

САМОРОДНОЕ ЗОЛОТО АЛЛЮВИАЛЬНЫХ РОССЫПЕЙ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО САЛАИРА: СОСТАВ, ТИПЫ И МИНЕРАЛЬНЫЕ МИКРОВКЛЮЧЕНИЯ

П.А. Неволько^{1,2}, В.В. Колпаков¹, Г.В. Нестеренко¹, П.А. Фоминых¹

¹ Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН,
630090, Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 3, Россия

² Новосибирский государственный университет, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2, Россия

Обработаны и обобщены результаты более 3500 микрозондовых анализов частиц самородного золота из 17 россыпей, кор выветривания и коренных источников Егорьевского рудно-россыпного района. В коренных источниках и россыпях преобладает высокопробное и ртутьсодержащее золото, средне- и низкопробное распространено в подчиненном и резко подчиненном количестве, особенно в россыпях. Характерной, редко встречающейся в других районах особенностью, является постоянное, а часто и одновременное присутствие в составе золота значимых примесей ртути и меди. Анализ вариаций содержаний в нем Ag, Hg и Cu позволил выделить 5 основных типов золота. Коренными источниками преобладающих типов золота являются метасоматиты березитового и лиственитового составов, развивающиеся преимущественно по терригенно-вулканогенно-карбонатным породам нижнего кембрия и по рудоносным дайкам основного состава. Ртутьсодержащее золото характерно для березитов, медьсодержащее — для лиственитов. Связь соответствующих типов россыпного и рудного золота подтверждается минеральными микровключениями в зернах золота. Наблюдаемые несоответствия в составах золота коренных источников, кор выветривания и россыпей объясняются потерей эндогенным золотом примесей Hg и Ag в приповерхностных гипергенных условиях. Выявленные минералого-геохимические свойства россыпного золота имеют важное практическое значение при прогнозировании эндогенного золотого оруденения.

Аллювиальные россыпи, золото, коренные источники, пробность золота, элементы-примеси в золоте, типы золота.

ALLUVIAL-PLACER GOLD OF NORTHWESTERN SALAIR: COMPOSITION, TYPES, AND MINERAL MICROINCLUSIONS

P.A. Nevolko, V.V. Kolpakov, G.V. Nesterenko, and P.A. Fominykh

On the territory of the Egor'evsk district, 3500 results of probe microanalyses of surface gold particles taken from 17 placers, weathering crusts, and orebodies were processed and summarized. High-fineness and mercury-containing gold is predominantly found within mother lodes and placers, and medium- and low-fineness gold is distributed in subordinate and dramatically subordinate quantities, especially in the placers. A unique feature of the gold composition, rarely occurring in other districts, is the constant and commonly simultaneous presence of mercury and copper impurities. Analysis of Ag, Hg, and Cu content variations has enabled us to identify five main grades of gold. The mother lodes of the predominant gold grades are metasomates with beresite and listwaenite compositions, which are developed primarily after lower Cambrian volcanoterrigenous-carbonate rocks and ore-bearing mafic dikes. Mercury-containing gold is characteristic of beresites, but copper-bearing gold is typical of listwaenites. The relationship between corresponding grades of surface and ore gold is confirmed by the presence of microinclusions in the gold grains. Nonconformity between the content of gold from mother loads, weathering crusts, and placers is explained by the losses of Hg and Ag impurities by endogenous gold under subsurface hypergene conditions. Identification of mineral-geochemical properties of surface gold is of exceptional practical importance in ore-grade gold mineralization prediction.

Alluvial placers, gold, mother lodes, gold fineness, impurity elements, grades/types of gold

ВВЕДЕНИЕ

За последние 250 лет в России, по совокупности учтенных данных, было добыто более чем 12 000 т золота, причем 80—85 % добычи приходится на россыпные месторождения [Беневольский, 2002]. До последнего времени именно россыпные месторождения золота доминировали в общем объеме золотодобычи в России и только с последней четверти прошлого столетия баланс поменялся в сторону коренных месторождений. Во многом это связано с вовлечением в эксплуатацию ряда крупных и уникальных месторождений. Однако даже с учетом того, что подавляющее большинство россыпных месторождений

уже исчерпало свой потенциал, доля их в общем объеме российских разведанных ресурсов составляет 13.8 %, а доля в общем объеме добычи в 2012 г. составила 23.7 % [Лаломов и др., 2015].

Госбалансом на территории Новосибирской области учтены запасы 25 месторождений аллювиального россыпного золота и 7 месторождений золота в корах выветривания, пригодных для отработки открытым способом. По состоянию на 01.01.2016 г. суммарные запасы золота, учтенные Госбалансом, составляют: кат. С₁ — 4481 кг, кат. С₂ — 746 кг, из них по аллювиальным россыпям — кат. С₁ — 1265 кг, кат. С₂ — 185 кг, по золотоносным корам выветривания — кат. С₁ — 3216 кг, кат. С₂ — 561 кг. В забалансовой группе числятся запасы золота 716 кг. Обеспеченность горно-добывающих предприятий запасами по аллювиальным россыпям составляет 6—7 лет (по состоянию уровня добычи последних пяти лет) [Гермаханов и др., 2017]. Перспективы дальнейшего развития минерально-сырьевой базы золота связаны с его коренными месторождениями и золотоносными корами выветривания. Так как почти все известные россыпи уже отработаны или находятся в разработке, дальнейшее развитие золотодобычи требует поисков и оценки новых россыпей и вовлечения в освоение рудных месторождений и проявлений золота.

Несмотря на почти 200-летнюю историю освоения россыпей в Егорьевском районе, в опубликованной литературе имеется немного данных о составе россыпного золота [Нестеренко, 1991; Геологическое строение..., 1998; Минерагения..., 2001]. Эти данные носят обобщающий характер и касаются главным образом пробыности золота далеко не всех россыпей и некоторых месторождений и рудопроявлений. Между тем уникальность россыпного золота района состоит в постоянном присутствии в его составе значимых, а иногда и очень высоких содержаний Hg и Cu, унаследованных от эндогенного золотого оруденения. Механические микровключения рудных минералов, «законсервированные» в частицах самородного золота, также несут важнейшую информацию о вещественном составе питающих источников [Chapman et al., 2000, 2009; Potter, Styles, 2003].

Распространенность в россыпях Hg- и Cu-содержащих разновидностей золота вместе с его пробностью и минеральным составом включений отражают преобладающие типы питающих источников, многие из которых, несмотря на отработанность россыпей, не выявлены. Характеристики химического состава самородного золота, в отличие от морфологических признаков, сохраняются даже при дальнем аллювиальном переносе. Во внутренних частях золотин, не подвергшихся полному преобразованию в гипергенных условиях, химизм остается неизменным [Chapman et al., 2000; Townley et al., 2003; Нестеренко, Колпаков, 2007]. На этом теоретическом постулате базируются все проводимые исследования в данной области, а значит справедливо будет применить его и для объектов Салаирского кряжа.

Таким образом, в настоящее время россыпные месторождения золота имеют не только экономическое значение, но являются важнейшим источником информации, которая может быть использована для прогнозирования и поиска его коренных месторождений [Нестеренко, 1991; Chapman et al., 2000, 2009, 2010; Townley et al., 2003], а в условиях плохой обнаженности территории значение россыпного золота как прогнозно-поискового признака золотого оруденения возрастает.

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И ЗОЛОТОНОСНОСТЬ РАЙОНА

Салаирский кряж (рис. 1) — самостоятельная структурно-тектоническая единица в пределах западной части Алтае-Саянской складчатой области [Геологическое строение..., 1999], представляющая собой складчатую тектоническую структуру северо-западного простирания, которая вблизи ограничивающих ее Горловского и северо-западной части Кузнецкого прогибов резко, почти под прямым углом, меняет простирание пород на юго-западное. Осевая зона Салаирского кряжа сложена кембрийскими карбонатно-вулканогенными отложениями (рис. 2), интенсивно дислоцированными и собранными в линейные и изоклинальные складки северо-западного простирания. Периферия складчатой структуры сложена менее дислоцированными ордовикскими и силурийскими карбонатно-терригенными породами [Минерагения..., 2001].

Для изучаемой северо-западной части Салаирского кряжа золото является профилирующим металлом. Здесь известны его эндогенные, элювиальные (коры выветривания) и россыпные месторождения, а также большое количество проявлений, пунктов минерализации, геохимических и шлиховых ореолов и потоков, объединенных в Егорьевский рудно-россыпной район. В его пределах золотое оруденение представлено преобладающими золото-кварцевой и золото-сульфидно-кварцевой, а также золото-сульфидной, золото-сурьмяной, золото-ртутной и золотосодержащей полиметаллической формациями [Минерагения..., 2001]. Оруденение в подавляющем большинстве локализуется в нижнекембрийских терригенно-вулканогенно-карбонатных отложениях кинтерепской и суенгинской свит, а также в расланцованных вулканогенно-осадочных породах печеркинской свиты нижнего кембрия (см. рис. 2). Эти породы насыщены рудоносными малыми интрузиями преимущественно диоритового состава, относимыми к тайлинскому комплексу малых интрузий [Геологическое строение..., 1999].

Рис. 1. Обзорная схема тектонического районирования области сочленения Колывань-Томской складчатой зоны и Салаирского кряжа.

Заштрихованная область — Егорьевский рудно-россыпной район.



К отложениям кинтерепской и суенгинской свит приурочены проявления золото-кварцевой и золото-сульфидно-кварцевой формаций. Оруденение, как правило, представлено золотоносными кварц-сланцисто-карбонатными метасоматитами с переменным количеством кварцевых жил и прожилков. Золотоносные метасоматиты рассматриваются в качестве основного источника золота в коре выветривания [Калинин и др., 2006]. Согласно опубликованным материалам [Золотоносность..., 1995], золотоносные метасоматиты широко распространены в Егорьевском рудно-россыпном районе. Н.А. Росляковым с соавторами [Золотоносность..., 1995] на основе детального минералого-геохимического изучения слюдястых метасоматитов делается заключение, что протолитом для этих пород служили как диориты, так и терригенные отложения суенгинской свиты. В зависимости от состава протолита проявляются и особенности возникших за их счет метасоматитов. Так, по малым интрузиям основного состава тайлинского комплекса предпочтительно развиваются листвениты, в то время как по терригенным отложениям суенгинской свиты — березиты.

Наиболее крупными рудными объектами являются Новолушниковское месторождение золото-сульфидно-кварцевой формации с жильно-штокверковым типом оруденения и Егорьевское месторождение золота в коре выветривания [Золотоносность..., 1995]. В первичных эндогенных рудах обычно содержится небольшое количество сульфидов, сульфосолей, иногда отмечается теллуридная минерализация. Среднее содержание рудных минералов составляет 5 %, в редких случаях до 10 %.

Золотосодержащее полиметаллическое оруденение пространственно приурочено к отложениям печеркинской свиты (см. рис. 2) и по совокупности вещественных признаков может быть параллелизовано с месторождениями северо-восточного Салаира (Урское, Салаирское рудные поля). В контурах полиметаллических месторождений часто проявлено золото-(сульфидно)-кварцевое оруденение [Рослякова и др., 1983], которое может выходить далеко за их пределы [Золотоносность..., 1995]. В районе известно большое количество рудопроявлений и пунктов минерализации золотосодержащего колчеданно-(барит)-полиметаллического оруденения. Типичными представителями такого типа оруденения служат Лысогорское, Вологомихинское, Тарсьминское, Еловское, Волкова Заимка, Огневозаимковское, Романовское проявления. Основным минералом руд является пирит, ассоциирующий с галенитом, сфалеритом и с мелкими зернами халькопирита. Наиболее крупным и изученным является Еловское рудопроявление, которое может рассматриваться как масштабный объект с рудными зонами сульфидной (барит-полиметаллической) минерализации и наложенным золото-кварцевым оруденением [Минерагения..., 2001].

В районе известно много россыпей золота, в основном средней и низкой линейной продуктивности. Средняя продуктивность наиболее богатых россыпей составляет (кг/км): Каменка-Барабановская — 189; Фомиха — 184; Мостовая (с логом Кузнечный) — 160; Петровка (с притоками) — 153; Дразные Тайлы — 150. Преобладающая же часть россыпей характеризуется средними значениями продуктивности, порядка 50—100 кг/км [Минерагения..., 2001]. Большинство россыпей, в том числе и самых богатых, залегает в полях развития относительно легко разрушаемых карбонатных и терригенно-карбонатных пород [Нестеренко и др., 1984]. Для участков речных долин, сложенных более упорными, например, интрузивными породами, россыпи не характерны. В связи с этим россыпи имеют сложное, прерывистое строение, которое обусловлено также множественностью источников питания. Кроме известных рудопроявлений и пунктов минерализации, уже к началу XX в. в районе было обнаружено около двухсот выходов кварцевых и кварц-карбонатных жил, некоторые из которых золотоносны. Многие из жил вскрыты старателями при отработке россыпей. По распространенности и практической значимости преобладают молодые долинные аллювиальные россыпи и более мелкие ложковые россыпи автохтонного типа [Нестеренко и др., 2003].

По приуроченности к рудоносным площадям выделяются [Геологическое строение..., 1998; Объяснительная записка..., 2001] Суенгинское, Иковское, Тайлинское и Бердское (прогнозируемое) рос-

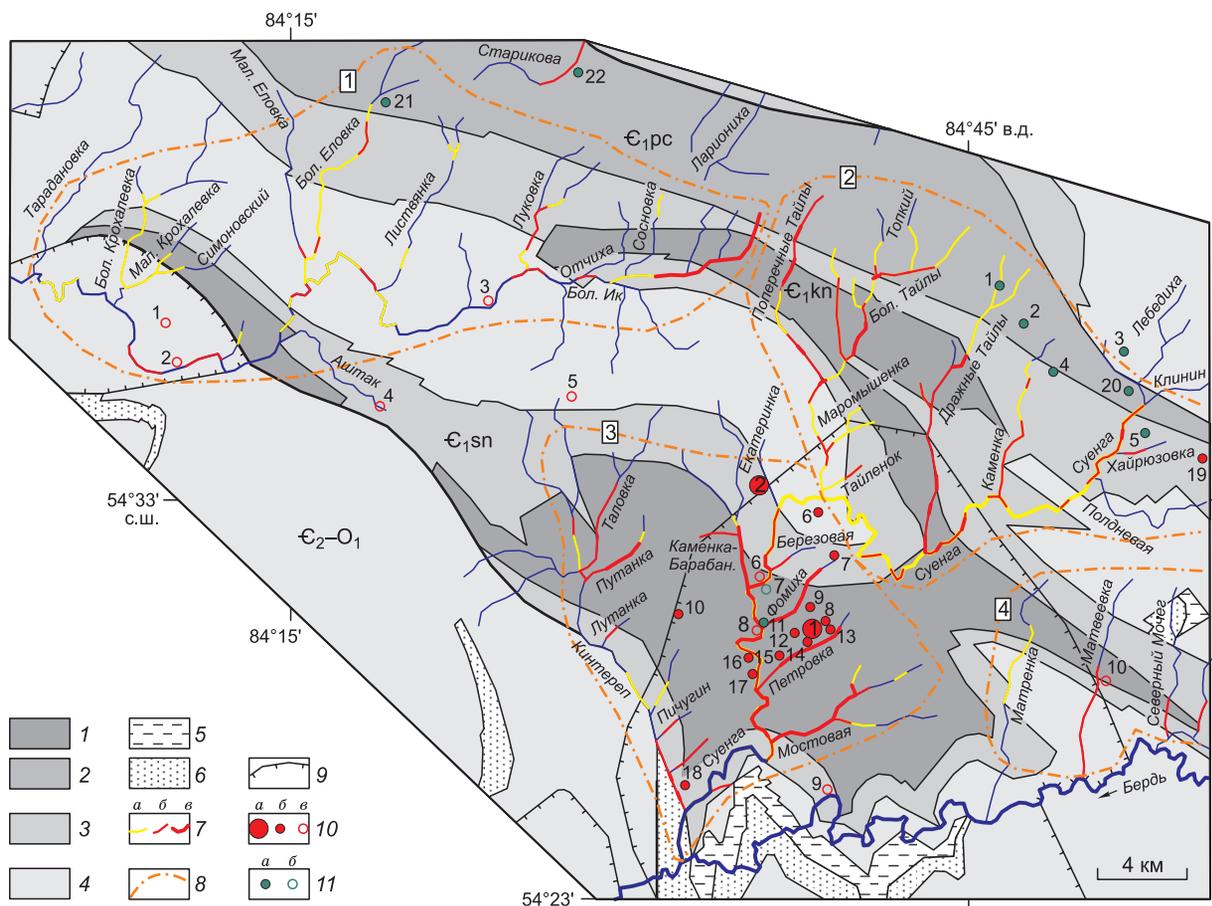


Рис. 2. Схема геологического строения и золотености Егорьевского рудно-россыпного района (на основе Государственной геологической карты [Объяснительная записка..., 2001]).

1 — кинтерепская свита ($\epsilon_1 kn$), мраморизованные известняки с прослоями углистого вещества, песчаников, алевролитов; 2 — печеркинская свита ($\epsilon_1 pc$), рассланцованные плагиориодациты и их туфы, кварц-эпидот-хлорит-серицит-альбит-карбонатные и углистые сланцы; 3 — суенгинская свита ($\epsilon_1 sn$), терригенно-вулканогенно-карбонатные отложения; 4 — зелено-фиолетовая серия (ϵ_2-O_1), терригенно-вулканогенные отложения; 5 — известняки, алевролиты, глинистые сланцы, песчаники (O_2-S_1); 6 — известняки, глинистые сланцы, бокситы, аллиты, сиаллиты (D_{1-2}); 7 — россыпи золота [Минерагения ..., 2001; Объяснительная записка..., 2001] с линейной продуктивностью менее 20 кг/км (а), 20—100 кг/км (б), 100—150 кг/км и более (в); 8 — россыпные поля: 1 — Иковское, 2 — Тайлинское, 3 — Суенгинское, 4 — Бердское; 9 — контуры максимально эродированных блоков рельефа; 10 — золоторудные месторождения (а), рудопроявления (б) и пункты минерализации (в); 11 — колчеданно-(барит)-полиметаллические золотосодержащие рудопроявления (а) и пункты минерализации (б) [Минерагения ..., 2001; Объяснительная записка..., 2001]. Месторождения: 1 — Егорьевское, 2 — Новолушниковское (жила 13). Рудопроявления: 1 — Екатерининское, 2 — Которовское, 3 — Усть-Калистратихинское, 4 — Верх-Каменское, 5 — Волкова Заимка, 6 — № 9, 7 — Кратовско-Фомихинское, 8 — лог Ленивый, 9 — Колокольцевское, 10 — Лутанское, 11 — № 20, 12 — Фомихинское, 13 — лог Ляпинский, 14 — Гусельнятское, 15 — лог Петровский, 16 — лог Бобровский, 17 — Фон-Штремлевское, 18 — Сухой Лог, 19 — Большое Чесноковское, 20 — Лебедихинское, 21 — Еловское, 22 — Смирновское. Пункты минерализации: 1 — с. Вершина Ика, 2 — Вязкий, 3 — верховья р. Ик, 4 — р. Аштак, 5 — Кинтерепский, 6 — Суенга-2, 7 — Суенга-1, 8 — лог Удивительный, 9 — Кратовско-Бердский, 10 — участок Матвеевка.

сыпные поля (см. рис. 2). В Суенгинском сосредоточены почти все рудные объекты золото-(сульфидно)-кварцевого типа и высокопродуктивные россыпи, в Иковском и в восточной части Тайлинского проявлено полиметаллическое, а в наименее изученном Бердском прогнозируется золото-(сульфидно)-кварцевое оруденение [Минерагения..., 2001].

Размер золотин в аллювиальных россыпях варьирует от тонкодисперсного (< 10 мкм) до крупного (2—3 мм и более), в основном соответствуя таковому коренных источников. Наиболее крупное золото, вплоть до мелких самородков весом в первые сотни грамм, источником которого может быть золото-(сульфидно)-кварцевое оруденение, присутствует в большинстве россыпей района. Морфология золота разнообразна, окатанность в основном средняя и хорошая. Слабоокатанное самородное золото рудного облика в относительно небольших количествах присутствует во всех россыпях, на многих их участках. Так как окатанность, представляющая собой «функцию» от расстояния до питающего источника и от

условий переноса [Townley et al., 2003; Chapman, Mortensen, 2016], скрывает первичные морфологические особенности россыпного золота, основной акцент в данной работе сделан на химический состав золота и характеристику микровключений минералов в нем. Детальное, статистически значимое изучение этих характеристик самородного золота, сопоставление полученных данных между собой, а также с аналогичными данными по известным коренным месторождениям, является наиболее информативным подходом к обоснованию источников питания россыпей [McTaggart, Knight, 1993; Chapman et al., 2000, 2010; Chapman, Mortensen, 2016].

МЕТОДИКА

Состав зерен самородного золота в полированных препаратах (шашках-аншлифах) определялся на электронном микроскопе Camebax-Micro с использованием волнового дисперсионного спектрометра в ЦКП многоэлементных и изотопных исследований СО РАН. Пределы обнаружения элементов составляли: для Au — 0.065 мас. %, для Ag — 0.065, для Hg — 0.096 и для Cu — 0.061 мас. %. Замеры проводились как в центральной части, так и на краю отдельных золотин для определения степени их химического преобразования, которое выражается в образовании кайм и участков с пробностью 990—1000 ‰ или в полном преобразовании зерен. Анализы преобразованных зерен Au (обычно по краям) в расчетах не учитывались. Обработаны результаты более 3500 анализов частиц самородного золота из 17 россыпей, трех разрезов коры выветривания и трех коренных рудопроявлений. Изучение минеральных микровключений минералов в самородном золоте проводилось с использованием оптического микроскопа Olympus BX51, оснащенного цифровой фотокамерой ColorView III. Последующая инструментальная диагностика микровключений проводилась с помощью электронного сканирующего микроскопа LEO 1430VP.

Содержание серебра в отдельных выборках по россыпям иллюстрируется с использованием диаграмм кумулятивных процентов по отношению к весовому содержанию Ag. С помощью этих диаграмм можно легко сравнить распределение серебра в разных выборках золота, независимо от количества изученных зерен [Chapman et al., 2000]. Совпадающие графики по разным выборкам могут указывать на сходство в источниках питания. Разрывы кривой или изменения градиента в пределах одной выборки интерпретируются как свидетельство присутствия самородного золота из разнотипных источников, особенно, когда изменение содержания серебра может быть соотнесено с другими особенностями состава золота, такими как присутствие в качестве примесей Hg и Cu, а также наличием и составом микровключений в золотинах.

СОСТАВ САМОРОДНОГО ЗОЛОТА АЛЛЮВИАЛЬНЫХ РОССЫПЕЙ

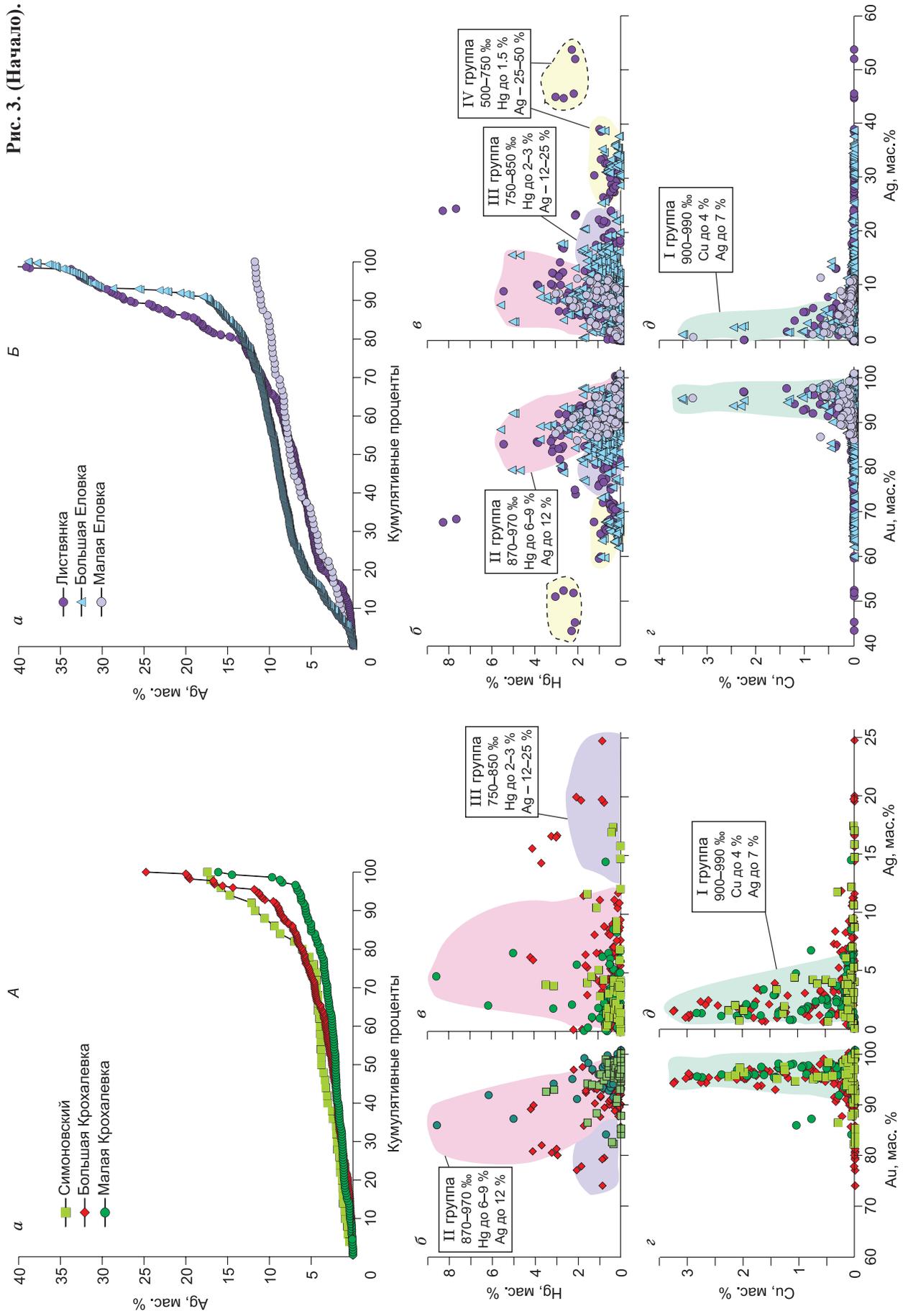
Иковское россыпное поле (см. рис. 2) включает в себя бассейн р. Большой Ик и его правые притоки, берущие начало с водораздельной части Пихтового гребня, сложенного в основном отложениями суенгинской и печеркинской свит нижнего кембрия. Левые притоки р. Большой Ик незолотоносны. Нами было изучено самородное золото из ряда правых притоков первого и второго порядков р. Большой Ик, среди которых (с востока на запад): реки Листвянка, Большая и Малая Еловки, Симоновский, Малая и Большая Крохалевки. Состав самородного золота россыпей Крохалевского и Еловского участков Иковского поля дан на рис. 3, А, Б.

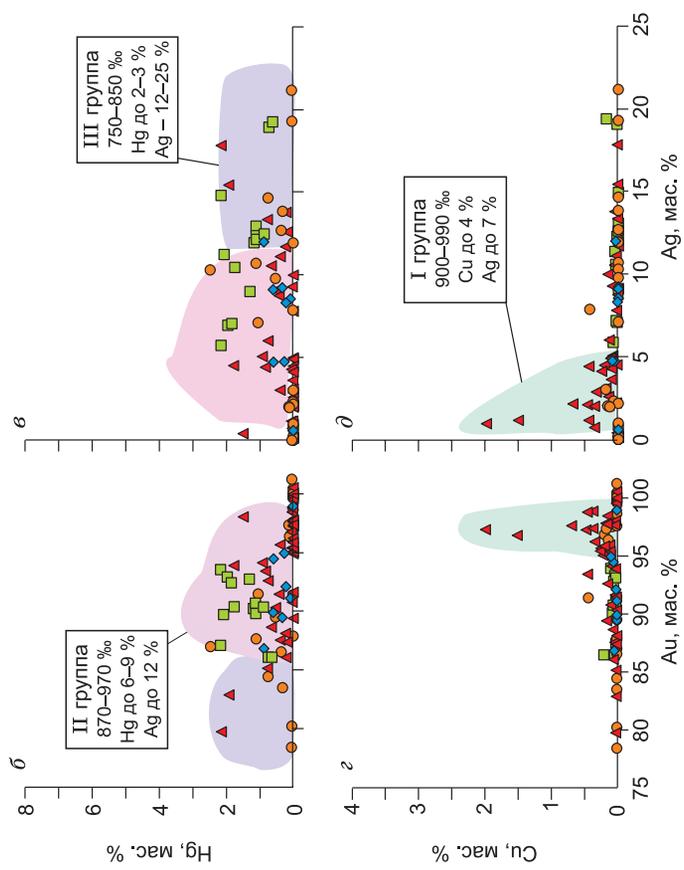
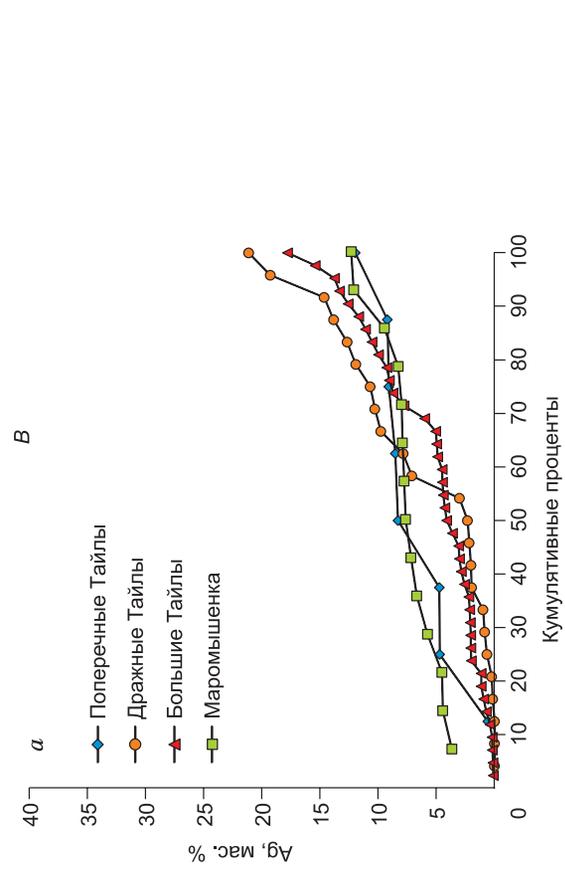
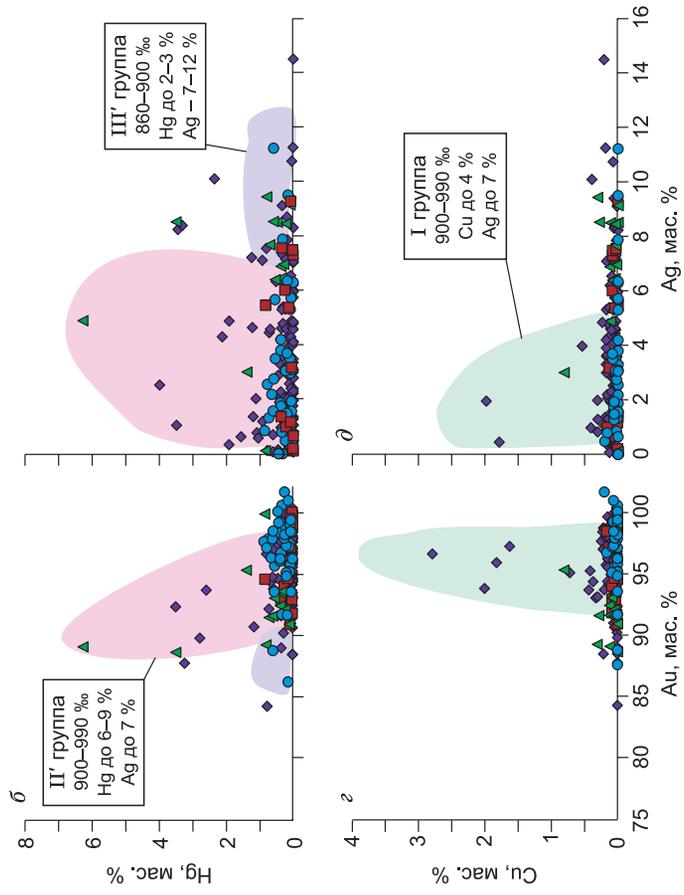
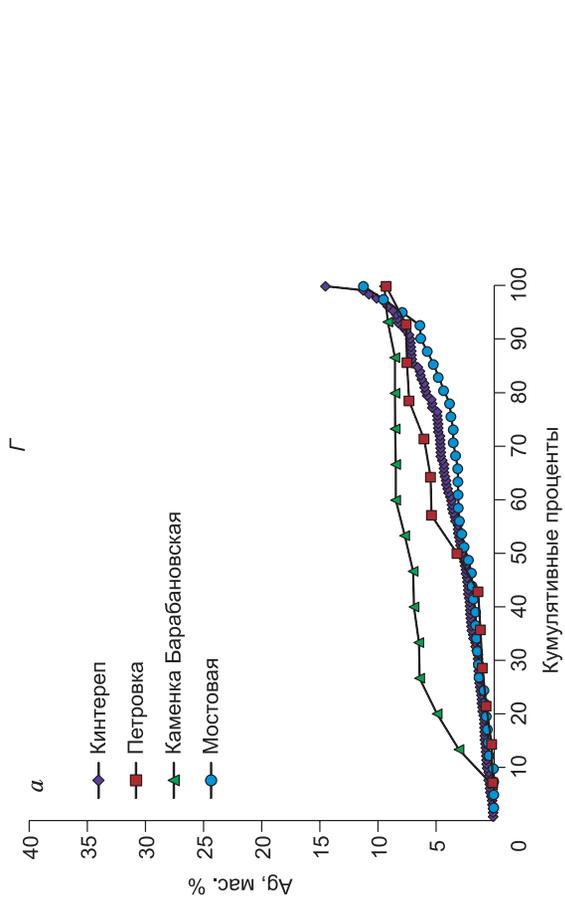
Большая Крохалевка. Самородное золото из россыпи характеризуется пробностью в диапазоне от 740 до 999 ‰ с существенным преобладанием высокопробного (более 900 ‰) (см. рис. 3, А, б, з). Содержание серебра доходит до 25 мас. % (в, д). Концентрации ртути и меди в самородном золоте достигают значений около 4 и 3.3 мас. % соответственно (б—д). Как видно на рис. 3, а, по характеру распределения серебра выделяются три группы самородного золота. Первая, наиболее распространенная группа (порядка 80—85 % от всей выборки) содержит до 7 мас. % серебра. Следующая группа с содержанием Ag до 12 мас. % составляет около 10 % от выборки. Наименее представленная группа (около 5 % от выборки) характеризуется содержанием серебра 12—25 мас. %.

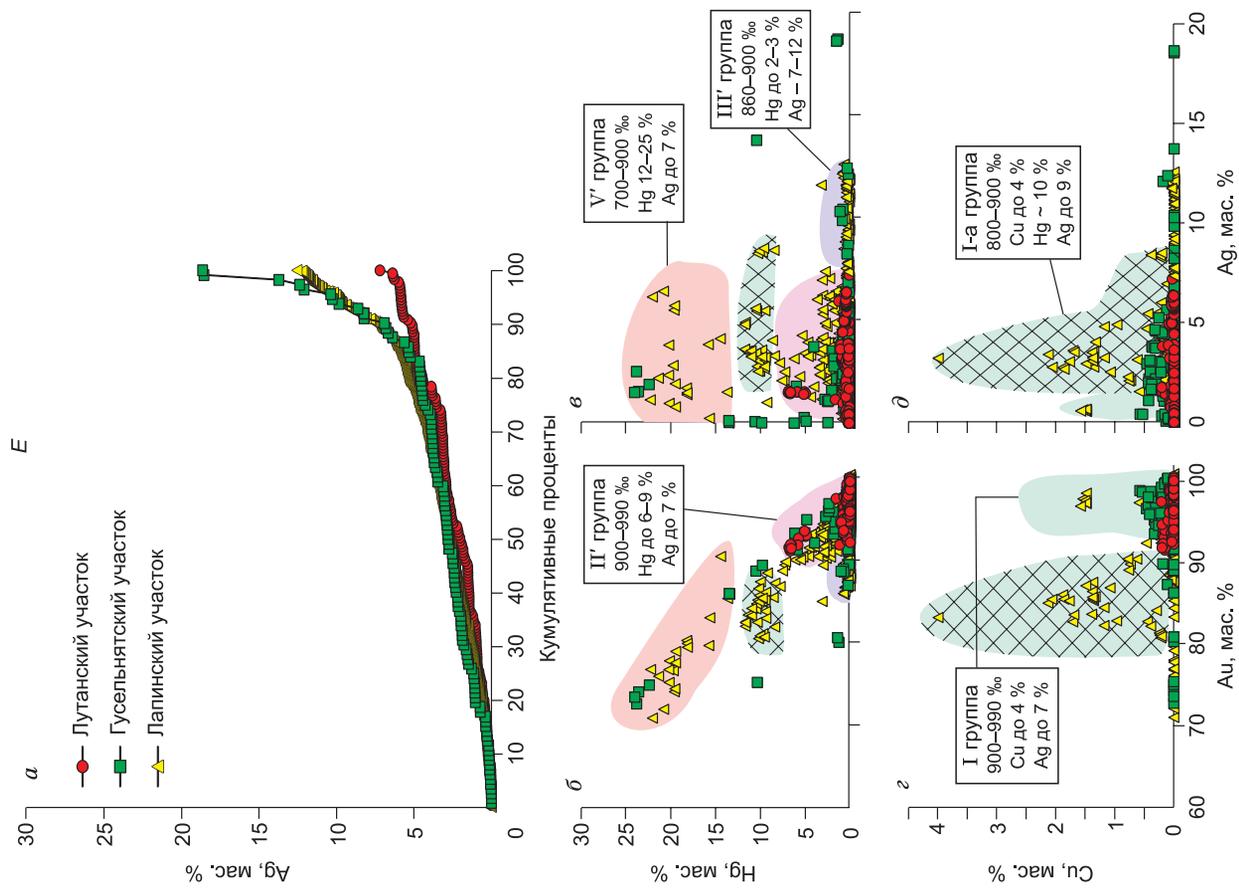
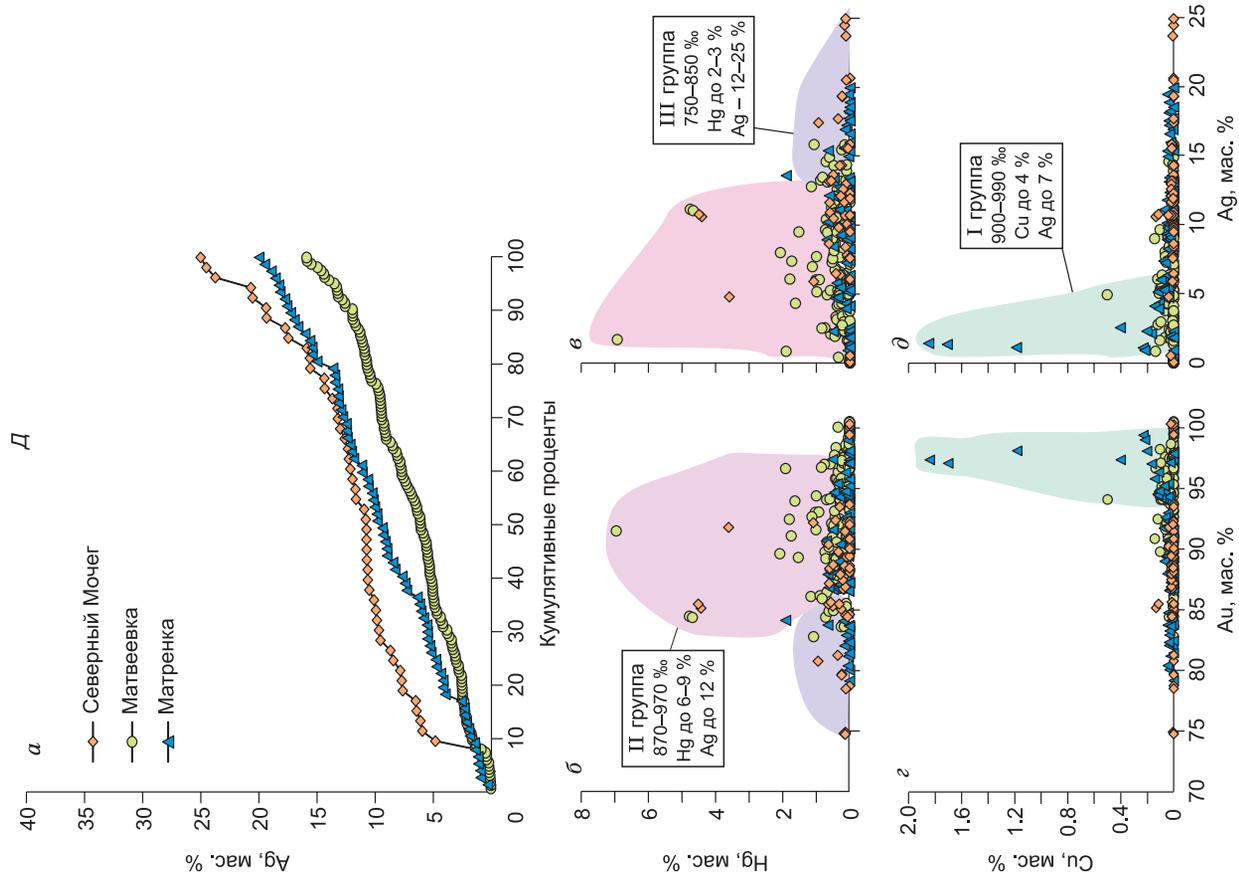
Малая Крохалевка. Пробность самородного золота составляет 850—990 ‰, с явным преобладанием высокопробного (см. рис. 3, А, б, з). Концентрации Ag, Hg и Cu достигают 15, 8.5 и 2.8 мас. % соответственно (б—д). Анализ кумулятивной диаграммы (а) позволяет предположить наличие двух групп самородного золота, исходя из содержания серебра. Наиболее многочисленная выборка (порядка 98 % всего множества) характеризуется примесью серебра до 7 мас. %. Вторая группа включает в себя единичные зерна с примесью серебра до 15 мас. %.

Симоновский ручей является левым притоком р. Мал. Крохалевка. Самородное золото содержит примесь Hg и Cu до 3.5 и 2.3 мас. % соответственно (см. рис. 3, А, б—д). Содержание Ag достигает 17.5 мас. %, а пробность варьирует от 820 до 990 ‰ (с преобладанием высокопробного) (б—д). По характеру наклона кумулятивной кривой, ее градиенту и наличию разрывов (а) отчетливо выделяются три группы

Рис. 3. (Начало).







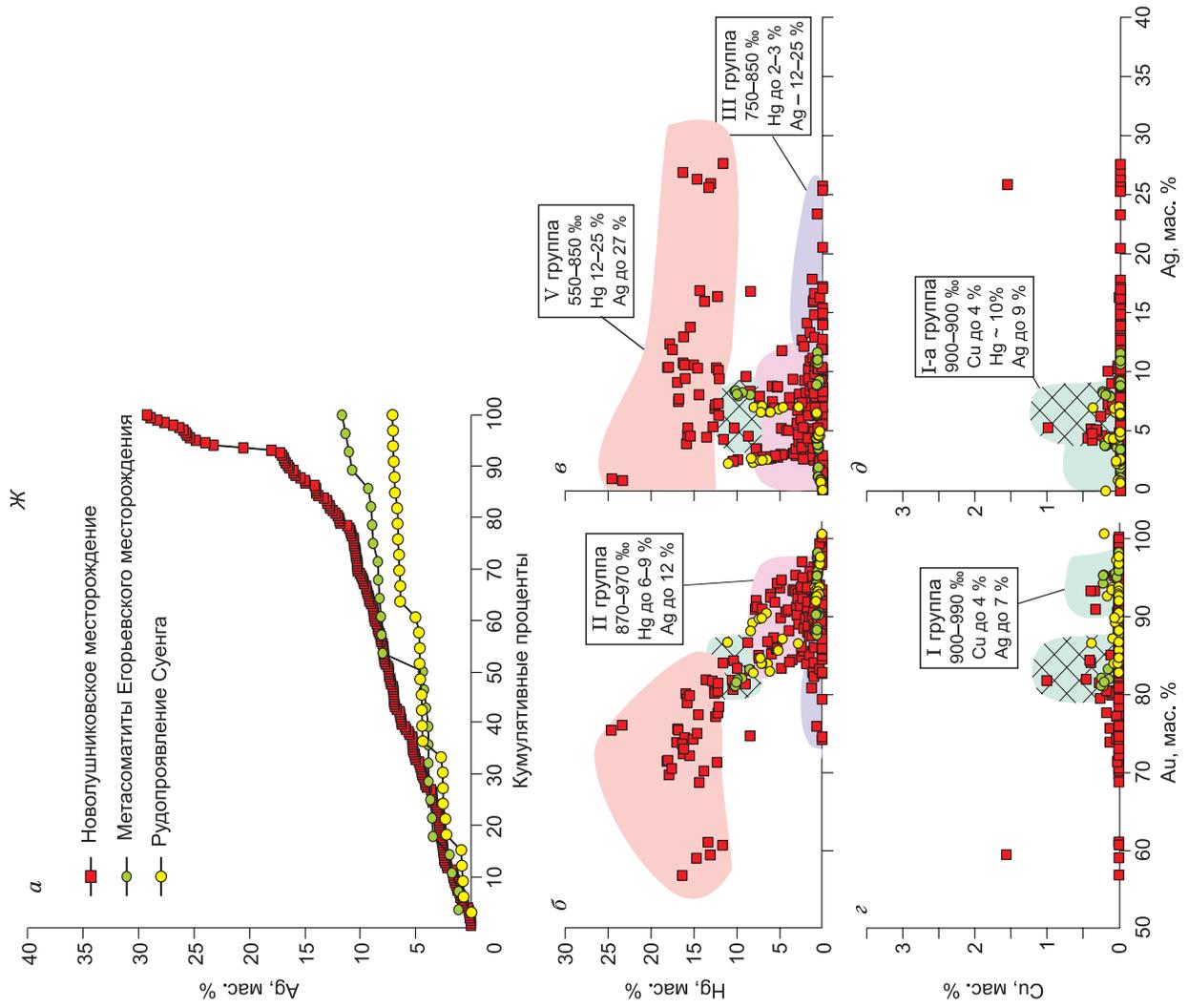


Рис. 3. Состав самородного золота россыпей Крохалевского участка Иковского россыпного поля (А), Еловского участка Иковского россыпного поля (Б), Тайлинского (В), Суенгинского (Г), Бердского россыпного поля (Д), кор выветривания (Е), коренных рудопроявлений (Ж):

а — кумулятивная диаграмма содержания серебра; *б* — соотношение содержания Hg к содержанию Au; *в* — соотношение содержания Hg к содержанию Ag; *г* — соотношение содержания Cu к содержанию Au; *д* — соотношение содержания Cu к содержанию Ag.

самородного золота. Первая, и наиболее многочисленная (78 % всех анализов), содержит до 6 мас. % Ag. Вторая и третья группы проявлены незначительно и составляют 14 и 8 % всех анализов соответственно. Содержание Ag в первой группе — до 12 мас. %, во второй — 14—17 мас. %.

Малая Еловка. Характер поведения кривой на кумулятивной диаграмме не позволяет с полной уверенностью выделить несколько групп самородного золота на основании содержания серебра (см. рис. 3, Б, а). В целом пробность самородного золота из россыпи изменяется от 860 до 990 ‰, однако большинство зерен имеет пробность в интервале 900—990 ‰. Количество меди и ртути достигает 3.3 и 3 мас. % соответственно (б—д).

Большая Еловка. Пробность самородного золота варьирует в очень широком интервале — от 420 до 999 ‰, хотя наиболее распространенная пробность составляет около 850—950 ‰ (см. рис. 3, Б, б, д). Практически постоянно в составе самородного золота отмечается примесь ртути, концентрации ее в отдельных зернах достигают 8.5 мас. % (б, в). Медь распространена значительно меньше. В отдельных зернах самородного золота содержание меди достигает 2.3 мас. % (з, д). По характеру кривой распределения Ag на кумулятивной диаграмме (а) мы выделяем несколько групп самородного золота. Первая группа составляет около 20 % всей выборки и представлена самородным золотом с примесью серебра до 5 мас. %, хотя мы допускаем, что какая-то часть самородного золота этой группы представляет собой результат полного преобразования золота в экзогенных условиях (либо непредставительный срез зерна в шашке, захватывающий краевую высокопробную кайму). Самая распространенная вторая группа (охватывает около 60 % всех анализов) характеризуется плавным увеличением содержания Ag до 12—13 мас. %. Далее, на уровне значения 80 % Au, кривая распределения серебра резко меняет градиент, что дает основание выделить группу самородного золота с содержанием Ag от 12 до 25 мас. %. Эта группа составляет 8 % всех анализов. Наиболее низкопробное самородное золото (вплоть до электрума) с содержанием Ag от 25 до 55 мас. % мы объединяем в последнюю, четвертую группу, в которую входит около 12 % всех анализов.

Листвянка. Особенности химического состава самородного золота из россыпи по р. Листвянка практически полностью соответствуют таковым из россыпи р. Бол. Еловка. Преобладающая пробность составляет 850—950 ‰, при вариациях в более широком диапазоне — от 600 до 999 ‰ (см. рис. 3, Б, б, з). Содержания ртути и меди в составе самородного золота достигают 6 и 3.5 мас. % соответственно (б—д). По изменению наклона кривой на кумулятивной диаграмме и наличию разрывов (а) мы выделяем четыре группы по содержанию Ag в самородном золоте: 1) Ag до 7 мас. % — около 20 % всех анализов; 2) Ag до 12 мас. % — 60 % анализов; 3) резкое увеличение Ag от 12 до 25 мас. % — 12 % анализов; 4) Ag — 25—40 мас. % — около 8 % всей выборки.

Тайлинское россыпное поле объединяет правые притоки р. Суенга в ее верхнем течении (см. рис. 2). Основные россыпи приурочены к притокам первого и реже второго порядка. Большинство рек, в которых выявлена промышленная россыпная золотоносность, берут начало с области распространения отложений печеркинской и суенгинской свит. Состав самородного золота россыпией Тайлинского поля дан на рис. 3, В.

Маромышенка. Несмотря на меньшее количество аналитических данных, полученные результаты демонстрируют диапазон вариации пробности от 860 до 930 ‰ (см. рис. 3, В, б, з). Большинство зерен характеризуется постоянной примесью ртути на уровне 1—2 мас. % (б, в). Содержание меди в составе самородного золота из данной россыпи ниже предела обнаружения (з, д). Характер распределения серебра (а) указывает на существование только одной группы самородного золота (4—12 мас. % Ag).

Поперечные Тайлы. Единичные анализы самородного золота показывают пробность от 860 до 990 ‰ с преобладанием в области 900 ‰ (см. рис. 3, В, б, з). Ртуть в составе самородного золота отмечается во всех зернах, однако содержания ее невысокие, до 1 мас. % (б, в). Медь в составе самородного золота не обнаружена (з, д). Поведение кривой распределения серебра в выборке на кумулятивной диаграмме (а) демонстрирует существование только одной группы самородного золота. Содержание серебра в этой группе изменяется от 5 до 12 мас. %.

Дражные Тайлы. Пробность самородного золота варьирует в широком диапазоне от 770 до 1000 ‰ (см. рис. 3, В, б, з). По характеру кривой на кумулятивной диаграмме можно выделить как минимум четыре группы самородного золота на основании содержания в нем серебра (а). Первая группа — наиболее высокопробное самородное золото с примесью серебра до 1.5 мас. %. Эта группа, вероятно, может включать зерна с высокой степенью гипергенного преобразования. Вторая группа самородного золота характеризуется примесью серебра до 3 мас. % и составляет около 18 % от всех анализов. Наиболее распространенная группа, составляющая 32 % всей выборки, характеризуется примесью серебра от 7 до 15 мас. %. Еще два анализа самородного золота показали содержание серебра на уровне 19—21 мас. %, что позволяет предполагать существование еще одной, наиболее низкопробной группы. Примесь ртути в самородном золоте отмечается непостоянно, хотя в единичных случаях ее содержание достигает

2.6 мас. % (см. рис. 3, В, б, в). Концентрация меди в самородном золоте в большинстве случаев не превышает предела обнаружения, лишь в единичных случаях доходит до 0.5 мас. % (з, д).

Большие Тайлы. Пробность самородного золота изменяется в интервале от 800 до 1000 ‰ (см. рис. 3, В, б, з). Содержание ртути в самородном золоте фиксируется в большом количестве золотин. Максимальное содержание ртути составляет около 2 мас. %, хотя в целом преобладают значения около 0.5 мас. % (б, в). Отдельные анализы показали примесь меди в самородном золоте до 2 мас. % (з, д). По характеру кривой на кумулятивной диаграмме (а) можно выделить три группы самородного золота. Наиболее распространенная (70 % от всех анализов) группа включает самородное золото с примесью серебра до 7 мас. %. Следующая группа включает 20 % выборки и представляет собой самородное золото с примесью серебра от 7 до 15 мас. %. Кроме того, 10 % всего золота из выборки содержит примесь серебра более 15 мас. %.

Суенгинское россыпное поле включает россыпи по левым притокам р. Суенга, а также бассейна р. Кинтереп (см. рис. 2). Россыпи в пределах этого поля характеризуются максимальной для района линейной продуктивностью. Большинство из рек и ручьев берут свое начало в области распространения золотоносных кор выветривания. Состав самородного золота россыпей Суенгинского поля дан на рис. 3, Г.

Кинтереп. Пробность самородного золота в целом по россыпи варьирует от 840 до 1000 ‰, однако преобладающая пробность составляет 950—1000 ‰ (см. рис. 3, Г, б, з). Содержание ртути в отдельных зернах достигает 4 мас. %, хотя в большинстве анализов находится на уровне до 1 мас. % (б, в). Большинство проанализированных зерен характеризуется содержанием меди до 0.5 мас. % (с преобладанием анализов ниже пределов обнаружения) (з, д). Лишь единичные зерна самородного золота содержат медь в количестве до 2 мас. %. По характеру распределения серебра на кумулятивной диаграмме (а) можно выделить две группы самородного золота. Первая группа, наиболее распространенная (около 90 % всей выборки), представлена зернами с примесью серебра до 7 мас. %. Вторая группа включает самородное золото с примесью Ag на уровне 7—12 мас. %. Такого золота в россыпи около 10 %.

Петровка. Самородное золото характеризуется пробностью от 910 до 1000 ‰ (см. рис. 3, Г, б, з). Содержание ртути не превышает 1 мас. % (б, в), а максимальные концентрации меди в единичных случаях достигают 0.2 мас. % (з, д). По характеру распределения серебра (а) можно предполагать существование двух групп самородного золота. Первая группа характеризуется содержанием Ag до 2 мас. %. Вторая группа сложена самородным золотом с примесью серебра на уровне 5—7 мас. %. Обе группы составляют примерно равный вклад в общий баланс золота в россыпи.

Каменка-Барабановская. Пробность самородного золота из россыпи отвечает диапазону от 880 до 1000 ‰ (см. рис. 3, Г, б, з). Распределение пробности в выборке достаточно равномерное, без видимых максимумов. Содержание ртути в самородном золоте в целом по россыпи находится на уровне 1 мас. %, хотя в единичных зернах ее концентрация достигает 6.5 мас. % (б, в). Примесь меди в преобладающем количестве зерен ниже предела обнаружения, лишь в единичных зернах доходит до 0.4—0.7 мас. % (з, д). За вычетом единичных анализов характер кривой на кумулятивной диаграмме (а) позволяет утверждать существование только одной группы самородного золота.

Мостовая. Пробность самородного золота весьма высокая, с заметным преобладанием группы 950—1000 ‰, хотя единичные анализы характеризуются пробностью до 860 ‰ (см. рис. 3, Г, б, з). Ртуть в количестве до 1 мас. % фиксируется практически во всех изученных зернах (б, в). Меди в значимых количествах выявлено не было (з, д). По изменению градиента кривой распределения серебра (а) выделяются две группы самородного золота. Наиболее распространенная (около 94 % выборки) сложена зернами с примесью серебра до 4 мас. %. Вторая группа представлена единичными зернами с содержанием серебра от 7 до 10 мас. %.

Бердское россыпное поле. В него объединены правые притоки р. Бердь, выше устья р. Суенга (см. рис. 2). Реки Матренка, Северный Мочег и Матвеевка, из россыпей которых было изучено самородное золото, протекают по отложениям суенгинской и кинтерепской свит нижнего кембрия, а также по нерасчлененным отложениям кембрия—ордовика. Состав самородного золота россыпей Бердского поля приведен на рис. 3, Д.

Северный Мочег. Самородное золото характеризуется пробностью в интервале от 750 до 999 ‰. При этом максимум анализов лежит в диапазоне 870—950 ‰ (рис. 3, Д, б, з). Содержания ртути в отдельных случаях достигают 4.5 мас. %, хотя в большинстве зерен не превышают 1 мас. % (б, в). Медь в составе самородного золота практически не фиксируется. Лишь в единичных анализах ее концентрации доходят до 0.2 мас. % (з, д). По характеру изменения кривой на кумулятивной диаграмме (а), по содержанию Ag можно выделить 3 группы самородного золота. Первая группа, составляющая около 8 % от всей совокупности анализов, включает зерна с содержанием Ag < 1—2 мас. %. Вторая группа представлена самородным золотом с плавным увеличением Ag от 5 до 12 мас. %. Эта группа наиболее много-

численна и составляет 70 % от всех анализов. Третья группа, на которую приходится около 22 % всей выборки, представлена самородным золотом с примесью серебра от 12 до 25 мас. %.

Матвеевка. Пробность самородного золота изменяется от 830 до 990 ‰ (см. рис. 3, Д, б, з). Распределение пробности равномерное, без видимых пиков и разрывов. Содержание ртути достигает 2 мас. % (б, в). Медь в составе самородного золота, за исключением единичных анализов с примесью до 0.5 мас. %, не обнаружена (з, д). По характеру кривой на диаграмме (а) можно выделить три группы самородного золота, различных между собой по содержанию серебра. Первая группа, наименее проявленная (около 8 % всей выборки), сложена высокопробным самородным золотом, практически не содержащим примесь серебра. Вторая, самая распространенная (82 % всех зерен), характеризуется весьма равномерным распределением содержаний Ag, от первых до 12 мас. %. Третья группа, с вкладом в общую выборку до 10 %, включает самородное золото с примесью Ag на уровне 12—16 мас. %.

Матренка. Пробность самородного золота в россыпи составляет 800—1000 ‰ и в основном определяется примесью серебра (см. рис. 3, Д, б, з). Распределение значений пробности выглядит равномерно, без видимых максимумов. Содержание ртути для большинства анализов не превышает 1 мас. %, лишь единичный анализ показал ее концентрацию около 2 мас. % (б, в). Медь в составе самородного золота отмечается в ряде случаев до 1.8 мас. %, хотя в большинстве зерен концентрации меди либо ниже предела обнаружения, либо не превышают 0.2 мас. % (з, д). Несмотря на плавное изменение содержания серебра во всей выборке, по наличию «ступеней» на кумулятивной диаграмме можно выделить 4 группы самородного золота (а). Первая группа (18 % от выборки) представлена зернами с примесью серебра до 3—4 мас. %. Следующая «ступень» также включает 18 % проанализированных зерен и характеризуется уровнем содержания серебра 4—7 мас. %. Следующие 44 % от всего изученного самородного золота содержат до 12 мас. % серебра. Максимальное содержание серебра (12—25 мас. %) присуще последней группе, составляющей 20 % всех анализов.

СОСТАВ САМОРОДНОГО ЗОЛОТА КОРЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ И КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ

Золотоносные коры выветривания мел-палеогенового возраста широко распространены на Салаирском кряже, особенно на территории Егорьевского рудно-россыпного района. Промышленные концентрации золота приурочены к глинистому элювию. По результатам опробования оконтурено семь участков Егорьевского месторождения: Лутанский, Лапинский, Гусельнятский, Крутой, Щербаковский, Топкинский и Сухой Лог. Результаты анализа зерен самородного золота из первых трех участков были использованы в данном исследовании. Форма рудных тел в коре выветривания определяется структурной сохранностью элювия и степенью проявления процессов переотложения. В целом положение кор выветривания, а также их основные параметры, детально охарактеризованы в ряде работ [Золотоносность..., 1995; Минерагения..., 2001; Калинин и др., 2006]. Исходным субстратом для формирования золотоносных кор выветривания служили слюдистые метасоматиты березитового и листовитового типов (в зависимости от протолита) [Золотоносность..., 1995]. Состав самородного золота кор выветривания дан на рис. 3.

Лутанский участок. Самородное золото обладает высокой пробностью, в целом по выборке интервал представлен 920—100 ‰ (рис. 3, Е, б, з). При этом распределение пробности золота, а также содержаний серебра в нем, по всей выборке анализов достаточно равномерное, без видимых максимумов. Максимальные значения содержания меди находятся на уровне 0.2 мас. % (з, д), хотя в большинстве анализов медь в составе самородного золота не обнаружена. Ртуть определяется в большинстве анализов на уровне до 1 мас. %, при этом отдельная группа зерен показывает обогащение Hg до 5—6 мас. % (б, в). Характер поведения кривой на кумулятивной диаграмме (а) демонстрирует существование одной группы по содержанию серебра.

Гусельнятский и Лапинский участки. Самородное золото из этих участков характеризуется практически идентичным составом (с некоторыми вариациями). Пробность варьирует в широком диапазоне — от 700 до 1000 ‰, хотя большинство зерен имеют пробность 900—1000 ‰ (см. рис. 3, Е, б, з). Ртуть в составе самородного золота фиксируется практически постоянно, достигая максимальных значений в 25 мас. % (б, в). Количество меди в составе самородного золота достигает 4 мас. %, однако большинство анализов показывает ее концентрацию на уровне 0.5 мас. % и ниже (з, д). Распределение кривых на кумулятивной диаграмме убедительно демонстрируют существование как минимум двух групп самородного золота (а). Первая, наиболее многочисленная группа (85—88 % всей выборки), сложена самородным золотом с примесью серебра до 7 мас. %. Эта группа полностью совпадает с самородным золотом из описанного выше Лутанского участка. Вторая группа характеризуется более крутым наклоном кривой и включает самородное золото с примесью серебра в диапазоне от 7 до 12 мас. %. Еще более высокие содержания серебра отмечаются в единичных зернах самородного золота из Гусельнятского участка, однако их спорадическое проявление не позволяет судить о существовании еще одной группы.

Коренное золотое оруденение. Среди многочисленных рудопроявлений и пунктов минерализации золота в пределах Егорьевского рудно-россыпного района наиболее полно охарактеризованы метасоматиты Новолушниковского и Егорьевского месторождений [Золотоносность..., 1995; Минерагения..., 2001]. В обоих случаях золотое оруденение представлено слюдистыми метасоматитами с содержанием сульфидов до 10 %. Кроме того, отмечается существенная золотоносность секущих метасоматитов кварцевых жил и прожилков. Так, по архивным данным, содержание золота в кварцевой жиле на Новолушниковском месторождении достигало 540 г/т [Минерагения..., 2001]. Пункт минерализации Суенга, анализы самородного золота из которого мы также приводим ниже, выявлен Г.В. Нестеренко. Это свалы неокатанных обломков пиритизированных пород в дражном отвале в долине р. Суенга, в районе д. Новолушниково. Содержание золота, по данным пробирного анализа, составляет до 1.6 г/т. Состав самородного золота коренных рудопроявлений показан на рис. 3, Ж.

Новолушниковское месторождение. Состав самородного золота из сульфидизированных метасоматитов (в основном березитового типа) и кварцевых жил был изучен на представительной выборке. Наши исследования показали, что самородное золото характеризуется широким диапазоном пробности (560—1000 ‰) (см. рис. 3, Ж, б, з). Отличительной чертой является высокое содержание ртути (до 25 мас. %), хотя большинство анализов характеризуются относительно небольшой примесью Hg — до 2.5 мас. % (б, в). Медь в подавляющем количестве зерен не установлена, лишь по единичным анализам обнаружена ее примесь (до 0.5—1.0 мас. %) (з, д). На кумулятивной диаграмме по характеру кривой распределения серебра в выборке можно выделить три группы самородного золота (а). Первая группа, составляющая около 80 % всех анализов, включает самородное золото с примесью серебра до 12 мас. %. Вторая группа (13 % от всей выборки) отчетливо выделяется резким изменением угла наклона кривой. Сложена эта группа самородным золотом с примесью серебра от 12 до 18 мас. %. Третья группа включает самородное золото с примесью Ag от 22 до 28 мас. %.

Метасоматиты Егорьевского месторождения. В данной статье, вслед за Н.А. Росляковым и соавторами [Золотоносность..., 1995], под «метасоматитами Егорьевского месторождения» понимаются сульфидизированные породы, по которым развиваются золотоносные коры выветривания. Эти породы представлены метасоматически преобразованными терригенно-карбонатными породами и диоритами с содержанием сульфидов 5—10 %. Пробность самородного золота в целом по всей выборке варьирует от 810 до 980 ‰ (см. рис. 3, Ж, б, з). По содержанию серебра устанавливаются три группы (а). Первая, составляющая 15 % выборки, характеризуется примесью Ag до 2 мас. %. Содержание Ag во второй группе находится на уровне 4 мас. %, а третья группа, составляющая около половины всех анализов, представлена самородным золотом с содержанием Ag на уровне 8—10 мас. %. Содержание ртути в отдельных зернах достигает 10 мас. %, хотя в большинстве зерен ее менее 1 мас. %. Медь в большинстве зерен самородного золота не выявлена (з, д).

Пункт минерализации Суенга. Состав золота близок таковому из метасоматитов Егорьевского месторождения. Пробность самородного золота находится в интервале от 830 до 1000 ‰ (см. рис. 3, Ж, б, з). Распределение пробности в пределах выборки достаточно равномерное. Медь в составе самородного золота для большинства зерен не установлена, только единичные анализы показали ее содержание до 0.5 мас. % (з, д). Ртуть варьирует в более широком диапазоне. Максимальные концентрации составляют 11 мас. %, хотя часть зерен ртути в своем составе не содержит (б, в). По характеру распределения серебра на кумулятивной диаграмме можно выделить 4 группы самородного золота (а). Первая группа — наиболее высокопробное самородное золото, содержание серебра в котором не превышает 1 мас. %. Содержание серебра в самородном золоте из второй группы находится на уровне 3 мас. %. Примесь Ag на уровне 5 мас. % характерна для третьей, наиболее многочисленной группы зерен. Около 40 % всех анализов представлено самородным золотом с примесью серебра на уровне 7 мас. %.

МИНЕРАЛЬНЫЕ МИКРОВКЛЮЧЕНИЯ В САМОРОДНОМ ЗОЛОТЕ

Минеральные микровключения в самородном золоте несут важную дополнительную информацию об особенностях эндогенного оруденения. С помощью оптического микроскопа в шашках-аншлифах просмотрено более 1400 зерен самородного золота. В них обнаружено 113 включений рудных минералов, качественная диагностика которых проведена с использованием электронного сканирующего микроскопа. Размер минеральных включений варьирует от 5 до 80 мкм (рис. 4), среди них выявлены следующие минералы (в скобках приведено количество в шт.): пирит (34), арсенопирит (20), халькопирит (17), блеклая руда (10), теллуриды и минералы висмута (10), галенит (7), рутил (6), ковеллин (6), магнетит (2) и ильменит (1). Под теллуридами и минералами висмута мы объединяем колорадоит (HgTe), теллуrowисмутит (Bi₂Te₃), алтаит (PbTe), эмплектит (CuBiS₂). В некоторых случаях, в пределах отдельных зерен Au было встречено несколько микровключений, представленных разными минералами. Так, пирит часто ассоциирует с халькопиритом, тетраэдритом, арсенопиритом; магнетит ассоциирует с халькопиритом; галенит в отдельных случаях образует сростания и тесные связи с теллуридами.

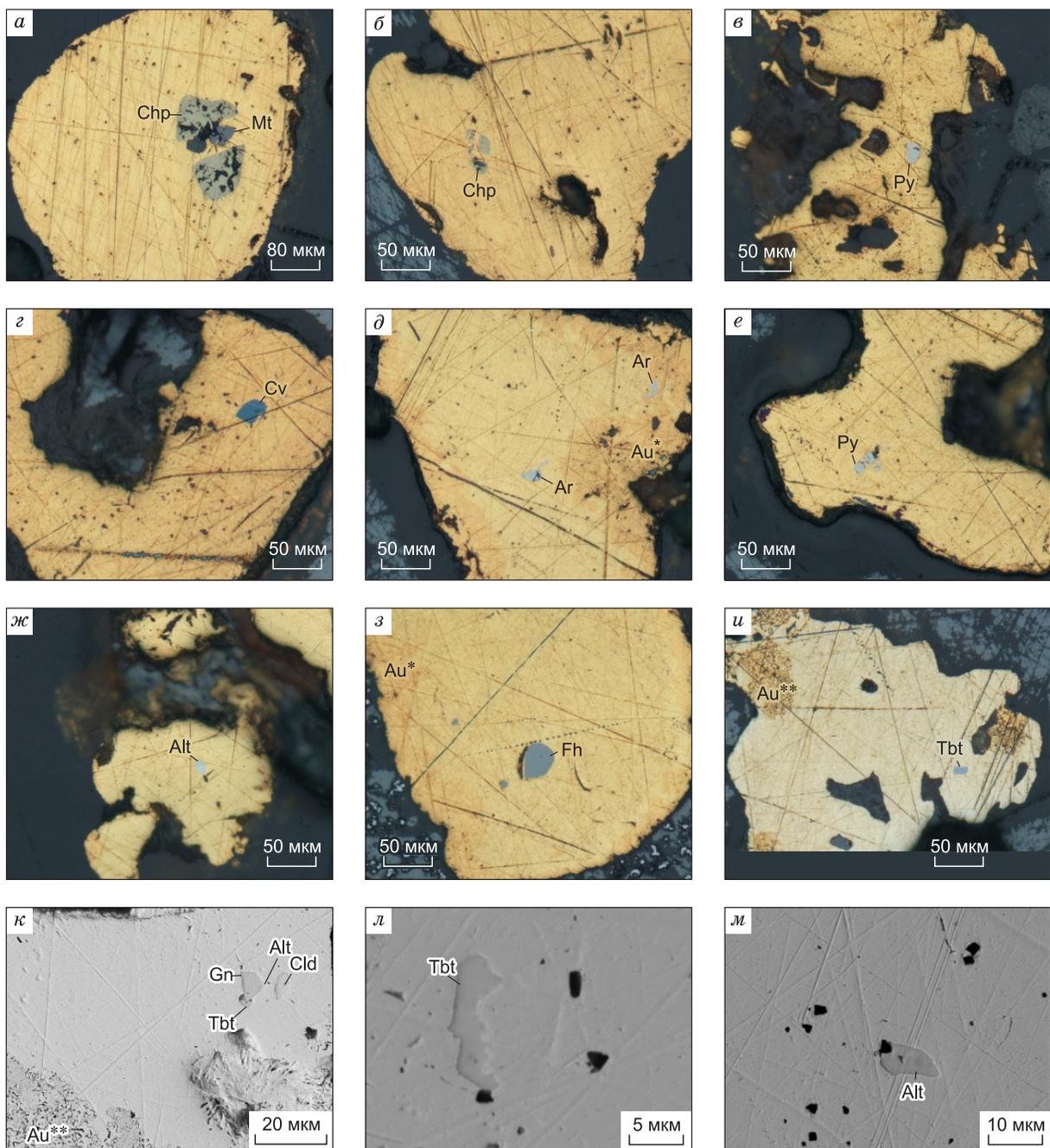


Рис. 4. Минеральные микровключения в самородном золоте, отнесенном по составу к I (а—г), II (д—ж) и V (и—м) типам.

Аббревиатура минералов: Chp — халькопирит, Mt — магнетит, Py — пирит, Cv — ковеллин, Ar — арсенопирит, Alt — алланит, Fh — блеклая руда, Tbt — теллурувисмутит, Gn — галенит, Cld — колорадоит, Au* — высокопробная гипергенная кайма, Au** — «губчатое» самородное золото, содержащее 6—9 мас. % ртути и образованное в результате демеркуризации ртутистого золота (до 24 мас. % Hg).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Выделение типов самородного золота по составу. При описании особенностей химического состава самородного золота отдельно по каждой россыпи предварительно выделены группы на основании содержания в нем серебра, наличия и уровней содержания в золоте примесей ртути и меди. Однако при этом не рассматривались взаимоотношения между Hg и Cu. Как видно из рисунков 3, А—Ж, во многих случаях содержание меди достигает 4 мас. %, а ртуть и вовсе может выступать в качестве основной

Типы самородного золота, выделяемые по его химическому составу

Тип золота	Пробность, %	Содержание примесей, мас.%			Минеральные микровключения
		Ag	Hg	Cu	
I	900—990	до 7	до 1	до 4	Халькопирит, пирит, магнетит, ильменит, рутил, ковелин
I-a*	800—900	до 9	~10	до 4	—
II	870—970	до 12	до 6—9	до 0.3	Пирит, арсенопирит, галенит, халькопирит, блеклая руда, теллуrowисмутит (Bi ₂ Te ₃), алтаит (PbTe)
II'	900—990	до 7	до 6—9	до 0.3	Пирит, арсенопирит, блеклая руда, колорадоит (HgTe), эмплектит (CuBiS ₂)
III	750—850	12—25	до 2—3	—	Пирит, арсенопирит, галенит, блеклая руда, халькопирит
III'	860—900	7—12	до 2—3	—	—
IV	500—750	25—50	до 1.5	—	Галенит
V*	550—850	до 27	10—25	до 0.2	Алтаит (PbTe), колорадоит (HgTe), галенит, теллуrowисмутит (Bi ₂ Te ₃)
V**	700—900	до 7	10—25	до 0.2	—

* Типы самородного золота, встречающиеся исключительно в коренных источниках и коре выветривания.

легирующей примеси. Анализ взаимосвязей повышенных содержаний Hg и Cu в составе самородного золота позволяет судить об отсутствии корреляции между этими элементами (рис. 5). Самородное золото, характеризующееся содержанием меди более чем 0.2—0.3 мас. %, как правило, содержит ртуть до 1 мас. % (см. рис. 5, а—в). В ртутистом самородном золоте (Hg более 0.5—1 мас. %), напротив, значимых концентраций меди не обнаруживается (см. рис. 5, а, в, д). С учетом содержаний Ag, Hg и Cu в Au, мы выделяем несколько типов самородного золота россыпей, коренных источников и кор выветривания (таблица).

Самородное золото аллювиальных россыпей. Тип I выделяется по совокупности таких параметров, как высокая пробность (900—990 ‰), невысокие концентрации ртути (до 1 мас. %) и постоянная примесь меди, достигающая 4 мас. %. Содержание серебра, в зависимости от концентрации меди, варьирует от 0 до 7 мас. %. Золото этого типа имеет максимальное распространение в россыпях Крохалеvского участка Иковского россыпного поля (см. рис. 3).

Тип II является, пожалуй, наиболее распространенным типом самородного золота в Егорьевском золотоносном районе. Данный тип является доминирующим в количественном отношении как в россыпях, так и в золотоносных метасоматитах (см. рис. 3, А—В, Д, Ж). В основу выделения этого типа положена высокая пробность (870—970 ‰), незначительная примесь меди (до 0.3 мас. %, а чаще ниже предела обнаружения) и постоянная повышенная ртутистость самородного золота, достигающая в отдельных зернах 6—9 мас. %. Количество серебра, как правило, не превышает 12 мас. %.

Тип III выделяется с определенной условностью. Самородное золото, объединенное нами в эту группу, характеризуется средней пробностью (750—850 ‰), низкими содержаниями меди (до 0.3 мас. %, при частом ее отсутствии) и невысокими содержаниями ртути (до 2—3 мас. %). То есть, пробность самородного золота фактически определяется примесью серебра, находящейся на уровне 12—25 мас. %. Этот тип, подобно типу II, описанному выше, весьма широко распространен в россыпях и коренных месторождениях золота (см. рис. 3, А—В, Д, Ж). Хотя количественно он резко подчинен второму типу, всегда проявляется совместно с ним.

Подтипы II' и III' выделены в отдельные группы на основании более высокой пробности (коррелирующей с более низкими содержаниями серебра) при сохранении уровня концентраций меди и ртути в сравнении с типами II и III соответственно. Распространено такое самородное золото в золотоносных корах выветривания и россыпях Суенгинского россыпного поля, «питающихся» за счет кор выветривания (см. рис. 3, Г, Е).

Тип IV является самым низкопробным типом самородного золота. Развит он в резко подчиненном количестве. Пробность самородного золота IV типа составляет от 500 до 750 ‰, при полном отсутствии в составе меди и невысоких (до 1.5 мас. %) содержаниях ртути. Самородное золото такого состава в значимом количестве было встречено только в россыпях по рекам Листвянка и Бол. Еловка (см. рис. 3, Б), берущих свое начало в районе распространения пород печеркинской свиты нижнего кембрия.

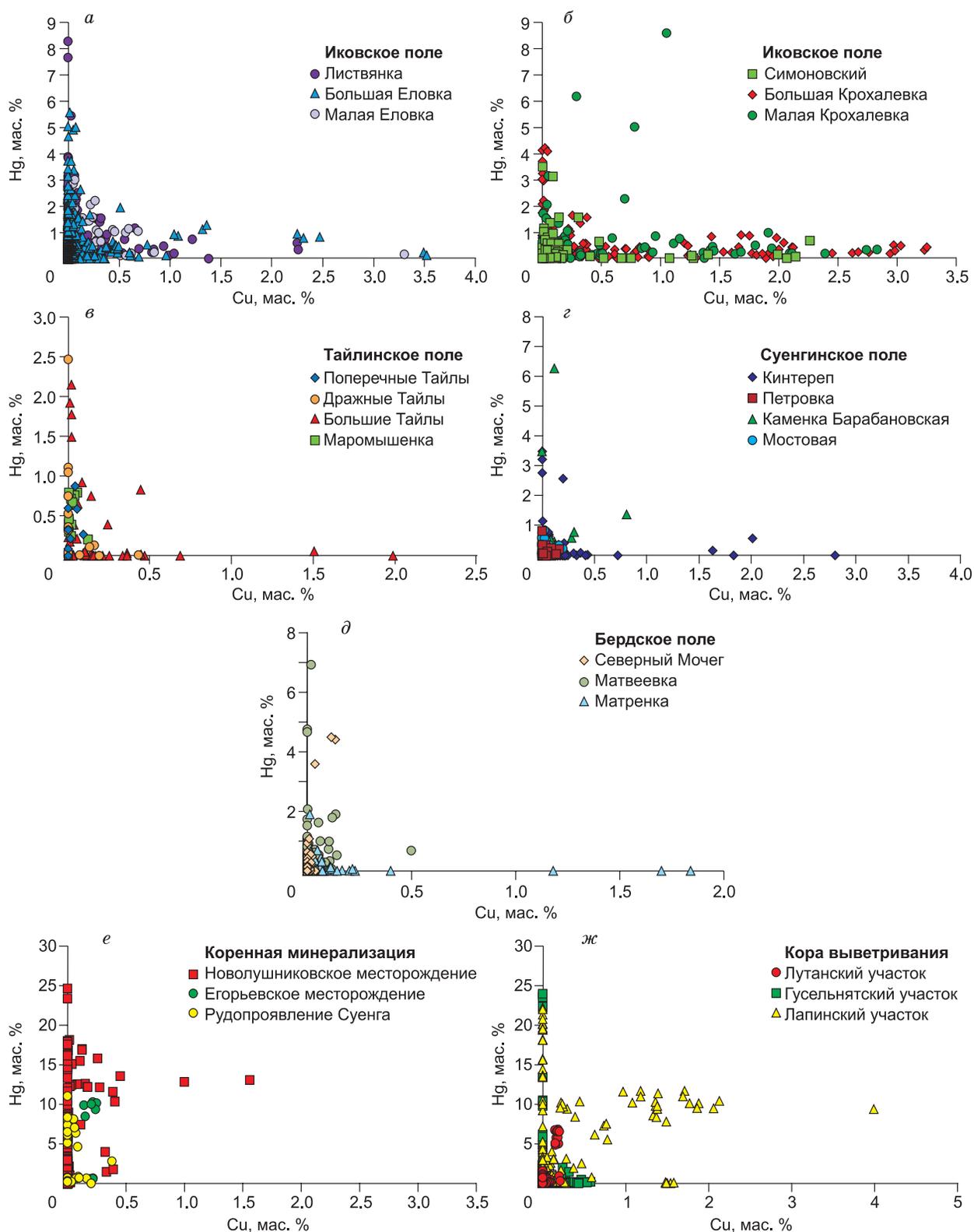


Рис. 5. Соотношение содержания Cu и Hg в составе самородного золота из россыпей, коренных источников и коры выветривания:

a — Еловский участок Иковского россыпного поля; *б* — Крохалеvский участок Иковского россыпного поля; *в* — Тайлинское россыпное поле; *з* — Суенгинское россыпное поле; *д* — Бердское россыпное поле; *е* — коренная золоторудная минерализация; *ж* — кора выветривания.

Самородное золото коренных источников и кор выветривания. Тип I-а развит подчиненно и не встречается среди самородного золота из аллювиальных россыпей. Выделяется данный тип самородного золота по совокупности повышенных содержаний меди (до 4 мас. %) и ртути (на уровне 10 мас. %) (см. рис. 5, *e, ж*). Содержание серебра достигает 9 мас. %, а пробность варьирует от 800 до 900 ‰ в зависимости от количества примесей. Данное самородное золото было выявлено среди метасоматитов Новолушниковского и Егорьевского месторождений, в пункте минерализации Суенга, а также в корях выветривания Лапинского участка (см. рис. 3, *E, Ж*).

Тип V, пожалуй, самый специфический тип самородного золота. Его выделение базируется на «аномально» высокой концентрации ртути, находящейся на уровне 10—25 мас. %. Медь в составе такого самородного золота в значимых количествах не выявлена. Содержание серебра также изменяется в широком диапазоне, от нулевых значений до 27 мас. %. Пробность самородного золота, определяющаяся не только примесью серебра, но и ртути, составляет широкий диапазон от 550 до 850 мас. %. Примечательно, что V тип самородного золота встречается только в рудах Новолушниковского месторождения (см. рис. 3, *Ж*), т.е. его природное происхождение не ставится под сомнение. Интересным фактом также является полное его отсутствие среди россыпного золота. Причины этого будут рассмотрены ниже.

Подтип V', подобно подтипам II' и III', выделен в самостоятельную группу от типа V на основании более низкого содержания серебра (до 7 мас. %), при сохранении уровня концентраций меди (до 0.2 мас. %) и, в особенности, ртути (10—25 мас. %). Такое самородное золото распространено в отложениях золотоносных кор выветривания Гусельнятского и Лапинского участков (см. рис. 3, *E*). Однако самородного золота в россыпях, «питающихся» в районе распространения кор выветривания, встречено не было.

Выделенные нами типы носят весьма условный характер. Один тип нередко перекрывается по своим характеристичным параметрам с другим. Порой не очевидно согласование границ состава конкретного типа с результатами анализов зерен по конкретным россыпям. Кроме того, остается часть самородного золота, отнесение которого к какому-либо определенному типу весьма затруднительно ввиду отсутствия примесей меди и ртути. Так, например, самородное золото с пробностью порядка 950 ‰, обусловленной только содержанием 5 мас. % серебра, может быть отнесено как к типу I, так и к типу II.

Наиболее распространенными типами самородного золота в россыпях Егорьевского района являются I и II. Так как выделение первого типа базируется на высокой пробности самородного золота, в совокупности со значимыми содержаниями меди, а второго — на средней, до высокой, пробности в сочетании с примесью ртути, то, учитывая факт дискретного поведения Hg и Cu, были построены треугольные диаграммы в координатах Au—Ag·10—Cu·100 и Au—Ag·10—Hg·100 (см. рис. 6). На этих диаграммах вынесены поля составов I и II типов самородного золота.

На диаграммах видно, что максимальное распространение медьсодержащего самородного золота первого типа присуще Крохалевскому участку Иковского россыпного поля (см. рис. 6, *A, б*). Менее распространено оно в россыпях Еловского участка (*a*), а в пределах Тайлинского, Бердского и Суенгинского россыпных полей, а также в известных коренных источниках и корях выветривания оно распространено в резко подчиненном количестве (*в—ж*). В противоположность такой закономерности распространено ртутьсодержащее самородное золото II типа. Максимум такого золота отмечается в россыпях Еловского участка Иковского россыпного поля (см. рис. 6, *B, a*). Кроме того, подавляющее большинство самородного золота из россыпей Тайлинского и Бердского россыпных полей также соответствует этому типу (*в, з*). Примечательно, что большинство анализов самородного золота из коренных источников также попадает в этот тип (*д*). В то же время значительная часть точек состава самородного золота из кор выветривания и россыпей Суенгинского поля лежит ниже границы состава II типа и смещено в стороны более высокой пробности и пониженного содержания серебра (*e, ж*).

Минеральные микровключения в разных типах самородного золота. Увязка микровключений в самородном золоте с особенностями его состава (в контексте разбраковки по типам и подтипам) позволила выделить устойчивые минеральные ассоциации. Так, для медьсодержащего самородного золота I типа наиболее характерны халькопирит, пирит, магнетит, ильменит, рутил и ковеллин (см. таблицу, рис. 4, *a—г*). Минеральные включения в ртутьсодержащем самородном золоте II типа представлены пиритом, арсенопиритом, галенитом, блеклыми рудами, реже халькопиритом (*д, e, з*). Кроме того, были встречены единичные включения теллуридов висмута и свинца (*ж*). В самородном золоте подтипа II' были выявлены включения пирита, арсенопирита, блеклой руды, а также единичные включения колорадоита и эмплектита. Схожим минералогическим составом характеризуются ассоциация микровключений в самородном золоте III типа — преобладают пирит, арсенопирит, блеклая руда, реже встречаются галенит и халькопирит. IV тип самородного золота содержит единичные включения галенита. Более информативным оказались включения в самородном золоте V типа, из метасоматитов Новолушниковского месторождения (*и—м*). Среди минералов-включений были диагностированы теллуриды свинца (алтаит), ртути (колорадоит) и висмута (теллуровисмутит), аналогичные минеральным микровключениям в самородном золоте II типа.

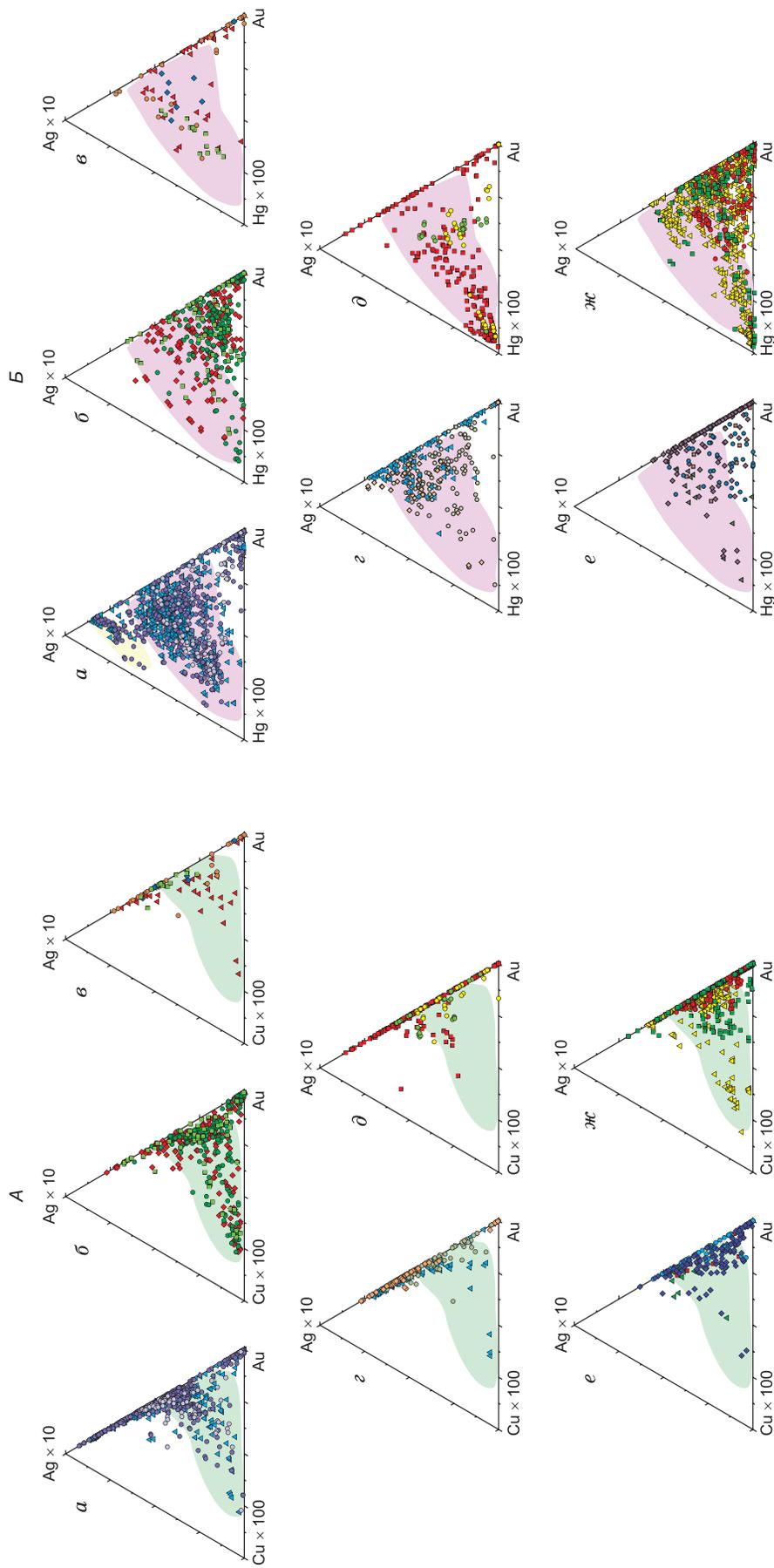


Рис. 6. Треугольные диаграммы в координатах Au—Ag·10—Cu·100 (А) и Au—Ag·10—Hg·100 (Б) составов самородного золота из россыпей, коренных источников и коры выветривания:

a — Еловский участок Иковского россыпного поля; *б* — Крохалецкий участок Иковского россыпного поля; *в* — Тайлинское россыпное поле; *г* — Бердское россыпное поле; *д* — коренная золоторудная минерализация; *е* — Суенгинское россыпное поле; *ж* — коры выветривания. Цветом залита область состава медьсодержащего самородного золота I типа (А) и область состава ртутисодержащего самородного золота II и III типов (Б). Усл. обозн. см. на рис. 5.

Возможные коренные источники выделяемых типов самородного золота. Анализ геологической обстановки районов питания россыпей, химический состав золота и минеральный состав микровключений в нем в сопоставлении с данными по аналогичным характеристикам самородного золота из известных месторождений позволил предположить следующие коренные источники для каждого из выделяемых типов самородного золота. Так, самородное золото IV типа сопоставляется с таковым из золото-барит-полиметаллических месторождений Северо-Восточного Салаира. На Июньском, по данным [Аляжкин, 2010], выделяются два типа самородного золота с пробностью 600—699 и 800—899 ‰, а по более поздним [Аляжкин, 2012] — преобладает 580—630, присутствуют 860—870 и 960—970 ‰, а также небольшая примесь ртути в золоте. Низкопробное (< 750 ‰) золото преобладает и в рудах Салаирского месторождения. Данное сопоставление дополнительно подкрепляется следующими фактами: 1) самородное золото IV типа встречается только в россыпях, берущих свое начало в районе распространения печеркинской свиты нижнего кембрия, в которой известны золотосодержащие полиметаллические рудопроявления [Минерагения..., 2001]; 2) в самородном золоте IV типа были встречены микровключения только галенита (см. таблицу), что не характерно для золота других типов и не противоречит минеральному составу первичных руд.

Самородное золото II и III типов является наиболее распространенным в россыпях Егорьевского района, а также представляет собой «основное» золото из метасоматитов березитового состава на Новолушниковском и Егорьевском месторождениях. Исходя из этого, золотоносные метасоматиты, подобные тем, что проявлены на известных рудных объектах, предполагаются нами в качестве основного коренного источника для питания россыпей. Постоянное сосуществование самородного золота II и III типа, а также сопоставимое их количественное соотношение между собой, позволяет предположить, что оба типа являются результатом единого рудного процесса, а разброс пробности и количества ртути может отражать стадийность оруденения. В пользу такой трактовки свидетельствует и схожесть минерального состава микровключений в самородном золоте.

Присутствие медьсодержащего золота I типа в Егорьевском районе, вероятно, обусловлено высокой насыщенностью разреза телами метаморфизованных габбро и диоритов мощностью от нескольких до 100 и более метров [Объяснительная записка..., 2001]. С интрузиями этого комплекса генетически и пространственно связано золотое оруденение Салаира, которое может локализоваться и прямо в них [Золотоносность..., 1995]. Коренной источник самородного золота I типа может быть представлен золотоносными метасоматитами лиственитового состава, преимущественно развивающимися по широко распространенным в районе диоритам Тайлинского комплекса, как это имеет место, например, на Лапинском участке Егорьевского месторождения. Малые тела измененных диоритов достоверно установлены также непосредственно в плотике россыпи кл. Симоновский (Крохалевский участок Иковского россыпного поля). Специфический минеральный состав микровключений (существенное преобладание халькопирита, часто в сростании с магнетитом, а также наличие единичных включений ильменита, рутила) в золоте I типа наглядно подтверждает такой вывод. По литературным данным, самородное золото с высоким содержанием Cu (более 2—3 мас. %) встречается редко и характерно для гидротермальных систем в базит-гипербазитовых комплексах [Мурзин, 2010]. Высокой смесимости Au, Ag и Cu способствует высокая температура кристаллизации золота. При снижении температуры область смесимости Au, Ag и Cu резко сужается, однако проявляется даже при 300 °C и ниже, содержание Cu в золоте при этом составляет менее 1 мас. % [Мурзин, 2010]. Золото магнетит-хлорит-карбонатных метасоматитов Карабашского массива (Урал), образованных при 380—430 °C, содержит не более 3 мас. % Cu [Мурзин, 2010]. Температура образования золотоносных слюдястых метасоматитов Егорьевского месторождения оценивается в 350—400 °C [Золотоносность..., 1995], что не противоречит имеющемуся уровню содержания Cu в Au. Медьсодержащее золото (как правило, до 1 % Cu в Au) встречается и на месторождениях медно-скарнового типа. Например, в постскарновых гидротермально измененных рудах Синюхинского месторождения (Алтай) с температурами отложения, не превышающими 350 °C [Гаськов и др., 2010], в апоскарновых пропилитах Шиловского месторождения (Урал) [Дворник, 2011] встречается золото с небольшой (до 0.8 мас. %) примесью меди, на Натальевском месторождении (Кузнецкий Алатау) содержание Cu в Au еще ниже — до 0.3 мас. %. Медьсодержащее золото может образовываться и в рудных ассоциациях, связанных с медно-колчеданным оруденением, так как химический состав золота зависит от вмещающей оруденение среды и одним из определяющих факторов образования медьсодержащего золота является повышенный геохимический фон меди [Гаськов, 2017]. В пределах Крохалевского участка известны пункты минерализации как собственно медные, так и золото-медные. Так, пункт минерализации Вязкий (см. рис. 2, № 2) представлен кварц-карбонатной жилой мощностью 10 см с халькопиритом, гематитом, магнетитом. Содержание золота достигает — 2 г/т, а меди — до 2.3 % [Минерагения..., 2001].

Примечательно, что при существенной статистической представительности самородного золота из большого количества россыпей, среди нескольких тысяч анализов не удалось обнаружить самород-

ное золото V типа, характерной особенностью которого является аномально высокая примесь ртути, достигающая 24 мас. %. Такая закономерность, вероятно, связана с процессами демеркуризации самородного золота в условиях аллювиальной россыпи. При этом происходит существенная потеря ртути, а остаточное самородное золото приобретает новые типохимические характеристики. Так, зерна самородного золота, отобранные из отвала шахты на Новолушниковском месторождении, характеризуются оторочкой из «губчатого золота» (см. рис. 4, и, к). При этом центральная часть зерна содержит примесь ртути до 20—24 мас. %, а новообразованное «губчатое» золото характеризуется уже уровнем ее концентрации до 9 мас. %. Из архивных документов известно, что месторождение было открыто в 1895 г., т. е. зерна самородного золота пребывали в поверхностных условиях не более 120 лет, что, с точки зрения геологического времени, весьма мало. Логично предположить, что ртутистое самородное золото, попав из коренного источника в россыпь, с течением времени теряло ртуть, а образующаяся кайма в динамических условиях россыпи развальцовывается. При некоторой потере Hg состав преобразованного золота V типа становится идентичным II или III типу, в зависимости от первоначального количества серебра в нем. Такой вывод косвенно подтверждается и перекрывающимся минеральным составом микровключений в золоте этих типов, в особенности наличием включений теллуридов Hg, Bi, Pb.

Подтипы II', III' и V' отличны от соответствующих основных типов только более низким содержанием серебра. Такое самородное золото встречается только в золотоносных корах выветривания, а также в россыпях, «питающихся» за их счет. Эта закономерность изменения пробности при переходе в системе коренной источник—кора выветривания многократно отмечалась ранее [Нестеренко, 1991; Золотоносность..., 1995]. Однако применительно к объектам Егорьевского рудно-россыпного района она была объяснена не только гипергенным выщелачиванием примесей, но и тем, что концентрации золота в корах выветривания в значительной степени сформированы за счет разрушения золотоносных кварцевых жил со стабильно более высокопробным, чем в метасоматитах золотом. В рамках проведенных нами исследований и обобщения имеющихся материалов такая трактовка может быть поставлена под сомнение, поскольку в условиях коры выветривания золотоносные метасоматиты через зону сапролитов полностью и легко переходят в структурный элювий [Золотоносность..., 1995; Минерагенез..., 2001], тогда как кварцевые жилы в значительно меньшей степени подвержены процессам химического изменения. Мы предполагаем, что в условиях коры выветривания самородное золото избирательно теряет часть серебра при сохранении уровня содержания меди и ртути. Явления селективного выноса серебра в обстановках коры выветривания при постоянстве концентрации Hg и Cu, упоминаются в работах [Santosh, 1994; Nakagawa et al., 2005]. Такое предположение, очевидно, требует дальнейших исследований и на данном этапе является лишь теорией, нуждающейся в доказательной базе. Мы не ставим под сомнение, что в краевых частях многих золотин в условиях коры выветривания происходит полное выщелачивание как Hg, так и Ag [Золотоносность..., 1995]. Наши заключения базируются на этой общей закономерности увеличения пробности самородного золота в системе коренной источник—кора выветривания за счет потери преимущественно серебра.

Таким же сложным и длительным процессом гипергенного преобразования эндогенного самородного золота можно объяснить факт отсутствия в россыпях золота типа I-a. Самородное золото, содержащее значимые примеси как меди, так и ртути, в динамических условиях аллювиальной транспортировки могло терять примесь Hg, что приводило к «совмещению» полей составов золота типов I-a и I.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Химический состав самородного золота определяется формационным типом оруденения и его минералого-геохимическими особенностями. Полученные данные по составу золота россыпей Егорьевского района подтверждают тезис о том, что питающее их эндогенное золотое оруденение на Салаире полигенно [Золотоносность..., 1995] и представлено не только золото-кварцевым жильным и золотосодержащим полиметаллическим типами, но и золото-сульфидно-кварцевым жильно-штокверковым, включающим в себя кварцевые, кварц-карбонатные жильные тела и метасоматиты с прожилково-вкрапленной минерализацией. Золотосодержащее полиметаллическое оруденение, распространенное в вулканогенно-осадочных породах печеркинской свиты, само по себе мало участвует в питании россыпей из-за преобладающего тонкого золота, не образующего россыпи.

Состав золота россыпей Егорьевского района отражает множественность источников питания, среди которых преобладают золотоносные метасоматиты листовитового и березитового состава. В коренных источниках и россыпях преобладает высокопробное и ртутьсодержащее самородное золото. Средне- и низкопробное распространено в подчиненном и резко подчиненном количестве, особенно в россыпях. Характерной, редко встречающейся в других районах особенностью золота является постоянное, а часто и одновременное присутствие в его составе значимых примесей ртути и меди. По особенностям химизма самородного золота, минерального состава микровключений и общей геологической обстановки нами

предполагается существование нескольких типов самородного золота, в разной степени распространенных в россыпях, в коренной минерализации, а также в золотоносных корах выветривания.

Важное практическое значение имеет возможность прогнозирования золотого оруденения по выявленным минералого-геохимическим признакам золота россыпей. Наиболее распространенными типами самородного золота, повсеместно преобладающими в россыпях, являются II и III, коренным источником для которых являются метасоматиты безрезитового состава. Локально распространен I тип медьсодержащего золота, особенно на Крохалевском участке Иковского россыпного поля, коренным источником для которого являются, вероятно, метасоматиты лиственитового типа, развитые преимущественно по телам малых интрузий основного состава или, возможно, жильно-штокверковое оруденение, наложенное на медно-колчеданное золотосодержащее. Средне- и низкопробное золото III и IV типов более всего распространено в Иковском россыпном поле, особенно на Еловском участке, что указывает на связь с известным колчеданно-полиметаллическим золотосодержащим оруденением, приуроченным к печеркинской свите. В Тайлинском и Бердском россыпных полях, несмотря на присутствие в первом колчеданно-полиметаллических рудопроявлений (см. рис. 2), в россыпях практически отсутствует золото с пробностью менее 750 ‰ (IV тип), что пока не имеет объяснения и требует дальнейшего изучения. За исключением этого типа, золото россыпей Тайлинского поля по составу наиболее близко золоту Иковского, а Бердского — золоту Суенгинского, в котором сосредоточено подавляющее большинство рудопроявлений золото-(сульфидно)-кварцевого типа, известных в Егорьевском районе.

Отсутствие в россыпях самородного золота с высокими содержаниями ртути, широко распространенного в коренных источниках, а также в корах выветривания, объясняется нами существенной потерей золотом ртути, основное количество которой теряется после высвобождения золота из кор выветривания, при аллювиальном переносе. Несоответствие состава самородного золота в коре выветривания и золотоносных метасоматитах, выступающих в качестве протолита, может быть следствием избирательного выщелачивания серебра при сохранении уровней содержаний ртути и меди. Однако во многих аспектах гипергенного преобразования самородного золота еще только предстоит разобраться.

Авторы выражают благодарность сотруднику ИГМ СО РАН инженеру Л.П. Бобошко за предоставленные фактические и аналитические данные по россыпной и коренной золотоносности Егорьевского рудно-россыпного района.

Работа выполнена в рамках Государственного задания, проект № 0330-2016-0001.

ЛИТЕРАТУРА

Алямкин А.В. Золотоносность кор выветривания Июньского месторождения (Восточный Салаир) // Материалы XIV международного совещания по геологии россыпей и месторождений кор выветривания. Новосибирск, Изд-во ООО «Апельсин», 2010, с. 44—50.

Алямкин А.В. Июньское месторождение золота в коре выветривания (Восточный Салаир) // Вестник ТГУ, 2012, № 355, с. 144—147.

Беневольский Б.И. Золото России: проблемы использования и воспроизводства минерально-сырьевой базы. М., ЗАО «Геоинформарк», 2002, 464 с.

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.

Гаськов И.В., Борисенко А.С., Бабич В.А., Наумов Е.А. Стадийность и длительность формирования золоторудной минерализации на медно-скарновых месторождениях (Алтае-Саянская складчатая область) // Геология и геофизика, 2010, т. 51 (10), с. 1399—1412.

Геологическое строение и полезные ископаемые Западной Сибири. Т. II. Полезные ископаемые / Под ред. Н.А. Рослякова, В.Г. Свиридова. Новосибирск, Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГМ СО РАН, 1998, 254 с.

Геологическое строение и полезные ископаемые Западной Сибири. Т. I. Геологическое строение / Под ред. А.В. Каныгина, В.Г. Свиридова. Новосибирск, Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГМ СО РАН, 1999, 228 с.

Гермаханов А.А., Зайцев А.И., Исаков А.В., Кудирмеков А.А., Максимов А.П. Минерально-сырьевая база Республики Алтай, Алтайского края, Кемеровской, Новосибирской и Омской областей // Разведка и охрана недр, 2017, № 3, с. 7—17.

Дворник Г.П. Морфологические особенности и состав самородного золота из окисленных руд основных формационных типов золоторудных и золотосодержащих месторождений Урала // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского. Пермь, 2011, с. 151—158.

Золотоносность кор выветривания Салаира / Н.А. Росляков, Г.В. Нестеренко, Ю.А. Калинин, И.П. Васильев, А.И. Неволько, Н.В. Рослякова, С.Р. Осинцев, В.Г. Свиридов, В.В. Колпаков, Л.П. Бошко. Новосибирск, Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГТМ СО РАН, 1995, 170 с.

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

Лаломов А.В., Бочнева А.А., Чефранов Р.М., Чефранова А.В. Россыпные месторождения Арктической зоны России: современное состояние и пути развития минерально-сырьевой базы // Арктика: экология и экономика, 2015, № 2 (18), с. 66—77.

Минерагения зоны сочленения Салаира и Колывань-Томской складчатой зоны / Н.А. Росляков, Ю.Г. Щербаков, Л.В. Алабин, Г.В. Нестеренко, Ю.А. Калинин, Н.В. Рослякова, И.П. Васильев, А.И. Неволько, С.Р. Осинцев. Новосибирск, Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2001, 243 с.

Мурзин В.В. Химический состав самородного золота как показатель условий его отложения (на примере Урала) // Металлогения древних и современных океанов. Миасс, ИМин УрО РАН, 2010, с. 155—159.

Нестеренко Г.В. Прогноз золотого оруденения по россыпям. Новосибирск, Наука, 1991, 200 с.

Нестеренко Г.В., Колпаков В.В. Мелкое и тонкое золото в аллювиальных автохтонных россыпях юга Западной Сибири // Геология и геофизика, 2007, т. 48 (10), с. 1009—1027.

Нестеренко Г.В., Грицюк Я.М., Осинцев С.Р. Новое в изучении погребенных россыпей золота на Салаирском кряже // Проблемы континентального россыпеобразования. Владивосток, 1984, с. 225—234.

Нестеренко Г.В., Калинин Ю.А., Колпаков В.В. Эволюция россыпеобразования в полизональных ландшафтах // Геодинамика, магматизм и минерагения континентальных окраин севера Пацифики. Магадан, 2003, с. 229—232.

Объяснительная записка к Государственной геологической карте Российской Федерации м-ба 1:200 000. Издание второе. Серия Кузбасская, лист N-45-ХIII / В.И. Беляев, В.В. Нечаев, В.Б. Дергачев, А.Н. Зудин, Ю.Г. Дагаев. Новосибирск, Департамент природных ресурсов по Сибирскому региону ФГУП «Новосибирская геолого-поисковая экспедиция», 2001, 275 с.

Рослякова Н.В., Щербаков Ю.Г., Агеев Н.Ф., Портяников Д.И., Бортникова С.Б., Радостева Н.Е. Условия золотоносности колчеданно-полиметаллических месторождений // Условия образования, принципы прогноза и поисков золоторудных месторождений. Новосибирск, Наука, 1983, с. 31—65.

Chapman R.J., Mortensen J.K. Characterization of gold mineralization in the Northern Cariboo Gold District, British Columbia, Canada, through integration of compositional studies of lode and detrital gold with historical placer production: A template for evaluation of orogenic gold districts // Econ. Geol., 2016, v. 111, p. 1321—1345.

Chapman R.J., Leake R.C., Moles N.R., Earls G., Cooper C., Harrington K., Berzins R. The application of microchemical analysis of gold grains to the understanding of complex local and regional gold mineralization: A case study in Ireland and Scotland // Econ. Geol., 2000, v. 95, p. 1753—1773.

Chapman R.J., Leake R.C., Bond D.P.G., Stedra V., Fairgrieve B. Chemical and mineralogical signatures of gold formed in oxidizing chloride hydrothermal systems and their significance within populations of placer gold grains collected during Reconnaissance // Econ. Geol., 2009, v. 104, p. 563—585.

Chapman R.J., Mortensen J.K., Crawford E.C., Lebarge W. Microchemical studies of placer and lode gold in the Klondike District, Yukon, Canada: 1. evidence for a small, gold-rich, orogenic hydrothermal system in the Bonanza and Eldorado Creek area // Econ. Geol., 2010, v. 105, p. 1369—1392.

McTaggart K.C., Knight J. Geochemistry of lode and placer gold of the Cariboo District, BC / British Columbia Ministry of Energy, Mines and Petroleum Resources, Open File 1993-30, 25 p.

Nakagawa M., Santosh M., Nambiar C.G., Matsubara C. Morphology and chemistry of placer gold from Attappadi Valley, Southern India // Gondwana Res., 2005, v. 8, № 2, p. 213—222.

Potter M., Styles M.T. Gold characterization as a guide to bedrock sources for the Estero Hondo alluvial gold mine, western Ecuador // Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy (Section B, Appl. Earth Sci.), 2003, v. 112, p. 297—304.

Santosh M. Gold-silver decoupling in weathering front: implications for gold exploration in lateritic terrains // J. Geol. Soc. India, 1994, v. 43, p. 51—65.

Townley B.K., Herail G., Maksaev V., Palacios C., de Parseval P., Sepulveda F., Orellana R., Rivas P., Ulloa C. Gold grain morphology and composition as an exploration tool: Application to gold exploration in covered areas // Geochem. Explor. Environ. Anal., 2003, v. 3, p. 29—38.