

УДК 553.41+553.251.(470.5)

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ РАЗНОВИДНОСТИ И НАНОРЕЛЬЕФ ПОВЕРХНОСТИ САМОРОДНОГО ЗОЛОТА РАЗНОВОЗРАСТНЫХ РОССЫПЕЙ УРАЛА

© 2013 г. А. Г. Баранников*, Б. М. Осовецкий**

**Уральский государственный горный университет*

620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

E-mails: gprmpi.dep@ursmu.ru, barfam 1@mail.ru

***Пермский государственный национальный исследовательский университет*

614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15

E-mail: opal@psu.ru

Поступила в редакцию 05.12.2012 г.

Описано геологическое положение некоторых разновозрастных золотых россыпей Урала и типоморфные особенности золота. По данным электронной микроскопии высокого разрешения характеризуются детали нанорельефа поверхности золота и морфологические особенности “нового” золота. Обосновано сложное строение этих новообразований, представляющих собой агрегаты наночастиц золота. Приводятся данные микронзондового анализа о химическом составе “нового” золота и других наноразмерных объектов на поверхности россыпного металла. Предложены механизмы образования наночастиц золота и их агрегации.

Ключевые слова: *россыпи Урала, золото, электронная микроскопия, нанорельеф поверхности золота, “новое” нанозолото.*

ВВЕДЕНИЕ

Проблема типоморфизма самородного золота рудных объектов и россыпей подробно рассмотрена в литературе. В ряде работ отмечается, что визуально наблюдаемые частицы благородных металлов (золота, серебра, платиноидов) несут следы воздействия разновременных геологических процессов и могут рассматриваться (по образному выражению А.И. Кривцова) “как фрагменты своеобразной природной летописи, содержание и смысл которой в значительной степени удастся расшифровать”. Зерна самородных металлов содержат информацию, позволяющую не только реконструировать историю их возникновения, но и использовать эти данные при прогнозно-металлогенической оценке территорий. Развитие этого направления в области генетической и прикладной минералогии во многом обязано трудам Н.В. Петровской [9] и ее последователей (Л.А. Николаева, С.В. Яблокова, Р.А. Амосов, Н.Е. Савва и др.).

Основное внимание в публикациях по типоморфизму самородного золота уделяется характеристике форм выделений зерен, их гранулометрии, особенностям внутреннего строения, химического состава, физическим свойствам и т. д. Изучению строения поверхности золотин, описанию деталей их рельефа уделено значительно меньшее внимание.

Между тем, более детальное изучение поверхностного слоя золота к настоящему времени приобретает особую актуальность. Из ряда положений теории физики металлов следует, что расположение атомов близ поверхности и во внутренних зонах металла существенно различается. Отсюда его поверхностный слой представляет собой весьма специфическое состояние твердого вещества. На поверхности наблюдаются “оборванные” связи из-за отсутствия с одной стороны атомного окружения. Компенсация недостающих связей осуществляется за счет уменьшения расстояния между плоскими сетками кристаллической решетки, образования структурных элементов с горизонтальными связями (димеры, тримеры). Для поверхностного слоя металла, в т.ч. золота, характерна необычная электрическая структура, обилие механических и структурных дефектов. Существенное ослабление атомных взаимодействий приводит к понижению сдвиговой устойчивости металла и интенсивному развитию пластических деформаций. Эксперименты показали, что зарождающиеся на поверхности кристаллов золота первичные дислокации позднее распространяются на значительную часть его объема [2, 8].

Появившаяся в последнее время новейшая аппаратура дает возможность непосредственно наблюдать детали внутреннего строения и поверхности золота на микро- и наноуровнях. В частности, установлены особенности микро- и нанослои-

стого строения золота, такие детали наноскульптуры поверхности золотин, как нанопористость, нанотрещиноватость, нанобугорчатость, присутствие на ней нанопленок, наноборозд, нановключений и т.д. [6, 7]. Получаемая при этом новая информация приобретает на современном этапе не только научное, но и прикладное значение.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом изучения явилось россыпное золото ряда разновозрастных месторождений Урала. Характеризуемые в настоящем сообщении россыпи являются достаточно типичными по геологическому строению и процессам формирования среди золото-рудных объектов региона и вполне представительными с учетом запаса металла, поскольку отличаются высокой и весьма высокой продуктивностью.

Возрастной диапазон выбранных золотоносных россыпей охватывает все известные для Урала промышленные стратиграфо-генетические типы. В статье характеризуется металл из продуктивных горизонтов, включающих аллювиальные отложения юрского возраста ($J_{2-3}ln$ – *лангурская свита*) – Чернореченская россыпь; аллювиальные отложения позднемелового (K_2ms – *мысовская свита*) и раннемиоценового ($N_1^{1-2}nr$ – *наурзумская свита*) возраста – Андреевская россыпь; аллювиальные поздне-меловые и раннемиоценовые отложения – россыпи Казанская, Колчинская, Назаровская; аллювиально-делювиальные ложковые отложения плиоценового возраста (N_2^3ks – *кустанайская свита*) – Шахматовская россыпь; делювиально-пролювиальные ложковые отложения позднемиоценового возраста ($N_1^{2-3}sv$ – *светлинская свита*) – россыпь Тараканий лог; террасовые аллювиальные отложения среднелейстоценового возраста (Q_2^2) левого берега р. Кожим.

Чернореченская россыпь находится на Северном Урале, в зоне влияния регионального Серовско-Маукского глубинного разлома [12]. Она приурочена к протяженной Ивдельско-Тагильской мезозойской эрозионно-структурной депрессии. Месторождение полихронное, имеет сложное геологическое строение. В разрезе присутствуют высокопродуктивные горизонты, отвечающие аллювиальным и аллювиально-пролювиальным отложениям лангурской свиты, в меньшей степени – мысовской и наурзумской свит, а также металлоносные четвертичные отложения в долинах рек Черная и Калья. Древние золотоносные отложения сохранились лишь в центральной части участка, в пределах опущенного тектонического блока протяженностью 1.5 км при ширине 0.9 км.

Андреевская россыпь входит в состав одного из наиболее высокопродуктивных россыпных узлов Южного Урала, располагающегося в южном обрамлении рудного поля Кочкарского золоторудного месторождения. В объеме рудно-россыпного

узла известен ряд пространственно обособленных групп россыпей: Андрее-Юльевская, Еленинская, Каменно-Санарская, Ленинская и др. Анализ геологической позиции россыпей Андрее-Юльевской группы, выполненное сопоставление состава и формы частиц россыпного металла с рудным золотом, извлеченным из протолок, позволяет утверждать, что формирование россыпей произошло за счет размыва коренных источников золотополисульфидно-кварцевой формации.

Все россыпи приурочены к Кочкарской II мезозойской эрозионно-структурной депрессии. Большая их часть тяготеет к зонам развития древнего (мезозойского) карста. Вскрытый разведочными скважинами, а позднее – эксплуатационными гидравлическими карьерами, геологический разрез включает озерно-аллювиальные отложения позднего олигоцена, аллювиальные отложения раннего миоцена (наурзумская свита), аллювиально-пролювиальные отложения позднего миоцена (светлинская свита) и четвертичные покровные образования. Основная золотоносность связана с глинисто-песчано-галечными отложениями наурзумской свиты. В зонах глубокого карста продуктивный горизонт нередко залегает наклонно, образуя т. н. “косые пласты”.

Казанская россыпь также находится на Южном Урале в пределах Казанско-Бессоновского рудно-россыпного узла, протягивающегося почти на 50 км от пос. Варшавского на севере до пос. Бреды на юге. Россыпи характеризуются аномально высокой продуктивностью. Основная часть добытого золота приходится на северную часть узла, где выделены Бессоновское и Казанское золотороссыпные поля. Согласно архивным данным и с учетом результатов ранее проведенных разведочных работ, из упомянутых россыпей добыто около 7.8 т золота.

Месторождения узла представлены широким диапазоном возрастных типов (юрского, позднемелового, раннемиоценового, позднемиоценового) при отсутствии россыпей четвертичного возраста. Наиболее распространены золотоносные пролювиально-аллювиальные отложения позднего миоцена. Более древние комплексы россыпей в значительной степени размывы. Золотоносные меловые отложения сохранились лишь в глубоких карстовых западинах. Однако россыпная продуктивность связанных с ними “косых пластов” была очень высокой.

Большинство россыпей узла располагается в пределах мезозойских эрозионно-структурных депрессий (Бессоновской и Казанской), а также их бортовых частей. Коренными источниками являются многочисленные кварцево-жильные поля золотополисульфидно-кварцевого типа: Зайцевское, Тамбовские жилы, Мулдабековское, Примазковское и др. [1].

Другим центром россыпной золотодобычи на Южном Урале является Суундукский рудно-

россыпной узел, располагающийся на границе Челябинской и Оренбургской областей. Как и вышеописанный, узел характеризуется аномально высокой россыпной продуктивностью. По архивным данным и с учетом результатов проведенных геологоразведочных работ, с россыпными месторождениями узла связано порядка 7 т золота. Площадь характеризуется широким распространением аллювиальных россыпей позднемиоценового (мысовская свита), а также раннемиоценового (наурзумская свита) возраста. Известны также делювиально-пролювиальные ложковые россыпи позднемиоценового возраста (светлинская свита) и россыпи в пределах современной гидрографической сети плиоцен-четвертичного возраста.

Наиболее богатые россыпи пространственно приурочены к контурам Колчинской мезозойской эрозивно-структурной депрессии, где они залегают на карбонатно-терригенных породах раннекаменноугольного возраста. Выделен ряд золото-россыпных полей – Колчинско-Михайловское, Назаровское, Айдырлинское. Ведущими коренными источниками россыпей являются многочисленные мелкие золоторудные объекты и рудопоявления золото-сульфидно-кварцевой формации.

Одним из наиболее высокопродуктивных изученных объектов является *Колчинская* россыпь, протягивающаяся в виде субмеридиональной полосы почти на 10 км. По архивным данным, из аллювиальных отложений позднемиоценового возраста (мысовской свиты) добыто более 2 т россыпного золота [1].

Шахматовская россыпь ложкового аллювиально-делювиального типа на Южном Урале приурочена к южному обрамлению Непряхинского рудно-россыпного поля. В геоморфологическом отношении – это зона Зауральского пенеплена, характеризующегося широким распространением химических кор выветривания. Золотоносность связана с отложениями плиоценового возраста (кустанайская свита). Из россыпи протяженностью более 2 км добыто около 115 кг золота.

Тараканий лог представляет собой ложковую россыпь делювиально-пролювиального генезиса позднемиоценового возраста. Располагается в южном обрамлении Миасского рудно-россыпного узла, характеризующегося широким развитием “склоновых” (элювиально-делювиальных, аллювиально-делювиальных, аллювиально-пролювиальных) россыпей. Химические коры выветривания в этом геоморфологическом районе имеют лишь островное развитие. Россыпи узла отличаются высокой продуктивностью.

Аллювиальная россыпь *р. Кожим* (Приполярный Урал) среднеплейстоценового возраста приурочена ко II надпойменной террасе левого берега. В районе интенсивно проявлены современные эрозионные процессы в пределах речной сети. Хи-

мические коры выветривания сохранились фрагментарно и в основном представлены линейно-контактовым типом.

При характеристике золота вышеуказанных объектов, прежде всего, приведено описание типоморфных особенностей металла по методике, принятой на стадии прогнозно-поисковых и разведочных работ. Новая информация получена при исследовании поверхностных слоев отдельных частиц самородного золота на наноразмерном уровне. Сделаны фотоснимки фрагментов наноскульптуры поверхности золотин, предложена их интерпретация. Исследования проводились на сканирующем электронном микроскопе с холодной эмиссией JSM 7500F фирмы “Jeol” (Япония), позволяющем выделять детали нанорельефа и нанообъекты в пределах поверхностного слоя в диапазоне размеров от 100 до 5 нм. Кроме того, микрозондовый анализ отдельных участков поверхности, а также фотографирование фрагментов микрорельефа поверхности зерен золота, выполнены на сканирующем электронном микроскопе JSM 6390LV фирмы “Jeol” с приставками (EDS и WDS) фирмы “Oxford Instruments”. Описание геологического строения россыпей и типоморфизма золота выполнено А.Г. Баранниковым, исследования нанонеоднородностей поверхности металла, нанозолота и его состава – Б.М. Осовецким.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РОССЫПНОГО ЗОЛОТА

Чернореченская россыпь. Описание самородного золота, выполненное на стадии разведки месторождения, показало, что в его гранулометрическом составе преобладают средние и крупные фракции. Встречены крупные зерна массой до 465.3 мг, находящиеся в срастании с кварцем и содержащие его включения. Морфологический спектр золотин в разновозрастных отложениях хотя и разнообразен, но достаточно постоянен, что свидетельствует в пользу преемственности металла при неоднократном перемыве продуктивных отложений. В изученных пробах присутствуют как золотины изометричных очертаний (комковидно-гнездовой, комковидно-угловатый, уплощенно-комковидной формы), так и уплощенные разновидности (пластинчато-таблитчатые, удлиненно-таблитчатые), редко иные (брусковидные, дендритовидные, гемиидиоморфных очертаний). Внешний контур многих золотин неровный, извилистый. Рельеф поверхности изменяется от ямчато-бугорчатого до сравнительно ровного с шероховатой (шагреновой) поверхностью (рис. 1).

Окатанность золотин изменяется от крайне слабой до значительной. Характерны многочисленные расклепанные краевые участки, загнутые выступы, трещины, углубления, борозды. На отдельных зер-

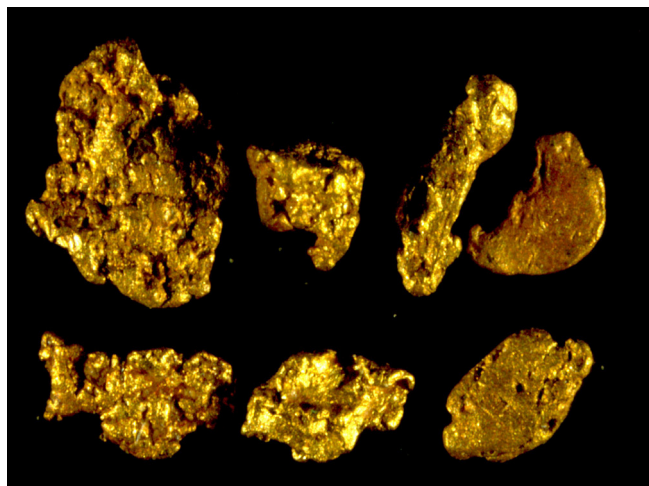


Рис. 1. Золото Чернореченской россыпи.

нах отмечены примазки и пленки гидроксидов железа. Помимо этого установлены факты обрастания золоти́н агрегатом мелкозернистого пирита. Проба золота (по данным химического анализа) изменяется от 836 до 887 и в среднем составляет (по данным четырех определений) 864‰. По результатам изучения химического состава поверхностного слоя золоти́н (данные шести микрозондовых определений), пробность колеблется от 875 до 929, в среднем составляет 909‰.

Андреевская россыпь. Установлено, что по крупности золото россыпи относится к мелкому классу (более 64% приходится на класс $-1.0+0.25$ мм). Морфология золоти́н всех классов однотипна. Среди них преобладают таблитчатые, толстотаблитчатые, комковидные, амёбовидные индивиды, реже – брусковидные, овальные (яйцевидные), чешуйчатые, проволоковидные, крючковатые, дендритовидные и иные. Окатанность зерен различная (от слабой до совершенной). Крупные золоти́ны порой несут следы истирания в виде тонких штрихов. Встречено золото в сростании с полупрозрачным кварцем; на поверхности отмечены отпечатки граней кристаллов прямоугольной формы. В затертых углублениях окатанных зерен наблюдаются пленки гидроксидов железа вишневых, темно-бурых и черных тонов. Поверхность неокатанных золоти́н варьирует от грубошерстистой, сотовидной до микрошерстистой и шагреновой.

Пробность золота исключительно высокая и в среднем составляет (по данным химического анализа) 946‰. Изучение состава золота на микрозонде показало, что в центральной части пробность составляет 963‰. При изучении внутренней структуры россыпного металла после структурного травления установлено его зернистое строение. Преобладает ориентировка зерен поперек вытянутости золоти́н; отмечены двойники роста (как простые, так и полисинтетические), реже – двойники деформации.

Выявлены субмикроструктуры золота – треугольная, чешуйчатая, ступенчатая, дендритовидная, бугорчатая. В большинстве изученных в разрезе золоти́н присутствует высокопробная оболочка, мощность которой обычно меняется в пределах 0.01–0.03 мм, в отдельных случаях возрастает до 0.16–0.37 мм. Встречены в золоти́нах и межзерновые прожилки мощностью от 0.008 до 0.4–0.6 мм.

Казанская россыпь. Металл из позднемиоценовых (мысовской свиты) и раннемиоценовых отложений (наурзумской свиты) практически однотипен. На класс $-1.0+0.25$ мм приходится (по данным изучения представительных проб) 55.7% массы золота. Средняя крупность золоти́н составила 0.54 мм. Металл представлен как объемными (комковидно-гнездовыми, комковидно-угловатыми, уплощенно-комковидными), так и уплощенными золоти́нами (прожилково-чешуйчатыми, реже прожилково-пластинчатыми). Для ряда частиц золота характерны удлиненные очертания, неровные изрезанные края. Поверхность их различная – шагреновая, грубошагреновая, мелкошерстистая, реже тонкошагреновая. Отдельные индивиды находятся в сростании с серовато-белым, желтовато-серым кварцем, содержат отпечатки контактировавших минералов, покрыты пленкой охристого и черного тонов.

Окатанность зерен изменяется от слабой до значительной. Встречены совсем не окатанные золоти́ны субрудного облика. При изучении внутренней структуры установлено, что центральная часть золоти́н обычно имеет отчетливое зернистое строение. Размер зерен колеблется от 0.07 до 0.3 мм. Отмечены двойники роста и полисинтетические. Гипергенные изменения проявлены в виде проникающих по границам зерен высокопробных прожилков, а также высокопробной периферийной каймы толщиной до 0.02 мм. В отдельных случаях уровень гипергенных преобразований очень высокий (до 60–70% площади среза). Пробность золота (по данным химического анализа) колеблется в пределах 897–950‰. По данным микрозондовых исследований проба отдельных золоти́н изменяется в широком диапазоне. В центральной части она составляет 900–907‰, в периферийной (поверхностном слое) колеблется от 849.7 до 943.5‰ (в среднем, по данным шести замеров – 902‰).

Колчинская россыпь. Изученный металл россыпи по крупности относится к категории мелкого. На класс $-1.0+0.25$ мм приходится около 52% массы золота. Средняя крупность зерна составила 0.75 мм. Морфологический спектр золоти́н включает в себя изометрические (комковидно-гнездовой, уплощенно-комковидной формы) – 31.8%, уплощенные (прожилково-чешуйчатые, прожилково-пленочные) – 59.0% и прочие (проволоковидные, дендритовидные) индивиды – 9.2%. Окатанность зерен варьирует в широких пределах – от совсем не обмятых золоти́н рудного облика до совершенной; по-

верхность изменяется от шагреновой до ячеистой. Пробность золота (по данным химического анализа) колеблется в пределах 920–993‰, в среднем составляет 937‰. При микрозондовом изучении поверхностного слоя золотин пробность (по данным семи определений) возросла до 960‰. Среди микропримесей в составе золота установлены: медь (0.13–1.62%), в отдельных пробах – ртуть (до 4.06%), селен (0.18–0.30%), мышьяк (0.21–0.23%), цинк (0.61–2.31%), в одном анализе – палладий (0.29%).

Назаровская россыпь. Россыпное золото данного объекта во многом идентично ранее описанному. По крупности оно соответствует в основном весьма мелкому: на класс $-4.0+1.0$ мм приходится 9%, $-1.0+0.25$ мм – 36%, $-0.25+0.1$ мм – 55% массы золота. В морфологическом спектре доминируют золотины изометрических очертаний (комковидно-угловатые, уплощенно-комковидные); на уплощенные разновидности (прожилково-таблитчатые, прожилково-пленочные) приходится до 45%. Поверхность золотин шагреновая, ячеистая. Окатанность большей частью низкая. Отмечены срастания золотин с кварцем. Пробность варьирует в широких пределах – от 834 до 993‰. При изучении внутренней структуры в ряде зерен установлено неоднородное строение (наличие нескольких фаз). Они представлены оболочками разного состава, существенно различающимися по содержанию серебра (от 0.06 до 16.22%). Зонарное строение проявляется и в поверхностном слое золота, что подтверждается данными микрозондового анализа (в разных частях на поверхности зерен содержание серебра изменяется от 2.59 до 12.05%). По данным определения состава отдельных зерен (семь проб) пробность колеблется от 863.1 до 982.3, в среднем составляет 930‰. В числе микропримесей в поверхностном слое отмечено присутствие меди (до 2.94%), селена (0.17–0.33%), мышьяка (0.15–0.20%), в одиночных анализах – палладия (0.21%), калия (0.73%), хлора (0.91%).

Шахматовская россыпь. По гранулометрии металл россыпи относится в основном к категории весьма мелкого. На класс $-1.0+0.25$ мм приходится 37%, класс $-0.25+0.1$ мм – 61% массы золота. В морфологическом отношении металл представлен частицами преимущественно изометрического облика – 65% (уплощенно-комковидными, комковидно-гнездовыми, комковидно-ячеистыми), в меньшей мере (30%) – уплощенными разновидностями (прожилково-чешуйчатыми, прожилково-пленочными и т.д.). В ряде случаев отмечены срастания с кварцем. Окатанность золотин в целом низкая. Поверхность шагреновая, реже мелкая ячеистая, ячеистая, в отдельных случаях занозистая, раковистая.

Выполненное картирование золота по всему отрезку древнего лога (описано 832 зерна) позволило охарактеризовать пространственную изменчивость облика золотин и обосновать приуроченность россыпи к минерализованной зоне смятия пород ран-

несилюрийского возраста (углеродсодержащих кремнистых сланцев). Пробность золота, по данным атомно-абсорбционного анализа, изменяется от 860 до 958‰ (в среднем 897‰). По данным микрозондовых исследований, в поверхностном слое проба золота колеблется от 898 до 991‰ (в среднем по данным шести определений – 955‰).

Россыпь Тараканий лог. Особенностью россыпи является присутствие значительной доли крупного и среднего металла классов $+4.0$ (в т.ч. самородков) и $-4.0+1.0$ мм. Металл нередко несет признаки транспортировки, ему свойственен существенно более низкий уровень гипергенных преобразований. При микрозондовых исследованиях аншлифов средняя пробность золота составила 935‰ (при колебании значений от 846 до 977‰), в то время как в поверхностном слое она равна 885‰ (вариации от 847 до 951‰).

Россыпь р. Кожим. Металл россыпи принадлежит к среднему и мелкому классам крупности. В морфологическом спектре преобладают уплощенные разновидности прожилково-таблитчатой, прожилково-чешуйчатой, уплощенно-комковидной формы. Окатанность зерен варьирует в широком диапазоне. Пробность золота, по данным микрозондовых исследований, в центральных частях исследованных золотин составляет 910‰ и незначительно возрастает в поверхностном слое (по результатам пяти определений составляет в среднем 917‰ при колебании значений от 852 до 966‰).

НАНОРЕЛЬЕФ ПОВЕРХНОСТИ ЗОЛОТА

Обычная для россыпного золота, в т.ч. уральского, шагреновая или ямчато-бугорчатая поверхность при изучении под электронным микроскопом с высоким разрешением представляется как совокупность различных микро- (от единиц и десятков микрон до долей микрона) и наноразмерных (0.1–0.001 мкм, т.е. 100–1 нм) деталей рельефа. Среди них можно выделить три группы: 1) отрицательные формы (дефекты), являющиеся результатом воздействия на поверхность факторов внешней среды, 2) инородные образования, попавшие в поверхностный слой золота под влиянием агентов химического выветривания или при транспортировке, и 3) фрагменты, характеризующие особенности внутреннего строения золота и проявляющиеся на его поверхности.

Среди объектов *первой группы* на поверхности золотин постоянно присутствуют поры, царапины и трещины (рис. 2). На поверхности золота многих россыпей отмечены микроборозды механической природы шириной до 10 мкм (рис. 3а). Они нередко “заплываются” в результате проявления эффекта развальцевания механически перемещенной массой золота с образованием слоисто-ячеистого микрорельефа. Детали нанорельефа таких микробо-

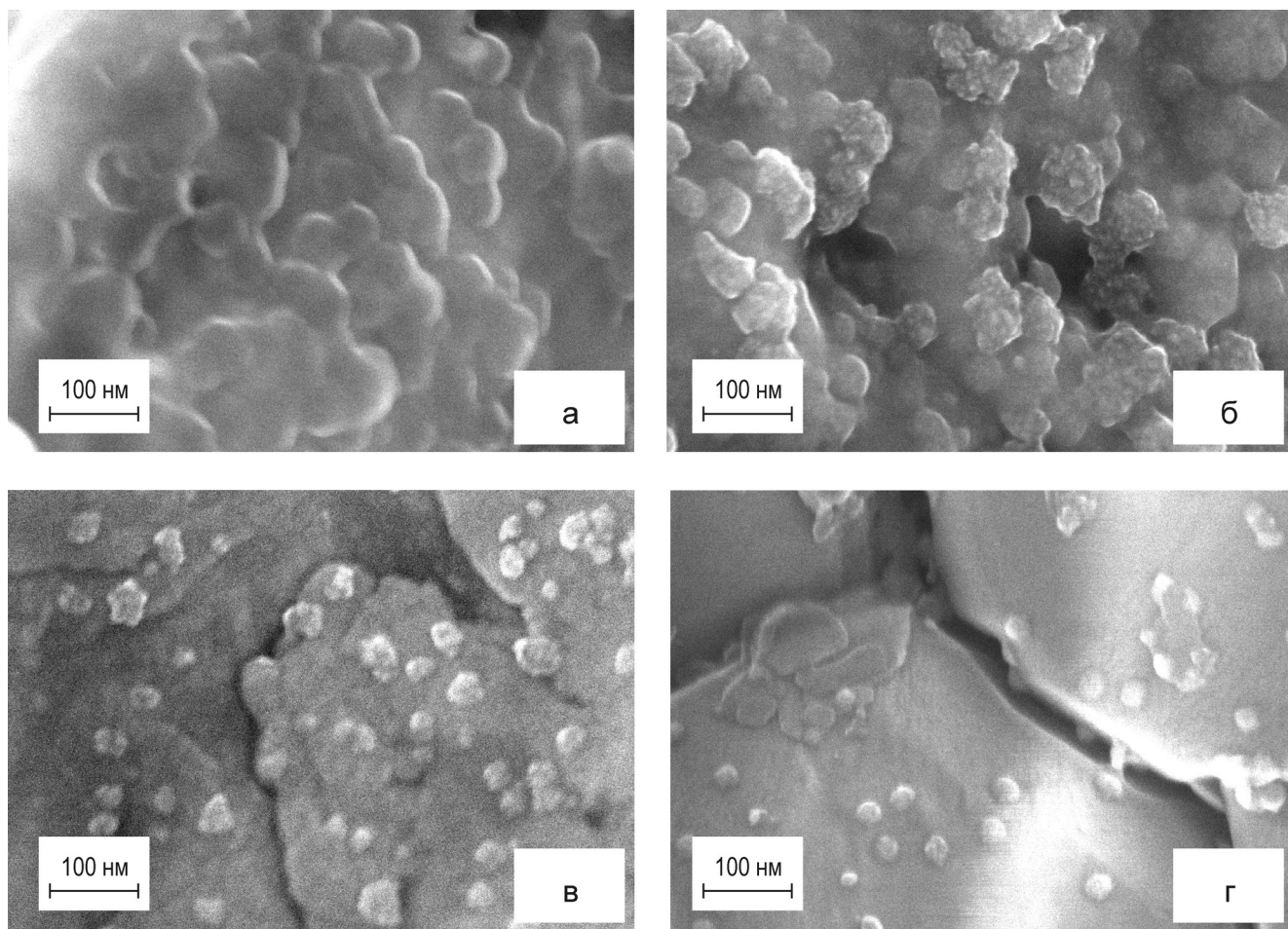


Рис. 2. Дефекты на поверхности золота.

а, б – нанопоры и наноглубления (россыпи Тараканий лог и Казанская); в, г – нанотрещины (россыпи р. Кожим и Колчинская).

розд свидетельствуют о неровной поверхности царапающих золото объектов и наличии на них выступов наноразмерной величины. Особенно часто микроборозды приурочены к краевым частям золотин. Наноборозды являются более редкими дефектами. Они отличаются небольшой глубиной, невысокими валиками по краям и являются следами скопления по поверхности золота одиночных наночастиц более твердого минерала.

Присутствие на поверхности частиц золота хаотично или закономерно расположенных наноглублений (рис. 3б), в т.ч. правильной геометрической формы, и нанотрещин является признаком существенно нарушенного состояния поверхностного слоя. Они могут отражать воздействие различных агентов внешней среды (химическое травление), механических деформаций, представлять зоны концентрации дефектов кристаллической решетки или диффузии более подвижных элементов (серебра, ртути, меди и др.) при формировании высокопробной оболочки и т.д.

Среди объектов *второй группы* наиболее распространены минеральные новообразования кор

выветривания, которые заполняют почти все углубления на поверхности золота, образуя налеты различной толщины. По минеральному составу они в основном, с учетом данных микрозондового анализа, представляют собой сочетания гидроксидов железа и глинистых минералов (табл. 1). Однако присутствуют также сульфаты, хлориды и титанистые соединения (вероятно, лейкоксен). Обычно наноразмерные частицы глинистых минералов отчетливо выделяются на электронных микрофотографиях по характерной форме кристаллитов. Так, на золоте Колчинской россыпи отмечены скопления брусковидных нанокристаллов гидрослюда, достигающих 500 нм в длину при ширине пластинок до 50 нм (рис. 3в). Ранее было установлено присутствие в бортовой части россыпи аргиллизитов. Часто встречаются также нанопленки гидроксидов железа (рис. 3г).

В процессе транспортировки золотин происходит вдавливание в их поверхностный слой различных шлиховых минералов (рис. 3д, е). На поверхности одной из золотин Назаровской россыпи отмечены микровключения минерала остроугольных очер-

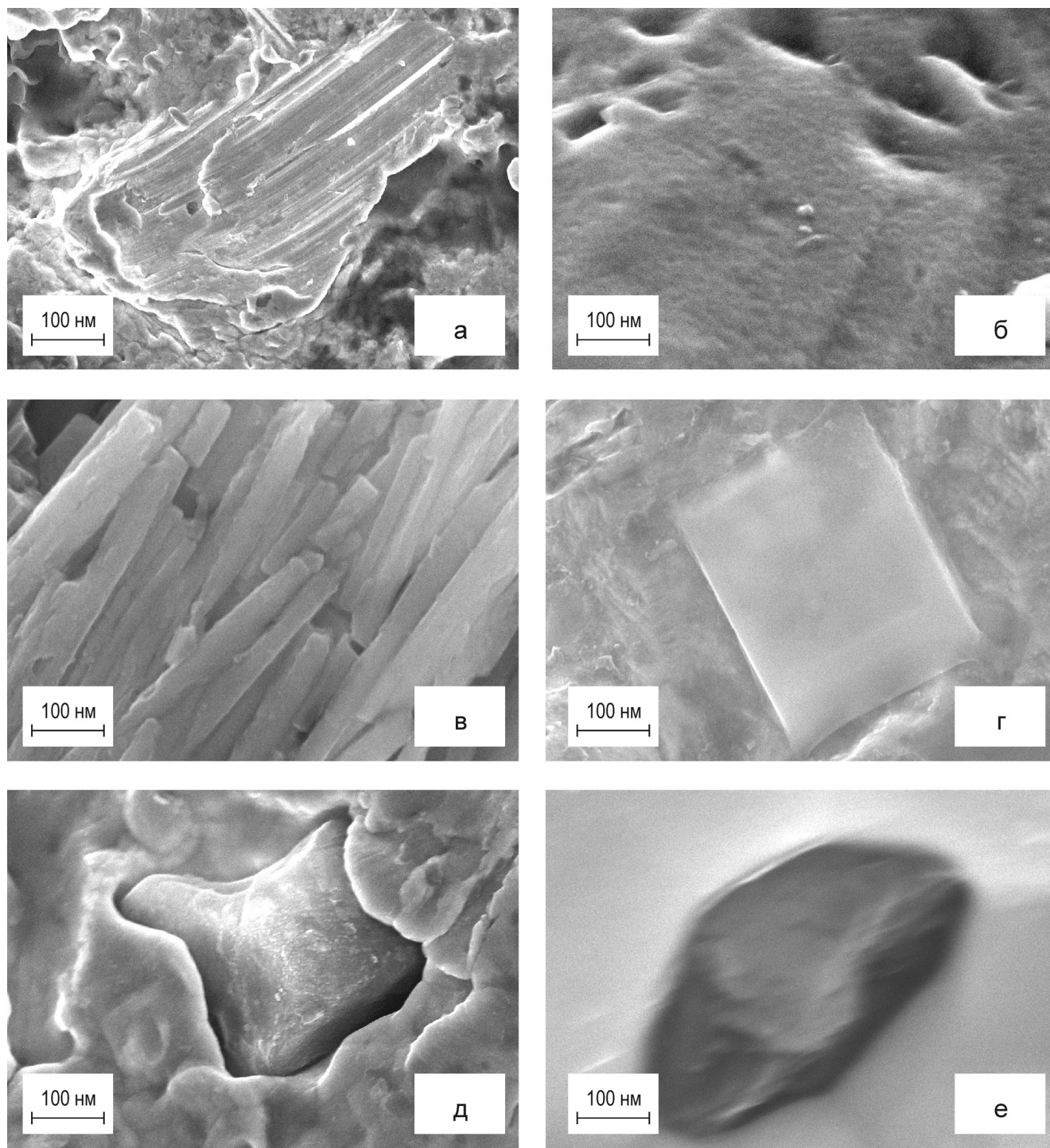


Рис. 3. Следы воздействия на поверхность россыпного золота.

а – борозды скольжения (россыпь Тараканий лог), б – наноглубления на золоте Казанской россыпи, в – нановключения гидрослюда в углублении поверхности (Колчинская россыпь), г – нанопленка гидроксида железа на поверхности золота Колчинской россыпи, д – вдавленный минерал (золото россыпи Тараканий лог), е – то же (золото Назаровской россыпи).

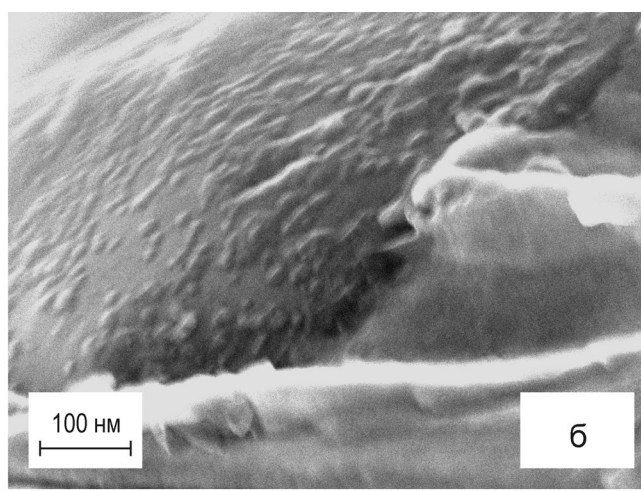
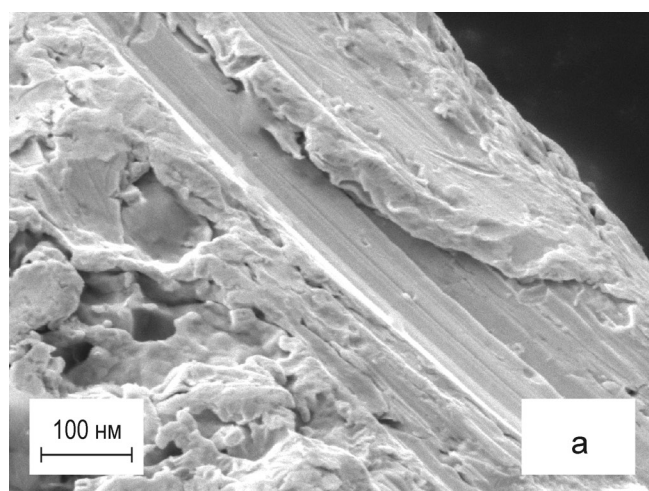
таний (одно из них размером 1.0×1.2 мкм, остальные – наноразмерные). Микрозондовый анализ наиболее крупного зерна позволил диагностировать его как разновидность алланита (мас. %): SiO_2 – 36.31, Al_2O_3 – 28.81, Ce_2O_3 – 28.44, Nd_2O_3 – 1.10, Fe_2O_3 – 2.06,

CaO – 1.26; K_2O – 1.00; TiO_2 – 0.72; ThO_2 – 0.32. Присутствие зерен алланита в качестве микровключений в поверхностном слое золота данной россыпи вполне объяснимо: в западном обрамлении Колчинской мезозойской депрессии находится крупный Суундукский

Таблица 1. Химический состав глинисто-железистых включений в золоте, мас. %

Компонент	1	2	3	4	5	6
SO ₃	—	—	—	—	—	1.34
SiO ₂	60.97	57.52	48.66	53.61	51.77	38.72
TiO ₂	0.29	1.59	8.57	0.23	0.50	0.46
Al ₂ O ₃	25.76	22.50	41.53	17.02	31.35	25.81
Cr ₂ O ₃	—	—	—	0	—	0.39
FeO*	7.86	9.29	1.00	22.01	6.93	31.71
MgO	1.63	3.79	0	5.17	2.53	0.60
MnO	—	0	0	0.17	0.11	0
CaO	0.91	0.94	0.24	0.89	0.53	0.25
Na ₂ O	1.15	0.62	—	0	1.01	0.23
K ₂ O	0.88	3.75	—	0.90	5.27	0.49
Cl	0.33	—	—	—	—	—
Сумма	99.78	100	100	100	100	100

Примечание. Россыпи: 1 – Андреевская, 2 – Шахматовская, 3 – Назаровская, 4 – Тараканий лог, 5 – р. Кожим, 6 – Чернореченская. Здесь и далее в таблицах: — компонент не определялся.

**Рис. 4.** Отражение внутреннего строения на поверхности частиц металла.

а – микрослоистость, б – нанобугорчатость поверхности золота россыпи Тараканий лог.

интрузивный комплекс гранодиорит-гранитного состава, с которым пространственно и генетически связаны проявления редкометалльной минерализации.

В углублении поверхности одной из золотин Назаровской россыпи обнаружен агрегат нескольких наночастиц галита овальной формы, сцементированных вторичными новообразованиями. Средний химический состав частиц агрегата (мас. %): Na – 42.97, Cl – 52.6, Fe – 3.48, Ca – 0.42, K – 0.52. Присутствие хлоридов в поверхностном слое золота может быть связано с масштабными эпигенетическими процессами, проявившимися в регионе в позднем миоцене в условиях резкой аридизации климата. Следует отметить, что наличие натрия, калия и хлора зафиксировано микрозондовым анализом в поверхностном слое золота не только Назаровской, но и Колчинской россыпей.

Объекты *третьей группы* на поверхности россыпного золота отмечаются реже, поскольку детали внутреннего его строения, проявляющиеся на поверхности, часто перекрываются наложенными слоями золота в ходе развальцевания, расклепывания, скольжения и т.д. На отдельных участках поверхности наблюдаются микро- и наноскульптуры, свидетельствующие о слоистом строении золота (рис. 4а). Признаком сохранения первичной наноскульптуры грани кристалла золота является нанобугорчатость (рис. 4б). В частности, экспериментально доказано, что грань реального кристалла при ее наблюдении под большим увеличением имеет шероховатое строение [11]. На наноуровне такое строение выглядит как скопление ориентированных в определенном направлении нанобугорков удлиненной формы [6].

“НОВОЕ” НАНОЗОЛОТО

Как показали наши исследования, “новое” золото исключительно широко распространено в изученных россыпях. Оно представлено выделениями разной формы и размеров, приуроченными в основном к углублениям на поверхности частиц россыпного золота. Анализ показал, что все морфологические проявления “нового” золота в своей основе имеют наночастицы металла.

Среди выделений “нового” золота можно выделить следующие морфологические группы: 1) изолированные наночастицы, 2) агрегаты небольшого количества наночастиц одной генерации, 3) сложные по форме агрегаты наночастиц нескольких генераций, 4) сплошные агрегатные образования пленочного типа и 5) многослойные постройки (“корочки” и др.) наночастиц “нового” золота.

Наиболее простой и распространенной формой новообразований золота является присутствие *изо-*

лированных наночастиц на поверхности россыпного металла. На золоте Чернореченской россыпи данный морфологический тип “нового” золота представлен большим количеством одиночных округлых наночастиц размером 50–100 нм (рис. 5). “Новое” золото в виде отдельных наночастиц от округлых, изометрических (размером до 75 нм) до удлиненно-призматических (до 50 нм) распространено на поверхности золотин Назаровской россыпи; размером до 20–35 нм округлой и изометричной формы – на металле Колчинской россыпи. Новообразованные наночастицы золота размером до 60–75 нм присутствуют на золоте Шахматовской россыпи. На золоте россыпи р. Кожим мелкие наночастицы золота разной формы (как изометрично-округлые, так и с прямолинейными ограничениями) довольно редки и равномерно рассеяны по поверхности.

Небольшие по размерам агрегаты, сложенные малым количеством наночастиц “нового” золота,

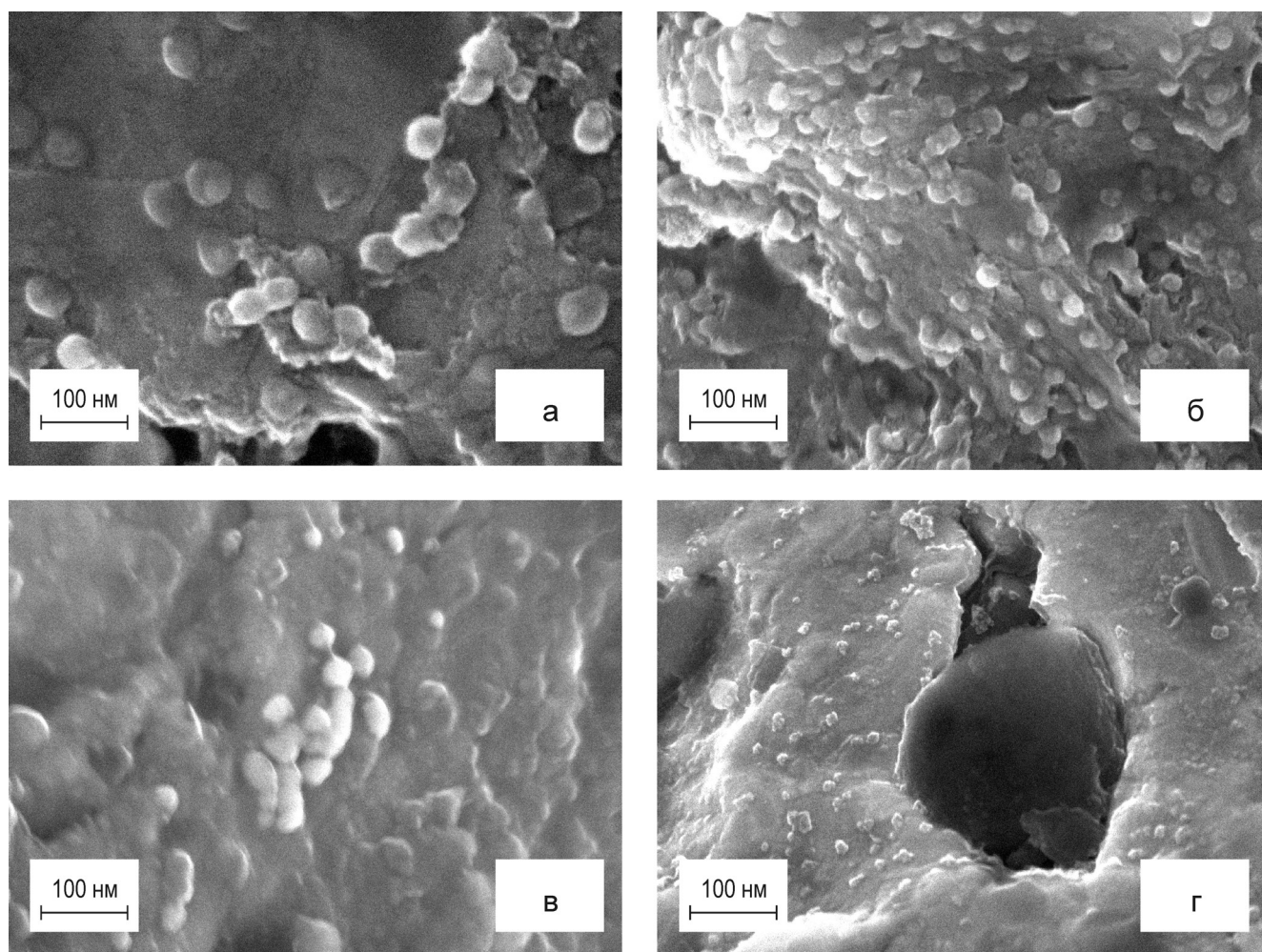


Рис. 5. Изолированные наночастицы “нового” золота.

а, б – на металле Чернореченской россыпи; в – Казанская россыпь, г – россыпь р. Кожим.

также широко распространены на золоте уральских россыпей. Слагающие их наночастицы, скорее всего, принадлежат одной генерации, т.е. были включены в состав агрегата одновременно. Примером могут быть небольшие агрегаты наночастиц “нового” золота россыпей Чернореченской и р. Кожим (рис. 6).

Сложные агрегаты, состоящие из наночастиц “нового” золота нескольких генераций, являются довольно распространенным и весьма разнообразным по конфигурации морфологическим типом. Они различаются по размерам, форме агрегата, количеству, морфологии и крупности наночастиц золота, присутствию минеральных новообразований коры выветривания и некоторым другим признакам. В частности, по форме можно выделить округлые, веретенообразные, моховидные, цепочечные, каркасные, звездчатые и другие агрегаты (рис. 7).

Сплошные выделения наночастиц “нового” золота часто представлены небольшими агрегатами, непосредственно примыкающими друг к другу с

образованием относительно тонкой пленки на поверхности матричного золота (рис. 8а). Наиболее сложными являются сплошные *многослойные новообразования* золота, представленные заметными по толщине корочками или звездчатыми агрегатами. Корочки, состоящие из множества мельчайших (5–10 нм) наночастиц “нового” золота, могут покрывать относительно большие участки поверхности и особенно пониженные участки микро- и нанорельефа (рис. 8б).

Звездчатые агрегаты являются своеобразными скоплениями более темных листоватых и светлых, обычно удлиненных минеральных выделений (рис. 9). С учетом данных микрозондового анализа было установлено, что они представляют собой сложные минеральные смеси, состоящие в основном из гидроксидов железа и самородного золота (см. ниже).

Определение усредненного *химического состава* наночастиц “нового” золота, проведенное в местах плотного скопления в агрегатах, показало, что

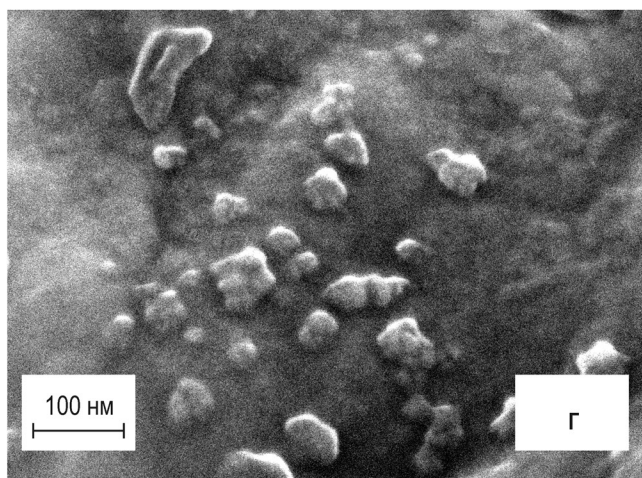
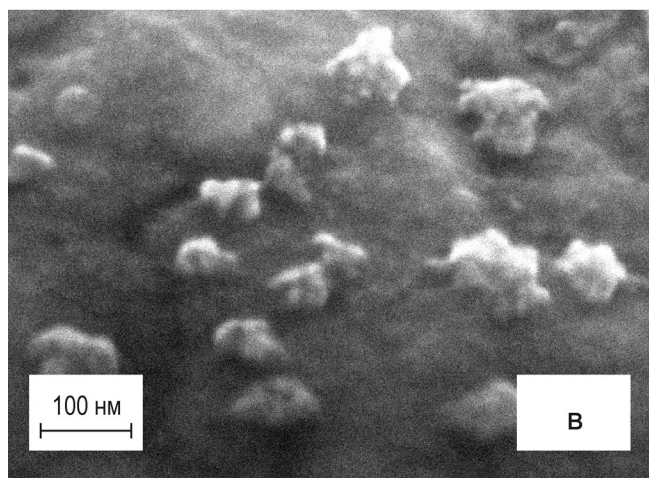
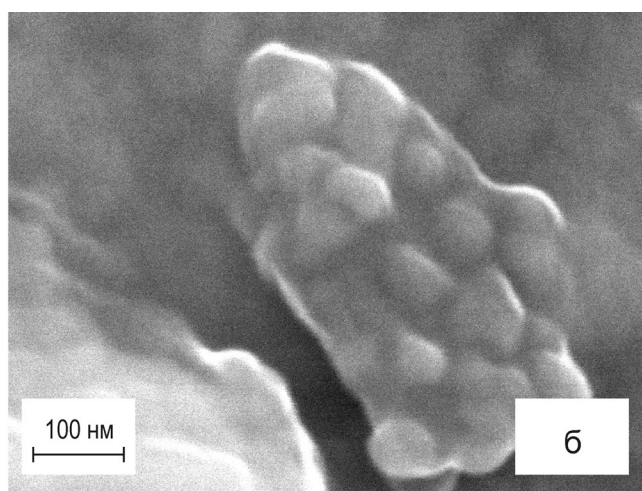
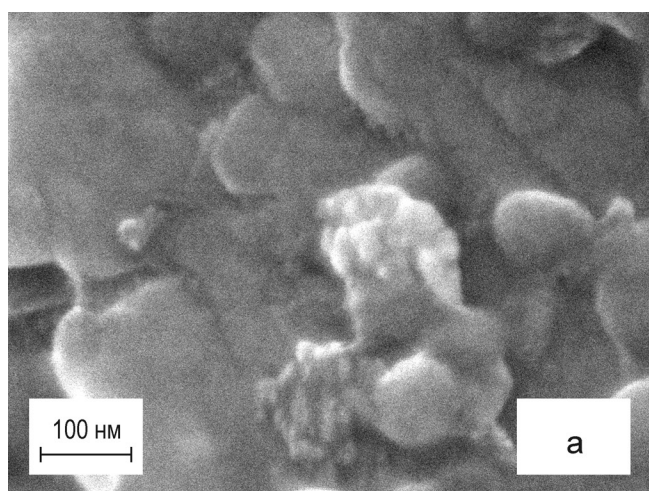


Рис. 6. Мелкие агрегаты наночастиц “нового” золота одной генерации.

а, б – Чернореченская россыпь; в, г – россыпь р. Кожим.

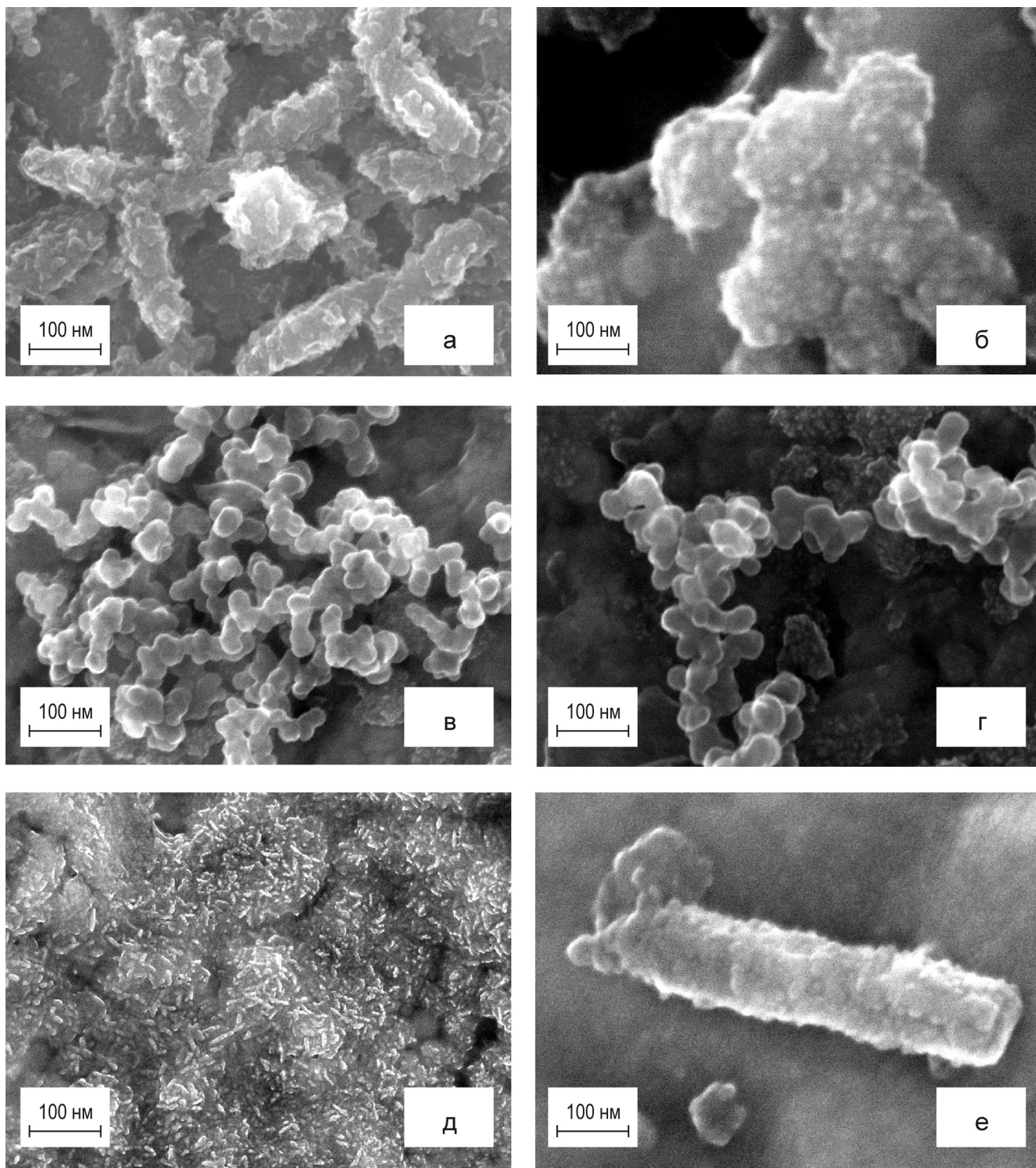


Рис. 7. Сложные агрегаты наночастиц “нового” золота.

а – веретенообразные (Чернореченская россыпь), б – шаровидные (Казанская россыпь), в – каркасные (Казанская россыпь), г – цепочечные (Казанская россыпь), д – звездчатые (Казанская россыпь), е – шестоватые (Колчинская россыпь).

среди них присутствуют пять минеральных разновидностей: 1) высокопробное золото, 2) серебристое золото, 3) медистое золото, 4) ртутистое золото и 5) золото-железистые новообразования.

Высокопробное золото является довольно распространенной минеральной формой наночастиц агрегатов. Особенно оно характерно для “нового” золота Колчинской и Назаровской россыпей. В его

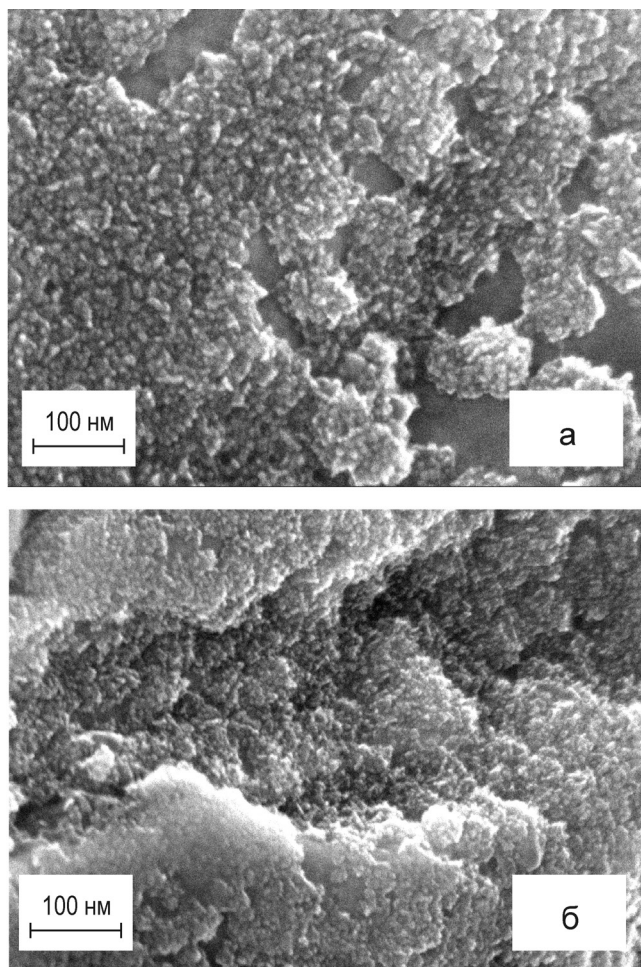


Рис. 8. Сплошные выделения наночастиц “нового” золота на золоте Андреевской россыпи.

а – однослойные, б – многослойные.

составе могут присутствовать в небольшом количестве некоторые элементы-примеси – серебро, медь и др. (табл. 2). Серебристое золото встречается чаще и типично для агрегатов наночастиц “нового” золота россыпей Чернореченской, Казанской, р. Кожим, Тараканий лог. Медистое золото с содержанием меди свыше 1% встречается редко и обнаружено только в углублениях поверхности единичных знаков золота Назаровской и Колчинской россыпей.

Ртутистое золото с содержанием ртути до 13% весьма характерно для новообразований нанозолота. Металл с агрегатами наночастиц ртутистого золота особенно часто обнаруживается в Андреевской россыпи, реже – в Чернореченской, Колчинской и Казанской. Под оптическим микроскопом присутствие ртутистого золота фиксируется по наличию губчато-пористого рельефа поверхности. Его отличает своеобразный микро- и нанорельеф, представляющий собой пористый агрегат разноориентированных частиц удлиненной формы (веретенообразной, брусковидной, палочковидной и иной). В каче-

стве сравнения отметим, что подобную форму имеют обособления раскристаллизованной амальгамы, выросшей на поверхности старой серебряной монеты, имевшей обращение до 1610 г. и попавшей в россыпь долины р. Кокуй (приток р. Серебрянки) при добыче золота на Николаевском руднике [3].

Золото-железистые новообразования обнаружены в Чернореченской россыпи. В их составе иногда обнаруживаются повышенные содержания свинца, бария и платины (табл. 3). Следует подчеркнуть, что при документации геологических разрезов по данной россыпи, проводившейся в 1990-х гг., было обращено внимание на широкое проявление в базальных горизонтах отложений лангурской свиты процессов эпигенетического ожелезнения.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Анализ морфологических особенностей и состава самородного золота уральских россыпей различного возраста позволяет сделать ряд выводов, указывающих на сходство их коренных источников, а также процессов формирования россыпей. Морфологический спектр частиц самородного золота в разновозрастных металлоносных отложениях достаточно постоянен. Отмечен в значительной степени повторяющийся перечень морфологических разновидностей как в сравниваемых объектах, так и в разновозрастных горизонтах отдельных месторождений. Основные различия проявляются в особенностях гранулометрии золота отдельных месторождений и характере его механического преобразования при транспортировке в пределах речных долин.

Детальное изучение поверхности россыпного золота в электронном микроскопе высокого разрешения дало возможность обнаружить многочисленные наноразмерные следы гипергенных преобразований под влиянием агентов химического выветривания (поры, налеты, пленки и др.) и механических трансформаций в результате транспортировки в водной среде (штрихи, царапины, борозды, поры, углубления, трещины, включения шлиховых минералов). Однако на отдельных участках поверхности сохраняются и признаки, свидетельствующие об особенностях внутреннего строения золота (нанослоистость, нанобугорчатость).

Широкое развитие “нового” золота в уральских россыпях является известным фактом [3, 5, 11]. Наши исследования показали, что зарождение новообразований происходит в углублениях микро- и нанорельефа частиц россыпного золота и начинается с наноразмерных индивидов. В дальнейшем они агрегируются и постепенно разрастаются. При этом необходимо принимать во внимание, что значительный объем новообразованного золота мог быть уничтожен в процессе транспортировки и перетотложения золотинок в россыпях.

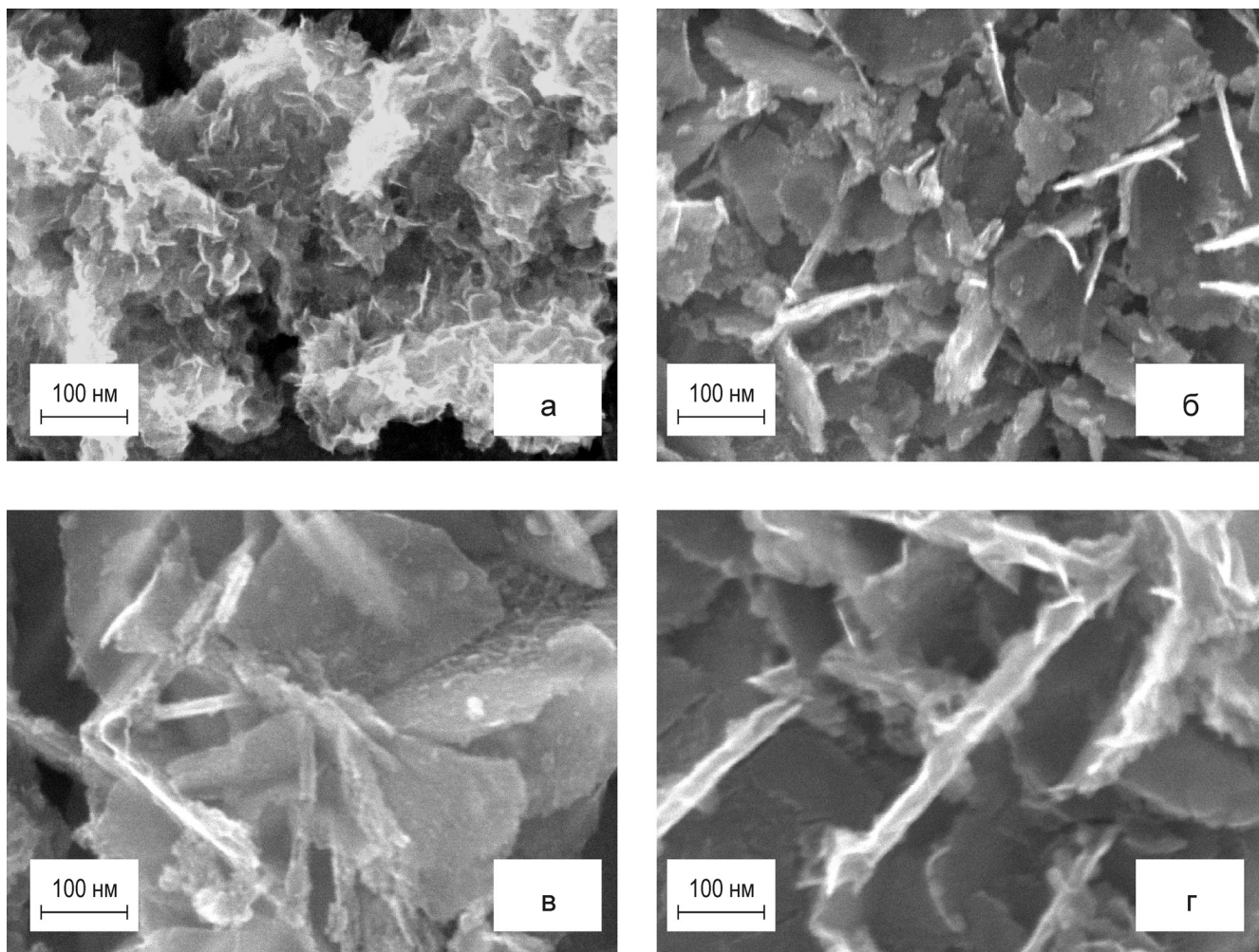


Рис. 9. Строение золото-железистых агрегатов.

а-в – золото Чернореченской россыпи, г – золото россыпи Тараканий лог.

Таблица 2. Средний химический состав наночастиц золота в агрегатах, мас. %

Элемент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Au	96.85	87.25	88.07	86.19	98.98	87.97	82.89	96.34	92.91	86.46
Ag	0	12.65	11.52	0	0	1.25	11.20	0	0.26	0
Cu	2.94	0	0.13	0	0	1.62	0	0	0.13	0.81
Hg	0	0	0	13.24	0	4.06	0	0.45	4.85	10.39
Ni	0	0	0	0	0	0.28	0	0.16	0	0
Co	0.21	0	0	0	0	0.17	0	0	0.12	0
Se	0	0	0.21	0	0	0.30	0.29	0	0	0
As	0	0	0.15	0	0	0	0.24	0	0	0
Sb	0	0	0	0	0	0	0	0	0.24	0.25
Bi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pd	0	0	0	0.27	0	0	0	0	0	0.47
Pt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe	–	–	0	–	0.37	0.43	2.06	1.43	0.26	0.20
Al	–	–	0.40	–	–	1.00	1.27	–	–	–
Zn	–	–	–	–	–	2.31	–	–	–	–
Сумма	100	99.90	100.48	99.71	99.35	99.39	97.94	98.37	98.78	98.58

Примечание. Россыпи: 1, 2 – Назаровская; 3, 4 – Казанская; 5, 6 – Колчинская; 7, 8 – Чернореченская; 9, 10 – Андреевская.

Таблица 3. Химический состав золото-железистых агрегатов на поверхности металла Чернореченской россыпи, мас. %

Элемент	1	2	3	4	5	6	7
Au	69.22	59.58	56.09	51.10	48.69	35.84	27.97
Ag	3.30	8.32	13.50	9.20	19.42	8.31	2.43
Hg	0	0	0	0	0.32	8.46	2.19
Cu	0.54	1.25	0	0.44	0	0.98	0.51
Pb	—	—	—	—	—	—	11.06
Pt	—	—	—	—	—	—	1.57
Fe	7.79	11.51	4.51	15.35	6.74	5.71	14.00
Al	1.10	0.85	2.28	1.93	1.05	9.19	4.65
Si	1.12	—	1.86	1.07	0.97	6.03	2.64
Ba	—	—	—	—	—	—	2.59
O	16.65	18.07	21.55	20.39	22.72	25.50	29.22
Сумма	99.72	99.58	99.79	99.48	99.91	100.02	98.83

Форма отдельных наночастиц “нового” золота преимущественно овальная или шарообразная, однако иногда агрегаты сложены удлинёнными или уплощёнными индивидами. Нередко наблюдается высокая степень однородности наночастиц как по размеру, так и по форме, что позволяет предположить одновременность и единообразие процессов их зарождения.

Относительно механизма образования наночастиц золота в условиях, соответствующих разновозрастным россыпям Урала, в настоящее время можно судить лишь в весьма общих чертах. Наиболее вероятным считается их появление в значительных количествах в зрелых железистых корах выветривания, развитых на гидротермальных золото-сульфидно-кварцевых месторождениях. Активное участие железистых компонентов в образовании “нового” золота обусловлено процессами химического выветривания, в результате которых сульфиды железа, присутствующие в большом количестве в породах золото-кварцево-сульфидной формации, переходят в гидроксиды железа. При этом происходит высвобождение т.н. “невидимого” золота, находившегося в сульфидах. Можно предположить, что это золото является наноразмерным и, благодаря своей высокой химической активности, осаждается вместе с соединениями железа на поверхность россыпного металла. Результатом является образование золото-железистых агрегатов, сложный химический состав которых отражает геохимические особенности минералообразующей среды коры выветривания. Вероятно, значительная часть наночастиц золота мигрирует в корах выветривания и осаждается на иных геохимических барьерах. Ранее подчеркивалось, что для образования “нового” золота необходимы другие условия: жаркий влажный климат, длительное формирование коры выветривания, особая геохимическая среда и т.д. [4, 9].

Значительное количество наночастиц золота может возникать в результате механического истирания золотинок при их транспортировке водными потоками. В данном случае наиболее вероятным после-

дующим процессом будет не концентрация, а рассеивание нанозолота в осадках. Поскольку гравитационными методами нанозолото уловить невозможно, то дальнейшая его судьба в литосфере неизвестна.

Концентрация наночастиц золота в природе, прежде всего, происходит в результате их осаждения на поверхность крупных зерен металла. Механизмы этого процесса в настоящее время можно представить исходя из известных представлений о физических свойствах наночастиц металлов. Один из этих механизмов связан с огромной удельной поверхностной энергией и химической активностью наночастиц, особенно при снижении их размерности до величин порядка 5 нм и менее. Подтверждением реальности данного механизма является исключительная приуроченность наночастиц золота к углублениям поверхности металла, а также постоянное стремление их к агрегации.

Другой механизм реализуется в форме процесса природной или техногенной амальгамации. Об этом свидетельствует частое присутствие ртути в агрегатах нанозолота. Поступление ртути в большом количестве вполне вероятно по зонам глубинных разломов, а также при разработке россыпей старателями. Например, в поверхностном слое золота Андреевской россыпи установлено присутствие высоких содержаний ртути – от 1.21 до 11.28% (среднее по данным восьми определений – 4.61%). Учитывая длительный период отработки Андреевской россыпи (с 50-х годов XIX в.) можно предположить, что ртутистое золото россыпи имеет техногенную природу. Присутствие ртутьсодержащей пленки отмечено также на поверхности золота Казанской россыпи. Золотодобычные работы в пределах данного рудно-россыпного узла начались еще в 30-х годах XIX века с широким использованием приемов амальгамации.

Заслуживает особого внимания процесс агрегации одиночных наночастиц золота в сложные структурные постройки. Изучение агрегатов “нового” золота в сканирующем электронном микроскопе при разных увеличениях показало, что они име-

ют многоуровневую структуру. Уже при увеличении порядка 30–50 тыс. раз на электронных микрофотографиях отчетливо различаются наночастицы золота размером от 100 до 50 нм, однако их внутреннее строение не удается установить. При увеличении порядка 100 тыс. раз внутри этих наночастиц просматриваются глобулы размером 30–50 нм. Последние также оказываются не монолитными образованиями, т.к. при увеличении до 200 тыс. раз в них различаются наночастицы размером 20–10 нм. Наконец, при максимальном использованном нами увеличении порядка 400–500 тыс. раз в структуре нанобъектов крупностью 20–30 нм заметны слагающие их частицы размером до 5 нм и менее.

Таким образом, только что появившиеся в виде отдельных индивидов мельчайшие наночастицы золота в любом случае будут стремиться к объединению. Размеры сформированных при этом агрегатов наночастиц и площади зон их распространения определяются количеством индивидов и микрорельефом поверхности частиц россыпного металла. Возможность длительного существования одиночных наночастиц в свободном состоянии пока не доказана. Только в результате быстрого осаждения на поверхность россыпного металла они консервируются на длительный период и могут быть изучены.

Наблюдения агрегатов в электронном микроскопе показали, что наночастицы золота в их составе не просто соприкасаются друг с другом, но и цементируются массой вторичного неструктурированного золота. Это особенно заметно в тех случаях, когда плотность наночастиц золота в агрегатах относительно небольшая, отчего они даже не соприкасаются друг с другом (рис. 6б). Цементация вторичным золотом обеспечивает сравнительную устойчивость агрегатов в течение достаточно длительного времени и облегчает в дальнейшем их соединение друг с другом. Постоянное присутствие в составе агрегатов нетипичных для самородного золота элементов (Si, Fe, Al, Mg, Ca, Ti, **реже – Mn, Zn, K, Na, Cl, S**) свидетельствует о захвате при образовании агрегатов вещества коры выветривания (глинистых и железистых минералов, галоидов, сульфатов).

Осаждение нанозолота на поверхность одних и тех же частиц россыпного металла происходило неоднократно. Результаты формирования разновременных выделений “нового” золота можно рассмотреть на примере Казанской россыпи. Здесь наиболее ранними по возрасту (первая генерация) являются округлые наночастицы размером до 50 нм, сцементированные сплошной массой вторичного золота. Эта генерация имеет наибольшую площадь распространения и формирует ямчато-бугорчатый микрорельеф поверхности.

Следующими по возрасту (вторая генерация) являются агрегаты, сложенные сравнительно однородными по размеру наночастицами (10–20 нм). Эти агрегаты размером 100–200 нм располагаются на поверхности ранее описанных и образуют

как изолированные в пространстве островки, так сплошные тонкие корочки (рис. 10а, б).

Еще более молодыми (третья генерация) будут рыхлые ажурные агрегаты, образованные наночастицами размером 30–50 нм. Они приурочены к пониженным участкам микрорельефа поверхности золота первой генерации и отличаются своеобразной конфигурацией (ветвистая, цепочечная, гроздевидная и т.д.) (рис. 10в).

В наиболее глубоких участках микрорельефа поверхности выявляются наиболее поздние выделения ртутистого золота (четвертая генерация), представленные удлинёнными (веретенообразные, палочковидные и др.) агрегатами размером до 100 нм и более в длину, сложенные наночастицами размером 10–20 нм. Они цементируются вторичным золотом с образованием довольно рыхлых скоплений своеобразного рисунка (рис. 10г).

Сложное сочетание разновременных морфологических разновидностей “нового” золота на поверхности металла Казанской россыпи свидетельствует о длительности процесса его образования, неоднократном изменении условий осаждения наночастиц и неструктурированного вторичного золота, а также влиянии поверхностных микроформ рельефа на данный процесс.

На многих участках поверхности золота россыпи р. Кожим также отчетливо просматривается многослойное строение выделений “нового” золота. Здесь на поверхности пленочных накоплений слабо агрегированного раннего нанозолота осаждались более поздние отдельные наночастицы. Приведенные данные свидетельствуют о том, что и в молодых комплексах россыпей (в данном случае среднеплейстоценового возраста) процессы образования “нового” золота в определенных геолого-геоморфологических обстановках могли проявляться достаточно масштабно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Результаты изучения морфологии золота рассмотренных в статье месторождений Урала свидетельствуют о преемственности металла при неоднократной трансформации россыпей на отрезке континентальной истории в мезозое и кайнозое. Сведения по внутреннему строению и составу (пробность, микропримеси) золота указывают на ведущую роль в формировании россыпей региона *коренных источников золото-полисульфидно-кварцевой, отчасти золото-кварцевой формации.*

2. На поверхности россыпного металла присутствуют многочисленные следы транспортировки, проявляющиеся в различных видах механических деформаций, а также продукты гипергенного преобразования и техногенного воздействия. Исследование поверхности частиц золота с использованием сканирующего электронного микроскопа высокого разрешения (при увеличении до 500 тыс. раз)

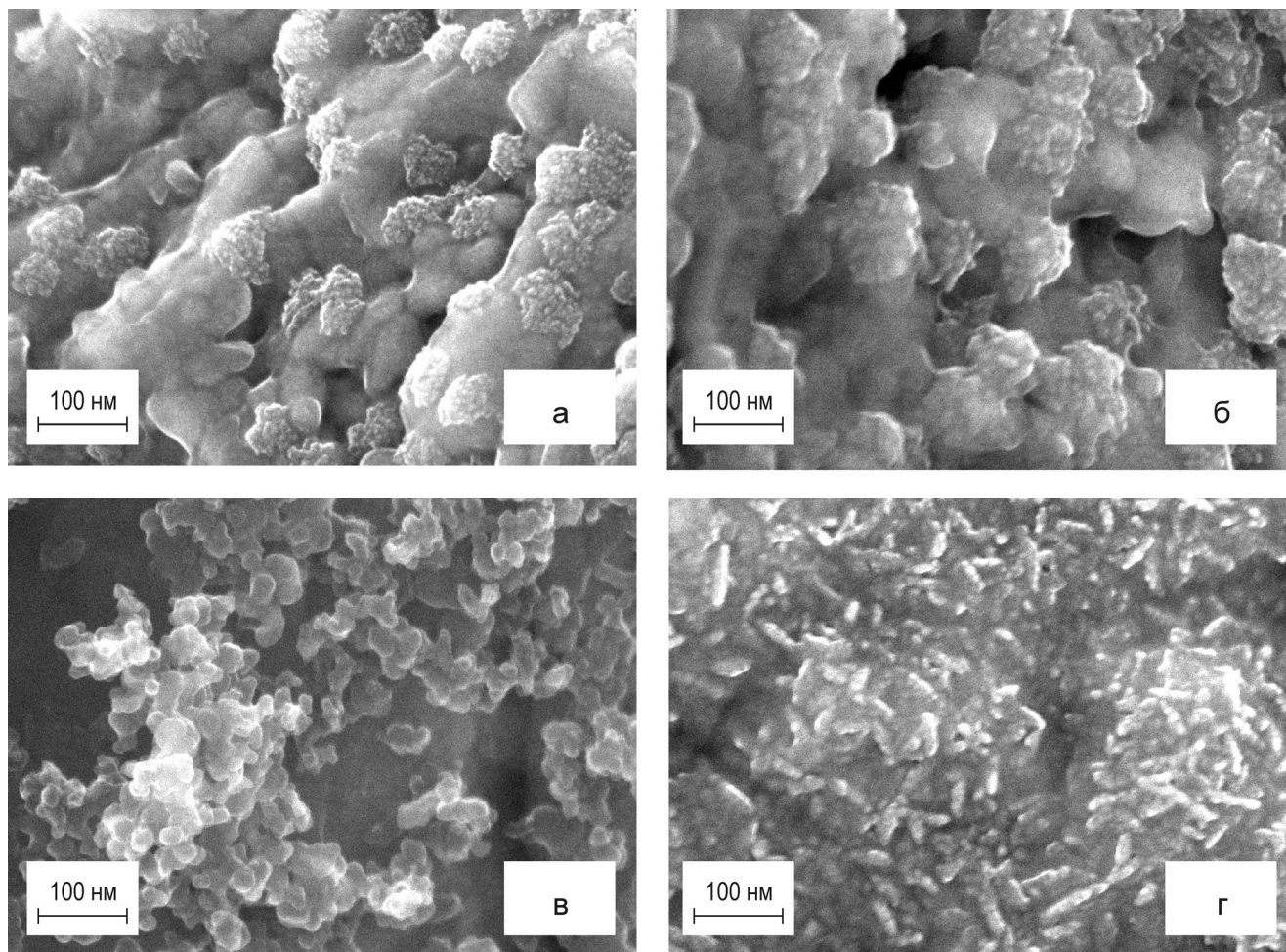


Рис. 10. Различные генерации частиц нанозолота и их агрегатов на поверхности россыпного металла Казанской россыпи.

а, б – первая и вторая; в – третья; г – четвертая.

позволило собрать принципиально новую информацию, касающуюся деталей строения их микро- и нанорельефа, установить присутствие на поверхности различных морфологических типов “нового” золота.

3. “Новое” золото концентрируется в углублениях частиц россыпного металла. Оно представлено агрегатами разной степени сложности или обособленными наночастицами золота. Микронзондовый анализ дал возможность выявить элементный состав “нового” нанозолота и других наночастиц на поверхности россыпного металла.

4. Основным фактором, определяющим образование “нового” золота, является присутствие коренной рудоносности золото-сульфидно-кварцевого и золото-сульфидного типов в плотике россыпей. В процессе окисления золотосодержащих сульфидов (пирита, халькопирита, арсенопирита, пирротина и др.) происходило высвобождение золота и его частичный переход в растворы. Таким образом, появление “нового” золота в россыпях можно рас-

сматривать как поисковый признак на данные типы оруденения.

5. Существует мнение, что “новое” золото может отлагаться только в условиях жаркого гумидного климата. Полученные данные свидетельствуют о том, что переход золота в истинные и коллоидные растворы возможен и в иных, более холодных климатических условиях.

6. Многообразие форм выделения “нового” нанозолота свидетельствует о разных механизмах его осаждения на поверхности металла, среди которых наиболее вероятными являются, с одной стороны, адсорбция, благодаря высокой удельной поверхности и химической активности наночастиц металлов и, с другой, – процесс природной или техногенной амальгамации.

7. Применение электронной микроскопии высокого разрешения позволило установить заметное различие степени гипергенного преобразования золотин разновозрастных россыпей. Так, общий уровень гипергенного преобразования золотин плиоце-

новой Шахматовской россыпи существенно уступает металлу из россыпей мезозойского возраста.

8. Изучение процессов формирования “нового” золота на наноуровне может способствовать разработке новых технологий концентрирования металла на природных объектах с низким или непромышленным содержанием золота, а также на площадях распространения старых золотосодержащих отвалов и нетрадиционного золотосодержащего сырья.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранников А. Г. Золотоносность Гогинского рудно-россыпного района (Южный Урал). Екатеринбург: УГГУ, 2006. 197 с.
2. Бахтизин Р.З. Сканирующая электронная микроскопия – новый метод изучения поверхности твердых тел // Соросовский образоват. журн. 2000. № 11. С. 83–89.
3. Минералогия Урала: элементы, карбиды, сульфиды. Свердловск: УрО АН СССР, 1990. С. 68–88.
4. Мурзин В.В., Малюгин А.А. Типоморфизм золота зоны гипергенеза. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1987. 96 с.
5. Нестеренко Г.В. Прогноз золотого оруденения по россыпям. Новосибирск: Наука, 1991. 191 с.
6. Николаева Л.А. “Новое” золото в россыпях Ленского района // Труды ЦНИГРИ. Вып. 25, кн. 2. М., 1958. С. 19–122.
7. Новгородова М.И., Генералов М.Е., Грубкин Н.В. Новое золото в корях выветривания Южного Урала (Россия) // Геология рудных месторождений. 1995. Т. 37, № 1. С. 40–253.
8. Осовецкий Б.М. Наноскульптура поверхности золота. Пермь: Пермский госуниверситет, 2012. 232 с.
9. Осовецкий Б.М., Баранников А.Г. “Новое” нанозолото Чернореченской россыпи // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Вып. 15. Пермь: Пермский госуниверситет, 2012. С. 36–42.
10. Панкратов С., Панов В. Поверхности твердых тел // Наука и жизнь. 1986. № 5-6. С. 34–65.
11. Петровская Н.В. Самородное золото. М.: Наука, 1973. 345 с.
12. Савельева К.П., Баранников А.Г. Золотое оруденение нетрадиционного типа в зоне Серовско-Мауского глубинного разлома на Северном Урале // Литосфера. 2006. № 2. С. 157–166.
13. Шефталъ Н.Н., Кисенко В.Е. Нормальный механизм роста кристаллов // Процессы реального кристаллообразования. М.: Наука, 1977. С. 22–30.

Рецензент В.Н. Огородников

Morphological varieties and nano-relief of gold surface in the Urals placers of different geological age

A. G.Barannikov*, B. M.Osovetskiy**

*Urals State Mining University

**Perm State National Researching University

The geological position and typomorphic peculiarities of gold in the Urals placers of different geological age are described. The details of gold surface nano-relief and morphology of “new” gold on the base of high resolution electronic microscopy are characterized. The complex structure of these forms as the aggregates of gold nano-particles is based. The data of microprobe analyses of chemical composition of gold nano-particles and other nano-objects in the surface of gold are adduced. The mechanisms of golden nano-particles formation and their aggregation are offered.

Key words: the Urals placers, gold, electronic microscopy, gold surface nano-relief, “new” nano-gold.