов в жидком металле (рис. 1) и при легком нажатии на них иглой изменяют свою форму. Частицы сложены одним или несколькими минералами, содержащими Au, Ag, Hg, Sb, Pb, Sn, Cu, Ni, Zn и Co. Их поверхность местами покрыта тонкими пленками органического вещества, гидроокислов Fe и силикатного материала, с которыми связано присутствие в анализах значительных концентраций C, N, O и, реже, петрогенных элементов. Иногда, несмотря на высокие концентрации C, N и O в анализе, явные признаки наличия пленок органического вещества отсутствуют. Это может быть связано с присутствием металлоорганических соединений.

Наряду с изучением состава минералов, слагающих частицы, анализировалось экзогенное вещество, заполняющее каверны на поверхности частиц.

Самородное золото без примесей (ан. 6, 16, 17, 19, 22, 26, 50, 29-3) обычно слагает самостоятельные частицы от желтого до красного (из-за тончайших пленок и каверн с гидроокислами Fe) цвета и лишь изредка встречается вместе с Au-Ag твердым раствором и ртутистым золотом Au_{0.90}Hg_{0.10} (или, возможно, соединением Au₉Hg). Частицы имеют комковатый облик и кавернозное строение или сглаженную (окатанную) мозаичную поверхность с наплывами, наклепами и фрагментарно проявленными зонами роста, штриховкой или зародышами кристаллов. Их поверхность нередко покрыта пленками, которые, судя по высокому содержанию в анализах Fe, O или C, O и N, состоят из гидроксидов Fe и органики. Каверны выполнены гидроокислами Fe, органикой и тонким силикатным материалом.

Самородное золото с изоморфной примесью Cu, Pb, Hg или Co (ан. 14, 21, 27, 31, 58, 67, 29-3) характеризуется бледно-желтой, желтой, нередко с красноватым оттенком или красной окраской и встречается, как правило, в составе сложных минеральных ассоциаций (табл. 1). Самородное золото Au_{0.94—0.88} · Cu_{0.06—0.10}Co_{0.00—0.02} образует комковатые агрегаты с Co-содержащим купроауридом (?), а также с Cu₂Au₅ и (Cu,Co)₃Au₄. Кобальтсодержащая

Таблица 1

Химический состав минералов (мас. %) в ассоциациях с самородным золотом (с изоморфными примесями Cu, Pb, Hg и Co) и «медистым золотом»

Chemical composition of minerals (wt %) in associations with native gold (with isomorphic Cu, Pb, Hg, and Co) and «copper gold»

ч	у	Ан.	Al	Fe	Si	Au	Hg	Pb	Co	Ni	Cu	Zn	Ag	Минерал	Формула
14	1	1				69.78			0.84		18.98			Купроаурид (?)	(Cu _{0.90} Co _{0.04}) _{0.94} Au _{1.06}
	2	2				77.65			0.49		2.79			Самородное золото	(Au _{0.88} Cu _{0.10} Co _{0.02})
	1	2		0.50		80.22					1.65			Самородное золот	(Au _{0.94} Cu _{0.06})
	2	3				79.00					10.46			Cu ₂ Au ₅	Cu _{2.04} Au _{4.96}
21	3	4				73.17			0.61		17.70			(Cu _{2.95} Co _{0.11}) _{3.06} Au _{3.94}	
	4					63.59			0.52		17.60			Купроаурид (?)	(Cu _{0.91} Co _{0.03}) _{0.94} Au _{1.06}
	2	1		0.70	0.31	77.27							9.97	Самородное золото	Au _{0.81} Ag _{0.19}
	2	2	0.39	3.14	0.59	70.61		1.84						То же	Au _{0.98} Pb _{0.02}
27	1	1				70.69	13.41		1.05					» »	Au _{0.81} Hg _{0.15} Co _{0.04}
	2	2				30.78	7.12		1.34					» »	Au _{0.73} Hg _{0.16} Co _{0.11}
	1	1				90.12			0.82					» »	Au _{0.97} Co _{0.03}
	2	2				72.44	11.85		0.91					Au ₅ (Hg, Co)	Au _{5.04} (Hg _{0.78} Co _{0.18}) _{0.96}
58	1	1				81.73	11.16		1.06					Самородное золото	Au _{0.83} Hg _{0.11} Co _{0.04}
	2	2				69.42	16.92		0.85				6.63	(Au, Ag) ₄ Hg	(Au _{3.44} Ag _{0.60}) _{4.04} (Hg _{0.82} Co _{0.14}) _{0.96}
	3	3				64.08	18.68						5.32	(Au, Ag) ₄ Hg	(Au _{3.47} Ag _{0.53}) _{4.00} Hg _{1.00}
	1	1			0.21	66.24	9.74	6.71	0.88					Au ₄ (Hg, Pb)	(Au _{3.89} Co _{0.11}) _{4.00} (Hg _{0.56} Pb _{0.38} Co _{0.06}) _{1.00}
67	2	2			0.08	80.11			1.14					Самородное золото	Au _{0.95} Co _{0.05}
	3	3	0.35	0.82	0.73	26.73		33.74	0.76					Au ₄ Pb ₅	Au _{3.92} (Pb _{4.71} Co _{0.37}) _{5.08}
	4	4	0.25	0.51	0.77	32.93		28.68	0.69					AuPb	Au _{1.05} (Pb _{0.88} Co _{0.07}) _{0.95}
	5	5		0.51	1.07	34.10	5.96	25.96	0.76					AuPb	Au _{1.01} (Pb _{0.74} Hg _{0.18} Co _{0.07}) _{0.99}
69-3	2	1				63.76				7.34	24.56	4.34		Купроаурид (?)	(Cu _{0.85} Zn _{0.15}) _{1.00} (Au _{0.72} Ni _{0.28}) _{1.00}
	2	2				63.55				7.58	24.72	4.15		Купроаурид (?)	(Cu _{0.86} Zn _{0.14}) _{1.00} (Au _{0.71} Ni _{0.29}) _{1.00}

Примечание. Здесь и далее: ч — номер частицы, у — номер участка, ан. — номер анализа. Купроаурид (?) — купроаурид, тетрааурикуприд или рожковит.

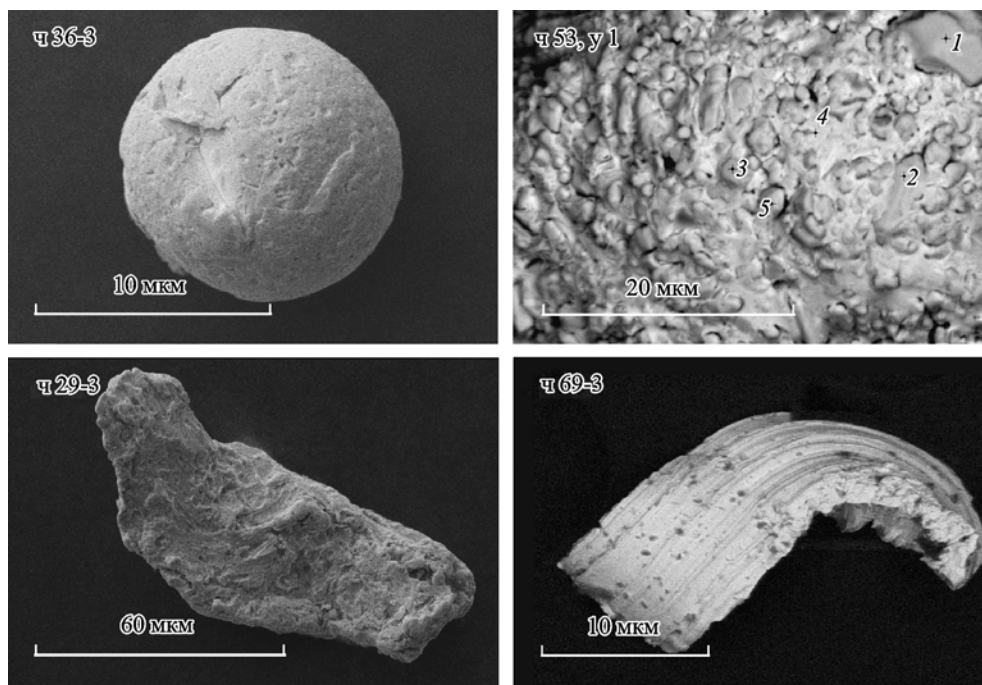


Рис. 1. Морфологические особенности некоторых частиц.

ч 36-3 — золотой ($\text{Au}_{0.75}\text{Ag}_{0.25}$) шарик; ч 53, у 1 — суспензия зерен $\text{Au}(\text{SnHgPb})$ и $\text{Au}(\text{Sb,SnHgPb})_2$ в самородной ртути; ч 29-3 — чешуйка, сложенная самородным золотом без примесей и ртутистым золотом; ч 69-3 — чешуйка богатого Ni и Zn купроаурида (?). Здесь и далее: ч — частица, у — изученный участок. Крестики и цифры на рисунках — места и номера анализов (табл. 1—3).

Fig. 1. Morphological peculiarities of some particles: a gold ($\text{Au}_{0.75}\text{Ag}_{0.25}$) spherule; suspension of $\text{Au}(\text{SnHgPb})$ and $\text{Au}(\text{Sb,SnHgPb})_2$ grains in native mercury; a flake of pure native gold and the mercury gold; a flake of cuproauride (?) rich in Ni and Zn. Hereafter: ч — particle, у — studied area.

разновидность $\text{Au}_{0.97-0.95}\text{Co}_{0.03-0.05}$ вместе с $\text{Au}_4(\text{Hg,Pb,Co})$ образует бесформенные и изометрические выделения в перистых агрегатах $\text{Au}(\text{Pb,Hg,Co})$. Кроме того, она обнаружена вместе с соединением $\text{Au}_5(\text{Hg,Co})$, в частицах, фрагментарно покрытых пленками органики и содержащих каверны с тонким силикатным материалом. Иногда в кавернах присутствуют выделения самородного олова (?) ($\text{Sn}_{0.95}\text{Au}_{0.05}$). Самородное золото $\text{Au}_{0.85-0.73}\text{Hg}_{0.11-0.16} \cdot \text{Co}_{0.04-0.11}$ слагает пористые частицы с пленками органики и гидроокислов Fe, или встречается в агрегатах из «слипшихся» «лепешек» вместе с интерметаллидом $(\text{Au,Ag})_4(\text{Hg,Co})$ и Pb-, Au- и Co-содержащей органикой. $\text{Au}_{1.00-0.90}\text{Hg}_{0.00-0.10}$ образует самостоятельные частицы чешуйчатого облика. $\text{Au}_{0.98}\text{Pb}_{0.02}$ вместе с Au-Ag твердым раствором слагает частицы с многочисленными кавернами, покрытые тончайшими пленками из органического и силикатного вещества, а также гидроокислов Fe. Каверны заполнены обогащенной Pb смесью органики, силикатного материала и гидроокислов Fe.

Золотосеребряный твердый раствор (ан. 6, 12, 13, 17, 18, 20, 21, 23, 24, 28, 29, 30, 32, 36, 39, 42, 36-3) иногда содержит небольшую изоморфную примесь Pb (до 0.02 к.ф.), Co (0.003—0.15) или Hg (0.06—0.17). Он имеет желтую, реже желтую с красноватым оттенком или красную (из-за пленок гидроокислов Fe) окраску. Ртутьсодержащие разновидности твердого раствора обладают желтым цветом с легким беловатым оттенком. Au-Ag твердый

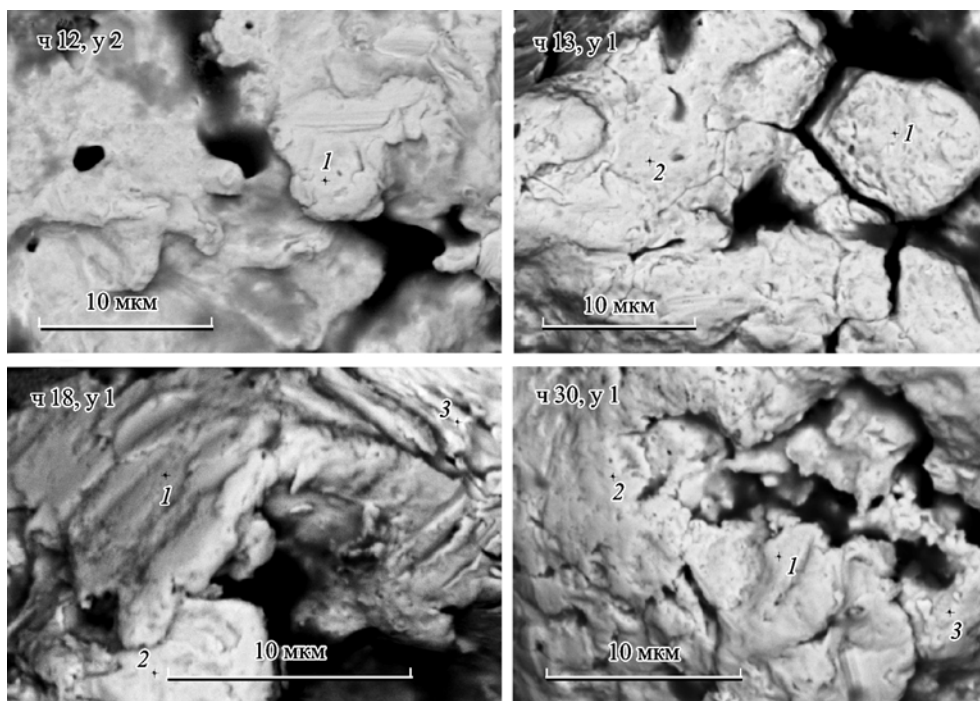


Рис. 2. Морфология поверхности и минеральный состав частиц с золотосеребряным твердым раствором.

ч 12, у 2: 1 — золотосеребряный твердый раствор; ч 13, у 1: 1 и 2 — золотосеребряный твердый раствор; ч 18, у 1: 1—3 — золотосеребряный твердый раствор; ч 30, у 1: 1 и 2 — золотосеребряный твердый раствор, 3 — Co-содержащий золотосеребряный твердый раствор. Анализы см. в табл. 2.

Fig. 2. Morphology of surface and mineral composition of particles with the gold-silver solid solution (1 and 2); 3 — Co-bearing gold-silver solid solution.

раствор слагает, как правило, самостоятельные частицы (рис. 1, 2; табл. 2) и только в трех случаях обнаружен вместе с Au без примесей, Pb-содержащим Au и (Hg-содержащая разновидность) соединением $(Au, Ag)_4(Hg, Co)$. Состав Au-Ag твердого раствора, не содержащего примесей, отвечает формуле $Au_{0.75-0.94}Ag_{0.25-0.06}$. Количество Au в Co- и Hg-содержащих разновидностях в целом соответствует более низким коэффициентам в формулах — 0.80—0.67 к.ф. и 0.75—0.69 к.ф. соответственно. Исключение составляют два анализа Hg-содержащей разновидности (0.87 и 0.92 к.ф.). Частицы Au-Ag твердого раствора имеют пористое натечное строение или сглаженную (окатанную) мозаичную поверхность с наплывами, наклепами и фрагментарно проявленными зонами роста, трещинками усыхания, штриховкой или зародышами кристаллов. Встречаются, кроме того, явно деформированные натечные частицы, а также чешуйки и золотые шарики (рис. 1). Поверхность частиц Au-Ag твердого раствора обычно покрыта пленками гидроксидов Fe и N-содержащей органики. Каверны выполнены смесью гидроксидов и органического и силикатного материала, иногда обогащенной Cr, Pb и As. В частицах с Hg-содержащей разновидностью Au-Ag твердого раствора пустоты выполнены смесью органики, гидроксидов Fe и кислородных или, возможно, органических соединений Sb, As, Pb и W.

Таблица 2

Химический состав минералов (мас.%) в частицах с Au-Ag твердым раствором
Chemical composition of minerals (wt %) in particles with Au-Ag solid solution

ч	у	Ан.	Fe	Si	Au	Hg	Pb	Co	Ag	Минерал	Формула
6	1	2			83.77				10.37	Самородное золото	Au _{0,82} Ag _{0,18}
12	1	1	1.17		77.38				11.24		Au _{0,79} Ag _{0,21}
	2	2			81.16		0.37		12.90		Au _{0,77} Ag _{0,22} Pb _{0,003}
	2	1			86.74				13.26		Au _{0,87} Ag _{0,13}
13	1	2			78.87				12.90		Au _{0,77} Ag _{0,23}
20	1	1	1.38	0.41	76.74	4.69			1.09		Au _{0,92} Ag _{0,02} Hg _{0,06}
		3		0.11	65.42	17.83			9.93		Au _{0,65} Ag _{0,18} Hg _{0,17}
23	1	1			74.60	18.03			7.37		Au _{0,70} Ag _{0,13} Hg _{0,17}
28	2	1			69.76	12.41	0.98		9.71		Au _{0,69} Ag _{0,18} Hg _{0,12} Pb _{0,01}
		2			83.14				12.05		Au _{0,79} Ag _{0,21}
29	1	1			56.32			3.79	4.84		Au _{0,72} Ag _{0,13} Co _{0,15}
		2	3.01		74.71		1.23		2.61		Au _{0,93} Ag _{0,06} Pb _{0,01}
		3			83.18				9.62		Au _{0,82} Ag _{0,18}
30	1	2			76.04				7.67		Au _{0,84} Ag _{0,16}
		3			80.04			0.73	9.48		Au _{0,80} Ag _{0,18} Co _{0,02}
32	2	1			69.04	16.30		0.87	5.71	(Au,Ag) ₄ Hg	(Au _{3,50} Ag _{0,53}) _{4,05} (Hg _{0,81} Co _{0,14}) _{0,95}
		2		0.09	77.69	7.04			10.02	Самородное золото	Au _{0,75} Ag _{0,18} Hg _{0,07}
36	1	2			67.30	15.05			8.60		Au _{0,69} Ag _{0,16} Hg _{0,15}
40	1	1		0.36	83.70				7.84		Au _{0,85} Ag _{0,15}
42	1	2			80.74			0.96	18.30		Au _{0,69} Ag _{0,28} Co _{0,03}
36-3	2	1			84.43				15.57		Au _{0,75} Ag _{0,25}

Примечание. В частице 20 (ан. 1) — 0.34 % Al.

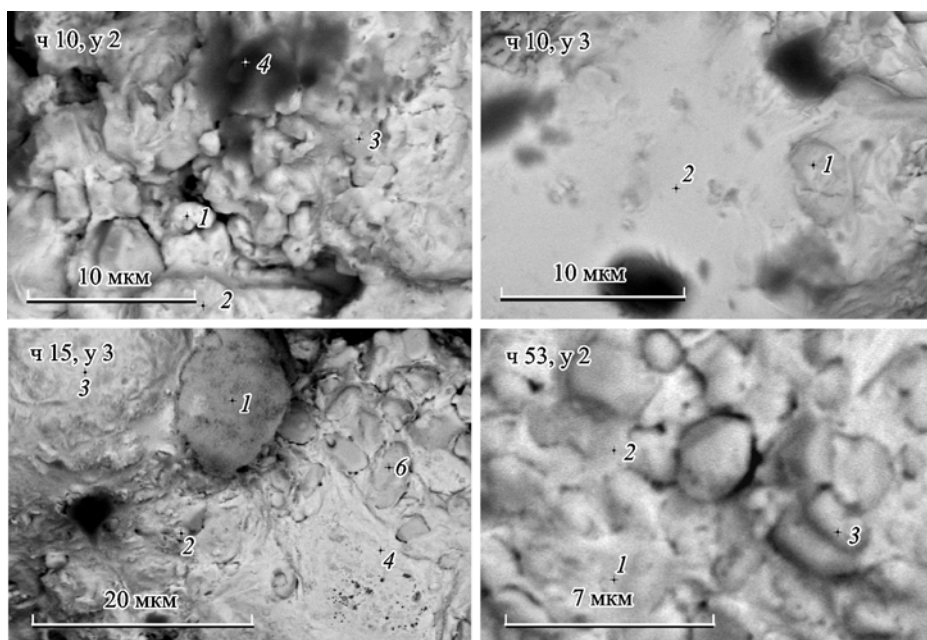


Рис. 3. Морфология поверхности и минеральный состав частиц с юаньцзянитом.

ч 10, у 2: 1 — Sn-содержащая ртуть; 2 — $\text{Au}(\text{Hg}, \text{Sn})_2$; 3 — Hg-содержащий юаньцзянит, 4 — каверна с инородным материалом; ч 10, у 3: 1 — Hg-содержащий юаньцзянит, 2 — Pb_4Hg_3 ; ч 15, у 3: 1 — скрутиниит (?), 2 и 6 — юаньцзянит, 3 — Hg_3Pb , 4 — самородная ртуть; ч 53, у 2: 1 и 2 — самородная ртуть с пленкой органики или металлоорганическое соединение HgC_2 (?) (наиболее светлые участки на рисунке — самородная ртуть), 3 — Hg-содержащий юаньцзянит. Анализы см. в табл. 3.

Fig. 3. Morphology of surface and mineral composition of particles with yuanyangite.

«Медистое золото» (ан. 14, 69-3) образует сложные срастания с самородным золотом $\text{Au}_{0.94}\text{Cu}_{0.06}$ (табл. 1). Оно представлено соединениями Cu_2Au_5 (по анализу — $\text{Cu}_{2.04}\text{Au}_{4.96}$) и CuAu (купроауридом, тетрааурикупридом или, возможно, рожковитом). Анализ последнего соединения пересчитывается на формулу $(\text{Cu}_{0.90-0.84}\text{Co}_{0.04-0.03})_{0.94-0.87}\text{Au}_{1.06-1.13}$. Кроме того, обнаружены зональные по составу чешуйки купроаурида (?) белого цвета (рис. 1), относящегося к необычной, очень богатой Ni (до 7.58 мас. %) и Zn (до 4.34 мас. %) разновидности. В структуре этого минерала, как видно из приведенных формул (см. табл. 1), Ni занимает позиции Au, а Zn — Cu.

Юаньцзянит AuSn (ан. 2, 10, 15, 53) (рис. 1 и 3; табл. 3) имеет белую окраску. Его состав отвечает теоретической формуле или отличается присутствием изоморфной примеси Hg (до 0.15 к.ф.) и, изредка, Pb (до 0.02 к.ф.). Зерна или кристаллы этого минерала, нередко покрытые пленками органики, обычно образуют эмульсию в самородной Hg вместе с зернами разнообразных соединений Pb и Hg, а также интерметаллидов $\text{Au}(\text{Hg}, \text{Sn})_2$ и $\text{Au}(\text{Sb}, \text{Sn}, \text{Hg}, \text{Pb})_2$.

Соединение $(\text{Au}, \text{Ag})(\text{Hg}, \text{Pb}, \text{Sb}, \text{Sn})$ (ан. 57, 66) (табл. 3) белого цвета отличается высоким содержанием Hg и Pb и небольшим количеством или отсутствием Sn и Sb. Этот минерал обнаружен в частицах неправильной формы вместе с соединением $\text{Au}(\text{Hg}, \text{Co})_5$. Иногда он образует агрегаты из «слипшихся» зерен вместе с соединением $\text{Au}(\text{Hg}, \text{Pb}, \text{Sb}, \text{Sn})_2$ или слагает включения в амальгаме $(\text{Au}, \text{Ag})_2(\text{Hg}, \text{Pb}, \text{Sb}, \text{Sn})_3$.

Химический состав минералов (мас. %) в частицах, сложенных ассоциациями с юаньцзянитом, соединениями (Au,Ag)(Hg,Pb,Sb,Sn), (Au,Ag)(Sb,Hg,Pb,Sn)₂, (Au,Ag)₃(Hg,Pb)₄ и амальгамой (Au,Ag)₂(Hg,Pb,Sb,Sn)₃

Chemical composition of minerals (wt %) in particles composed of associations with yuanyangite, (Au,Ag)(Hg,Pb,Sb,Sn), (Au,Ag)(Sb,Hg,Pb,Sn)₂, (Au,Ag)₃(Hg,Pb)₄ compounds and amalgam (Au,Ag)₂(Hg,Pb,Sb,Sn)₃

ч	у	Ан.	Si	Sn	Au	Hg	Pb	Co	Sb	Ag	Минерал	Формула
2	2*	1			60.36	71.54	28.46				PbHg ₃	Pb _{1,11} Hg _{2,89}
10	2	2		34.10							Юаньцзянит	Au _{0,97} Sn _{1,03}
		1		4.26		95.74					Самородная ртуть	(Hg _{0,93} Sn _{0,07})
		2		8.89	18.06	25.09					(Au,Ag)(Sb,Hg,Pb,Sn) ₂	Au _{0,94} (Hg _{1,29} Sn _{0,77}) _{2,06}
		3		34.55	60.60	4.85					Юаньцзянит	Au _{0,99} (Sn _{0,93} Hg _{0,08}) _{1,01}
	3	1		32.79	58.06	9.15					Юаньцзянит	Au _{0,96} (Sn _{0,90} Hg _{0,14}) _{1,04}
		2				42.52	57.48				Pb ₄ Hg ₃	Pb _{3,97} Hg _{3,03}
15	3*	2		34.35	65.65						Юаньцзянит	Au _{1,07} Sn _{0,93}
		3				75.74	24.26				PbHg ₃	Pb _{0,95} Hg _{3,05}
		6		34.13	65.87						Юаньцзянит	Au _{1,08} Sn _{0,92}
53	1*	1		31.51	61.72	5.24	1.53				Юаньцзянит	Au _{1,02} (Sn _{0,87} Hg _{0,09} Pb _{0,02}) _{0,98}
		5		9.19	34.10	10.99	5.28		27.97		(Au,Ag)(Sb,Hg,Pb,Sn) ₂	Au _{0,93} (Sb _{1,23} Sn _{0,41} Hg _{0,29} Pb _{0,14}) _{2,07}
	2	1				89.44					HgC ₂ (?)	Hg _{1,01} C _{1,99}
		3		31.09	55.77	4.53					Юаньцзянит	Au _{1,00} (Sn _{0,92} Hg _{0,08}) _{1,00}
57	1	1			31.69	38.63	11.69			5.34	(Au,Ag)(Hg,Pb,Sb,Sn)	(Au _{0,70} Ag _{0,22}) _{0,92} (Hg _{0,84} Pb _{0,24}) _{1,08}
		3			4.79	16.08		2.52			Au(Hg,Co) ₅	Au _{0,99} (Hg _{3,26} Co _{1,75}) _{5,01}
66	2	1	0.68	2.39	26.81	21.67	23.36		3.80		(Au,Ag)(Sb,Hg,Pb,Sn) ₂	Au _{1,00} (Hg _{0,79} Pb _{0,83} Sb _{0,23} Sn _{0,15}) _{2,00}
		2		7.70	41.60		2.72	0.59	40.29		(Au,Ag)(Sb,Hg,Pb,Sn) ₂	Au _{1,01} (Sb _{1,58} Sn _{0,31} Pb _{0,06} Co _{0,05}) _{2,00}
		5		2.91	43.91	35.11	9.01		3.00	1.71	(Au,Ag)(Hg,Pb,Sb,Sn)	(Au _{0,88} Ag _{0,06}) _{0,94} (Hg _{0,69} Pb _{0,17} Sb _{0,10} Sn _{0,10}) _{1,06}
		6	0.10		41.66	34.64	10.42			2.79	(Au,Ag)(Hg,Pb,Sb,Sn)	(Au _{0,92} Ag _{0,11}) _{1,03} (Hg _{0,75} Pb _{0,22}) _{0,97}
	3	2	0.47	1.58	29.54	25.39	15.09		3.01	1.26	Амальгама	(Au _{1,87} Ag _{0,15}) _{2,02} (Hg _{1,59} Pb _{0,91} Sb _{0,31} Sn _{0,17}) _{2,98}
		3		8.63	39.56	3.97	4.32		37.66		(Au,Ag)(Sb,Hg,Pb,Sn) ₂	Au _{0,97} (Sb _{1,49} Sn _{0,35} Pb _{0,10} Hg _{0,09}) _{2,03}
52	1	1			29.80	60.49	7.42			2.29	(Au,Ag)(Sb,Hg,Pb,Sn) ₂	(Au _{0,89} Ag _{0,12}) _{1,01} (Hg _{1,78} Pb _{0,21}) _{1,99}

56	3	1	33.21	49.33	12.01	5.36	Амалгама	$(Au_{1.61}Ag_{0.47})_{2.08}(Hg_{2.35}Pb_{0.56}As_{0.01})_{2.92}$
		2	5.29	92.83	1.88		Самородная ртуть	$Hg_{0.93}Au_{0.05}Pb_{0.02}$
		3	23.76	37.55	18.38	2.44	$(Au,Ag)(Sb,Hg,Pb,Sn)_2$	$(Au_{0.86}Ag_{0.16})_{1.02}(Hg_{1.35}Pb_{0.63})_{1.98}$
	2*	1	28.24	48.84	5.72	2.31	Амалгама	$(Au_{1.63}Ag_{0.25})_{1.88}(Hg_{2.8}Pb_{0.32})_{3.12}$
		2	18.99	55.28	3.08	2.56	$(Au,Ag)_2(Hg,Pb)_5$	$(Au_{1.63}Ag_{0.40})_{2.03}(Hg_{4.69}Pb_{0.28})_{4.97}$
11	1	1	30.64	41.40	11.79	3.77	Амалгама	$(Au_{1.71}Ag_{0.38})_{2.09}(Hg_{2.28}Pb_{0.63})_{2.91}$
		2	9.35	14.93	11.77		$Au(Hg,Pb,Co)_3$	$Au_{0.97}(Hg_{1.52}Pb_{1.16}Co_{0.33}As_{0.02})_{3.03}$
		3		39.96	10.08		$PbHg_4$	$Pb_{0.98}Hg_{4.02}$
8	2*	1	23.91	25.01	14.05	2.62	$(Au,Ag)_3(Hg,Pb)_4$	$(Au_{2.51}Ag_{0.50})_{3.01}(Hg_{2.58}Pb_{1.41})_{3.99}$

Примечание. В частице 66, участок 2 (ан. 1) — 0.22 % Al, частице 56, участок 3 (ан. 1) — 0.09 % As, частице 11, участок 1 (ан. 2) — 0.06 % As. Ассоциации: в частицах 2, 10, 15, 53 — с юаньцзянитом; 57, 66 — с $(Au,Ag)(Hg,Pb,Sb,Sn)_3$; 10, 52, 53, 56, 66 — с ауристибитом (?) $(Au,Ag)(Sb,Hg,Pb,Sn)_2$; 11, 56, 66 — с амалгамой $(Au,Ag)_2(Hg,Pb,Sb,Sn)_3$; 8 — с $(Au,Ag)_3(Hg,Pb)_4$; * — в пределах изученного участка присутствует самородная ртуть.

Соединение $(Au,Ag)(Sb,Hg,Pb,Sn)_2$ (ан. 10, 52, 53, 56, 66) белой окраски представлено двумя разновидностями одного минерала (ауристибита?) или, возможно, двумя разными минералами $Au(Sb,Sn,Hg,Pb)_2$ и $(Au,Ag)(Hg,Pb,Sn,Sb)_2$ (табл. 3; рис. 1 и 3). Богатая Sb разновидность совсем не содержит Ag и по составу близка к ауристибиту, от которого отличается значительной примесью Sn, Hg и Pb. Богатая Hg разновидность характеризуется полным отсутствием Sb (кроме богатых Pb составов) и нередко содержит Ag. В качестве второстепенных элементов кроме Ag в ней присутствует только Sn или только Pb. Зерна или частично сформировавшиеся кристаллы богатой Hg и (значительно реже) богатой Sb разновидности, нередко покрытые пленками органического вещества, вместе с зернами юаньцзянита, Hg_4Pb_5 или амалгамы $(Au,Ag)_2(Hg,Pb,As)_3$ образуют суспензию в самородной (пленочной) ртути и лишь изредка встречаются в виде самостоятельных частичек. Поры выполнены смесью органики и силикатного материала, обогащенной Sn и Hg. Богатая Sb (или Hg и Pb) разновидность в виде округлых зерен или правильных кристаллов чаще встречается в составе агрегатов из «слипшихся» зерен вместе с соединением $(Au,Ag)(Hg,Pb,Sb,Sn)_3$ или амалгамой $(Au,Ag)_2(Hg,Pb,Sb,Sn)_3$.

Амалгама золота и серебра $(Au,Ag)_2(Hg,Pb,Sb,Sn)_3$ (ан. 11, 56, 66) и соединение $(Au,Ag)_3(Hg,Pb)_4$ (ан. 8) (табл. 3). Амалгама Au и Ag имеет белую окраску и всегда содержит относительно много Pb. В некоторых случаях в ее составе отмечается высокое содержание Sb и Sn, а также незначительная примесь As. Анализ другого близкого к ней по составу соединения практически точно рассчитывается на идеальную формулу $(Au,Ag)_3 \cdot (Hg,Pb)_4$ — $(Au_{2.51}Ag_{0.50})_{3.01}(Hg_{2.58}Pb_{1.41})_{3.99}$. Оба минерала встречаются в виде суспензии в самородной Hg вместе с соединением $(Au,Ag)(Hg,Pb)_2$. Кристаллы амалгамы с выросшими на них кристаллами соединения $Au(Hg,Pb,Co,As)_3$ отмечались

Химический состав минералов (мас. %) в ассоциациях с юйянгитом, соединениями (Au,Ag)₄Hg, (Au,Ag)₇Hg₂, (Au,Ag)₅Hg, Au(Hg,Pb)₆, (Sn,Pb)Hg или (Sn,Pb)Hg₃
 Chemical composition of minerals (wt %) in associations with uuiyangite, (Au,Ag)₄Hg, (Au,Ag)₇Hg₂, and (Au,Ag)₅Hg, Au(Hg,Pb)₆, (Sn,Pb)Hg or (Sn,Pb)Hg₃ intermetallics

ч	у	Ан.	Si	Sn	Au	Hg	Pb	Co	Ag	Минерал	Формула
46	1	1			61.14	27.31		0.87	10.68	Юйянгит	(Au _{2,21} Co _{0,08}) _{3,00} (Hg _{0,97} Co _{0,03}) _{1,00}
		2			68.82	22.94			8.24	(Au,Ag) ₄ Hg	(Au _{3,23} Ag _{0,71}) _{3,94} Hg _{1,06}
51	1	1			67.41	17.16			6.32	(Au,Ag) ₅ Hg	(Au _{4,23} Ag _{0,72}) _{4,95} Hg _{1,05}
		2			53.54	22.54		0.86	4.64	Юйянгит	(Au _{2,46} Ag _{0,39} Co _{0,13}) _{2,98} Hg _{1,02}
35	4	1			61.91	21.09			10.60	(Au,Ag) ₄ Hg	(Au _{3,02} Ag _{0,97}) _{3,99} Hg _{1,01}
		2	0.32		62.40	20.41			7.11	(Au,Ag) ₄ Hg	(Au _{3,24} Ag _{0,70}) _{3,94} Hg _{1,06}
		1	0.35		65.62	12.65	3.96		1.78	(Au,Ag) ₄ Hg	(Au _{3,82} Ag _{0,20}) _{4,02} (Hg _{0,74} Pb _{0,24}) _{0,98}
37	2	1	0.26		49.76	22.92	1.35		18.17	(Au,Ag) ₄ Hg	(Au _{2,31} Ag _{1,58}) _{3,89} (Hg _{1,05} Pb _{0,06}) _{1,11}
		2	1.01		48.21	12.97			7.89	(Au,Ag) ₅ Hg	(Au _{3,84} Ag _{1,15}) _{4,99} (Hg _{1,05} Pb _{0,06}) _{1,01}
		3			46.90	25.08			20.30	(Au,Ag) ₇ Hg ₂	(Au _{3,86} Ag _{3,12}) _{6,98} Hg _{2,02}
41	2	1			75.27	19.66			5.07	(Au,Ag) ₄ Hg	(Au _{3,62} Ag _{0,45}) _{4,07} Hg _{0,93}
		2			76.06	18.52			5.42	(Au,Ag) ₄ Hg	(Au _{3,65} Ag _{0,48}) _{4,14} Hg _{0,87}
43	1	1		2.40	73.31	15.19	2.61	0.92	5.57	(Au,Ag) ₄ Hg	(Au _{3,40} Ag _{0,47} Co _{0,13}) _{4,00} (Hg _{0,69} Pb _{0,12} Sn _{0,18} Co _{0,01}) _{1,00}
		2	0.40		58.76	14.24	2.83		1.67	(Au,Ag) ₄ Hg	(Au _{3,74} Ag _{0,20}) _{3,94} (Hg _{0,89} Pb _{0,17}) _{1,06}
34	2	1			74.88	15.30		0.80	2.86	(Au,Ag) ₅ Hg	(Au _{4,60} Ag _{0,32} Co _{0,08}) _{5,00} (Hg _{0,92} Co _{0,08}) _{1,00}
		2			69.32	17.00			9.53	(Au,Ag) ₅ Hg	(Au _{4,01} Ag _{1,02}) _{5,03} Hg _{0,97}
		3			66.52	17.73			9.43	(Au,Ag) ₅ Hg	(Au _{3,93} Ag _{1,04}) _{4,97} Hg _{1,03}
		4			67.50	16.61		0.85	8.63	(Au,Ag) ₅ Hg	(Au _{3,95} Ag _{0,94} Co _{0,11}) _{5,00} (Hg _{0,95} Co _{0,05}) _{1,00}
48	1	1			12.35	74.55	1.37			Au(Hg,Pb) ₆	Au _{0,99} (Hg _{5,90} Pb _{0,11}) _{6,01}
47	1	1				100.00				Самородная ртуть	Hg _{1,00}
		2	2.42			40.55	9.04			(Sn,Pb)Hg	(Sn _{0,68} Pb _{0,23}) _{0,91} Hg _{1,09}
		3	0.91			46.01	4.64			(Sn,Pb)Hg ₃	(Sn _{0,61} Pb _{0,30}) _{0,91} Hg _{3,09}

Примечание. В частице 37, участок 2 (ан. 2) — 0.90 % Са; частице 43 (ан. 2) — 2.66 % Fe, частице 47, участок 2 (ан. 2) — 0.06 % As. Ассоциации: в частицах 46, 51 — с юйянгитом; 35, 41, 43, 46 — с (Au,Ag)₄Hg; 34, 37 (участок 2), 51 — с (Au,Ag)₅Hg; 48 — с Au(Hg,Pb)₆; 37 (участок 3) — с (Au,Ag)₇Hg₂; 47 — с (Sn,Pb)Hg и (Sn,Pb)Hg₃.

также в виде включений в зернах Hg_4Pb . Встречаются, кроме того, частички, состоящие из «слипшихся» зерен амальгамы с включениями соединения $(\text{Au}, \text{Ag})(\text{Hg}, \text{Pb}, \text{Sb}, \text{Sn})$ и редких кристаллов $\text{Au}(\text{Sb}, \text{Sn}, \text{Hg}, \text{Pb})_2$.

Юйянгит $(\text{Au}, \text{Ag})_3\text{Hg}$ (ан. 46, 51) (табл. 4) всегда в виде изоморфной примеси содержит немного Co и обычно встречается в ассоциации с Co -содержащими минералами. Кобальт, вероятно, может входить как в позицию Au , так и Hg . Иногда в позиции Hg присутствует Pb . Серебросодержащая разновидность этого минерала ассоциирует с обогащенными Ag соединениями $(\text{Au}, \text{Ag})_4\text{Hg}$ и $(\text{Au}, \text{Ag})_5\text{Hg}$ в составе пористых частиц с поверхностью натечного (с трещинами усыхания) или ячеистого облика. Не содержащая Ag разновидность этого соединения наблюдалась в виде включений в агрегатах перистых образований $\text{Au}_4(\text{Pb}, \text{Co})_5$ и $\text{Au}(\text{Pb}, \text{Co})$ совместно с Co -содержащим Au .

Соединение $(\text{Au}, \text{Ag})_4\text{Hg}$ (ан. 32, 35, 37, 41, 43, 46, 58) (табл. 4) желтой или бледно-желтой (до белой) окраски, нередко с красноватым оттенком, иногда содержит изоморфную примесь Pb или Co в позиции Hg . Кобальт, возможно, в некоторых случаях входит и в позицию Au . Это соединение самостоятельно или вместе с юйянгитом, Au - Ag твердым раствором, $(\text{Au}, \text{Ag})_7\text{Hg}_2$ и $(\text{Au}, \text{Ag})_5\text{Hg}$ или самородным Pb (?) с изоморфной примесью Au слагает пористые частицы натечного (с трещинками усыхания), губчатого, перистого или кораллоподобного облика. Такие частицы нередко покрыты тончайшими пленками органического и силикатного вещества, а также гидроксидов Fe . Присутствующие в них каверны выполнены смесью органики, силикатного материала и гидроокислов, иногда обогащенной Pb , As , Ag , Sn , Au и Hg .

Соединение $(\text{Au}, \text{Ag})_5\text{Hg}$ (ан. 31, 34, 37, 51, 57) беловато-желтого цвета иногда содержит Pb или Co в позиции Hg (табл. 4). Встречаются богатые Co составы. Это соединение слагает самостоятельные пористые частицы с поверхностью натечного, сетчатого или кораллоподобного облика, частично покрытые тонкими пленками азотсодержащего органического вещества, или образует кристаллические формы. Поры выполнены смесью органики и силикатного материала, иногда обогащенной As , Ag , Sn , Au , Pb , Hg и Cl . Реже этот минерал встречается вместе с соединениями $(\text{Au}, \text{Ag})_4\text{Hg}$ и $(\text{Au}, \text{Ag})_3\text{Hg}$. Богатая Co разновидность наблюдалась в ассоциации с интерметаллидом $(\text{Au}, \text{Ag})(\text{Hg}, \text{Pb})$.

Соединение $\text{Au}(\text{Hg}, \text{Pb})_6$ (ан. 48), белого цвета слагает самостоятельные кристаллы, покрытые тонкими пленками органики и содержащие поры с органическим и силикатным веществом, а также солями.

Соединение AuPb (ан. 67) желтой окраски всегда содержит Co (до 0.07 к.ф.) или Co (0.07 к.ф.) и Hg (до 0.18 к.ф.) в позиции Pb (см. табл. 1). Изученная частица представляет собой агрегат перистых образований этого соединения и $\text{Au}_4(\text{Pb}, \text{Co})_5$ с включениями бесформенных и изометрических зерен Co -содержащего Au и юйянгита.

Соединения $(\text{Sn}, \text{Pb})\text{Hg}$ и $(\text{Sn}, \text{Pb})\text{Hg}_3$ (ан. 47) белого цвета наблюдались вместе в виде суспензии в самородной ртути (см. табл. 4).

Соединения Pb и Hg характеризуются белой окраской и отличаются разнообразием состава. Их анализы удовлетворительно пересчитываются на идеальные формулы PbHg (ан. 8) и $\text{Pb}(\text{Hg}, \text{Sb})$ (ан. 38), Pb_4Hg_3 (ан. 10), Pb_4Hg_5 (ан. 38), Pb_5Hg_4 (ан. 10), PbHg_2 (ан. 4), PbHg_3 (ан. 2, 15, 44), PbHg_4 (ан. 11), Pb_3Hg (ан. 4), $(\text{Pb}, \text{Co})_4\text{Hg}$ (ан. 38) и Pb_7Hg (ан. 44) (табл. 5). Наиболее часто встречается соединение, состав которого отвечает формуле PbHg_3 . Соединения Pb_4Hg_3 , Pb_4Hg_5 и Pb_5Hg_4 , возможно, представляют собой нестехиометри-

Таблица 5

Химический состав минералов (мас. %) в ассоциациях с соединениями Pb и Hg, самородной ртутью или самородным железом

Chemical composition of minerals (wt %) in associations with Pb-Hg compounds, native mercury or native iron

ч	у	Ан.	Al	Fe	Si	Sn	Hg	Pb	Минерал	Формула
4	1	1					86.57		Самородная ртуть	Hg _{1,00}
		2					18.69	53.64	Pb ₃ Hg	Pb _{2,94} Hg _{1,06}
		3					68.25	31.75	PbHg ₂	Pb _{0,93} Hg _{2,07}
8	1	1					44.04	47.93	PbHg	Pb _{1,03} Hg _{0,97}
		2					41.24	47.52	PbHg	Pb _{1,05} Hg _{0,95}
9	1	1		87.06	2.37				Самородное железо	(Fe _{0,93} Mn _{0,01} Cr _{0,01} Si _{0,05})
10	1	1					69.44	6.77	Самородная ртуть	(Hg _{0,84} Pb _{0,08} Ag _{0,08})
		2					44.63	55.37	Pb ₅ Hg ₄	Pb _{4,91} Hg _{4,09}
		3					100.00		Самородная ртуть	Hg _{1,00}
15						6.41	78.83		То же	(Hg _{0,88} Sn _{0,12})
	1	2					100.00		»	Hg _{1,00}
	2	1					39.26	50.51	Pb ₄ Hg ₅	Pb _{3,99} Hg _{5,01}
38							24.74	38.42	PbHg	Pb _{1,07} (Hg _{0,72} Sb _{0,21}) _{0,93}
		2	0.13		0.84		12.63	50.53	Pb ₄ Hg	(Pb _{3,82} Co _{0,19}) _{4,01} Hg _{0,99}
		3					60.99	18.25	PbHg ₃	(Pb _{0,90} As _{0,02}) _{0,92} Hg _{3,08}
44	1	1					12.98	46.89	PbHg ₃	Pb _{0,89} Hg _{3,11}
		2					7.53	48.05	Pb ₇ Hg	(Pb _{6,50} Co _{0,45}) _{6,95} Hg _{1,05}
		3								

Примечание. В частице 9 (ан. 1) — 0.45 % Cr и 0.60 % Mn; частице 10 (ан. 1) — 3.40 % Ag; частице 38 (ан. 2) — 4.35 % Sb; частице 38 (ан. 3) — 0.71 % Co; частице 44 (ан. 1) — 0.11 % As; частице 44 (ан. 3) — 0.95 % Co.

ческие (частично разупорядоченные) разновидности $PbHg$. Округлые, слегка вытянутые зерна соединений Pb и Hg вместе с зернами других минералов образуют суспензию в самородной ртути. Соединение $PbHg_4$ наблюдалось в виде частиц, содержащих включения кристаллов амальгамы $(Au, Ag)_2(Hg, Pb)_3$ и соединения $Au(Hg, Pb, Co, As)_3$. Встречаются также частицы, состоящие из Pb_4Hg_5 и $Pb(Hg, Sb)$ с включениями $(Pb, Co)_4Hg$. Зерна соединений Pb и Hg нередко полностью или частично покрыты пленками органического вещества или, реже, органики, гидроокислов железа и силикатного материала. Пустоты выполнены слюдястым материалом и органикой.

Самородная ртуть (ан. 2, 4, 8, 10, 15, 41, 47, 53, 56) иногда содержит немного Pb , Ag , Sn или Au . В анализах некоторых участков кроме Hg отмечается значительное количество C , N и O . Подобные участки в отраженных электронах характеризуются более темной (по сравнению с ртутью) окраской (рис. 3 и табл. 3, ч. 53, у 2, а 1) и имеют четкие границы.

Самородное железо (ан. 9) серовато-белого цвета, содержащее изоморфную примесь Cr и Mn (табл. 5), наблюдалось в виде частицы комковатого облика с пленками и кавернами, выполненными смесью силикатов и органического вещества.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Таким образом, в аллювии Мокрушинской площади, в пространственной ассоциации с выходами обогащенных благородными металлами контактово-метаморфизованных осадков, родингитов, а также магматических и гидротермальных пород взрывной структуры распространены шлиховые ореолы золотой минерализации. Ее особенностью являются твердые растворы не только благородных, но и многих других металлов. Это обстоятельство указывает на нехарактерные для большинства природных процессов высоко- или ультравосстановительные условия, а наличие в частицах пленок и каверн с органическим веществом — на богатую органикой среду минералообразования. Интерес к ассоциациям твердых растворов металлов обусловлен их находками во многих геологических образованиях, решение вопросов происхождения которых имеет важное научное и практическое значение.

В рудах крупнейшего золоторудного (с Pt) месторождения Сухой Лог, ассоциированного с черносланцевой формацией, присутствует более десятка самородных элементов, а также разнообразные интерметаллические соединения (Лаверов и др., 1997). Самородные металлы (Au , Cu , Al и др.) выявлены в графитоносных метаморфитах Ханкайского террейна (Ханчук и др., 2007). В кимберлитах и алмазах Восточного Приазовья установлено около 70 самородных металлов и интерметаллических соединений (Тищенко, 2003, 2005). В алмазах лампроитовой трубки Аргайл (Западная Австралия) присутствуют самородные Fe и Cr , а также интерметаллиды Fe , Cr , Cu и Zn (Горшков и др., 2003). В алмазах якутских месторождений обнаружены микровключения самородных Fe , Cu , Pt и твердых растворов Fe , Cr , Ni и др. (Титков и др., 2006). В карбонадо из бассейна р. Макаубас (Бразилия) содержатся микровключения графита, самородных Fe , W , Cu , Ag , Zn , Al и твердых растворов Fe , Zr , Cr , Ni , Zn , Ti , Cu и Pb (Петровский и др., 2003, 2004). В серпентинитах массива Брасжовице-Бржежница (офиолиты Судета) и серпентинизированных гарцбургитах Баженовского офиолитового комплекса присутствует аварунит (De -

Iuga, 2005; Ерохин, Шагалов, 2005). В серпентинитах Среднего Урала (Петровский рудник) обнаружено самородное Fe (Ерохин и др., 2004), а в рудовмещающих дунитах хромитового комплекса месторождения Центральное (Райизский массив, Полярный Урал) — самородная Cu и интерметаллическое соединение Cu_2Zn (Щербаков и др., 2000). Согласно сводке С. М. Жмодика с соавторами (2008) среди лиственнизированных и карбонатизированных офиолитов встречаются хромититы с самородными Fe, Ni, Cu, соединениями $(Pt,Au)[Cu,Sb]_3$, $PtCu_3$ и $Pt(Cu,Sb)_3$. Разнообразные твердые растворы Au, Cu, Pt, Ni, Fe, Pd и Ir обнаружены при глубоководном бурении в породах современной океанической коры депрессии Хесса (восточная окраина Тихого океана). Родингиты и амфиболизированные породы с кросситом, винчитом и барруазитом иногда содержат соединения $AuCu$, $AuHg$, $AuCuSnHg(Sb)$ и сперрилит. Самородные Pb, Sn, Bi, Cu и твердые растворы Au, Pb, Ag, Sb и Sn, а также так называемое «медистое золото» встречаются во многих месторождениях Au и Pt, связанных с базит-гипербазитовыми массивами (Новгородова, 1983; Вознесенский, Золотова, 1986; Спиридонов и др., 1997; Жмодик и др., 2000; Спиридонов, Плетнев, 2002; Домдинов, Миронов, 2003; Евстигнеева и др., 2003). Ассоциации разнообразных самородных элементов и интерметаллических соединений широко распространены в контактово-метаморфизованных металлоносных осадках триасовой кремневой формации Сихотэ-Алиня (Перевозникова, 2010; Казаченко и др., 2011).

Обзор литературных сведений свидетельствует о том, что самородные элементы и твердые растворы металлов, для образования которых необходимы высоко- или ультравосстановительные условия, распространены в черносланцевых формациях и ассоциированных с ними месторождениях, в метеоритах, в продуктах гидротермального изменения основных и ультраосновных пород и горения углей, в обогащенных органическим веществом метаморфизованных металлоносных осадках, в кимберлитах, алмазах, в лунном реголите, углях и в некоторых других образованиях.

В настоящее время известны находки подобных образований эндогенной и экзогенной природы и в россыпных месторождениях Au и Pt, большинство из которых генетически связано с основными и ультраосновными породами. Интерметаллиды Pb, Sn и Sb, а также самородные Zn, Pb, Fe, W и Cu выявлены в рыхлых отложениях Фадеевского рудного узла (Приморье) (Медведев, 2012). Автор публикации связывает их образование с деятельностью глубинных восстановительных флюидопотоков. «Медистое золото», самородные элементы, интерметаллические соединения ЭПГ и многих других металлов распространены в щелочно-ультраосновном массиве Кондер в Хабаровском крае и в аллювии дренирующих его водотоков (Некрасов и др., 1999). Самородные Pb, Sn, Bi и Cu, «медистое золото», а также интерметаллиды Au, Ag, Pb, Sb и Sn, генетически связанные с базит-гипербазитовым массивом, выявлены в аллювии п-ва Камчатский Мыс (Сандимирова и др., 2004). В уральских Au-Pt россыпях распространены самородная Cu и интерметаллические соединения Au и Pb аутигенного происхождения (Хазов и др., 2010). Природные амальгамы Au и Ag, самородная ртуть и интерметаллиды Sn и Pb гипергенной природы встречаются в россыпях Утинского узла (Северо-Восток России) (Литвиненко, 2004).

Обнаружение самородного Au и интерметаллических соединений в аллювиальных отложениях обуславливает необходимость решения вопроса об их эндогенной или экзогенной природе, а также выяснения коренных источни-

ков металлов и причин возникновения высоко- и ультравосстановительных обстановок минералообразования. В изученных нами частицах никогда вместе не встречаются минералы Hg, Sn и Sb, с одной стороны, и минералы Cu, Ni и Zn — с другой. Это обстоятельство, связанное, очевидно, с разными источниками металлов, позволяет разделить частицы по элементному составу на две группы. Для отнесения самородного Au, не содержащего Hg и слагающего самостоятельные частицы, к той или иной группе можно использовать факт наличия или отсутствия Hg, Sn или Sb в материале каверн.

Особенностью частиц первой группы, отвечающей, возможно, нескольким геохимическим ассоциациям (источникам металлов), является мономинеральный или простой минеральный состав, полное отсутствие Hg, Sn и Sb в слагающих их минералах и в материале каверн. Такие частицы сложены самородным Au без примесей, с примесью Cu, Pb или Co, Au-Ag твердым раствором или «медистым золотом», иногда очень богатым Ni и Zn. Они имеют форму чешуек, кристаллов или шариков эндогенной природы или встречаются в виде натечных, в разной степени измененных последующими процессами образований экзогенного происхождения. Особенностью частиц второй группы является сложный, как правило, элементный и минеральный состав. Они состоят из разнообразных соединений Au, Ag, Hg, Sn, Pb, Co и Sb, а также самородных Au, Hg и Sn. Такие частицы представляют собой главным образом натечные образования с губчатой или кораллоподобной поверхностью и суспензии зерен минералов в самородной (пленочной) Hg. Встречаются также «высохшие суспензии» — агрегаты «слипшихся» округлых зерен, образовавшиеся в результате полного испарения Hg. Морфологические особенности частиц второй группы указывают на экзогенное происхождение. Исключение составляют чешуйки ртутистого Au, имеющие эндогенную природу.

Все экзогенные частицы, судя по пленкам и кавернам с органикой, являются подпочвенными образованиями бортов ключа. В восстановлении металлов активное участие принимали растворенные в грунтовых водах органические соединения почвенно-растительного слоя. Образованию экзогенных частиц первой группы предшествовало экстрагирование Au и Ag из залегающих под почвой продуктов экзогенного разрушения золотоносных пород. Значительную роль в этом процессе, судя по постоянному присутствию N в материале органических пленок, могли играть цианиды, продуцируемые растениями, грибами и бактериями. Образование натечных форм самородного Au происходило вследствие частичного окисления и распада металлосодержащих комплексов при дальнейшей фильтрации грунтовых вод. Подобный механизм может реализовываться, по-видимому, и при возникновении самородков. Образование экзогенных частиц второй группы с не содержащими N органическими пленками связано с амальгамированием восстановленных металлов на месте, непосредственно в подпочвенных продуктах разрушения золотоносных пород. Потенциальными источниками Au, Ag и других металлов, содержащихся в изученных частицах Мокрушинской площади, являются флюидолиты, магматические породы и генетически связанные с ними гидротермальные образования палеоценовой эксплозивной структуры, а также триасовые контактово-метаморфизованные осадки и родингиты.

В флогопит-оливиновых породах эксплозивной структуры присутствует комплекс эпигенетических минералов, возникших после раскристаллизации расплава в результате автометаморфизма (взаимодействия этих пород с остаточной флюидной фазой). К нему относятся антигорит, тальк, миннесотит,

Таблица 6

Минералы благородных металлов в триасовых метаморфизованных металлоносных осадках и родингитах Ольгинского рудного района

Minerals of precious metals in the Triassic metamorphosed metalliferous sediments and rodingites of Olginskii ore district

Марганцевосиликатные породы	Силикатно-магнетитовые руды	Яшмы	Родингиты
Самородное золото без примесей	Самородное золото без примесей	Самородное золото без примесей	Самородное золото без примесей
Твердый раствор Au и Ag	Твердый раствор Au и Ag	Твердый раствор Au и Ag	«Медистое золото»
Cu-содержащее золото «Медистое золото»	«Медистое золото»	«Медистое золото»	(Au,Ag)(Bi,Te)
Самородное серебро	Самородная платина	Сульфид Ag	Самородная платина
Сульфид Ag	Сперрилит	Ni ₃ Au	Самородный палладий
Ялпаит	Самородное серебро	Au-содержащий Ni	Самородное серебро
<i>Самородное золото без примесей</i>	Сульфид Ag	Самородное серебро	Сульфид Ag
<i>Порпечит</i>	Пираргирит	Ag-тетраэдрит	<i>Самородное золото без примесей</i>
<i>Сульфид Ag</i>	Иодирит		<i>Pb-, и Cu-содержащее золото</i>
			<i>«Медистое золото»</i>
			<i>Самородный палладий</i>
			<i>Pt-содержащий висмут</i>
			<i>Самородное серебро</i>
			<i>Аргиродит</i>
			<i>Сульфид Ag</i>

Примечание. В таблице приведены минералы Широкопадинской (прямой шрифт) и Мокрушинской (курсив) площадей.

хлорит, анкерит, кутнагорит, сидерит, магнетит, брейтгауптит, никелин, хедлейит, кобальтин, цумоит и другие соединения Bi и Te, купроаурид, аурикуприд и палладистое Au, выполняющие межзерновое пространство, трещины спайности в кристаллах флогопита, каемки вокруг зерен магнетита, зонки эксплозивного дробления и прожилки в породе. Купроаурид в качестве изморфной примеси содержит Ag (5.33—11.06 мас. %). Аурикуприд представлен необычной, богатой Zn (до 12.65 масс. %) Ni-содержащей (до 1.28 масс. %) разновидностью (табл. 3), в которой Zn изоморфно замещает Cu. Природные Au-Ni и тем более Cu-Au-Ni-Zn твердые растворы являются редчайшими образованиями, сведения о которых в геологической литературе появились только в последнее время (Мирошниченко, Перевозникова, 2010; Казаченко и др., 2012). Поэтому нет никакого сомнения в том, что коренным источником частиц купроаурида (?) с такими же особенностями состава (высоким содержанием Ni и Zn) в аллювии Мокрушинской площади являлись флогопит-оливиновые породы. По результатам анализа одной пробы атомно-абсорбционным методом они содержат (г/т) 0.68 Au, 1.86 Pt и 0.01Pd. По данным Е. И. Сандимировой (2008), сферические минеральные образования в вулканических породах Курильских островов и Камчатки имеют магматическое происхождение и являются рудными, рудно-силикатными или силикатными каплями застывшего расплава. Источниками поступления сферул в слои пирокластических и вулканогенно-осадочных пород, по ее мнению, являлись эксплозивные выбросы вулканов. Наличие золотых шариков в аллювии, про-

исхождение которых связано, очевидно, с взрывными процессами формирования трубки взрыва, свидетельствует об обогащении расплавов (и, очевидно, гидротермальных растворов) Au и высоких перспективах Мокрушинской площади на золоторудные объекты гидротермального происхождения. Подобным объектом гидротермальной природы, вероятно, является пока не обнаруженное проявление Au-Sb-Hg минерализации, служившее коренным источником металлов в частицах второй группы. Большинство частиц первой группы не обладает характерными особенностями морфологии (шарообразной формой) или состава минералов и материала каверн (присутствие Ni, Zn, Pd, Hg, Sn или Sb), позволяющими связать их образование с взрывными или гидротермальными процессами формирования трубки взрыва. Такие частицы состоят из самородного золота (иногда с примесью Cu, Pb, или Co), Au-Ag твердого раствора или «медистого золота» (без Ni и Zn), которые распространены в родингитах и контактово-метаморфизованных металлоносных осадках триасовой кремневой формации Сихотэ-Алиня (в том числе и на Мокрушинской площади) (табл. 6). Многочисленные частицы пылевидного (размером десятки мкм) самородного золота и предположительно самородной платины из триасовых метаморфизованных осадков обнаружены и в аллювии долин руч. Широкая падь и Левый Распадок (Широкопаднинская площадь) на всем их протяжении (от устьев до верховьев).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, твердые растворы металлов в аллювии Мокрушинской площади представлены эндогенными и экзогенными образованиями. Коренными источниками Au и Ag являлись магматические и гидротермальные породы (или руды) палеоценовой взрывной структуры, а также триасовые метаморфизованные металлоносные осадки и родингиты. Полученные данные свидетельствуют о возможности присутствия коренных гидротермальных Au-Sb-Hg проявлений и россыпей благородных металлов в пространственной ассоциации с взрывными структурами палеоценового магматического комплекса Сихотэ-Алиня. Перспективными на россыпи являются и площади распространения коренных выходов триасовых метаморфизованных металлоносных осадков и родингитов в Таухинском и Самаркинском террейнах.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты № 12-05-00396-а и № 14-05-31484) и Президиума ДВО РАН (проект № 12-I-П27-03).

Список литературы

- Вознесенский С. Д., Золотова Н. Г. Современное минералообразование в золотой россыпи // ВМО. 1986. № 3. С. 301—310.
- Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России: в 2-х кн. Кн. 1 / Под ред. А. И. Ханчука. Владивосток: Дальнаука, 2006. 572 с.
- Горшков А. И., Беришов Л. В., Титков С. В., Винокуров С. Ф., Рябчиков И. Д., Магазина Л. О., Сивцов А. В., Тейлор В. Р. Особенности минеральных включений и примесей в алмазах из лампроитов трубки Аргайл (Западная Австралия) // Геохимия. 2003. Т. 12. С. 1251—1261.
- Домдинов Б. Б., Миронов А. Г. Нетрадиционные типы благороднометалльной минерализации в офиолитах Восточного Саяна и Джидинской зоны / Тезисы докладов Всероссийского со-

вещания, посвященного 100-летию со дня рождения академика Кузнецова Е. А. Новосибирск, **2003**. С. 95—97.

Евстигнеева Т. Л., Трубкин Н. В., Рамдор Р. Au-Ag-Pb-Sn-Sb фазы в природе и в эксперименте // Электронный научно-информационный журнал «Вестник Отделения наук о Земле РАН». № 1 (21). **2003**. URL: http://www.scgis.ru/Russian/cp1251/h_dgggms/1-2003/informbul-1/mineral-14.pdf.

Ерохин Ю. В., Шагалов Е. С. Аваруит из Баженовского офиолитового комплекса / 6 Всероссийские научные чтения памяти Ильменского минералога В. О. Полякова. Миасс, 3—5 ноября, 2005. Миасс: Изд-во ИМин УрО РАН, **2005**. С. 23—26.

Жмодик С. М., Миронов А. Г., Агафонов Л. В. Интерметаллид Au и Sn в офиолитах Восточного Саяна // ЗРМО. **2000**. № 2. С. 54—57.

Жмодик С. М., Миронов А. Г., Жмодик А. С. Золотоконцентрирующие системы офиолитовых поясов (на примере Саяно-Байкало-Муйского пояса). Новосибирск: Академическое изд-во Гео, **2008**. 304 с.

Казаченко В. Т., Лаврик С. Н., Перевозникова Е. В., Кононов В. В., Сафронов П. П. Первая находка флогопит-оливиновых пород (лампроитов) в Таухинском террейне Сихотэ-Алиня // Докл. РАН. **2012**. Т. 45. № 3. С. 303—307.

Казаченко В. Т., Мирошниченко Н. В., Перевозникова Е. В., Карабцов А. А. Минеральные формы благородных металлов в металлоносных отложениях триасово-юрской углеродистой толщи Сихотэ-Алиня // Докл. РАН. **2008**. Т. 421. № 3. С. 383—386.

Казаченко В. Т., Мирошниченко Н. В., Перевозникова Е. В., Карабцов А. А. Приморье — новый перспективный регион России с золото-палладий-платиновым оруденением нетрадиционного типа // Докл. РАН. **2009**. Т. 425. № 5. С. 651—655.

Казаченко В. Т., Перевозникова Е. В., Лаврик С. Н. Минералогия и генезис Белогорского скарново-магнетитового месторождения (Приморье) // Тихоокеанская геология. **2001**. Т. 30. № 6. С. 67—83.

Казаченко В. Т., Ханчук А. И., Лаврик С. Н., Перевозникова Е. В. Флогопит-оливиновые породы Таухинского террейна (Юго-Восточный Сихотэ-Алинь) // Тихоокеанская геология. **2013**. Т. 32. № 5. С. 35—51.

Лаверов Н. П., Дистлер В. В., Митрофанов Г. Л., Немеров В. К., Коваленкер В. А., Мохов А. В., Семейкина Л. К., Юдовская М. А. Платина и другие самородные металлы в рудах месторождений Сухой Лог. // Докл. РАН. **1997**. Т. 355. № 5. С. 664—668.

Литвиненко И. С. Серебряно-золотые амальгамы в россыпях Утинского узла (Северо-Восток России) // Вестник ДВО РАН. **2004**. № 5. С. 100—109.

Медведев Е. И. Самородные металлы в углеродсодержащих породах Фадеевского рудно-россыпного узла // Молодой ученый. **2012**. № 11. С. 134—136.

Мирошниченко Н. В., Перевозникова Е. В. Интерметаллическое соединение Ni_3Au и твердые растворы золота и никеля в метаморфизованных металлоносных осадках триасовой кремневой формации Сихотэ-Алиня // Тихоокеанская геология. **2010**. Т. 4. № 1. С. 60—66.

Некрасова И. Я., Иванов В. В., Ленников А. М., Октябрьский Р. А., Сапин В. И., Залищак Б. Л., Молчанова Г. Б. Золото-медно-палладиевая минеральная ассоциация Кондерского массива (юго-восток Алданского щита) / Платина России (проблемы развития минерально-сырьевой базы в XXI веке). М.: Геоинформмарк, **1999**. Т. 4. С. 51—59.

Новгородова М. И. Самородные металлы в гидротермальных рудах. М.: Наука, **1983**. 286 с.

Перевозникова Е. В. Марганцевосиликатные породы рудных районов Приморья: минералогия и генезис. Дис. ... канд. геол.-мин. наук. Владивосток, **2010**. 192 с.

Петровский В. А., Карфункель И., Мартинс М., Лютов В. П., Глухов Ю. В., Сухарев А. Е., Филиппов В. Н., Магазина Л. О. Морфологическое и субструктурное строение природных карбонадо // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. **2004**. № 9. С. 73—85.

Петровский В. А., Мартинс М., Карфункель И., Самойлович М. И., Белянкин А. Ф., Лютов В. П., Сухарев А. Е., Глухов Ю. В. Карбонадо: физические свойства, минеральные включения и условия образования. Высокие технологии в промышленности России (материалы и устройства электронной техники) / Материалы 9 Международной научно-технической конференции, Москва, 11—13 сент., 2003. М.: Изд-во ЦНИТИ «Техномаш», **2003**. Т. 2. С. 206—220.

Сандимирова Е. И. Сферические минеральные образования вулканических пород Курильских островов и Камчатки. Дис. ... канд. геол.-мин. наук. Петропавловск-Камчатский, **2008**. 135 с.

Сандимирова Е. И., Сидоров Е. Г., Чубаров В. М., Ибрагимова Э. К., Антонов А. В. Самородные металлы и интерметаллиды в шлиховых ореолах р. Ольховая 1-я (Камчатский Мыс, Вос-

точная Камчатка) / Материалы конференции, посвященной Дню вулканолога «Вулканизм и связанные с ним процессы». Петропавловск-Камчатский, ИВиС ДВО РАН, **2004**. С. 193—198.

Спиридонов Э. М., Плетнев П. А. Месторождение медистого золота Золотая Гора (о «золото-родингитовой» формации). М.: Научный мир, **2002**. 220 с.

Спиридонов Э. М., Плетнев П. А., Перелыгина Е. В., Рапопорт М. С. Геология и минералогия месторождения медистого золота Золотая Гора (Карабашское), Средний Урал (о проблеме «золото-родингитовой» формации). М.: Изд-во МГУ, **1997**. 192 с.

Титков С. В., Горишков А. И., Солодова Ю. П., Рябчиков И. Д., Магазина Л. О., Сивцов А. В., Гасанов М. Д., Седова Е. А., Самосоров Р. Г. Минеральные микровключения в алмазах кубического габитуса из месторождений Якутии по данным аналитической электронной микроскопии // Докл. РАН. **2006**. Т. 140. № 2. С. 255—258.

Тищенко А. И. Самородные металлы в кимберлитах Восточного Приазовья. Современные проблемы формационного анализа, петрология и рудоносность магматических образований / Тезисы докладов Всероссийского совещания, посвященного 100-летию со дня рождения академика Ю. А. Кузнецова. Новосибирск, 16—19 апр. 2003. Новосибирск: Филиал ГЕО, **2003**. С. 329—330.

Тищенко А. И. Находка самородного алюминия в Украине // Минер. журн. **2005**. Т. 27. № 1. С. 38—43.

Хазов А. Ф., Силаев В. И., Филиппов В. Н. Аутигенная минерализация в речных россыпях как природный научный феномен // Изв. Коми НЦ УрО РАН. **2010**. № 2. С. 54—60.

Ханчук А. И., Плюснина Л. П., Молчанов В. П., Медведев Е. И. Самородные металлы в графитоносных породах Ханкайского террейна / Тезисы доклада на Всероссийской конференции «Чтения, посвященные памяти академика К. В. Симакова». Магадан, **2007**. С. 107—108.

Щербаков А. В., Мельников Ф. П., Макеев А. Б. Минералы меди в рудах и рудовмещающих дунитах хромитового месторождения Центральное (Райизский массив, Полярный Урал) / Материалы Международной конференции студентов и аспирантов по фундаментальным наукам «Ломоносов», М.: Изд-во МГУ, **2000**. Вып. 5. С. 180—181.

Delura K. Magnetite-nickel sulphides-awaruite associations in serpentinites from Braszowice-Brzeznicza massif (Sudetic ophiolite, SW Poland) / 12 Meeting of the Petrology Group of the Mineralogical Society of Poland «Crystalline Rocks of the East-European Craton», Stary Folwark, Oct. 13—16, 2005: Scientific Communications. Krakow. Univ. SI. **2005**. P. 147—150.

Поступила в редакцию
12 августа 2013 г.

УДК 553.063:549.74

ЗРМО, № 3, 2014 г.
Zapiski RMO, N 3, 2014

© С. В. ЧЕРЕДНИЧЕНКО, * В. А. КОТЛЯРОВ**

МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КАРБОНАТИТОВ ИЛЬМЕНОГОРСКОГО МИАСКИТОВОГО МАССИВА (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

* Ильменский государственный заповедник УрО РАН,
456317, Миасс, Челябинская обл., Ильменский заповедник;
e-mail: svcheredn@mail.ru

** Институт минералогии УрО РАН? 456317, Миасс, Челябинская обл.;
e-mail: kotlyarov@mineralogy.ru

Карбонатитовые жилы, расположенные в эндоконтакте Ильменогорского миаскитового массива, содержат апатит, анкилит-(Ce), стронцианит, бастнезит-(Ce), синхизит-(Ce), монацит-(Ce) и карбоцернаит. Выполнен анализ состава редкоземельных минералов и карбонатита, рассмотрены соотношения в них редких и РЗЭ. Проведен сравнительный анализ состава карбонатитов ильмено-вишневогорского комплекса.

Ключевые слова: карбонатит, бастнезит-(Ce), синхизит-(Ce), анкилит-(Ce), карбоцернаит, монацит-(Ce), стронцианит, Ильменогорский миаскитовый массив, Южный Урал.