

### Типоморфные особенности золота как критерии связи россыпей с коренными источниками золото-серебряного типа (на примере рудно-россыпного узла Многовершинное)

С.В.ЯБЛОКОВА<sup>1</sup>, Г.Г.САМОСОРОВ<sup>2</sup>, Н.Н.ПОЗДНЯКОВА<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов» (ФГБУ «ЦНИГРИ»); 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 129, корп. 1,

<sup>2</sup>Институт криминалистики Центра специальной техники ФСБ России (г. Москва)

Для установления связи россыпей с коренными источниками проведено комплексное изучение самородного золота (гранулометрия, кристалломорфология, внутреннее строение, характер экзогенных преобразований, пробность, элементный микропримесный состав) из руд и россыпей золотоносного узла Многовершинное. Методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой и рентгеноспектрального анализа получены новые данные о геохимических особенностях золота, расширяющие и уточняющие представление о типоморфизме золота коренного источника золото-серебряного месторождения и его связи с россыпями.

*Ключевые слова:* самородное золото, рудное тело, россыпи, типоморфизм.

Яблокова Светлана Васильевна  
кандидат геолого-минералогических наук

Самосоров Георгий Германович  
кандидат геолого-минералогических наук



Позднякова Наталья Николаевна  
кандидат геолого-минералогических наук

natali-silver@bk.ru

### Typomorphic gold features as criteria of placer association with primary gold-silver-type sources (example from Mnogovershinnoye ore placer cluster)

S.V.YABLOKOVA<sup>1</sup>, G.G.SAMOSOROV<sup>2</sup>, N.N.POZDNYAKOVA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals,

<sup>2</sup>Institute of criminalistics Of the center for special equipment of the FSB of Russia

A comprehensive study of native gold from Mnogovershinnoye gold cluster ores and placers (granulometry, crystal morphology, internal structure, nature of exogenetic transformations, fineness and trace element composition) was performed to define placer association with primary sources. Using ICP-MS method and X-ray spectrographic analysis, new data on geochemical gold features was obtained, which expands and clarifies the evidence of gold typomorphism from a gold-silver deposit primary source and its association with placers.

*Key words:* native gold, orebody, placers, typomorphism.

Основными коренными источниками россыпной золотоносности служат золото-кварцевые и золото-сульфидно-кварцевые месторождения. Россыпеобразующий потенциал золото-серебряных месторождений незначителен, поэтому представляет интерес рассмотрение источников питания россыпей, расположенных в пределах рудного поля золото-серебряного месторождения Многовершинное.

**Геолого-минералогическая характеристика месторождения.** Месторождение Многовершинное (Нижне-Амурский рудный район, Хабаровский край) приурочено к Восточно-Сихотэ-Алиньской металлогенической зоне, соответствующей Приморскому поздне меловому–палеогеновому вулканоплутоническому поясу. Рудное поле месторождения расположено в пределах Ульской вулканоплутонической

структуры у северного окончания Восточно-Сихотэ-Алиньского пояса в области пресечений региональных разломов меридионального, северо-восточного и широтного направлений [2].

Структура рудного поля двухъярусная. Нижний ярус образован складчатыми осадочными породами нижнего мела (песчаники, аргиллиты, алевролиты). Верхний ярус представлен вулканитами палеоценового возраста преимущественно жерловой и субвулканической фаций (брекчиевые лавы андезитов, андезиты, андезитодациты, туфы). Оба структурных комплекса прорваны гринитоидами крупного Бекчи-Ульского массива, у северо-западного контакта которого расположено месторождение. На контакте с гранитоидами песчано-глинистые породы превращены в роговики пироксен-полевошпатового, кварц-кордиеритового и кварц-биотитового составов, а вулканиты – в кварц-биотитовые и альбит-эпидот-актинолитовые породы.

Рудное поле имеет сложное блоковое строение, обусловленное неоднократно подновляющимися разрывами северо-восточного и северо-западного простираний. Выделяются два блока – Западный и Восточный, различающиеся по строению, рудонасыщенности, степени эродированности.

Рудные тела представлены кварцевыми жилами, зонами брекчий и кварцевых прожилков, развитыми в пределах мощных жилообразных крутопадающих тел кварцевых и кварц-серицитовых метасоматитов. Выделено несколько десятков рудных тел, из которых наиболее продуктивные – Верхнее, Центральное, Оленье, Северное и др. Типичными и хорошо изученными являются рудные тела Верхнее и Центральное. Вмещающие породы – гидротермально-изменённые брекчиевые лавы и туфы андезитов, а на глубоких горизонтах – песчано-глинистые породы. Общая длина залежей, включая слабо-золотоносный кварц, составляет около 3 км. Вертикальный размах оруденения – около 500 м. Рудные тела прорваны многочисленными дайками.

Формирование рудных тел происходило в результате пространственного совмещения минерализации трёх этапов – раннего гидротермального, скарнового и позднего гидротермального с элементами редкометалльного оруденения [5].

На первом этапе образовались мощные жилородные тела, содержащие золотое оруденение. Минерализация второго и третьего этапов локализована преимущественно в пределах золоторудных тел первого этапа. Ранний гидротермальный этап представлен двумя стадиями – золото-кварцевой и золото-карбонат-кварцевой, в течение которых сформировались несколько минеральных ассоциаций, в том числе две продуктивные: первая основная продук-

тивная – золото-халькопирит-блэкклорудная первой стадии, вторая продуктивная – золото-кварц-сфалерит-теллуридная второй стадии.

Золото первой продуктивной минеральной ассоциации часто локализуется в кварце; в рудных минералах оно находится вместе с халькопиритом и блёклыми рудами, реже – с галенитом, сфалеритом, пиритом, замещает сульфиды и блёклые руды, иногда образует золото-халькопиритовые вросстки в сфалерите.

Размеры выделений самородного золота варьируют в пределах 0,02–0,1 мм; встречаются более крупные (2–3 мм) образования. Отмечаются также крупные ветвящиеся дендритовидные прожилки, сопровождающиеся каплевидной вкрапленностью. Наиболее распространены ксеноморфные выделения, иногда наблюдаются кристаллы.

Пробность золота в рудах Западной рудной зоны – 750–940%, в рудах Восточной зоны – 800–940%. Вариации пробности обусловлены различной степенью его перекристаллизации при гидротермальном и контактовом метаморфизме.

Во второй продуктивной минеральной ассоциации золото-сфалерит-теллуридной различаются два парагенезиса золота – существенно сульфидный и сульфосолевым. В состав сульфидного парагенезиса входят сфалерит, блёклая руда, галенит, халькопирит, борнит при количественном преобладании трёх первых минералов. Сульфосолевым парагенезис представлен аргентитом, пираргиритом, полибазитом, стефанитом, фрейбергитом, агвиларитом, гёсситом, алтаитом, петцитом, сивланитом, киноварью, низкопробным и весьма низкопробным (возможно кюстелитом) золотом [5].

Размеры выделений золота составляют 0,001–0,4 мм, реже – до 0,5–1 мм, форма их комковидная, угловатая, губчатая, жилковидно-пластинчатая с губчатой поверхностью, дендритовидная, друзовая, губчато-друзовидная. Встречаются кристаллы, реже дендриты, палочковидные и отдельные проволоковидные частицы.

В сульфидном парагенезисе пробность золота превышает 750%, в сульфосолевом она варьирует от 400 до 760% при средних значениях 600–720%.

Скарновые ассоциации второго этапа минералообразования не несут золота, но при проявлении в рудоносных зонах они золотоносны; при этом повышается содержание серебра и золота в сульфидах, а самородное золото ранних ассоциаций преобразуется. Характер и интенсивность преобразований различны в скарнах разного состава [6].

В пределах рудного поля и отдельных рудных тел наблюдаются элементы эндогенной зональности, проявляющиеся в изменении масштабов развития

минеральных ассоциаций, смене одних ассоциаций другими, изменении признаков золота. Вертикальная зональность хорошо прослеживается, например, на рудном теле Верхнее [4].

На нижних горизонтах этого рудного тела преобладает ранняя золото-халькопирит-блэклюдная ассоциация, а на верхних – поздняя золото-сфалерит-теллуридная. Наибольшее скопление серебро-содержащих минералов (аргентита, пираргирита, фрейбергита) наблюдается в верхней трети рудного тела Верхнее, на самых верхних уровнях преобладает фрейбергит [5].

По вертикали отмечается однонаправленное изменение состава и пробы золота. Электрум встречается на верхних уровнях, с глубиной проба золота возрастает до 750‰, а на самых глубоких горизонтах присутствует высокопробное золото (до 970‰).

### Типоморфные особенности самородного золота.

В дополнение к известным ранее данным по минералогии месторождения Многовершинное были проведены исследования типоморфизма золота основных рудных зон месторождения – Восточной и Западной, представленных рудными телами (далее р.т.) Центральное, Верхнее, Олень, Северное и Фланговое и примыкающих к ним россыпей – руч. Заманчивый, р. Левый Ул, руч. Эватак, руч. Мариинский, р. Бекчи.

С этой целью из наиболее обогащённых участков рудных тел и россыпей были отобраны специальные пробы. Извлечённое из них золото подверглось комплексному исследованию, включающему анализ granulometрии, морфологии, состава сростков, характера поверхности, деталей внутреннего строения, признаков посткристаллизационного метаморфического преобразования и гипергенных изменений.

Пробность золота устанавливалась локальным рентгеноспектральным микроанализом (РСМА) на микроанализаторе Camebax Sx 100 фирмы Cameca (ускоряющее напряжение 20 Кв, ток. зонд 40 па), средняя проба – пробирным анализом из 100 мг навески, экспрессное определение пробы производилось методом пробирного камня с использованием порошковых эталонов. Набор элементов-примесей определялся методом масс-спектрометрического анализа (ICP-MS) на приборе ЭЛАН-6100 фирмы «Перкин-Эльмер» в количественном и приближённо-количественном вариантах и с помощью РСМА. Последним также анализировался состав микровключений.

Внутреннее строение исследовалось посредством многократного структурного травления монтированных золотин раствором  $\text{CrO}_3 + \text{HCl}$ .

**Золото из рудных тел.** Известно, что размер золота месторождения Многовершинное весьма мел-

кий (0,001–0,04 мм, редко 0,5–1 мм), встречаются частицы до 2–3 мм [2]. Принятый средний размер золота составляет 0,34 мм.

Выделенное при проведённом опробовании золото оказалось более крупным. Так, в рудном теле Верхнее золото классов +1 и –1+0,5 мм составляет по 30% каждый, в р.т. Олень – +0,5 мм – 60%, р.т. Северное – +0,5 мм – 85%. Более мелкое золото (–0,5+0,25 мм – 75%) присутствует в рудных телах Центральное и Фланговое. Очевидно, размер золота в данном случае отражает его крупность в более обогащённых участках рудных тел.

**Морфология** золота рудных тел Центральное, Олень и Северное характеризуется широким распространением ксеноморфных трещинно-прожилковидных, комковидных, цементационных, каркасных форм (рис. 1, А). В рудном теле Верхнее с наиболее крупным золотом наблюдается значительное количество правильных выделений: дендритов, кристаллических сростков, единичных кристаллов (см. рис. 1, Б).

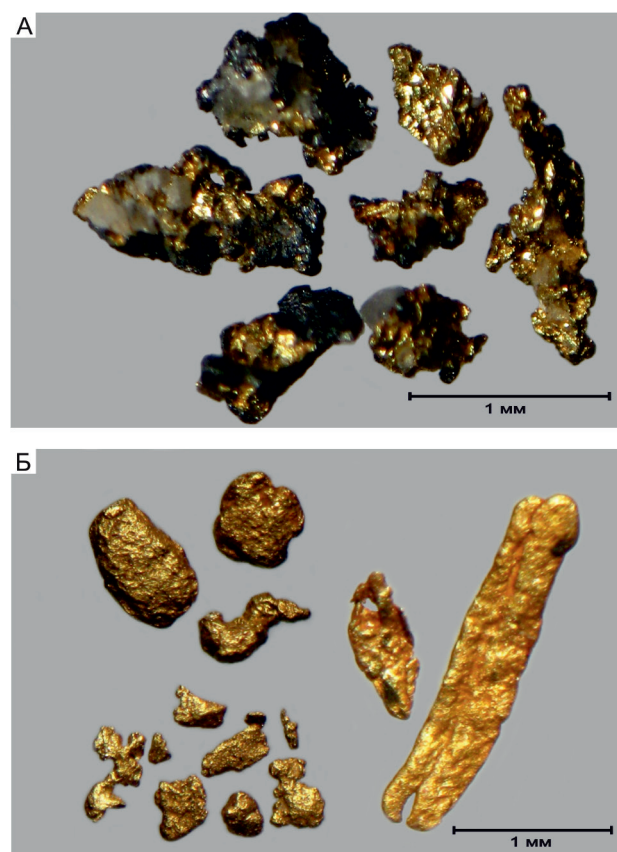


Рис. 1. Цементационные и пластинчато-каркасные золотины в сростании с кварцем р.т. Олень (А); кристаллы, сложные сростки, щепковидные дендритоиды р.т. Верхнее (Б)

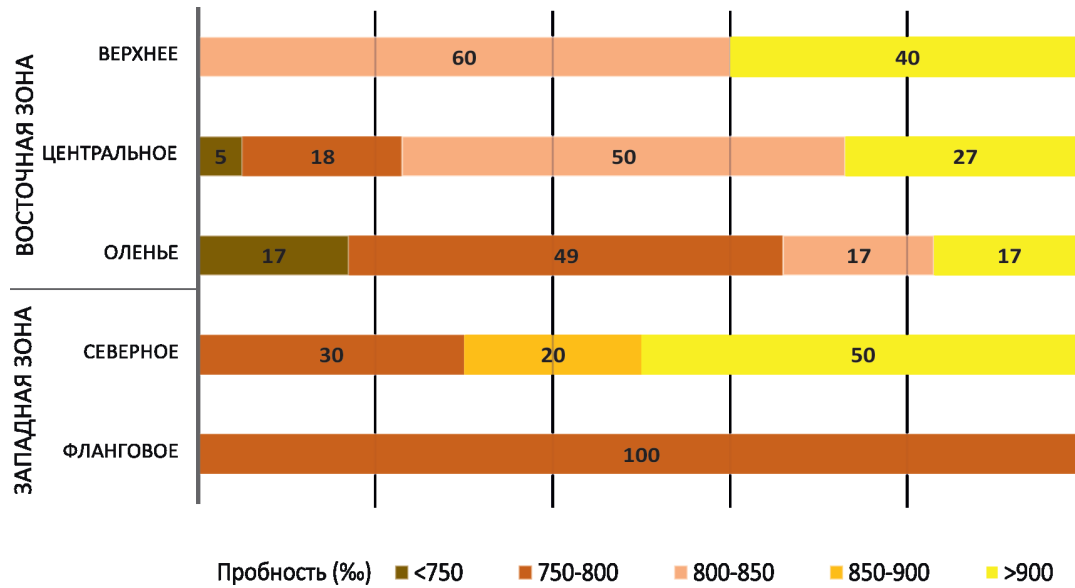


Рис. 2. Пробность золота из рудных тел месторождения Многовершинное, по данным РСМА (50 анализов)

Золото рудного тела Фланговое отличается сочетанием жилковидно-пластинчатых, губчатых форм и кристаллов, образующих сростания с теллуридами серебра.

Пробность золота, по данным РСМА, отличается значительной изменчивостью. В рудном теле Верхнее преобладает золото средней пробности при её колебаниях от 802 до 932‰ (рис. 2)<sup>1</sup>. В рудном теле Центральное наблюдается сходное соотношение золота высокой и средней пробности, появляется низкопробное. В рудном теле Оленье количество низкопробного золота значительно возрастает, а в рудном теле Фланговое оно составляет 100% (см. рис. 2).

Для высокопробного и золота средней пробности, широко распространённого во всех рудных телах, кроме Флангового, характерны включения сульфидов – пирита, халькопирита, арсенопирита, а также блёклых руд, галенита. Сочетание особенностей морфологии, пробности и состава ассоциирующих с этим золотом минералов позволяет относить его к первой золото-халькопирит-блёклорудной продуктивной ассоциации (первой стадии) раннего гидротермального этапа формирования месторождения (Au-I). Низкопробное (750–800‰) и более серебристое (<750‰) золото, присутствующее в рудных телах Центральное, Оленье и Северное и преоблада-

ющее на р.т. Фланговое, встречается в сростании с сульфидами (халькопирит, пирит, галенит, сфалерит и др.), теллуридами серебра (гёссит, петцит), фрейбергитом и стефанитом. Оно относится ко второй золото-сфалерит-теллуридной ассоциации второй стадии раннего гидротермального этапа формирования месторождения (Au-II). Следует отметить, что золото двух стадий различается также по размерам – более крупным (до 1–2 мм) для Au-I, до 0,25 мм для Au-II. Наиболее контрастно различия золота разных стадий проявляются в его *внутреннем строении*.

Высокопробное золото первой продуктивной ассоциации (Au-I) отличается крупнозернистым, часто двойниковым строением, с признаками эпикристаллизационного преобразования (воздействие интраминерализационной тектоники) в виде деформаций (линии скольжения), разрушающих первичную зернистость, с последующей в той или иной степени выраженной рекристаллизацией и грануляцией.

Золото подобного строения широко распространено в рудных телах Восточной зоны – в Верхнем, Оленьем, Центральном (рис. 3).

К первой продуктивной ассоциации относится также золото средней (800–900‰) пробности зернистого строения, аналогичного высокопробному золоту (рис. 4, А). Вместе с тем в этом золоте в большей степени проявлено воздействие термального метаморфизма – дезинтеграция зернистых агрегатов с диффузией серебра к границам зёрен (см. рис. 4, Б),

<sup>1</sup> Результаты определения пробности на пробирном камне соответствуют данным РСМА; следует лишь отметить присутствие единичных низкопробных золотин в р.т. Верхнее

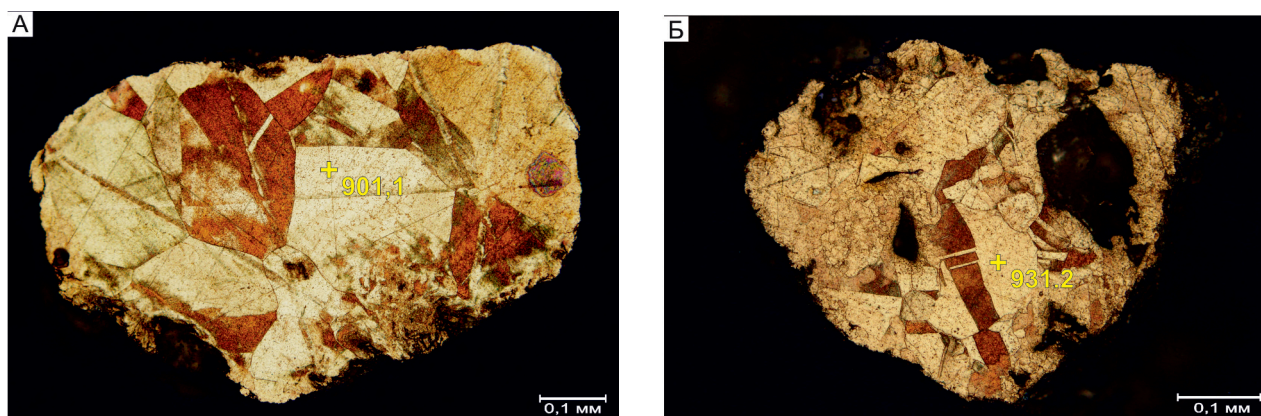


Рис. 3. Крупнозернистая двойниковая структура высокопробного Au-I:

А – рекристаллизованного (р.т. Верхнее); Б – деформированного, рекристаллизованного и частично гранулированного (р.т. Центральное); монтированный полированный шлиф, травление  $\text{CrO}_3 + \text{HCl}$

проявление мозаичной неоднородности, связанной с распадом твёрдого золото-серебряного раствора, замещение золота средней пробы весьма высокопробным (см. рис. 4, А) – признаки глубокого эпикристаллизационного преобразования.

Золото второй продуктивной ассоциации (Au-II) представлено несколькими разновидностями, соответствующими сульфидному и сульфосолевому парагенезисам. Низкопробные (>750‰) золотины отличаются монозернистым пятнисто-неоднородным строением (рис. 5). Более низкопробное (<750‰) золото в сростании с сульфосолями имеет монозернистое неяснозональное строение. В рудном теле

Фланговое на таких золотины отмечаются наросты более позднего весьма высокопробного золота (рис. 6).

Низкопробное золото (Au-II) в других рудных телах присутствует в основном в виде реликтов, сохраняющихся в глубоко изменённых золотины. Последовательность преобразования низкопробного золота (р.т. Северное) отражена на рис. 7. Начальная стадия проявлена в виде тонкой относительно высокопробной диффузионной зоны, повторяющей контуры золотины (см. рис. 7, А). Более интенсивное проявление диффузии приводит к значительному выносу серебра с сохранением мелких реликтов

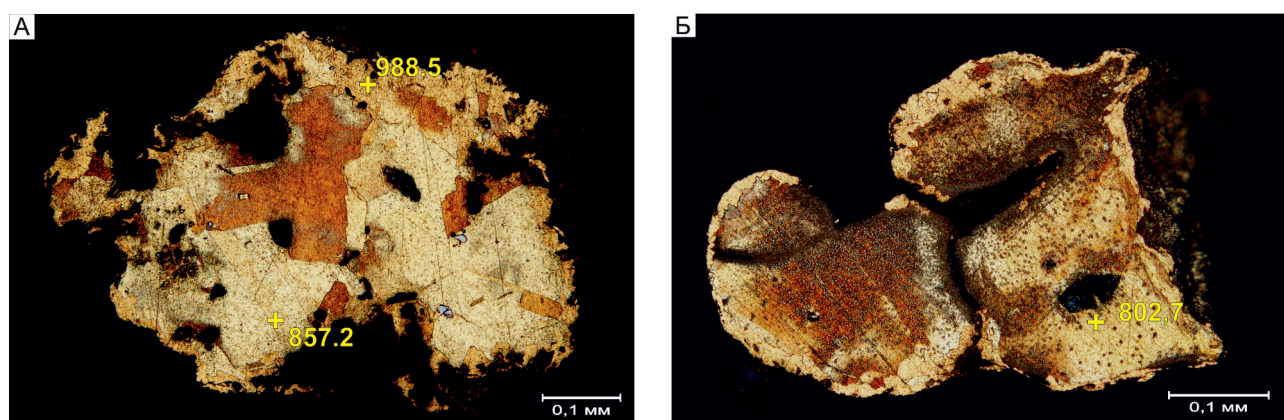


Рис. 4. Разнозернистая структура Au-I средней пробы:

А – с признаками замещения (р.т. Центральное); Б – с признаками дезинтеграции и диффузии серебра к границам зёрен, по периферии фрагментарная высокопробная кайма (р.т. Верхнее); монитр. полир. шлиф, травление  $\text{CrO}_3 + \text{HCl}$

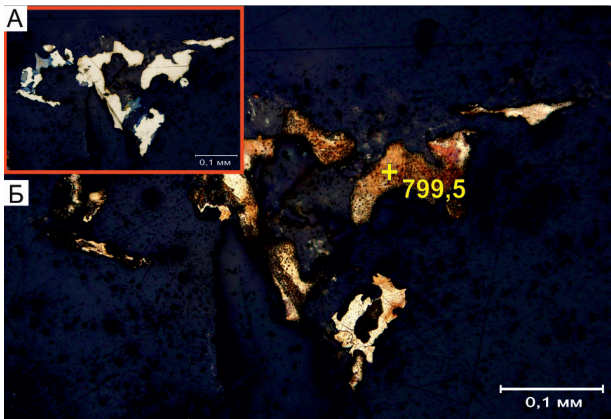


Рис. 5. Низкопробное (>750‰) Au-II пятнисто-неоднородного строения, в сростании с теллуридами:

А – без травления; Б – после травления; монтир. полир. шлиф, травление  $\text{CrO}_3 + \text{HCl}$

низкопробного Au-II (см. рис. 7, Б). Подобные преобразования наблюдаются в золоте рудных тел Оленье и Центральное (рис. 8).

В структуре относительно высокопробного золота, образующегося в результате диффузионного преобразования низкопробного золота, в отличие от Au-I, отчетливо проявлена мозаичная неоднородность.

*Геохимические особенности* золота месторождения Многовершинное, по данным количественного ICP-MS анализа (масс.%), представлены комплексом примесей, типичных как для золото-сульфидно-кварцевых ( $\text{Cu} - 0,06-0,04$ ,  $\text{Pb} - 0,001-0,07$ ,  $\text{Zn} - 0,007-0,02$ ,  $\text{Bi} - 0,0001-0,07$ ), так и для золото-серебряных месторождений ( $\text{As} - 0,0001-0,11$ ,  $\text{Te} - 0,001-0,99$ ,  $\text{Hg} - 0,005-0,07$ ,  $\text{Mn} - 0,0001-0,008$ ,  $\text{Sb} - 0,0001-0,02$ ,  $\text{Pt} - 0,0001$ ) (табл. 1).

По полуколичественному ICP-MS анализу, в золоте присутствуют редкие элементы ( $\text{Sc}$ ,  $\text{Y}$ ,  $\text{Zr}$ ,  $\text{Nb}$ ), а также REE ( $\text{La}$ ,  $\text{Rh}$ ,  $\text{Nd}$ ). Количественное определение содержания основных элементов-примесей ( $\text{Cu}$ ,  $\text{Te}$ ,  $\text{Bi}$ ,  $\text{Hg}$ ,  $\text{Pt}$ ) в отдельных золотилах методом РСМА (50 анализов) позволило установить состав золота различных ассоциаций. Для золота первой ассоциации (Au-I) характерны повышенные концентрации  $\text{Cu}$  ( $0,06-0,07$ ) и  $\text{Bi}$  ( $0,18-0,35$ ), для золота второй ассоциации (Au-II) –  $\text{Te}$  ( $0,18-0,35$ ),  $\text{Bi}$  ( $0,15-0,30$ ),  $\text{Hg}$  ( $0,18-0,30$ ) и, соответственно,  $\text{Ag}$  (табл. 2).

Таким образом, новые данные по золоту из отобранных проб показали присутствие в рудах более крупного золота, чем было известно на месторождении Многовершинное ранее. Установлена однотипность типоморфных особенностей золота Au-I и Au-II на каждом из опробованных рудных тел. Детальный анализ внутреннего строения золота позволил

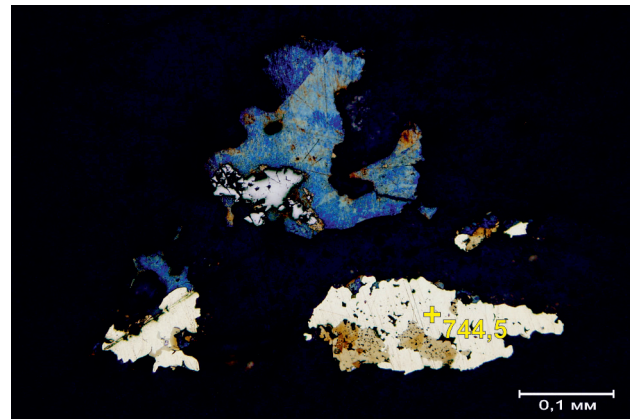


Рис. 6. Весьма низкопробное (<750‰) Au-II в сростании с сульфосолями и наростами высокопробного золота; монтир. полир. шлиф, травление  $\text{CrO}_3 + \text{HCl}$

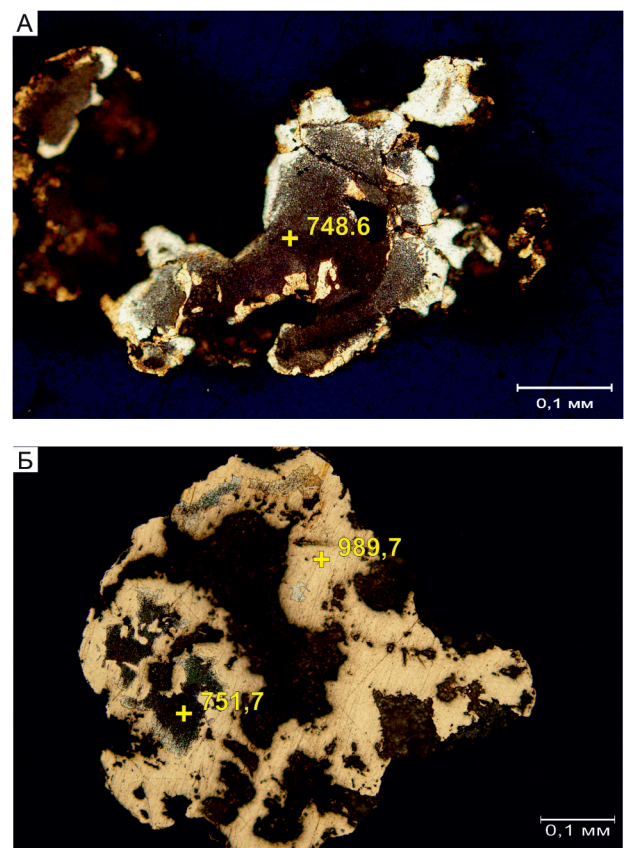


Рис. 7. Последовательность преобразования низкопробного золота под влиянием метаморфизма (р.т. Северное):

А – диффузионная высокопробная зона по периферии низкопробного золота; Б – диффузионное замещение низкопробного золота высокопробным неоднородно-мозаичного строения; монтир. полир. шлиф, травление  $\text{CrO}_3 + \text{HCl}$

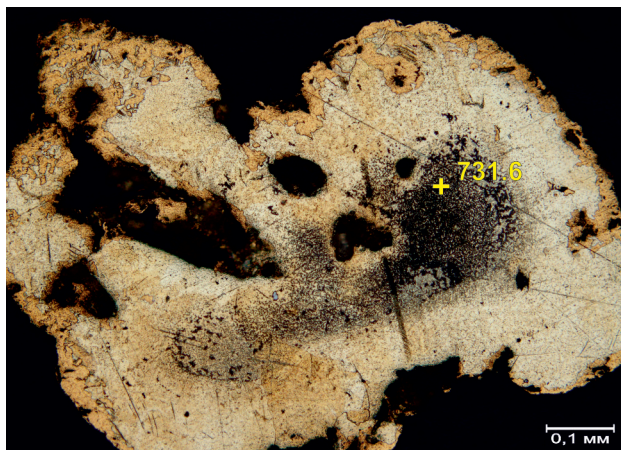


Рис. 8. Диффузионное преобразование низкопробного Au-II под влиянием термального воздействия (р.т. Центральное); монтаж. полир. шлиф, травление  $\text{CrO}_3 + \text{HCl}$

установить признаки глубоких эпикристаллизационных изменений, связанных с динамическим и термальным метаморфизмом, способствующим перекристаллизации золота, его укрупнению, широкому развитию диффузионных процессов, повышению пробыности.

**Золото из россыпей.** В пределах Многовершинного рудного поля известны небольшие по масштабам россыпи с мелким золотом в долинах рек, ручьях, верховья которых начинаются непосредственно от промышленных рудных тел, расположенных на крутых склонах. Исследовалось золото руч. Заманчивый, р. Левый Ул, руч. Эватак, примыкающих к рудным телам, а также из более удалённых от месторождения россыпей – руч. Мариинский и р. Бекчи.

В пробе из *россыпи руч. Заманчивый*, распределение золота по крупности одномодальное с преобладанием класса +1 мм (76,5%). Значительное количество золота (по массе) достигает 7–5 мм.

### 1. Результаты количественного масс-спектрометрического анализа золота (масс.%) из рудных тел месторождения Многовершинное

Элемент	Рудные тела									
	Центральное			Верхнее		Олень		Фланговое		Северное
Cu	0,04	0,03	0,04	0,02	0,03	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01
Pb	0,00	<0,0001	0,00	0,00	0,00	0,02	0,08	0,00	0,01	0,01
Rh	<0,0001	0,00	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Pd	<0,0001	0,00	<0,0001	<0,0001	0,00	0,00	0,00	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Pt	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,00	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Bi	<0,0001	0,00	0,01	<0,0001	0,00	0,00	0,00	<0,0001	0,01	<0,0001
Co	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,00	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Ni	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Zn	0,00	0,00	0,00	0,00	<0,0001	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe	0,03	0,01	0,05	0,01	0,03	0,09	0,02	0,01	0,01	0,01
As	0,00	0,03	0,00	0,00	0,04	0,11	0,07	0,00	<0,0001	<0,0001
Sb	0,00	0,00	0,00	<0,0001	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	<0,0001
Te	0,00	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,98	0,02	0,06	<0,0001	0,99
Hg	0,06	0,04	0,05	0,01	0,05	0,01	0,04	0,03	0,03	0,01
Sn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
Ag	1,87	18,39	16,52	0,96	15,35	14,37	15,86	2,34	7,93	2,02
Au	97,99	81,50	83,32	99,00	84,50	84,38	83,88	97,55	91,99	96,94

2. Состав элементов-примесей в золоте месторождения Многовершинное, по данным РСМА (масс.%)

Название участка	Пробность, ‰	Продуктивная ассоциация	Cu	Te	Bi	Hg	Pt
Рудное золото (50 анализов)							
р.т. Верхнее	900–932	Au-I	0,01	0,08	0,35	0,30	0,01
	800–855	Au-I	0,02	0,07	0,22	0,09	0,04
р.т. Центральное	<750	Au-II	–	0,15	0,15	0,27	–
	>750	Au-II	0,01	0,06	0,27	0,18	–
	925–988	Au-I	0,06	0,09	0,18	0,26	–
	800–855	Au-I	–	–	–	–	–
р.т. Оленье	842–986	Au-I	0,06	0,08	0,21	0,1	–
	727–798	Au-II	0,02	0,35	0,28	0,18	0,05
р.т. Северное	840–990	Au-I	0,07	0,06	0,35	0,19	–
	748–797	Au-II	–	0,18	–	0,30	0,05
р.т. Фланговое	744–810	Au-II	0,05	0,09	0,30	0,30	0,01
Среднее значение		Au-I	0,04	0,09	0,26	0,18	0,01
		Au-II	0,01	0,17	0,25	0,24	0,02
Россыпное золото							
руч. Заманчивый	834–982	Au-I	0,02	0,07		0,22	0,02
	924–994	Au-I	0,03-0,07	0,05		0,35	0,03
р. Левый Ул	700–800	Au-II	0,04	0,11	0,28	0,20	–
	991	Au-I	–	0,09	0,04	0,23	0,05
руч. Эвакак	830–895	Au-I	0,04	0,09	0,33	0,24	0,03
	988	Au-I	0,01	0,06	0,25	0,1	0,01
руч. Мариинский	837–932	Au-I	0,02	0,07	–	0,3	0,06
	776	Au-II	0,01	0,12	–	0,4	0,01
р. Бекчи	871–875	Au-I	0,05	0,07	–	–	–
	765–811	Au-II	0,01	0,05	–	0,2	–

Преобладают правильные формы – дендриты, в основном одностволовые (рис. 9), сростки кристаллов, образующие губчатые каркасы, в подчинённом количестве присутствуют гемиидиоморфные выделения. В сростании с золотом отмечаются окисленные рудные минералы и включения гидроксидов железа.

Золото россыпи в основном полу- и слабоокатанное при незначительном количестве среднеокатанных частиц.

Пробность отдельных окатанных и слабоокатанных золотин в классах +1 мм и –1+0,5 мм составляет 920–980‰. Более мелкое золото имеет пробность 680–690‰, 850–870‰, 920–980‰. По данным РСМА, пробность варьирует от 703 до 994‰ при средней по пробирному анализу 961‰ (рис. 10).

Высокопробное (до 986‰) золото отличается крупнозернистым строением с признаками незначительных деформаций. По структуре и элементам-

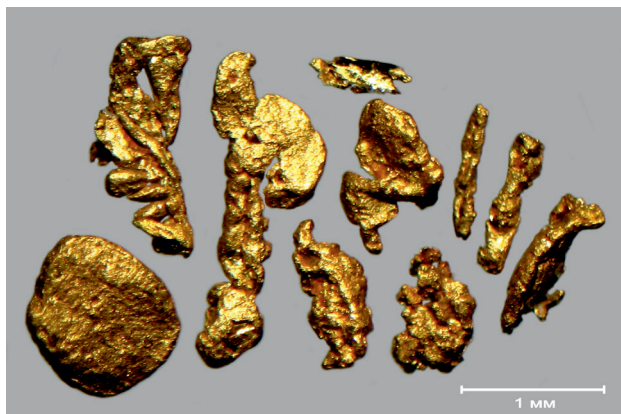


Рис. 9. Пластинчатые, слабоокатанные одностоволовые дендриты, дендритоиды и пластинчатый кристалл. Россыпь руч. Заманчивый

примесям это золото сходно с Au-I из рудных тел месторождения (рис. 11).

В золоте средней пробыности, как и в золоте из рудных тел наблюдается дезинтеграция и диффузия Ag к границам зёрен (рис. 12). Отмечаются следы незначительных коррозионных преобразований. Серебристое (<750‰) золото представлено пятнисто-неоднородным выделением в сростании с гёсситом и весьма высокопробным золотом монозернистого

мозаично-блокового строения. На золоте отмечаются плёнки электрума и включения, предположительно, золото-оловянного минерала (?), определённого на основании картины травления и методом ICP-MS присутствия в золоте высоких концентраций примеси Sn (рис. 13).

В россыпи р. Левый Ул заметно преобладает золото класса +1 мм (94,1%). Максимальный размер золотинок составляет 10×8,5×1 мм. Встречается значительное количество трещинно-прожилковых выделений при подчинённой роли цементационных и губчатых форм; до 10% золотинок представлены дендритоидами, отдельные зёрна имеют проволоковидную форму (рис. 14). В сростании с золотом наблюдается плотный сахаровидный кварц с плёнками гидроксидов железа.

Среди выделений мелких классов существенно возрастает степень окатанности и коррозии. В целом в пробе преобладает полу- и среднеокатанное золото с умеренной коррозией поверхности. Неокатанное и слабоокатанное золото составляет порядка 25%.

Пробность золота варьирует от 750 до 990‰. Пробность 850–900‰ установлена у более крупных золотинок (+1 и –1+0,5 мм), золото классов –0,5, –0,25 и –0,1 мм отличается пробностью 750–820‰. Средняя пробность, по данным пробирного анализа, ниже, чем в других россыпях, и составляет 840‰ (см. рис. 10).

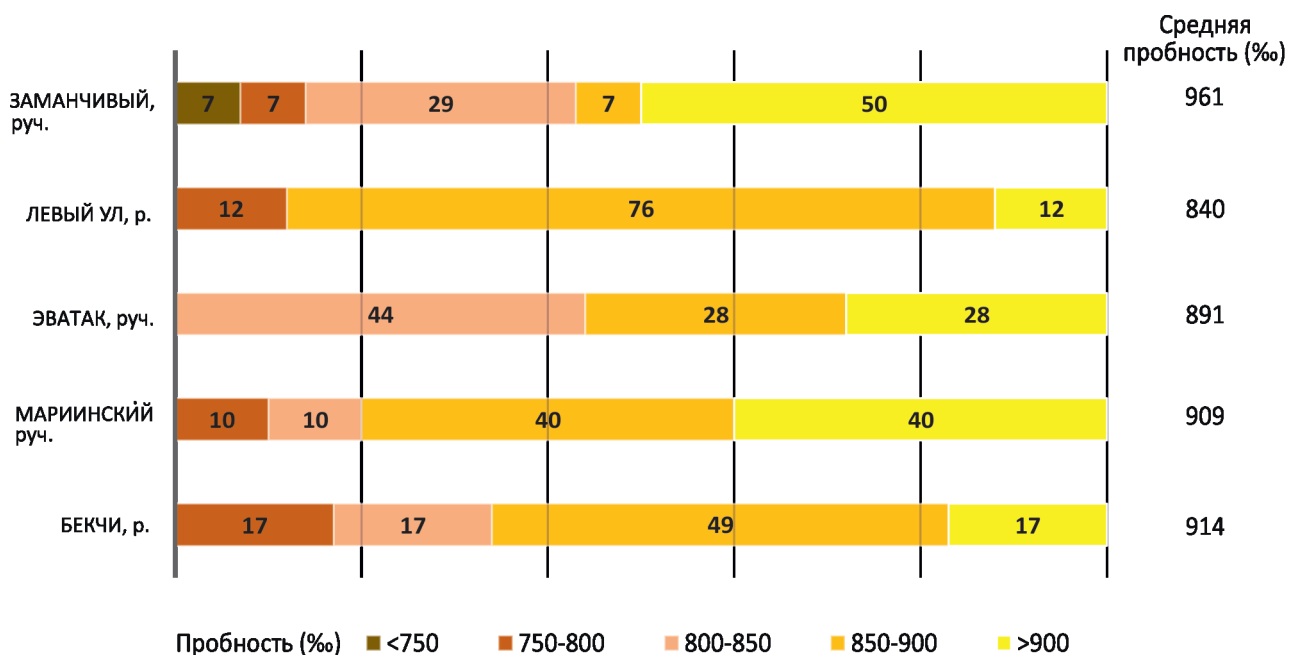


Рис. 10. Пробность золота из россыпей рудно-россыпного узла Многовершинное, по данным РСМА и пробирного анализа

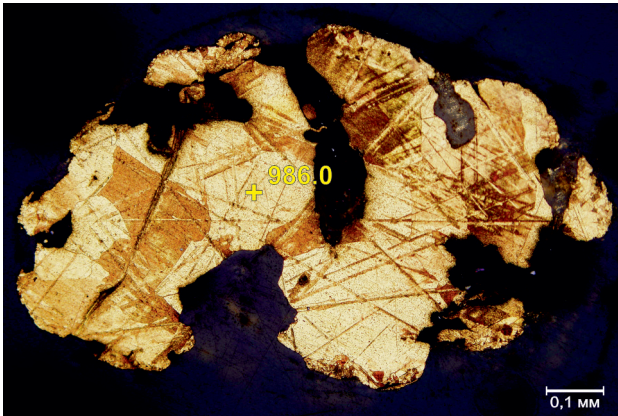


Рис. 11. Крупнозернистая структура высокопробного (986‰) золота. Россыпь руч. Заманчивый; монтаж. полир. шлиф, травление  $\text{CrO}_3 + \text{HCl}$

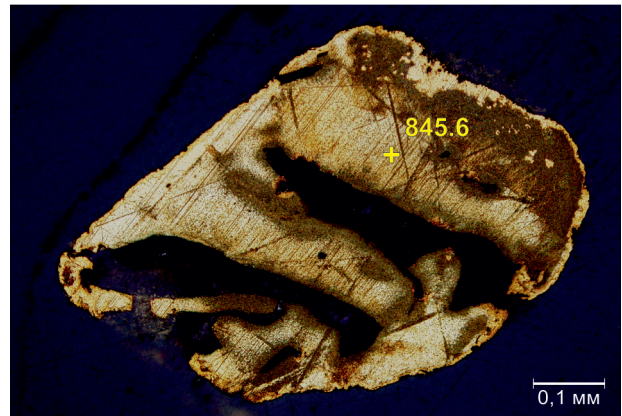


Рис. 12. Диффузионное преобразование золота средней пробы. По периферии высокопробная коррозионная кайма. Россыпь руч. Заманчивый; монтаж. полир. шлиф, травление  $\text{CrO}_3 + \text{HCl}$

Низкопробное золото данной россыпи имеет неяснозернистое внутреннее строение с неравномерной относительно более высокопробной диффузионной зоной по периферии (рис. 15). Золото средней пробы разнозернистого строения образует сращения с поздним высокопробным (993‰) золотом (рис. 16). Присутствующие в россыпи частицы губчатого сложения представлены агрегатами золота разного состава мелкозернистого строения.

В пробе из *россыпи руч. Эватак* (драга 7) преобладают частицы класса +1 мм (57%) с одинаковыми содержаниями классов -1+0,5 и -0,5+0,1 мм. Более мелкое золото присутствует в ничтожном количестве. В классе +1 мм размер золотин варьирует от 2 до 10 мм; основная масса представлена частицами от 2 до 5 мм.

В целом в пробе преобладают трещинно-прожилковые выделения при подчинённом количестве цементационных и ячеистых форм, с включениями мелкозернистого кварца. Реже на пластинчатых частицах наблюдаются наросты гидроксидов железа. В классе +0,5 мм встречены отдельные каркасные сростки кристаллов. У мелкого золота морфология более разнообразная, распространены дендриты, дендритоиды, сростки кристаллов и ячеистые образования (рис. 17). Поверхность золота ямчато-бугорчатая или ячеистая.

Золото преимущественно среднеокатанное с признаками коррозии; полуокатанные и в меньшей степени слабоокатанные и неокатанные частицы составляют в сумме порядка 20%.

Пробность золотин варьирует от 750 до 940‰, с преобладанием 830–890‰. По данным РСМА, она изменя-

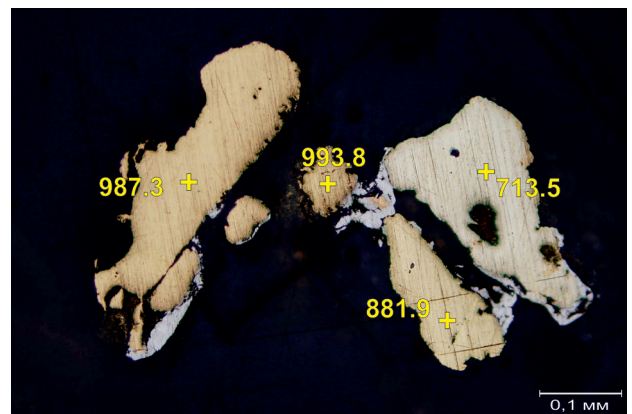


Рис. 13. Золото разного состава с плёнками электрума и включением золото-оловянного минерала (?). Россыпь руч. Заманчивый; монтаж. полир. шлиф, травление  $\text{CrO}_3 + \text{HCl}$

ется от 830 до 995‰. Средняя пробность по пробирному анализу составляет 891‰ (см. рис. 10).

Внутреннее строение высокопробного золота, также как в рудах и других россыпях, отличается крупной зернистостью. Присутствует тонкая высокопробная оболочка. В интенсивно деформированном золоте средней (895‰) пробы диффузионное перераспределение серебра сходно с наблюдаемым в золоте рудного тела Верхнее (см. рис. 3, Б). Отчётливо выражена коррозионная кайма тонкозернистого строения (рис. 18).

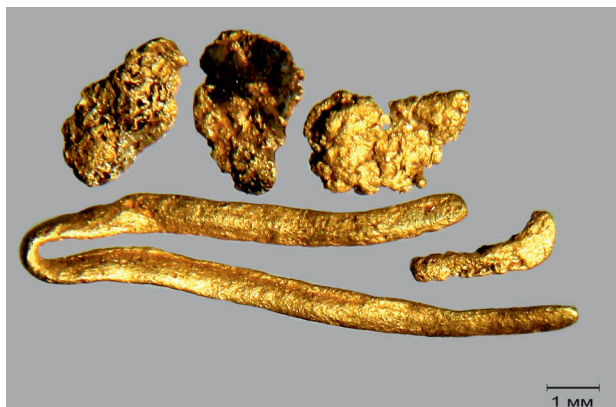


Рис. 14. Дендритоиды, трещинно-прожилковидные, губчатые и комковидные золотины. Россыпь р. Левый Ул

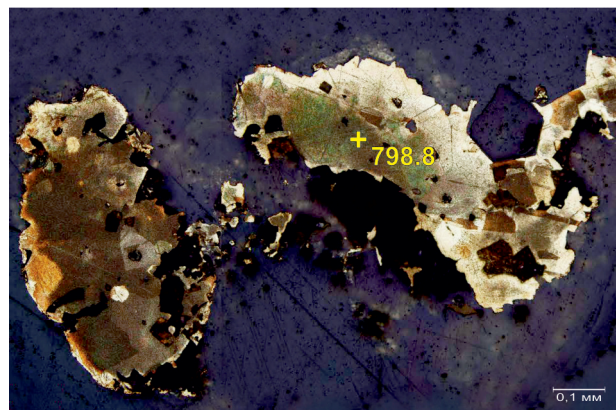


Рис. 15. Низкопробное золото неяснозернистого строения с фрагментарной более высокопробной диффузионной зоной. Россыпь р. Левый Ул; монтаж. полир. шлиф, травление  $\text{CrO}_3 + \text{HCl}$

Более низкопробное пористое золото с включениями петцита имеет неяснозернистое строение с признаками частичной перекристаллизации по периферии (рис. 19).

В россыпи *руч. Мариинский* (драга 621) преобладает золото класса +1 мм (более 67%). Наиболее крупные частицы полуокатаны и представлены каркасными сростками кристаллов, близкими по форме к многостволовым дендритоидам. Эти золотины находятся в сростании с мелкозернистым кварцем. Среднеокатанное золото также встречается в сростании с кварцем. Формы смешанные (с элементами сростков кристаллов) и дендритовидные (рис. 20). Наряду с искажёнными кристаллами в классе  $-0,5+0,25$  мм присутствуют хорошо огранённые ромбодоэкаэдры, изометричные округлённые и лентовидные кристаллы.

Преобладает полу- и среднеокатанное золото при незначительной роли хорошо окатанных частиц. Слабоокатанные золотины встречены только в мелких классах. Окатанные золотины заметно корродированы.

Пробность золота колеблется от 750 до 994‰. В центральных частях зёрен полу- и среднеокатанных с умеренной и слабой коррозией преобладает пробность 850–900‰. Реже пробность неокатанного, но преобразованного коррозией золота в центральной части выделений составляет 930–940‰. В мелких классах ( $-0,25$  мм) встречается низкопробное (750‰) золото. Средняя пробность, по данным пробирного анализа, составляет 909‰ (см. рис. 10).

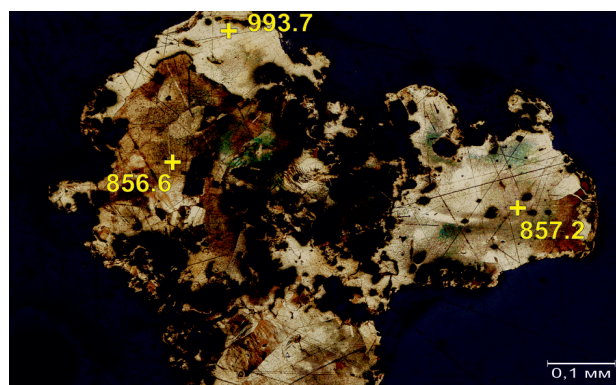


Рис. 16. Золото разномозернистого строения с признаками диффузионных изменений в сростании с более поздним весьма высокопробным золотом. Россыпь р. Левый Ул; монтаж. полир. шлиф, травление  $\text{CrO}_3 + \text{HCl}$

Структура золота этой россыпи сходна с таковой других россыпей, расположенных вблизи месторождения. Для высоко- и среднепробного золота характерно крупно-, разномозернистое внутреннее строение, деформации, разрушающие первичную зернистость, признаки диффузионного выноса серебра. Низкопробное золото отличается мозаично-неоднородным строением. При перекристаллизации по периферии золотинов образуются пористые участки и наросты позднего весьма высокопробного золота (рис. 21). На окатанных золотилах разного состава присутствуют тонкие высокопробные каймы.

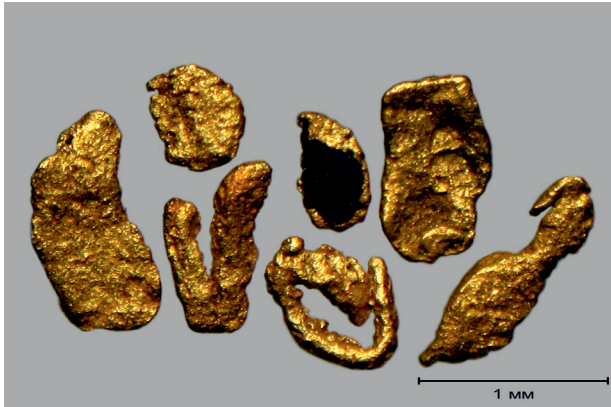


Рис. 17. Среднеокатанные золотины – дендритоиды, сростки кристаллов и трещинно-прожилковые с плёнками гидроксидов железа. Россыпь р. Эватак, драга 7

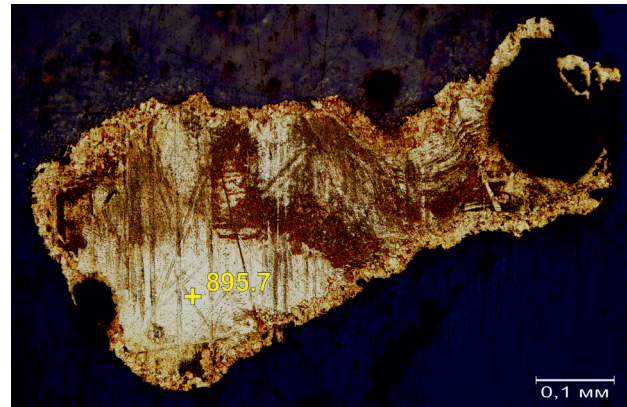


Рис. 18. Монозернистое деформированное (линии трансляций) золото со следами диффузионного выноса серебра. Коррозионная кайма полигонально-зернистого строения. Россыпь р. Эватак, драга 7; монтир. полир. шлиф, травление  $\text{CrO}_3 + \text{HCl}$

В пробе из россыпи р. Бекчи золото класса +1 мм составляет 73%. Правильные формы – сростки кристаллов, дендритоиды – >50%, трещинно-прожилковые – >40% (рис. 22). В небольшом количестве присутствуют смешанные формы, объёмные или пластинчатые с кристаллическими выступами на торцах пластин. В каркасных сростках кристаллов или многостволовых дендритоидов в срастании с золотом наблюдается мелкозернистый кварц.

Степень окатанности золота изменяется в широких пределах – слабо- и полуокатанное золото распространено практически одинаково (18 и 21%), несколько больше среднеокатанных золотинок (25%) и наибольшее количество хорошо окатанных.

Пробность золота варьирует от 725 до 967‰ при преобладании 850–900‰. Низкопробное золото появляется в мелких классах. Средняя пробность по пробирному анализу составляет 914‰ (см. рис. 10).

Преобладающие в россыпи сложные каркасные сростки кристаллов с кварцем имеют разнозернистое двойниковое внутреннее строение с признаками его последующего преобразования, сопровождающегося деформациями и перекристаллизацией. По периферии золотинок развита коррозионная высокопробная оболочка.

В золоте пробности 875‰ отмечается повышенное количество минеральных включений – пирит и арсенопирит. В низкопробном (765–811‰) золоте присутствуют галенит, петцит, гёссит. Пробность и состав включений позволяют относить это золото ко второй продуктивной золото-сфалерит-теллуридной ассоциации.

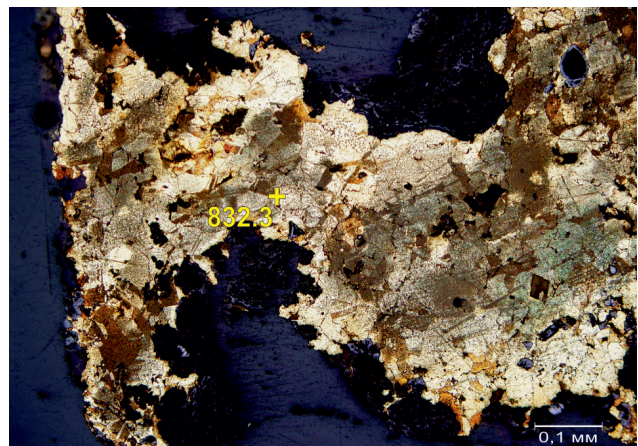


Рис. 19. Золото неяснозернистого строения, частично перекристаллизованное, с включениями теллуридов серебра. Россыпь р. Эватак, драга 7; монтир. полир. шлиф, травление  $\text{CrO}_3 + \text{HCl}$

Элементный микропримесный состав самородного золота из россыпей, определённый количественным ICP-MS анализом, соответствует составу рудного золота (табл. 3). В россыпном золоте присутствуют все выявленные в рудном золоте элементы. Некоторые различия наблюдаются в их содержаниях. Так, для россыпного золота характерны более высокие концентрации Bi, Sn, Hg и заметно меньшие – Te и рассеянных элементов. Определение состава элементов-примесей Cu, Bi, Te, Hg в отдельных золотишках методом РСМА показало сопостави-

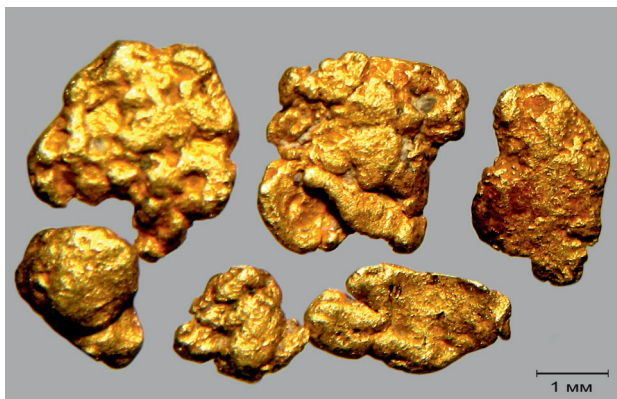


Рис. 20. Геммидиоморфные и дендритовидные золотины в сростании с кварцем. Россыпь руч. Мариинский, драга 621

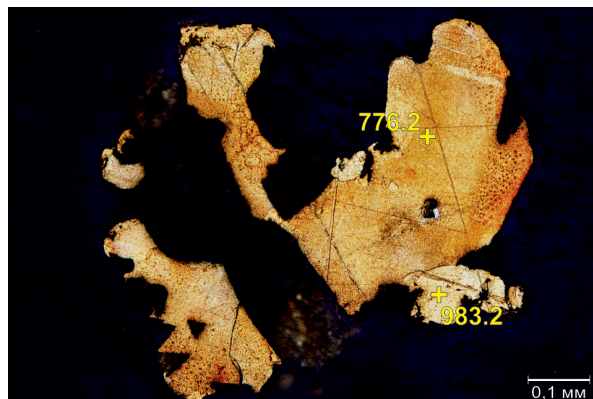


Рис. 21. Монозернистое, мозаично-неоднородное золото с пористыми структурами перекристаллизации по периферии, с наростами позднего весьма высокопробного золота. Россыпь руч. Мариинский, драга 621; монтаж. полир. шлиф, травление  $\text{CrO}_3 + \text{HCl}$

мость рудного и россыпного золота по этим элементам (см. табл. 2).

**Обсуждение результатов.** Сопоставление признаков золота (морфологии, пробности, элементов-примесей, внутреннего строения) из рудных тел месторождения Многовершинное и россыпей демонстрирует их значительное сходство. Различия касаются большей крупности золота в россыпях. При рассмотрении этого вопроса следует учитывать полученные новые данные, свидетельствующие о присутствии на современном уровне эрозионного среза обогащённых участков рудных тел с более крупным золотом, относящимся в основном к первой продуктивной стадии. Эти сведения в совокупности с выявленной глубокой эндогенной перекристаллизацией золота под влиянием термального метаморфизма позволяют предположить возможность существования более крупного золота в подвергшихся денудации верхних горизонтах с богатыми рудами, за счёт которых в основном образовались россыпи.

Распределение золота по протяжению россыпи и последовательные изменения его признаков подтверждают выдвинутое предположение. В головных частях россыпей руч. Заманчивый, р. Левый Ул и руч. Эватак в результате сортировки золота по крупности концентрируется объёмное массивное золото фракции +1 мм. Оно слабо- и полуокатано и незначительно корродировано.

В несколько более удалённой россыпи р. Эватак степень окатанности золота возрастает, появляется коррозонная оболочка мощностью до 0,008 мм.

В ещё более удалённых россыпях руч. Мариинский и р. Бекчи уменьшение крупности золота соче-

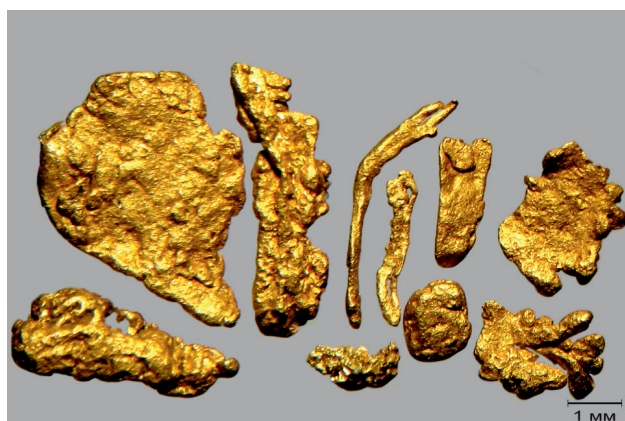


Рис. 22. Дендриты, дендритоиды, сростки кристаллов, трещинные выделения. Россыпь р. Бекчи

тается с присутствием в этих россыпях и более мелкого хорошо окатанного пластинчатого и пористого губчатого золота, сохраняющего включения минералов сульфосолевой ассоциации второй стадии гидротермального этапа.

Высокая средняя пробность золота в этих россыпях обусловлена более значительным развитием гипергенных преобразований.

Сравнение геохимических особенностей рудного и россыпного золота также свидетельствуют об их сходстве. Выявленные более низкие содержания  $\text{Te}$  и рассеянных элементов в россыпях объясняются неустойчивостью этих элементов в зоне гипергенеза [1, 8].

### 3. Результаты количественного масс-спектрометрического анализа золота (масс.%) из россыпей рудно-россыпного узла Многовершинное

Элемент	руч. Заманчивый		р. Левый Ул			руч. Эватак		руч. Маринский		р. Бекчи	
Cu	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Pb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Rh	<0,0001	<0,0001	0,00	<0,0001	0,00	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Pd	<0,0001	0,00	0,00	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,00	0,00	<0,0001	0,00
Pt	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,00	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Bi	<0,0001	0,00	0,00	<0,0001	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
Co	0,00	0,00	0,00	0,00	<0,0001	<0,0001	0,00	0,00	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Ni	<0,0001	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zn	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	<0,0001	0,00	0,00
Fe	0,00	0,01	0,09	0,04	0,11	0,03	0,02	0,07	0,01	0,02	0,01
As	0,07	<0,0001	0,10	0,01	0,00	0,02	0,01	0,12	0,00	0,02	0,02
Sb	0,02	0,00	0,00	0,00	<0,0001	0,00	<0,0001	0,00	0,00	0,00	0,00
Te	<0,0001	0,00	0,00	<0,0001	0,01	<0,0001	0,00	0,00	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Hg	<0,0001	0,01	0,06	0,11	0,04	0,23	0,05	0,03	0,04	0,01	0,09
Sn	0,01	0,04	0,01	<0,0001	0,01	0,01	0,03	0,02	<0,0001	0,01	0,00
Ag	2,13	10,21	14,18	13,58	13,66	2,56	12,54	16,37	8,21	1,91	8,29
Au	97,76	89,69	85,53	86,24	86,12	97,07	87,34	83,35	91,70	98,01	91,56

Различия содержаний в рудном и россыпном золоте таких элементов как Bi и Sn (по данным ICP-MS анализа) связаны с неравномерным распределением в золотилах минеральных включений висмутит и золото-оловянного минерала (?). По РСМА, содержания Bi в золоте из руд и россыпей сопоставимы. Более высокие содержания Hg в россыпях связаны с техногенным заражением золотин.

#### Выводы:

1. На основании комплексных исследований типоморфных признаков золота установлена пространственная и генетическая связь золото-серебряного месторождения Многовершинное с россыпями, расположенными в его рудном поле.

2. Формирование головных частей россыпей происходило преимущественно за счёт более крупного высокопробного золота сульфидной продуктивной ассоциации первой стадии гидротермального этапа.

Более мелкое низкопробное золото сульфосолевой продуктивной ассоциации второй стадии накапливалось в хвостовых частях близкорасположенных и в более удалённых от месторождения россыпях.

3. Повышенный россыпеобразующий потенциал золото-серебряного месторождения Многовершинное связан со значительным проявлением полисульфидно-кварцевой минерализации с относительно крупным золотом на ранней стадии становления месторождения, а также с интенсивным эпикристаллизационным метаморфическим преобразованием золота.

4. Использование анализа геохимических особенностей золота с учётом изменчивости их состава в эндогенных и гипергенных условиях способствует более достоверному определению рудно-формационной принадлежности коренных источников при геолого-разведочных работах и идентификации золота при криминалистических исследованиях.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Балашов Ю.А.* Геохимия редкоземельных элементов. – М.: Наука, 1976. – 267 с.
2. *Геология золоторудных месторождений Востока СССР // Золоторудные месторождения СССР. В 5-ти томах. Т. 4.* – М.: ЦНИГРИ, 1988. – С. 93–106.
3. *Изох Э.П., Русс В.В., Кунаев И.В., Наговская Г.И.* Интрузивные серии Северного Сихотэ-Алиня и Нижнего Приамурья, их рудоносность и происхождение. – М.: Наука, 1967. – 382 с.
4. *Константинов М.М.* Золоторудные месторождения России. – М.: Из-во Акварель, 2010. – 365 с.
5. *Крылова В.В., Косовец Т.Н., Косова Г.П.* Золотоносные минеральные ассоциации близповерхностного золоторудного месторождения (Приамурье) // Труды ЦНИГРИ. – 1979. – Вып. 143. – С. 173–182.
6. *Моисеенко В.Г., Эйриш Л.В.* Золоторудные месторождения Востока России. – Владивосток: Дальнаука, 1996. – 352 с.
7. *Пискунов Ю.Г., Зарембский Е.П., Козлова Л.А.* К минералогии скарнов месторождения Многовершинное // Геология Дальнего Востока. – Владивосток: Изд-во АН СССР, 1975. – С. 224–254.
8. *Щербина В.В.* Основы геохимии. – М.: Недра, 1972. – 296 с.

### REFERENCES

1. *Balashov Yu.A.* Geokhimiya redkozemel'nykh elementov [Geochemistry of rare earth elements]. Moscow, Nauka publ. 1976. 267 p.
2. *Geologiya zolotorudnykh mestorozhdeniy Vostoka SSSR* [Geology of gold ore deposits in the East of the USSR]. Zolotorudnyye mestorozhdeniya SSSR. V 5 tomakh. V. 4. Moscow, TSNIGRI publ. 1988. P. 93–106.
3. *Izokh E.P., Russ V.V., Kunayev I.V., Nagovskaya G.I.* Intruzivnyye serii Severnogo Sikhote-Alinya i Nizhnego Priamur'ya, ikhrudonosnost' i proiskhozhdeniye [Intrusive series of the Northern Sikhote-Alin and Lower Amur region, their ore content and origin]. Moscow, Nauka publ. 1967. 382 p.
4. *Konstantinov M.M.* Zolotorudnyye mestorozhdeniya Rossii [Gold deposits in Russia]. Moscow, Akvarel' publ. 2010. 365 p.
5. *Krylova V.V., Kosovets T.N., Kosova G.P.* Zolotonosnyye mineral'nyye assotsiatsii blizpoverkhnostnogo zolotorudnogo mestorozhdeniya (Priamur'ye) [Gold-bearing mineral associations of a near-surface gold ore deposit (Amur region)]. Trudy TSNIGRI. 1979. Vyp. 143. P. 173–182.
6. *Moiseyenko V.G., Eyrish L.V.* Zolotorudnyye mestorozhdeniya Vostoka Rossii [Gold deposits of the East of Russia]. Vladivostok, Dal'nauka publ. 1996. 352 p.
7. *Piskunov Yu.G., Zarembskiy Ye.P., Kozlova L.A.* K mineralogii skarnov mestorozhdeniya Mnogovershinnoye [To mineralogy of skarns of the Mnogovershinnoye deposit]. Geologiya Dal'nego Vostoka. Vladivostok, AN SSSR publ. 1975. P. 224–254.
8. *Shcherbina V.V.* Osnovy geokhimii [Fundamentals of Geochemistry]. Moscow, Nedra publ. 1972. 296 p.

Журнал «Отечественная геология» принимает участие в геологических конференциях, совещаниях, съездах в качестве информационного партнёра, освещая на своих страницах важные события отрасли.

Приглашаем к сотрудничеству представителей геологических, горно-геологических, горнодобывающих организаций и предприятий, отраслевых научно-исследовательских, академических и образовательных институтов по вопросам размещения рекламы или издания целевого номера.