



УДК 553.411.071(571.1-13)

ТИПОХИМИЗМ И МИНЕРАЛЬНЫЕ АССОЦИАЦИИ САМОРОДНОГО ЗОЛОТА КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ ЕГОРЬЕВСКОГО РУДНО-РОССЫПНОГО РАЙОНА (СЕВЕРО-ЗАПАДНЫЙ САЛАИР)

В. В. Колпаков¹, П. А. Неволько^{1,2}, П. А. Фоминых¹¹Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия, ²Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

Получены новые дополнительные данные по химическому составу и минеральным ассоциациям гравитационно извлекаемого самородного золота в остаточной коре выветривания на площадях, которые примыкают к Егорьевскому месторождению. По химическому составу в коре выветривания выделены три разновидности самородного золота. Вероятные их коренные источники – мезо- или эпitherмальное жильное и прожилково-вкрапленное золотое оруденение. В коре выветривания наиболее распространены золотины с пробностью более 900 ‰, содержащие до 1–2 мас. % ртути. Также в них может присутствовать примесь Cu (0, n мас. %). Их источник – жильное мезотермальное оруденение золото-кварцевого типа. На новой площади выявлена разновидность самородного золота с пробностью менее 900 ‰ и содержаниями ртути от 1 до 4–5 мас. %. Этой разновидности нет на Егорьевском месторождении. Золотины такого состава не характерны для Егорьевского района, но в коре выветривания и метасоматитах Лапинского участка месторождения отмечаются ртутистые (от 7–12 до 23 мас. % Hg) золотины, часто с примесью меди (до 1–2 мас. %). Химические составы самородного золота коры выветривания и тесно связанных с ней аллювиальных россыпей в целом хорошо сопоставимы, но наблюдаются и различия в распространенности золотин определенного химического состава в рудных источниках, коре выветривания и россыпях. Гипергенные преобразования частиц золота проявлены относительно слабо и более заметны на Егорьевском месторождении. Рудные минералы, обнаруженные в золотинах в виде микровключений, являются обычными для средне- и низкотемпературного гидротермального золотого оруденения.

Ключевые слова: кора выветривания, химический состав самородного золота, минеральные ассоциации золота, золоторудная минерализация, россыпи золота, гипергенные преобразования золотин.

TYPOCHEMISTRY AND MINERAL ASSOCIATIONS OF NATIVE GOLD OF WEATHERING CRUST OF YEGORIEVSKY ORE-PLACER AREA (NORTH-WESTERN SALAIR)

V. V. Kolpakov¹, P. A. Nevolko^{1,2}, P. A. Fominykh¹¹V.S.Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia, ²Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

New data were obtained on the chemical composition and mineral associations of gravitationally recoverable native gold in the residual weathering crust in areas adjacent to the Yegorievsky deposit, supplementing the available materials on the mineralogical and geochemical properties of native gold of the Yegorievsky area. According to the chemical composition, three varieties of native gold are identified in the weathering crust, the probable root sources of which are mesothermal or epithermal vein and vein-disseminated gold mineralization. Gold grains with a fineness of more than 900‰, containing up to 1–2 wt.% Hg, are most common in the weathering crust, they may also contain an admixture of Cu (0, n wt.%). Their source is vein mesothermal mineralization of the gold-quartz type. In the new area, a variety of native gold with a fineness of less than 900‰ and mercury contents from 1 to 4–5 wt.% was found, which was absent at the Yegorievsky deposit. Gold grains of this composition are generally not characteristic of the Yegorievsky area. At the same time, in the weathering crust and metasomatites of the Lapinsky site of the Yegorievsky deposit there are mercury (from 7–12 to 23 wt.% Hg) gold, often with an admixture of copper (up to 1–2 wt.%), not found in new areas. The chemical compositions of the native gold of the weathering crust and alluvial placers closely related to it are generally well comparable, but there are also differences in the prevalence of golds of a certain chemical composition in ore sources, weathering crust and placers. Hypergenic transformations of gold particles are relatively weak and more noticeable at the Yegorievsky deposit. Ore minerals found in gold in the form of microinclusions are common minerals for medium- and low-temperature hydrothermal gold mineralization.

Keywords: weathering crust, chemical composition of native gold, gold mineral associations, gold mineralization, gold placers, hypergenic transformations of gold grains.

DOI 10.20403/2078-0575-2020-2-96-109

Егорьевский рудно-россыпной район – один из старейших в Сибири и единственный промышленно золотоносный (россыпи Au) в Новосибирской области. Несмотря на высокую степень отработанности,

россыпной потенциал еще не исчерпан и в настоящее время продолжается добыча золота на многих объектах. Золотоносная кора химического выветривания, широко распространенная в районе, являет-



ся важным источником золота аллювиальных россыпей, несущих генетическую информацию об эндогенном золотом оруденении. Изучение самородного золота коры выветривания и его минеральных ассоциаций, особенно на новых площадях, весьма актуально и имеет прогнозно-поисковое значение. По золоту коры выветривания опубликованных материалов мало [4, 6], как и по золоту эндогенных источников и россыпей северо-западного Салаира [8]. Эта информация касается в основном района Егорьевского месторождения золота в коре выветривания, где находится большая часть известных золоторудных объектов. Соседние площади изучены гораздо слабее. В фондовых материалах имеются лишь краткие сведения о химическом составе самородного золота (в основном о его пробности). Между тем в рудных объектах, коре выветривания и аллювиальных россыпях северо-западного Салаира распространены своеобразные, редко встречающиеся в других рудных районах ртутистые (до 23 мас. % Hg) и медьсодержащие (до 4 мас. % Cu) золотины [12]. Разнообразны и минеральные ассоциации самородного золота. Для исследований нами был привлечен новый обширный фактический материал по экзогенным золотоносным образованиям площадей, примыкающих к Егорьевскому месторождению, полученный в результате проведения

Новосибирской геолого-поисковой экспедиции поисковых работ на россыпное золото в 1995–1997 гг.

Краткие сведения о геологическом строении и золотоносности района

Салаирский кряж является частью Алтае-Саянской складчатой области и представляет собой сложное складчато-глыбовое сооружение каледонско-герцинской консолидации. В нижней части разреза залегают карбонатные и терригенно-вулканогенные нижнекембрийские отложения кинтерепской, печеркинской и суенгинской свит, вмещающих золотое оруденение. Последнее обнаруживает связь с дайками основного состава (E_2-O_1) и представлено преимущественно золото-сульфидно-кварцевой, золото-кварцевой [4, 8] и золотосодержащей полиметаллической формациями. Полиметаллическое с золотом оруденение пространственно сопряжено с вулканогенными породами печеркинской свиты (главным образом кислого состава) [3, 4, 8] и не проявлено на рассматриваемых площадях (рис. 1).

Первая россыпь золота на р. Фомиха была открыта в 1830 г. [4]. В дальнейшем изучением экзогенной и эндогенной золотоносности северо-западного Салаира занимались многие исследователи (А. Кулибин, В. А. Обручев, А. Я. Булынников, Б. Ф. Сперанский, И. В. Дербигов, А. С. Юрма-

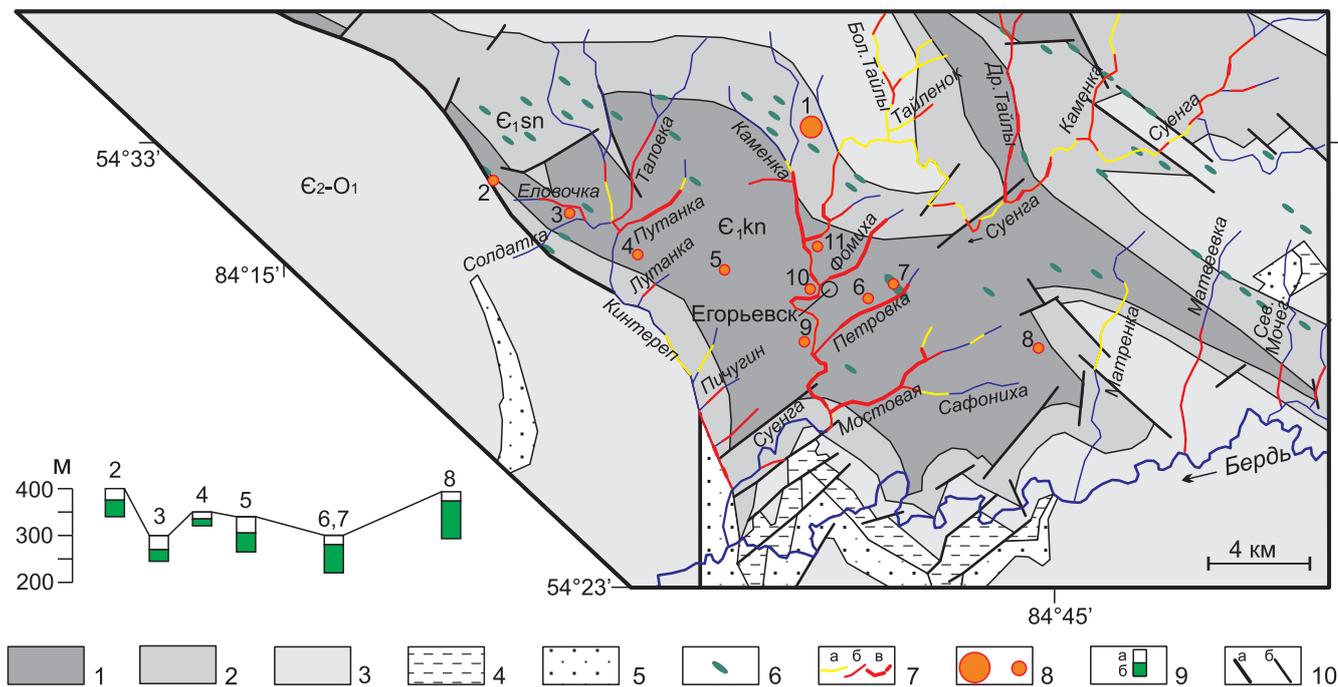


Рис. 1. Схема геологического строения района Егорьевского месторождения золота в коре выветривания

1 – кинтерепская свита (E_1kn): мраморизованные известняки с прослоями углистого вещества, песчаников, алевролитов; 2 – суенгинская свита (E_1sn): терригенно-вулканогенно-карбонатные отложения; 3 – зелено-фиолетовая серия (E_2-O_1): терригенно-вулканогенные отложения; 4 – известняки, алевролиты, глинистые сланцы, песчаники (O_2-S_1); 5 – известняки, глинистые сланцы, бокситы, аллиты, сиаллиты (D_{1-2}); 6 – дайки основного состава (E_2-O_1); 7 – россыпи золота [11] с линейной продуктивностью менее 20 кг/км (а), 20–100 кг/км (б), 100–150 кг/км и более (в); 8 – Ново-лушниковское месторождение (№ 1), пункты опробования коры выветривания Бубенщиковского участка (№ 2–4), Лутанского, Гусельнятского и Лапинского участков Егорьевского месторождения (№ 5–7), Матвеевского участка (№ 8), рудопоявление Бобровского лога (№ 9), пункты минерализации Удивительный (№ 10) и Суенга (№ 11); 9 – усредненные мощности покровных отложений (а) и коры выветривания (б) по участкам опробования; 10 – разломы: главный (а) и второстепенные (б)



Таблица 1

Мощность отложений коры выветривания на исследуемых площадях

Площадь	№ на рис. 1	Глубина залегания, м	Мощность, м	Уровень содержания золота, мг/т
Бубенщиковская	2–4	10–33 м	До 85 м	Обычно до 25, единично до 100–200
Егорьевская [2]	5–7	До 40 м	До 200 м	До 100–300, единично до первых г/т
Матвеевская	8	2–21 м	До 108 м	Обычно до 25, единично до 90

зов, Г. Д. Карамышева, М. А. Усов, В. Г. Свиридов, С. В. Колтунов, Р. Ф. Колпакова, В. В. Нечаев, А. И. Неволько, Н. А. Росляков, Г. В. Нестеренко, Ю. А. Калинин, В. Л. Хомичев и др.). Они выделили формационные типы золотого оруденения, установили закономерности его размещения, изучили поведение золота в зоне гипергенеза и условия формирования золотосодержащих кор выветривания, охарактеризовали самородное золото в корях выветривания и россыпях и сделали еще многое другое. Эти сведения наиболее полно обобщены в работах [4, 6, 8], а также и в докторских диссертациях Н. А. Рослякова (1981 г.) и Ю. А. Калинина (2003 г.).

Самородное золото находится в многочисленных кварцевых и кварц-карбонатных жилах с небольшим (до 5 %, а чаще до 1 %) количеством сульфидов и в метасоматитах лиственитового или березитового типов, в которых количество сульфидов (главным образом пирита) составляет 5–10 %, иногда до 30 %. Для золото-кварцевого оруденения, в отличие от золото-сульфидно-кварцевого, нехарактерно развитие метасоматитов. Кроме пирита, рудные минералы жил и метасоматитов представлены халькопиритом, борнитом, сфалеритом, галенитом, арсенопиритом, блеклыми рудами, алтаитом, гесситом и др. Особенностью метасоматитов является наличие в них парагонита (вместе с мусковитом). Золотое оруденение в основном приурочено к дайкам основного состава и к их контактам, реже к прослоям терригенных пород в карбонатных вдали от даек и, еще реже, к карбонатным породам [4]. В районе известны два месторождения золота – Новолушниковское (Жила 13) золото-сульфидно-кварцевого типа (№ 1 на рис. 1) и Егорьевское в коре выветривания (№ 5–7 на рис. 1) – и более десятка рудопроявлений и пунктов минерализации. Новолушниковское месторождение [8] локализуется в насыщенных дайками терригенно-карбонатных породах суенгинской свиты (E_1) и в перекрывающих их вулканогенно-терригенных породах (E_{2-3}), в апикальной части надынрузивной зоны плагиогранит-диоритового массива (предположительно O_1). Простираение рудных зон северо-западное, согласное геологическим структурам, реже широтное. Штокверковые жильные и прожилково-вкрапленные (метасоматиты) руды характеризуются пестрым минеральным составом (сульфиды, сульфосоли, теллуриды, интерметаллиды и др.). На глубине около 200 м незначительно проявлены скарны и скарноиды

[4], а в эндоконтакте массива – молибденовое оруденение. Рудопроявление лога Бобровского (№ 9 на рис. 1) представлено кварцевыми жилами с пиритом и халькопиритом, развитыми в известняках с лиственитами [8], и местными обломками жил кварца, сцементированными лимонитом. Здесь же находятся массивные гематит-лимонитовые экзогенные породы, также содержащие золото. В пункте минерализации Удивительный (№ 10) находится кварц-карбонатный штокверк в раздробленных известняках с вкрапленностью пирита. Пункт минерализации Суенга (№ 11) представляет собой пиритизированные мраморы с халькопиритом. Содержания золота на рудопроявлениях редко превышают первые г/т.

Коры выветривания площадного и линейного (по рудным зонам, разломам) типов были сформированы в мел-палеогеновое время (K_2-Pg_2) и впоследствии подверглись интенсивному размыву, что привело к формированию россыпей золота. Мощность площадной коры выветривания в настоящее время от первых метров до десятков метров, линейной коры – более (табл. 1).

Кора выветривания Лапинского (№ 7) и Гусельнятского (№ 6) участков Егорьевского месторождения развивалась среди прочих пород по гидротермально измененным дайкам диоритов. На Лапинском участке (рудопроявлении) мощность тела диоритов достигает 200 м, протяженность 1,5 км. Единичные менее масштабные дайки обнаружены и под корой выветривания на Бубенщиковском участке (№ 2, 3). На Лутанском участке (№ 5) в известняках, рассеченных дайками диоритов, развит кварцевый штокверк, сопровождаемый метасоматитами [8]. Кора выветривания Матвеевского участка (№ 8) развита по известнякам кинтерепской свиты с редкими прослоями песчаников вблизи ее границы с суенгинской свитой. Кора на Егорьевском месторождении является наиболее фациально зрелой сравнительно с Матвеевским и Бубенщиковским участками. Продукты выветривания на первом представлены глинисто-алевритовыми разностями с каолиновыми прослоями, более похожими на кору выветривания Егорьевского месторождения, на втором – преимущественно алевритами. Кора выветривания (№ 2–8 на рис. 1), из которой получено характеризующее в данной статье самородное золото, относится к остаточному типу. Основную промышленную ценность Егорьевского района составляют россыпи золота;

рудное золото в промышленных масштабах не добывалось.

Минералого-геохимические свойства и минеральные ассоциации золота

Размер выделений самородного золота в коре выветривания Егорьевского месторождения не превышает 2 мм; на долю фракции 0,5–2 мм приходится 35–50 вес. % от выхода свободного гравитационно извлекаемого золота. Среднее содержание тонкодисперсного Au до 60 мг/т [4], выход связанного золота обычно не превышает 10 вес. % от валового. На Бубенчиковском и Матвеевском участках поисковые работы Новосибирской геолого-поисковой экспедицией (НГПЭ) производились в контурах спектрохимических аномалий с содержаниями золота до 5 г/т, содержания гравитационно извлекаемого золота, однако, оказались низкими (см. табл. 1). В коре выветривания Бубенчиковского и Матвеевского участков более 90 вес. % Au приходится на золотины мельче 0,25 мм, а максимальный их размер 0,5 мм. Морфология самородного золота коры выветривания разнообразна: изометричные, удлиненные, комковатые или уплощенные выделения как в основном ксеноморфного (рудного) облика, так и идиоморфного. Извлеченное из коры выветривания самородное золото находится в свободном виде и в сростках с кварцем, гидроокислами Fe, гидрослюдами, парагонитом. В виде микровключений в золотилах обнаружено около 20 минералов (табл. 2), в строках таблицы они расположены в порядке убывания частоты встречаемости.

Микровключения рудных минералов встречаются примерно в одном из 15–20 зерен самородного золота, размер включений составляет до 10 мкм (рис. 2). Наиболее распространенные рудные минералы включений – пирит, в том числе обогащенный Co, и минералы состава (Fe,Co,Ni)AsS – арсенопирит, кобальтин, аллоклазит. В золотилах Бубенчиковского участка присутствуют включения состава TiO₂ (скорее всего, лейкоксен-рутила) и халькопирита, единичные – теллурида и галенита. В золотилах Лутанского участка (№ 5) и во вмещающем их кварце (см. рис. 2, № 11), находятся включения Co-пирита (4 и 10 мас. % Co), а в золотилах из кварцевых жил Бобровского лога – включения кобальтина (см. рис. 2, № 12) и арсенопирита. Для самородного золота из элювия рудной зоны на Новолушниковском месторождении характерны включения теллуридов Pb, Bi, Hg и галенита [12]. В золотилах Лапинского участка (№ 7) микровключения рудных минералов не встречены, но, по данным [4], в тяжелой фракции шлихов отмечаются единичные знаки пирита, очень редко – мельчайшие зерна халькопирита и арсенопирита. На соседнем Гусельнятском участке (№ 6) в одной золотине обнаружено довольно крупное включение аурустибита (см. рис. 2, № 6).

Преобладающими минералами большинства шлиховых концентратов золотоносной коры выветривания являются окисленный пирит и/или ильменит. Некоторые шлихи нацело состоят из них. Присутствие эпидота, граната, циркона, рутила коррелирует с наличием ильменита. Минеральный состав тяжелой фракции наиболее пестрый на Лапинском и Гусельнятском участках, где распространены также гематит и гипергенные минералы Mn. Кубики псевдоморфоз лимонита или гетита по пириту, особенно относительно крупные (1–3 мм), часто находятся в сростании со светлой слюдой (мусковит, парагонит). Эти сростки, как и наличие неокисленного пирита, характерны для шлихов Бубенчиковского участка. В пробах Матвеевского участка шлихи почти нацело сложены очень мелкими (0,25–0,5 мм) псевдоморфозами лимонита по пириту, сростков их с другими минералами не наблюдается.

Таблица 2
Минералы-микровключения в золотилах

№ на рис. 1	Тип	Минералы микровключений
1	руд	Алтаит (PbTe), колорадоит (HgTe), Gn, теллурувисмутит (Bi ₂ Te ₃)
2	КВ	Pу, Hm, TiO ₂ , Ak (Co _{0,9} Fe _{0,1}) AsS, Cbt (Co _{0,7} Fe _{0,2} Ni _{0,1}) AsS, Do(Ca _{0,5} Mg _{0,4} Fe _{0,1}) CO ₃ , wtn (Cu _{0,85} Zn _{0,1} Fe _{0,05}) ₄ (As _{0,85} Sb _{0,15}) ₂ S ₅
3	КВ	TiO ₂ , Ару, Сру, Pу, Pa, Hm, Pуr
3	kdr	Pу, TiO ₂ , Сру, Hmc, Mt, Ulm (NiSbS), Gn, нагьягит (Pb ₃ (Pb,Sb) ₃ S ₆)(Au,Te) ₃
4	КВ	Cbt (Co _{0,8} Fe _{0,1} Ni _{0,1}) AsS, Ak (Co _{0,9} Fe _{0,1}) AsS, Ару, Сру, Hmc, Pуr
5	КВ	Co-Pу (Fe _{0,8} Co _{0,2}) S ₂ , Co-Pу (Fe _{0,9} Co _{0,1}) S ₂ , Co-pln (Co _{0,8} Fe _{0,2}) _{4,5} S _{5,5}
6	КВ	Аурустибит (AuSb ₂)
8	КВ	Pу, Ару
9	руд	Cbt (Co _{0,5–0,65} Ni _{0,2–0,33} Fe _{0,2}) AsS, Ару, Hm

Примечания. Тип отложений: КВ – кора выветривания; kdr – погребенная россыпь (Q_{1–2}) р. Еловочка; руд – рудное золото. Минералы: Pу – пирит; Ару – арсенопирит; Сру – халькопирит; TiO₂ – рутил; Hm – гематит; Pa – парагонит; Hmc – гидрослюда; Pуr – пирротин; Mt – магнетит; Cbt – кобальтин; Ak – аллоклазит; Ulm – ульманит; Co-pln – кобальт-пентландит; Co-Pу – кобальт-пирит; Do – доломит; wtn – ватанабит; Gn – галенит.

Химический состав золотин определялся в шашках-аншлифах на электронном микрозонде Camebax-micro в ЦКП многоэлементных и изотопных исследований СО РАН, пределы обнаружения Au, Ag, Hg, Cu составляют 0,1 мас. %.

Характерной примесью самородного золота коры выветривания (кроме серебра) является ртуть, содержания которой обычно до 2–3 мас. %, но достигают и 8–12 мас. %, в единичных случаях 20, 23 мас. % (рис. 3).

Медь в составе золотин обнаруживается значительно реже, но в большинстве выборок, кроме Лутанского участка (№ 5), ее, как правило, не более

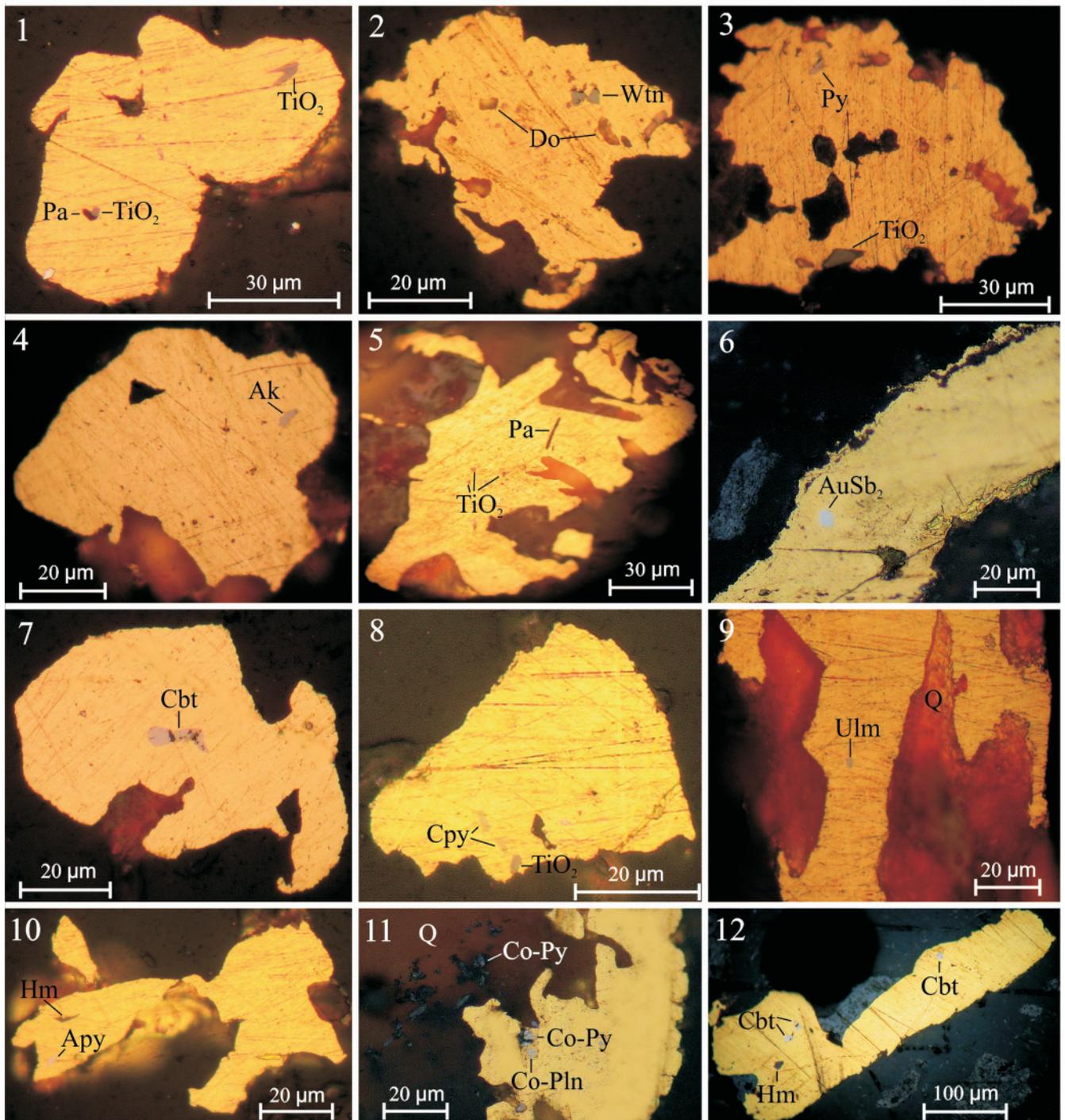


Рис. 2. Микровключения минералов в самородном золоте (фотографии сделаны с помощью рудного микроскопа) 1 – парагонит (Pa), TiO_2 , выборка № 3; 2 – доломит (Do), ватанабит (wtn), № 2; 3 – пирит (Py), TiO_2 , № 3; 4 – аллоклазит (Ak), № 2; 5 – парагонит, TiO_2 , № 3; 6 – аурустибит, № 6; 7 – кобальтин (Cbt), № 2; 8 – халькопирит (Cpy), TiO_2 , № 3; 9 – ульманит (Ulm), № 3; 10 – арсенипирит (Apy), лимонит (FeO), № 3; 11 – Co-пирит (Co-Py), Co-пентландит (Co-Pln), № 5; 12 – аллоклазит, лимонит, № 9 (привязку выборок см. на рис. 1)

0,6 мас. %, а пробность таких золотин более 900 ‰ (в основном более 940 ‰). Кроме того, на Лапинском участке (№ 7) относительно повышенные (1–4 мас. %) количества меди обнаружены в золотинах с пробностью 810–860 ‰.

Для самородного золота рудных источников, особенно Новолушниковского месторождения, типично наличие более высоких, чем в коре выветривания (за исключением Лапинского участка),

содержаний Hg (рис. 4, графики 1, 7, 11), есть разновидность, где содержания ртути равны или даже выше, чем серебра. Пробность золотин с примесью меди (как правило, до 1 мас. %) в основном более низкая (700–900 ‰). Подобная разновидность золотин присутствует в коре выветривания Лапинского участка (№ 7, см. рис. 3). В двух выборках золотин из кварцевых жил и метасоматитов (см. рис. 4) Новолушниковского месторождения, состав которых

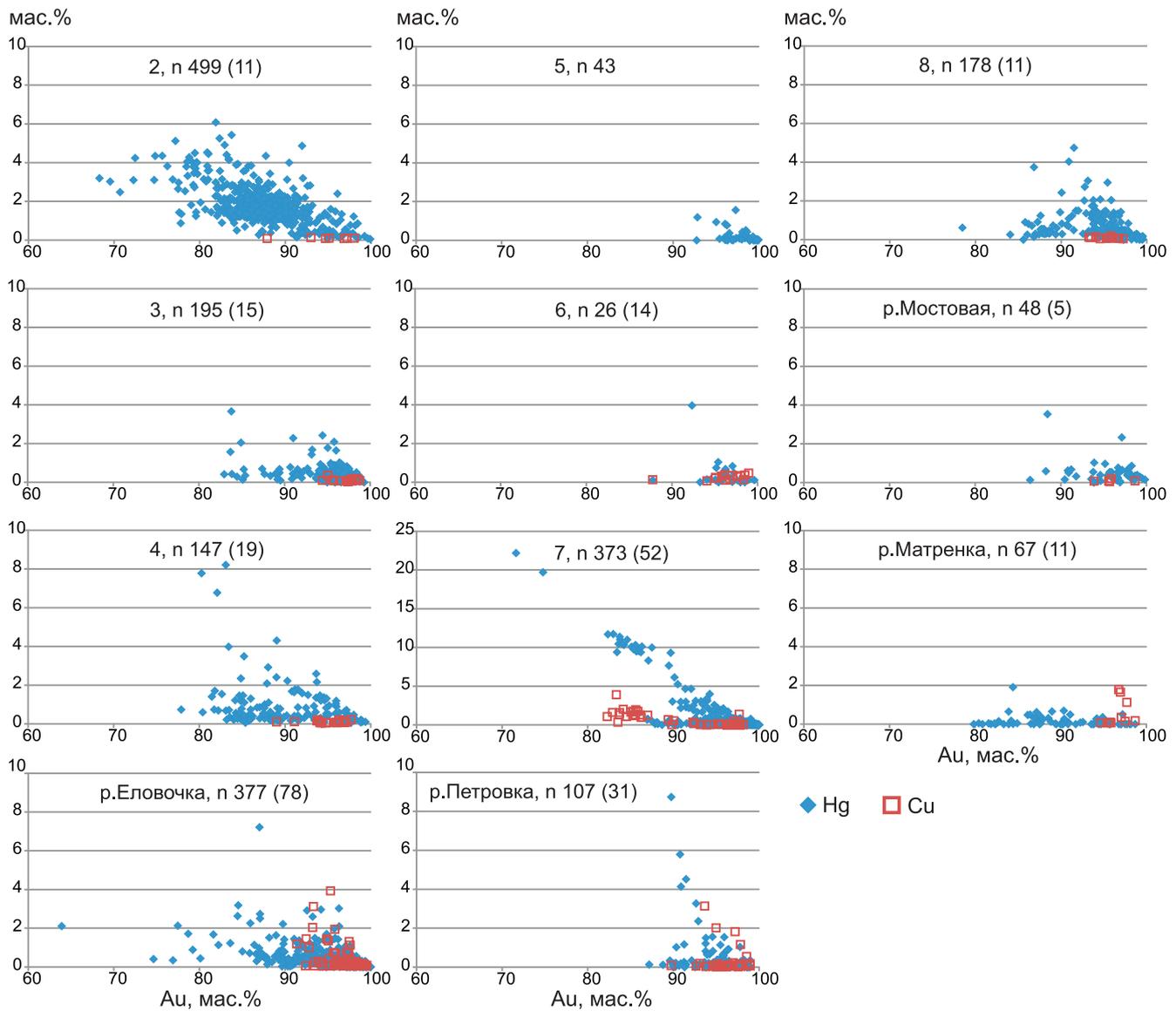


Рис. 3. Содержание примесей Hg и Cu в самородном золоте коры выветривания и россыпей (n – объем выборки; для меди на графиках показаны фигуративные точки с содержаниями 0,1 мас. % и более, в круглых скобках – количество таких анализов; привязку выборки см. на рис. 1)

рассмотрен в [7, 8], меди не обнаружено; единичными анализами установлено наличие меди и на рудопроявлениях № 9, 10 в преобладающих здесь золотилах с пробностью более 900 ‰ и низкими (до 1 мас. %) содержаниями ртути.

На рис. 3, 4 для меди показаны фигуративные точки только со значимыми содержаниями (0,1 мас. % и более), для ртути – со всеми содержаниями, в том числе и менее 0,1 мас. %. Гистограммы распределения пробности золотилов и поинтервальное наличие в них значимых примесей Hg и Cu приведены на рис. 5. Общим для всех выборок является преобладание ртутьсодержащих разновидностей самородного золота. Распределением пробности, близким к нормальному (с максимумом в инт. 850–900 ‰), выделяются золотины коры выветривания выборки № 2 (водораздел р. Еловочка). В выборках № 3, 7, 8, характеризующих самородное золото всех трех рассматриваемых площадей пространства коры выветривания, распределение

пробности близко к логнормальному с максимумом в интервале 950–1000 ‰; промежуточное положение по этому признаку занимают золотины коры выветривания левобережья р. Кинтереп (№ 4). Самородное золото Новолушниковского месторождения и метасоматитов Егорьевского (№ 1, 7) выделяется более низкой пробностью, иным распределением примеси меди и повышенными содержаниями ртути. Частота встречаемости разноуровневых содержаний Hg в частицах Au приведена на рис. 6. Наиболее характерны для коры выветривания, кроме выборки № 2, золотины с примесью ртути до 1 мас. %, а в коре выветривания Лапинского участка (№ 7) около 40 % золотилов ртути не содержит, что видно и на рис. 5. Около 20 % всех анализов показали пробность 990–1000 ‰, что характеризует гипергенные каймы на золотилах, в большинстве которых, однако, сохраняются остаточные содержания серебра. В самородном золоте рудных источников (см. рис. 6, выборки № 1, 7, 11) содержания

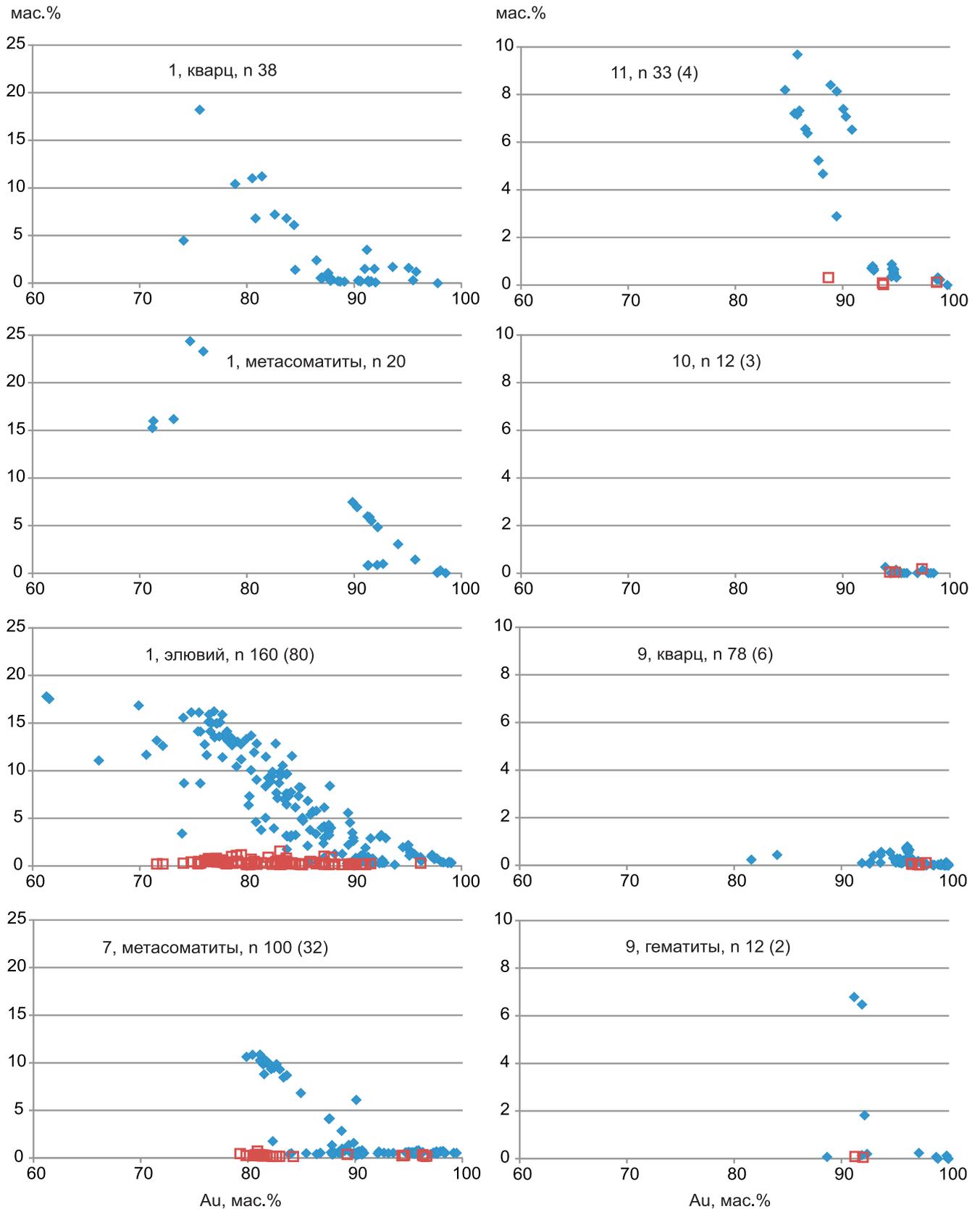


Рис. 4. Содержание примесей Hg и Cu в самородном золоте рудных источников

Усл. обозн. см. на рис. 3, привязку выборок – на рис. 1

ртути чаще всего составляют 0,1–1 мас. % и более 5 мас. %.

Для сравнения на рис. 3, 5, 6 приведены также графики по составу золотин нескольких россыпей: рек Еловочка, Петровка, Мостовая, Матренка, дре-

нирующих площади распространения изучаемой коры выветривания.

В питании россыпи р. Еловочка почти не участвует самородное золото коры выветривания, развитой в ее верховьях, на водоразделе (№ 2). Эта раз-

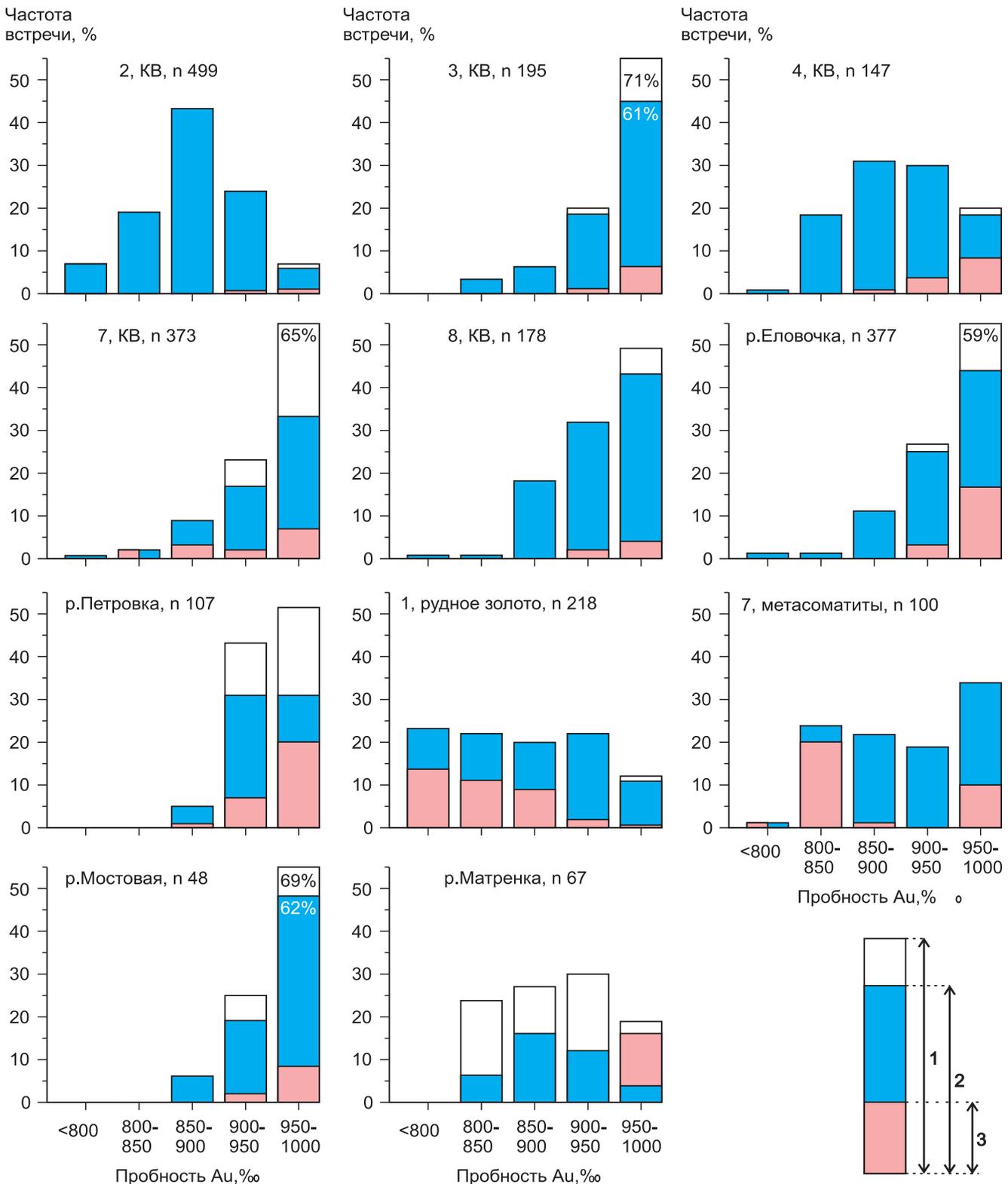


Рис. 5. Гистограммы пробности самородного золота и частота встречаемости в его составе примесей Hg и Cu
 1 – общий процентный выход золотин данной пробности в выборке; 2 – частота встречаемости в них примеси Hg;
 3 – частота встречаемости в них примеси Cu; KB – кора выветривания; привязку выборок см. на рис. 1

новидность самородного золота (с пробностью менее 900 ‰ и содержанием Hg до 4–5 мас. %) мало распространена в рудных объектах № 1, 4 и в россыпях Егорьевского района и в целом не характерна для них. По химическому составу золото россыпи р. Еловочка хорошо соответствует золоту подсти-

лающей коры выветривания (№ 3), но в россыпи больше выход высокопробной медьсодержащей разновидности (см. рис. 3, 5).

Химический состав самородного золота россыпи р. Петровка близок таковому золотин коры выветривания Лапинского участка (№ 7) в высокопроб-

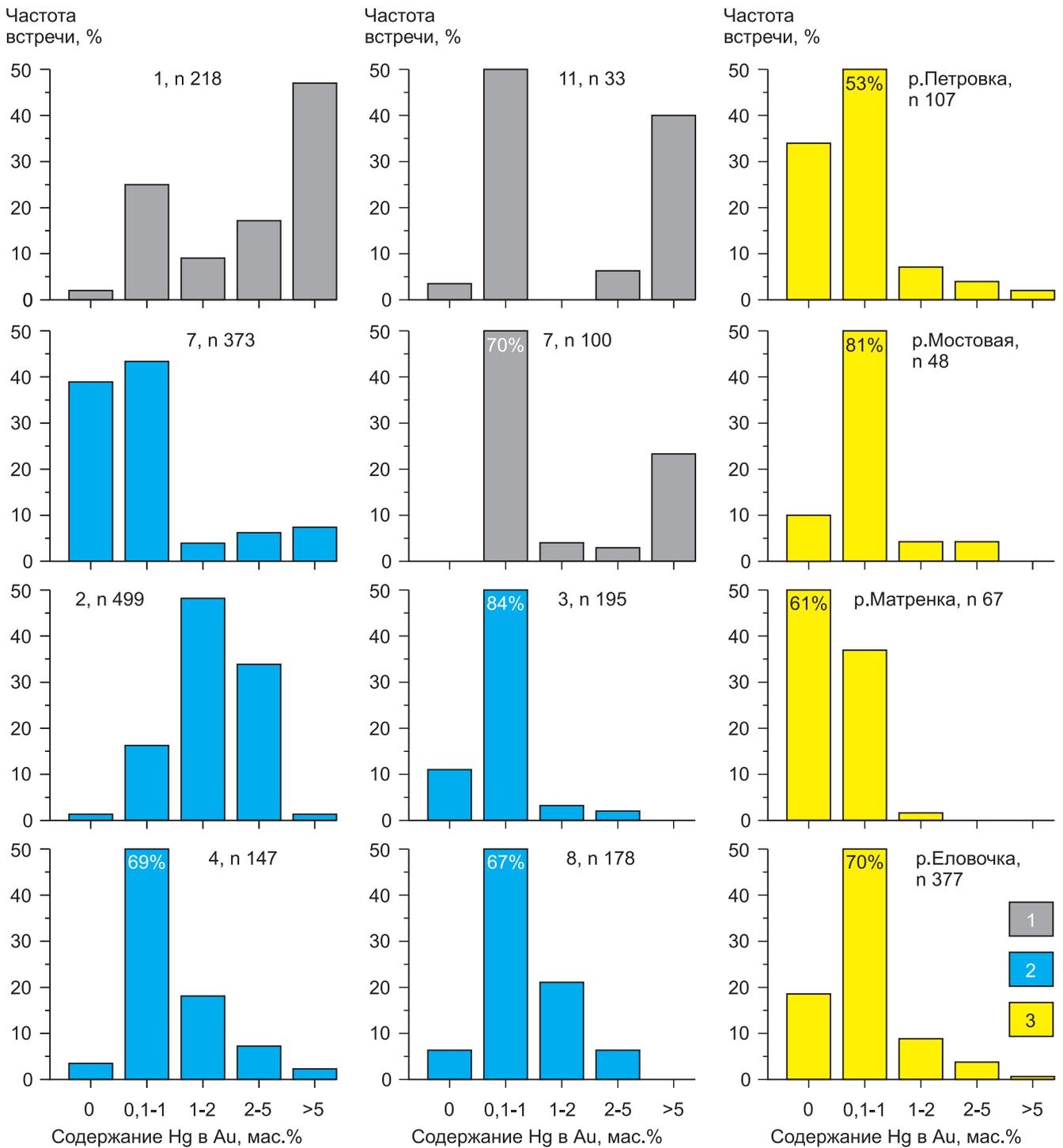


Рис. 6. Частота встречаемости различных содержаний ртути в самородном золоте
 Золото: 1 – рудное, 2 – коры выветривания, 3 – россыпей

ной области (900–1000 ‰) графиков (см. рис. 3), а по наличию медьсодержащих золотин (31 %) – и коры выветривания Гусельнятского участка (№ 6). В россыпи р. Мостовая нет самородного золота, по составу отличающегося от золота коры выветривания Матвеевского участка (№ 8), в то время как в россыпи р. Матренка (сравнительно с корой выветривания) присутствуют золотины с более низкой пробностью и также очень высокопробные золотины с относительно повышенным (1–2 мас. %) содержанием меди (см. рис. 3, 5). Кроме того, в россыпи

преобладает самородное золото, свободное от примесей Hg и Cu (состава Au, Ag). В коре выветривания Матвеевского участка содержания Hg в золотилах выше, чем в россыпях рек Мостовая и Матренка.

В целом во всех рассмотренных россыпях наиболее распространены золотины, содержащие до 1 мас. % ртути и золотины без примеси ртути (см. рис. 6), а также по сравнению с корой выветривания повышен выход медьсодержащих золотин с пробностью более 900 ‰ (кроме россыпи р. Мостовая). Эти особенности состава самородного зо-

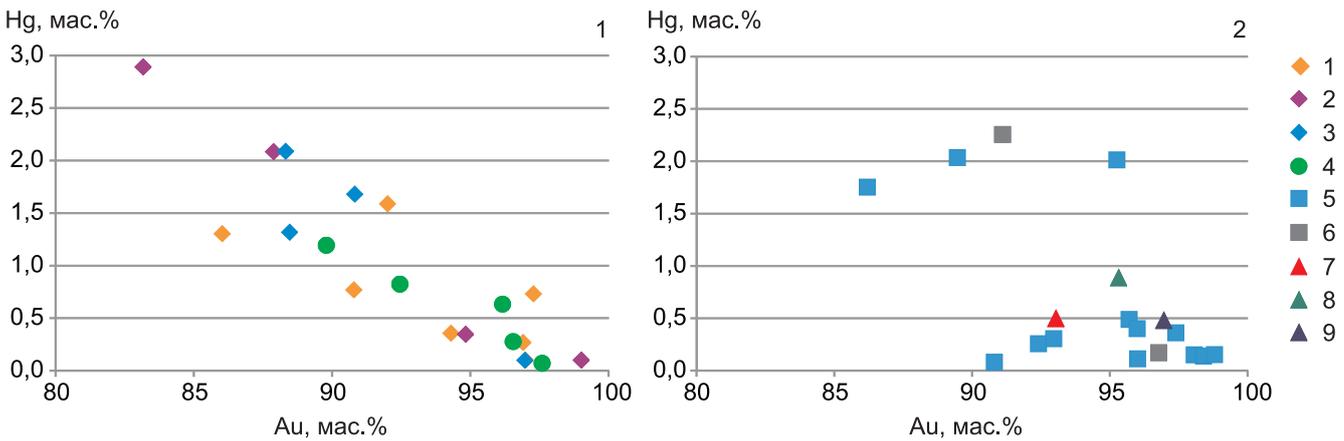


Рис. 7. Состав золотин с микровключениями рудных минералов

Минералы: 1 – арсенопирит, 2 – аллоклазит, 3 – кобальтин, 4 – халькопирит, 5 – пирит, 6 – пирротин, 7 – ауристобит, 8 – ульманит, 9 – ватанабит

Таблица 3

Коэффициенты корреляции между содержаниями Au, Ag, Hg в золотинах по представительным выборкам

r	Коры выветривания					Россыпи		Рудное золото		
	№ 2	№ 3	№ 4	№ 7	№ 8	р. Еловочка	р. Петровка	№ 1	№ 7	№ 11
Au–Ag	–0,97	–0,99	–0,97	–0,68	–0,98	–0,97	–0,90	–0,72	–0,75	–0,65
Au–Hg	–0,53	–0,34	–0,31	–0,76	–	–0,44	–0,30	–0,82	–0,78	–0,86
Ag–Hg	0,32	0,21	–	–	–	0,31	–	0,20	–	–

лота характерны не только для рассмотренных, но и для большинства россыпей Северо-Западного Салаира [7, 12].

Корреляция между содержаниями Au и Ag во всех выборках самородного золота сильная отрицательная (табл. 3), поэтому графики зависимости Ag–Hg, Ag–Cu, Au–Ag не приводятся; особенности состава золотин зеркально и более наглядно отображены в координатах Au–Hg, Cu (см. рис. 3–5).

В табл. 3 приведены только значимые коэффициенты корреляции при уровне вероятности 99 %. Корреляция между содержаниями Ag и Hg в золотинах отсутствует или более слабая (положительная), чем корреляция Au–Hg, с медью корреляции у Au, Ag, Hg нет. В самородном золоте рудных источников и коры выветривания Лапинского участка (выборки № 1, 7, 11) корреляция Au–Hg даже более сильная чем Au–Ag; уровни содержания Ag и Hg в золотинах во многих случаях сопоставимы, ртуть наравне с серебром является не примесью, а основным компонентом макросостава самородного золота.

Самородное золото выборки, включающей в себя только золотины (около 40), в которых были обнаружены и определены включения рудных минералов, имеет пробность 830–990 ‰ при содержаниях в нем ртути до 3 мас. % (рис. 7). В трех золотинах с пробностью 950–990 ‰ и 0,15–0,35 мас. % Hg присутствует небольшая примесь меди (0,14–0,21 мас. %); в них обнаружены включения аллоклазита, пирита, пирротина. Четкой зависимости набора минералов-микровключений в золотинах от их химического состава не наблюдается. Линейное

расположение на графике 1 рис. 7 фигуративных точек сульфидов Fe, Co, Ni (арсенопирита, кобальтина, аллоклазита) и халькопирита – следствие отрицательной корреляции между пробностью самородного золота и содержаниями в нем ртути. Фигуративные точки этих минералов равномерно распределены по всему диапазону состава золотин. Включения пирита (график 2) более характерны для золотин с содержаниями ртути до 0,5 мас. %, особенно если они имеют пробность более 950 ‰. В самородном золоте Новолушниковского месторождения (не показано на рис. 7) присутствуют микровключения теллуридов Bi, Pb, Hg, галенита (см. табл. 2); оно имеет пробность 550–850 ‰, содержит 10–25 мас. % ртути и до 0,2 мас. % меди [12]. Единичные включения теллурида (нагьягита) и галенита встречены также в золотинах россыпи р. Еловочка (см. табл. 2, № 3).

В коре выветривания Егорьевского месторождения по сравнению с таковой Бубенщиковского и Матвеевского участков чаще встречаются золотины (около 20 и 30 % в выборках № 7 и № 5) со следами гипергенного преобразования, которое выражается в наличии отдельных золотин, участков в них и кайм выщелачивания с пробностью 990–1000 ‰ [4]. В большинстве кайм сохраняются остаточные содержания Ag, редко – Hg. В коре выветривания Бубенщиковского и Матвеевского участков гипергенное преобразование золотин проявлено очень слабо. Каймы выщелачивания обнаружены на единичных золотинах, также редко наблюдается увеличение пробности от центра к краю зерен золота



(например, от 920 до 960 ‰), что отражает постепенность процесса формирования кайм этого типа. Вариация пробности в этих золотилах обычно не превышает 30–50 ‰, а содержания Ag, Hg от центра к краю зерен уменьшаются, но, как правило, не исчезают. Подавляющее большинство золотилов в центральной и краевой частях имеют близкий химический состав. К экзогенным образованиям относятся гематит-лимонитовые породы на рудопроявлении лог Бобровский; третья часть анализов самородного золота в них показала пробность 990–1000 ‰ (см. рис. 4, № 9). При этом из четырех таких золотилов в одной содержится 0,13 мас. % Hg, в другой – 1 мас. % Ag, две – без примесей.

Обсуждение результатов

Золотоносная кора выветривания представляет собой промежуточное звено между эндогенным золотым оруденением и аллювиальными россыпями золота. Тесная связь с коренными источниками позволяет, используя минералого-геохимические характеристики и минеральные ассоциации самородного золота коры выветривания, прогнозировать золоторудную минерализацию протолита, подобно тому как это давно делается применительно к россыпям [3, 11, 14 и др.]. Слабая гипергенная преобразованность изучаемого самородного золота коры выветривания не создает значительных трудностей для использования его первичных эндогенных признаков, в том числе его химического состава, в прогнозных целях.

Закономерностью поведения ртути в процессе рудоотложения является увеличение ее активности от ранних стадий к поздним независимо от формационной принадлежности месторождений, поэтому примесь ртути чаще встречается в самородном золоте эпitherмальных месторождений. В таких рудах часто существует прямая корреляция между содержаниями Hg и Ag в составе золотилов [10]. Наиболее распространены в природе системы Au–Ag, в которых содержания остальных примесей, главные из которых Hg и Cu, составляют менее 1 мас. % [2, 3]. Высокое содержание Hg в золотилах (10 мас. % и более) – индикатор тектономагматической активации региона. Ртутистое (до 24 мас. %) самородное золото в ассоциации с теллуридами установлено на гидротермальных месторождениях Урала, связанных с габбро-гранитными массивами. Эти массивы локализованы в зонах крупных разломов, которые служат путями миграции как золота, так и ртути [10]. Уровень содержания Hg в самородном золоте зависит и от пород, вмещающих оруденение: например, он минимален (до 1–1,5 мас. %), если это известняки, а если алюмосиликаты – до 26 мас. % [1]. В Егорьевском районе ртутное оруденение (кварц, барит, киноварь, пирит) сосредоточено в Мавринско-Матвеевской рудной зоне и контролируется активизированными в последовонское время разломами северо-западного простирания. Рудовме-

щающими в основном служат терригенные породы суенгинской свиты (Є₁). Ртутное и золотое оруденение формировались в одних и тех же структурах, но в разное время. Механизмы образования золото-ртутного оруденения пока неясны. У юго-западной границы указанной зоны находится Новолушниковское месторождение с ртутистым самородным золотом. За пределами основной ртутноносной зоны также наблюдается пространственная совмещенность золотой минерализации и менее масштабной ртутной. Это подтверждается наличием киновари и барита в золотоносных россыпях рек Каменка, Суенга, Кинтереп и др. и постоянной примесью ртути в самородном золоте. В коре выветривания Лапинского участка, развивающейся по крупному телу гидротермально измененных диоритов, содержания Hg в золотилах достигают максимальных значений. В золото-кварцевых рудах примесь Hg в самородном золоте не превышает 1 мас. % (рудопроявление лог Бобровский); в золото-сульфидно-кварцевых присутствует более низкопробное самородное золото и повышается его ртутистость.

Многие минералы-микровключения, обнаруженные в золотилах (см. табл. 2), являются обычными минералами среднетемпературных (халькопирит, арсенопирит, кобальтин) и низкотемпературных (аллоклазит, ульманит, галенит, минералы Au, теллуриды) гидротермальных жильных и прожилково-вкрапленных руд, с которыми может быть связано оруденение с ртутьсодержащим самородным золотом. Например, на золото-медно-скарновом месторождении Тардан (Тува) в метасоматитах поздней стадии оруденения, развитых по зонам дробления разных по составу пород, самородное золото в числе прочих минералов ассоциирует с сульфоарсенидами Co и Ni. Температура образования этих руд 200 °C и ниже, содержание Hg в золотилах до 5,5 мас. % [2]. Сульфоарсениды Ni, Fe, Co присутствуют в золото-(сульфидно)-кварцевых жилах рудопроявления Хаак-Сайр (Тува). Оруденение Au–Ag–Hg–Te профиля локализуется в листовниках, температура его формирования 290–130 °C [5]. Множество выделяемых здесь по химическому составу типов самородного золота ранней и средней стадий рудоотложения включает в себя разновидности ртутьсодержащего самородного золота Егорьевского района, кроме таковых с пробностью золотилов более 950 ‰.

Медьсодержащее самородное золото известно в связи с высокотемпературными гидротермальными системами, однако самородное золото с содержаниями меди менее 1 мас. % может отлагаться даже при 300 °C и ниже [2, 9]. Необходимое условие – повышенный геохимический фон меди в среде рудообразования [2]. Например, на крупнейшем в Европе по запасам золота вулканогенном полиметаллическом Cu–Au месторождении Челопеч самородное золото основной стадии парагенетически ассоциирует с минералами Cu и As: халькопи-



ритом, халькозином, борнитом, теннантитом, энаргитом и др. [15]. Температура формирования этих руд оценивается в 280–300 °С. Размеры выделений Au достигают 0,5–1 мм, их пробность 900–1000 % (средняя 940 %), содержание Cu в золотилах до 0,53 мас. %, редко до 2–3 мас. %, более 80 % анализов самородного золота показывают наличие примеси Cu.

Примесь меди характерна и для более низкопробного самородного золота (до 650 %) заключительной галенит-сфалеритовой стадии оруденения. Корреляции между содержаниями Au и Cu в золотилах нет. В Егорьевском районе химический состав медьсодержащего самородного золота также указывает на рудные источники мезотермального или эпитеpmального типов.

По химическому составу в коре выветривания Егорьевского района можно выделить минимум три разновидности самородного золота. Главная из них (пробность более 900 %, примесь ртути до 1–2 мас. %, реже без ртути) широко представлена или преобладает во всех выборках изучаемых кор выветривания, кроме выборок № 2 и отчасти № 4 (см. рис. 3, 5, 6). Эта разновидность самородного золота по составу сопоставима с таковым Бобровского и Удивительного рудопроявлений жильного золото-кварцевого типа, а также распространена (33 % анализов) в метасоматитах Лапинского участка (№ 7). Самородное золото с пробностью менее 900 % и содержаниями в нем ртути до 4–5 мас. % характерно для Бубенчиковского участка (кроме выборки № 3) и присутствует на Матвеевском, однако содержания Hg в золотилах здесь в основном до 1 мас. %. Самородное золото выборки № 2 Бубенчиковского участка (от 1 до 4–5 мас. % Hg) выделяется обособленным химическим составом, что хорошо видно на рис. 3, 5, 6. По наличию сильной обратной корреляции Au–Hg оно приближается к золоту рудных источников (см. табл. 3). Эта разновидность самородного золота отсутствует в коре выветривания Егорьевского месторождения и редко встречается в рудах Новолушниковского месторождения, а также в метасоматитах Лапинского участка, в которых содержания ртути в золотилах с пробностью менее 900 % в основном превышают 5 мас. % (третья разновидность самородного золота). Источником ртутистого и ртутьсодержащего самородного золота (пробность менее 900 %), вероятно, является золото-сульфидно-кварцевое оруденение, а различия в уровне содержаниями ртути в золотилах могут быть обусловлены в числе прочих причин разной насыщенностью ртутью среды рудообразования. Примесь меди встречается в самородном золоте с пробностью более 900 %, а также на Новолушниковском месторождении и на Лапинском участке (№ 7) Егорьевского в самородном золоте с более низкой пробностью (см. рис. 3, 4). Зависимости между содержаниями Hg и Cu в золотилах нет, медь входит в их состав именно как примесь, ее содержа-

ния (в отличие от концентраций ртути) в самородном золоте не зависят от типа золотого оруденения. Им определяется пробность медьсодержащих золотилов. Наличие примеси Cu в самородном золоте – индикатор наличия медной минерализации в золотых рудах.

Исходя из установленных минералого-геохимических характеристик самородного золота коры выветривания, можно сделать вывод о мезо-эпитеpmальном характере эндогенного золотого оруденения на рассматриваемых площадях. Эпитеpmальное прожилково-вкрапленное золотое оруденение с ртутистым самородным золотом, подобное таковому на Новолушниковском месторождении и в пункте минерализации Суенга, проявлено в метасоматитах Лапинского участка Егорьевского месторождения. Для мезотермального золото-кварцевого жильного оруденения характерно высокопробное (более 900 %) самородное золото с небольшой (до 1–2 мас. %) примесью ртути. Такое золото в Егорьевском районе встречается часто, кроме Новолушниковского месторождения и выборки № 2 Бубенчиковского участка, расположенной в крайней западной его части, на водоразделе. Своеобразное самородное золото здесь по химическому составу занимает промежуточное положение между самородным золотом мезотермального и эпитеpmального оруденений. Рудные (см. табл. 2) и шлиховые минеральные ассоциации (ильменит, пирит, слюды, кобальтин, аллоклазит, арсенопирит, халькопирит и др.) подтверждают мезо-эпитеpmальный характер золотого оруденения и его связь с гидротермально измененными породами основного состава.

Выводы

Химический состав и минеральные ассоциации самородного золота коры выветривания указывают на мезотермальное или эпитеpmальное жильное и прожилково-вкрапленное золото-(сульфидно)-кварцевое оруденение, в разной степени проявленное на изучаемых Егорьевской, Бубенчиковской и Матвеевской площадях Егорьевского рудно-россыпного района.

В коре выветривания наиболее распространено самородное золото с пробностью более 900 % и примесью ртути до 1–2 мас. % (реже без нее). Источником высокопробного золота является жильное мезотермальное оруденение золото-кварцевого типа, как, например, на рудопроявлении лог Бобровский.

Повышенные (до 8–12 мас. %, в единичных случаях до 23 мас. %) содержаниями ртути в самородном золоте с пробностью менее 900 % характерны для эпитеpmального золото-сульфидно-кварцевого оруденения, подобного проявленному на Новолушниковском месторождении. В коре выветривания присутствие такого самородного золота значимо только на Лапинском участке Егорьевского месторождения.



Самородное золото с пробностью менее 900 ‰ и содержаниями ртути до 4–5 мас. %, источником которого, вероятно, является золото-сульфидно-кварцевое оруденение, распространено в коре выветривания Бубенщиковского и Матвеевского (менее) участка.

Постоянное наличие в самородном золоте соединений ртути, вплоть до очень высоких, – региональная специфика северо-западного Салаира. Оно определяется совмещенностью золотого и ртутного оруденений. Примесь меди встречается в самородном золоте значительно реже, чем примесь ртути. Наличие медьсодержащих золотин указывает на медную минерализацию в золоторудных источниках.

Гипергенные преобразования золотин проявлены в целом слабо, более заметно – в фациально зрелой коре выветривания Егорьевского месторождения.

Химические составы самородного золота аллювиальных россыпей и остаточной коры выветривания в основном хорошо сопоставимы. В россыпях чаще встречаются высокопробные золотины с примесью меди. Состав россыпного самородного золота подчеркивает относительную распространенность соответствующих разновидностей золотого оруденения на исследуемых площадях.

Работа выполнена по Государственному заданию ИГМ СО РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Борисенко А. С., Наумов Е. А., Оболенский А. А.** Типы золото-ртутных месторождений и условия их образования // Геология и геофизика. – 2006. – Т. 47, № 3. – С. 342–354.

2. **Гаськов И В.** Главные элементы-примеси самородного золота и связь их с условиями его образования на примере месторождений складчатых поясов Азии // Геология и геофизика. – 2017. – Т. 58, № 9. – С. 1359–1376.

3. **Геохимические** особенности самородного золота месторождений различных рудно-формационных типов / Л. А. Николаева, А. Н. Некрасова, С. А. Маляев и др. // Геология рудных месторождений. – 2013. – Т. 55, № 3. – С. 203–213.

4. **Золотоносность** кор выветривания Салаира / Н. А. Росляков, Г. В. Нестеренко, Ю. А. Калинин и др. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГМ, 1995. – 170 с.

5. **Золоторудная** минерализация Хаак-Сайрского золото-кварцевого рудопоявления в листовитых (Западная Тува) / Р. В. Кужугет, В. В. Зайков, В. И. Лебедев, А. А. Монгуш // Геология и геофизика. – 2015. – № 9. – С. 1693–1712.

6. **Калинин Ю. А., Прудников С. Г., Росляков Н. А.** Золотоносные коры выветривания юга Сибири. – Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2006. – 339 с.

7. **Колпаков В. В., Неволько П. А., Фоминых П. А.** Россыпное золото Егорьевского района (северо-западный Салаир) как прогнозный кри-

терий золотого оруденения // Разведка и охрана недр. – 2017. – № 5. – С. 12–18.

8. **Минералогия** зоны сочленения Салаира и Кольвань-Томской складчатой зоны / А. Н. Росляков, Ю. Г. Щербаков, Л. В. Алабин и др. – Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2001. – 243 с.

9. **Мурзин В. В.** Химический состав самородного золота как показатель условий его отложения (на примере Урала) // Металлогения древних и современных океанов-2010: Рудоносность рифтовых и островодужных структур. – Миасс: ИМин, 2010. – С. 155–159.

10. **Наумов В. А., Осовецкий Б. М.** Ртутистое золото и амальгамы в мезозой-кайнозойских отложениях Вятско-Камской впадины // Литология и полезные ископаемые. – 2013. – № 3. – С. 256–273.

11. **Нестеренко Г. В.** Прогноз золотого оруденения по россыпям. – Новосибирск: Наука, 1991. – 200 с.

12. **Самородное** золото аллювиальных россыпей Егорьевского района (северо-западный Салаир): особенности состава, типы и минеральные микровключения / П. А. Неволько, В. В. Колпаков, Г. В. Нестеренко, П. А. Фоминых // Геология и геофизика. – 2019. – Т. 60, № 1. – С. 79–100.

13. **Хомичев В. Л.** Рудно-магматическая система месторождений золота. – Новосибирск: СНИИГ-ГИМС, 2019. – 340 с.

14. **Chapman R. J., Mortensen J. K.** Application of microchemical characterization of placer gold grains to exploration for epithermal gold mineralization in regions of poor exposure // Journal of Geochemical Exploration. – 2006. – Vol. 91, no. 1–3. – P. 1–26.

15. **Morphogenesis** and composition of native gold in the Chelopech volcanic-hosted Au-Cu epithermal deposit, Srednogie zone, Bulgaria / I. K. Bonev, T. Kerestedjian, R. Atanassova, C. J. Andrew // Mineralium deposita. – 2002. – Vol. 37. – P. 614–629.

REFERENCES

1. Borisenko A.S., Naumov E.A., Obolensky A.A. [Types of gold-mercury deposits and their formation conditions]. *Geologiya i geofizika*, 2006, vol. 47, no. 3, pp. 342–354. (In Russ.).

2. Gaskov I.V. Major impurity elements in native gold and their association with gold mineralization settings in deposits of Asian folded area]. *Russian Geology and Geophysics*, 2017, vol. 58, no. 9, pp. 1080–1092.

3. Nikolaeva L.A., Nekrasova A.N., Malyaev S.A., et al. Geochemistry of native gold from deposits of various types]. *Geology of Ore Deposits*, 2013, vol. 55, no. 3, pp. 176–184.

4. Roslyakov N.A., Nesterenko G.V., Kalinin Yu.A. et al. *Zolotonosnost kor vyvetrivaniya Salaira* [The gold content of the weathering crust of Salair]. Novosibirsk, SB RAS Publ., 1995. 170 p. (In Russ.).

5. Kuzhuget R.V., Lebedev V.I., Mongush A.A., Zaikov V.V. Gold mineralization of the Khaak-Sair gold-quartz ore occurrence in listwanites (Western Tuva).



Russian Geology and Geophysics, 2015, vol. 56, no. 9, pp. 1332–1348.

6. Kalinin Yu.A., Prudnikov S.G., Roslyakov N.A. *Zolotonosnyye kory vyvetrivaniya yuga Sibiri* [Gold-bearing weathering crusts of the south of Siberia]. Novosibirsk, Geo Publ., 2006. 339 p. (In Russ.).

7. Kolpakov V.V., Nevolko P.A., Fominykh P.A. [Alluvial gold of the Yegoryevsky region (northwestern Salair) as a predictive criterion for gold mineralization]. *Razvedka i okhrana nedr*, 2017, no. 5, pp. 12–18. (In Russ.).

8. Roslyakov N.A., Scherbakov Yu.G., Alabin L.V., et al. *Minerageniya zony sochleneniya Salaira i Kolyvan-Tomskoy skladchatoy zony* [Minerageny of the junction zone of Salair and Kolyvan-Tomsk folded zone]. Novosibirsk, Geo Publ., 2001. 243 p. (In Russ.).

9. Murzin V.V. [The chemical composition of native gold as an indicator of the conditions of its deposition (on the example of the Urals)] *Metallogeniya drevnykh i sovremennykh okeanov-2010: Rudonosnost riftovykh i ostrovozhdzhykh struktur* [Metallogeny of ancient and modern oceans-2010: Ore bearing of rift and island arc structures]. Miass, Imin Publ., 2010, pp. 155–159. (In Russ.).

10. Naumov V. A., Osovetskiy B.M. [Mercury gold and amalgams in the Mesozoic-Cenozoic sediments of

the Vyatka-Kama depression]. *Litologiya i poleznyye iskopayemyye*, 2013, no. 3, pp. 256–273. (In Russ.).

11. Nesterenko G.V. *Prognoz zolotogo orudneniya po rossypyam* [The forecast of gold mineralization in placers]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1991. 200 p. (In Russ.).

12. Nevolko P.A., Kolpakov V.V., Nesterenko G.V., Fominykh P.A. Alluvial-placer gold of Northwestern Salair: composition, types, and mineral microinclusions. *Russian Geology and Geophysics*, 2019, vol. 60, no. 1, pp. 67–85.

13. Khomichev V.L. *Rudno-magmaticheskaya sistema mestorozhdeniy zolota* [Ore-magmatic system of gold deposits]. Novosibirsk: SNIIGGIMS Publ., 2019. 340 p. (In Russ.).

14. Chapman R.J., Mortensen J.K. Application of microchemical characterization of placer gold grains to exploration for epithermal gold mineralization in regions of poor exposure. *Journal of Geochemical Exploration*. 2006. vol. 91, no. 1–3, pp. 1–26.

15. Bonev I.K., Kerestedjian T., Atanassova R., Andrew C.J. Morphogenesis and composition of native gold in the Chelopech volcanic-hosted Au-Cu epithermal deposit, Srednogorie zone, Bulgaria. *Mineralium deposita*, 2002, vol. 37, pp. 614–629.

© В. В. Колпаков, П. А. Неволько, П. А. Фоминых, 2020