
МИНЕРАЛЫ И ПАРАГЕНЕЗИСЫ МИНЕРАЛОВ

ВНУТРЕННЕЕ СТРОЕНИЕ ЗЕРЕН РОССЫПНОГО ЗОЛОТА КАК ПОИСКОВЫЙ ПРИЗНАК ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ КОРЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ СЕВЕРО-ВОСТОКА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

© 2022 г. д. чл. Б. Б. Герасимов*

*¹Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН,
пр. Ленина, 39, Якутск, 677007 Россия***e-mail: bgerasimov@yandex.ru*

Поступила в редакцию 12.11.2021 г.

После доработки 04.04.2022 г.

Принята к публикации 07.04.2022 г.

Типоморфные признаки россыпного золота являются носителями важнейшей информации необходимой для реконструкции истории формирования россыпных проявлений золота и могут использоваться в качестве минералогических критериев при поиске коренных источников россыпей. Одним из информативных типоморфных признаков является внутреннее строение зерен самородного золота. Изучена внутренняя структура золотин современных россыпей и конгломератов раннепермского возраста северо-востока Сибирской платформы. Структурное травление самородного золота производилось с использованием реактива ($\text{HCl} + \text{HNO}_3 + \text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + \text{CrO}_3 + \text{тио-мочевина} + \text{вода}$). Установлено, что хорошо окатанные зерна высокопробного самородного золота современных россыпей претерпели неоднократное переотложение через промежуточные коллекторы. Обнаружение слабо окатанных золотин, внутренне строение которых не несет признаков экзогенного преобразования, свидетельствует о их поступлении в современный аллювий из близлежащего коренного источника. В ходе поисковых работ на рудное золото выявлены апокарбонатные гидротермально-метасоматические образования с вкрапленным золото-сульфидным оруденением.

Ключевые слова: россыпное золото, внутренняя структура золотин, высокопробная оболочка, коренные источники, Сибирская платформа, поисковые признаки

DOI: 10.31857/S0869605522030042

Известно, что в россыпях происходит преобразование морфологии, химического состава, а также внутренней структуры зерен самородного золота (Петровская, 1973; Николаева, 1978; Charman et al., 2000; Dill, 2008; Alam et al., 2008). Типоморфные признаки россыпного золота несут важнейшую генетическую информацию, необходимую для восстановления истории формирования россыпных и рудных проявлений (Петровская, 1973; Николаева, 1978; Николаева и др., 2003; Савва, Прейс, 1990; Charman et al., 2011; Савва, 2018; Никифорова и др., 2020).

Одним из признаков, отражающих пострудные эндогенные изменения и продолжительность пребывания зерен самородного золота в экзогенных условиях, является их внутреннее строение (Петровская, 1973; Николаева, 1978). Изучение структуры золотин особенно актуально для территорий, на которых не выявлены коренные источники. Примером выступает северо-восточная часть Сибирской платформы, где из-

вестны многочисленные россыпи золота с неустановленными коренными источниками (Герасимов, Никифорова, 2017; Никифорова и др., 2018).

Классификация внутренних структур зерен самородного золота разработана Н.В. Петровской (1973) и дополнена Л.А. Николаевой с соавторами (1978; 2003). Нами изучены особенности внутренней структуры зерен россыпного золота (более 500 знаков) из разведочных проб, отобранных из современных аллювиальных отложений, а также конгломератов пермского возраста северо-востока Сибирской платформы.

Целью исследований стало выявление особенностей внутреннего строения зерен россыпного золота в зависимости от химического состава, характера и степени его преобразований, а также возможность их использования в качестве поискового признака на природных объектах.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

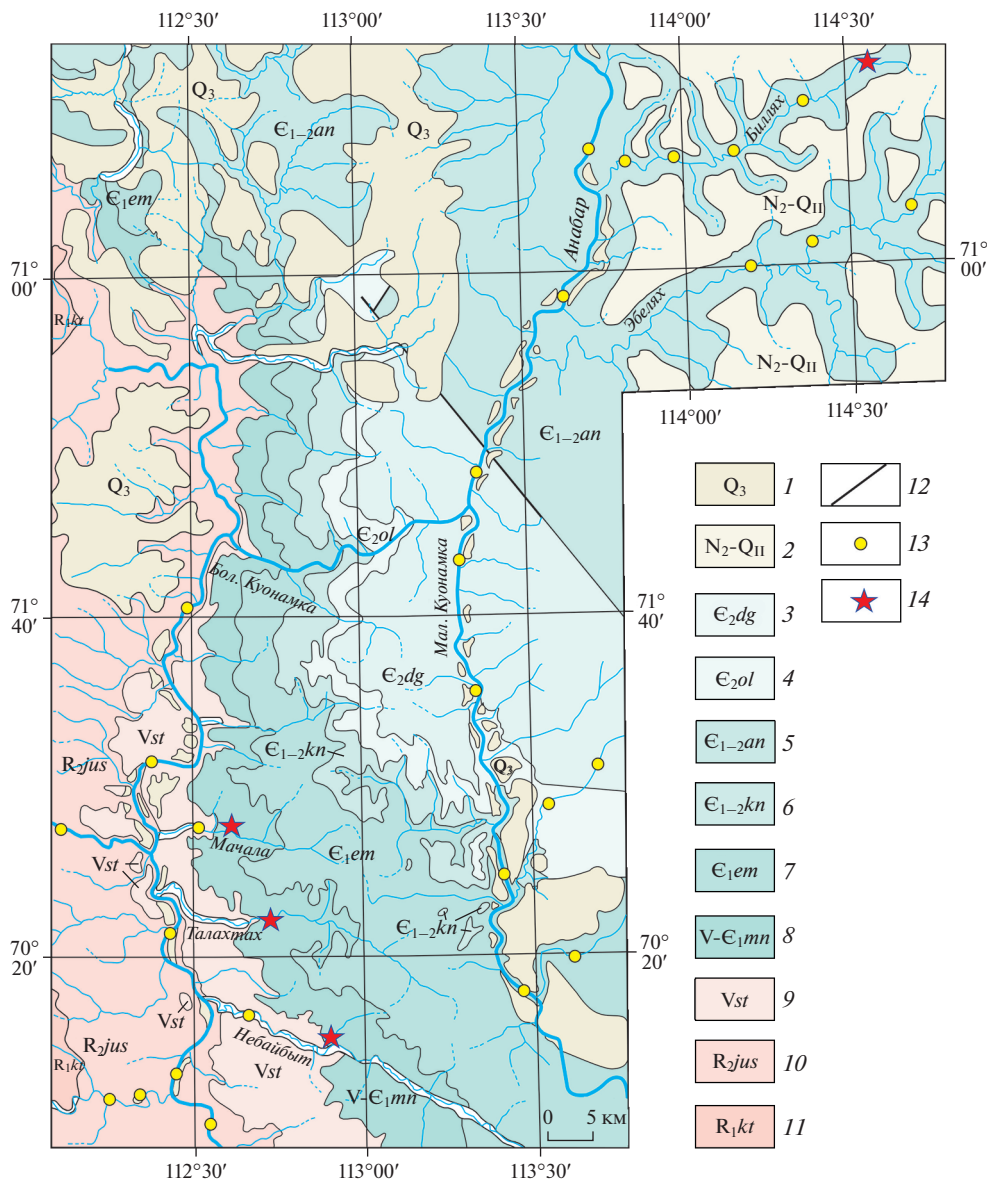
Исследования основаны на материалах автора, собранных на северо-востоке Сибирской платформы за 15-летний период. Изучено самородное золото из шлиховых проб, отобранных из современных аллювиальных отложений бассейна рек Анабар, Большая Куонамка, Малая Куонамка и Эекит, а также пермских конгломератов бассейна р. Сололи.

В ходе проведенного исследования: (1) зерна самородного золота были разделены на классы крупности, (2) выделены морфологические разновидности золотин с учетом цвета, степени окатанности и наличия включений, (3) описаны морфологические разновидности зерен самородного золота, (4) определена пробность наиболее типичных золотин.

Для изучения химического состава и особенностей внутреннего строения золотины монтировались в шашку из эпоксидной смолы с последующей их шлифовкой на корундных порошках и полировкой на алмазных пастах до зеркального блеска. При этом чешуйчатые и тонкопластинчатые золотины помещались в шашки не горизонтально, а вертикально, так как при полировке тонкие золотины, расположенные горизонтально могут полностью истереться или вылететь из шашки, а при описанном способе прессовки потеря золотин не происходит. Таким образом, достигается оптимальный срез зерен необходимый для дальнейшего изучения их внутренней структуры.

Химический состав минералов определялся при помощи энергетического спектрометра "OXFORD" INCA-sight фирмы "JEOL" оснащенного аналитическими приставками Oxford Instruments (волновой и энергодисперсионный спектрометры). Съемки проводились при следующих условиях: ускоряющее напряжение 20 кВ, ток зонда 1.09 нА, время измерения 7 с, аналитические линии: Au – M α , Ag – α , другие элементы – K α . Пределы обнаружения элементов (мас. %): Au 1.81, Ag 1.11, Cu 1.22, Hg 1.73. Аналитические работы проведены в отделе физико-химических методов анализа ИГАБМ СО РАН (аналитик Н.В. Христофорова). Пробность золота определялась до травления, а также после изучения внутренней структуры. Перед повторным микрорентгеноспектральным анализом проводилась полировка золотин.

Внутреннее строение зерен самородного золота изучалась путем их травления в смонтированных шлифах по известной методике (Петровская и др., 1980), с использованием реактива (HCl + HNO₃ + FeCl₃·6H₂O + CrO₃ + тиомочевина + вода). Реактив наносился на поверхность отполированного золота, вмонтированного в искусственный аншлиф. Золотины протравливались от 10 до 30 с, в несколько приемов. После каждой процедуры травления аншлиф промывался под сильной струей воды, затем высушивался. После этого проявленные внутренние структуры детально изучались при помощи рудного микроскопа NEOPHOT 32 и сканирующего электронного микроскопа JEOL JSM-6480LV. Интерпретация особенностей внутренних структур прово-



дильсь в соответствии с рекомендациями Н.В. Петровской и соавторов (1973; 1980), Л.А. Николаевой и соавторов (1978; 2003), Н.Е. Саввы и В.К. Прейса (1990).

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

В геологическом строении рассматриваемой территории принимают участие метаморфические, осадочные и вулканогенно-осадочные породы докембрийского, палеозойского, мезозойского и кайнозойского возраста (рис. 1, 2). Магматические образования представлены породами гранитоидной, ультраосновной, щелочно-ультраосновной и траппо-

Рис. 1. Схема геологического строения Анабарского россыпного района (составлена на основе данных: Духанин, Эрлих, 1967; Рубенчик и др., 1980).

1 – аллювиальные отложения четвертичного возраста; 2 – неоген-четвертичные галечники; 3–7 – отложения кембрийского возраста: 3 – известняки джахтарской свиты, 4 – доломитистые известняки и мергели оленекской свиты, 5 – доломиты анабарской свиты, 6 – битуминозные известняки, кремнистые и известковистые аргиллиты и алевролиты куонамской свиты, 7 – глинистые, доломитистые, водорослевые, алевролитистые известняки и мергели эмьяксинской свиты; 8 – доломитистые известняки манькайской свиты венд-кембрийского возраста; 9 – доломиты, глинистые сланцы, гравелиты и конгломераты старореченской свиты венда; 10 – доломиты, песчаники, алевролиты, гравелиты и конгломераты юсмастакской свиты позднего рифея; 11 – песчанистые, глинистые доломиты, песчаники, гравелиты, конгломерато-брекчии котуйканской свиты раннего рифея; 12 – линии разрывных нарушений; 13 – места отбора шлиховых проб; 14 – места обнаружения гидротермально-метасоматических образований.

Fig. 1. Geological scheme of the Anabar alluvial region (after: Dukhanin, Erlikh, 1967; Rubenchik et al., 1980).

1 – alluvial deposits of Quaternary age; 2 – Neogene-Quaternary pebbles; 3–7 – deposits of Cambrian age: 3 – limestone of the Jakhtar suite, 4 – dolomitic limestone and marl the Oleneck suite, 5 – dolomite of the Anabar suite, 6 – bituminous limestone, siliceous and calcareous mudstone, siltstones of the Kuonam suite, 7 – clayey and dolomitic limestone, algae marl of the Emyakinsky suite; 8 – dolomitic limestone of the Manykay suite of Vendian-Cambrian age; 9 – dolomite, clay shale, gravelite, and conglomerate of the Vechensky Formation; 10 – dolomite, sandstone, siltstone, gravelite, and conglomerates of the Yusmastakh Formation of Late Riphean age; 11 – sandy, clay dolomite, sandstone, gravelite, and conglomerate breccia of the Kotuykansky Formation of the Early Riphean age; 12 – faults; 13 – places of sampling of exploratory samples; 14 – places of sampling of ore samples.

вой формаций, относящихся к протерозойскому, среднепалеозойскому и мезозойскому магматическим этапам (Шпунт и др., 1976; Тектоника..., 2001; Сметанникова и др., 2013). Тектоническая позиция района определяется расположением в области развития двух крупных структур Сибирской платформы – Анабарской антеклизы и Лено-Анабарского прогиба. В пределах Анабарской антеклизы выделяются Анабарский массив, Оленекской свод с Сололийским, Далдынским и Куойским блоковыми выступами, Уджинское блоковое поднятие, Суханская впадина и ряд более мелких структур второго (Эбеляхское поднятие и др.) и третьего порядка. Лено-Анабарский прогиб – крупная линейная зона погружения, ограничивающая Анабарскую антеклизу на севере. По данным предшественников современный структурный план фундамента и платформенного чехла исследуемой территории сформировался в результате неоднократных активизаций древних разломов (Милашев, 1979; Рубенчик и др., 1980). К примеру, в период мезозойской тектоно-магматической активизации произошло омоложение древних систем глубинных разломов (Молодо-Попигайской, Анабаро-Эйекитской и др.), что привело к образованию целой серии новых разрывных нарушений.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Внутреннее строение зерен россыпного золота региона довольно разнообразно.

Внутреннее строение хорошо окатанных зерен россыпного золота из современных аллювиальных отложений. Россыпное золото широко распространено в современных аллювиальных отложениях практически всех водотоков северо-восточной части Сибирской платформы. Оно представлено в основном хорошо окатанными чешуйчатыми и пластинчатыми формами (рис. 3, а, б), размером 0.1–0.5 мм с грубошагренево-и мелкоямчатой поверхностью, иногда с отпечатками вдавливания минералов вмещающих отложений (рис. 3, в, г). Золотины имеют высокую пробность (900–999 ‰). В качестве элементов-примесей в них обнаружены Ag (до 10%), Cu и Hg (на уровне предела обнаружения). Внутреннее строение зерен самородного золота этого типа отражает существенные преобразования золотин и характеризуется наличием мощных высокопробных оболочек (рис. 4), структур рекристаллизации и перекристаллизации (рис. 5, б), линий пластических деформаций (рис. 7).

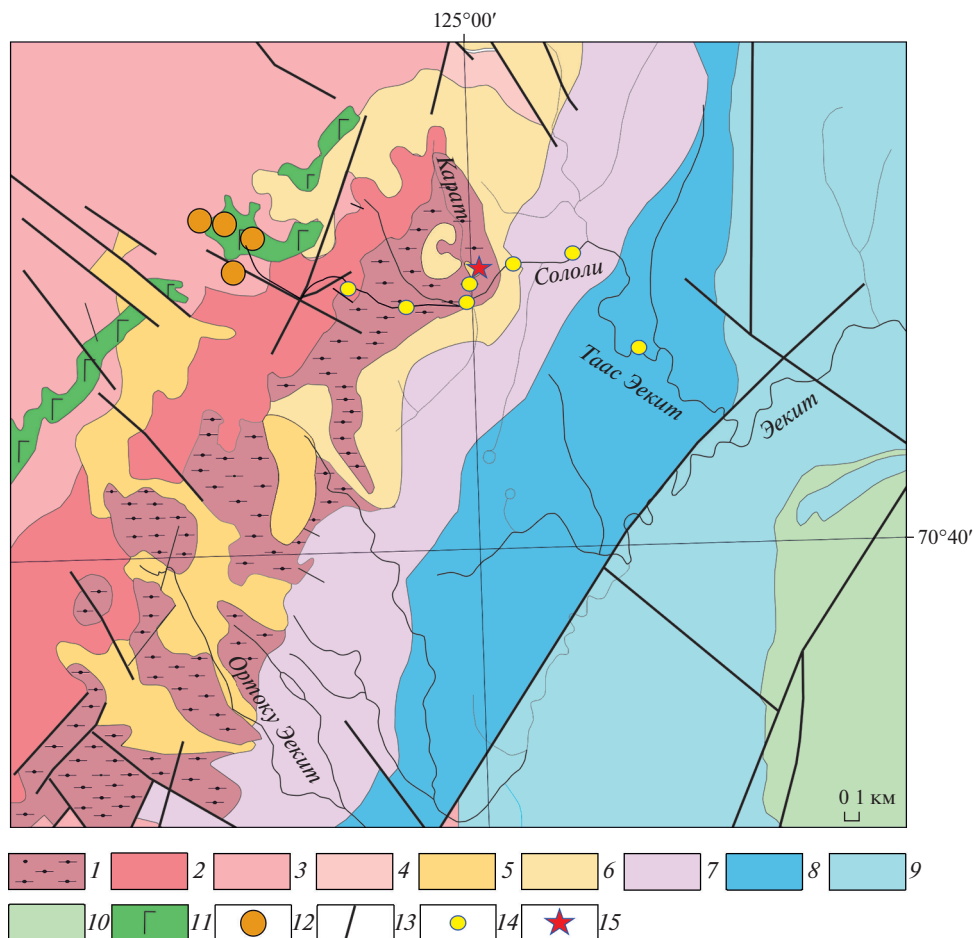


Рис. 2. Схема геологического строения дочетвертичных образований Сололийского поднятия (по данным Сметаниковой и др., 2013).

1 – образования раннего протерозоя; 2 – раннерипейские песчаники, алевролиты, гравелиты и конгломераты; 3 – позднерипейские песчаники, доломиты и известняки; 4 – вендские доломиты и известняки; 5 – конгломераты, гравелиты, песчаники, углистые сланцы, алевролиты ортокинской свиты ранней перми; 6 – переслаивание пачек аргиллитов, алевролитов и песчаников никабытской свиты поздней перми; 7 – триасовые аргиллиты, алевролиты и туфопесчаники; 8 – позднетриасовые и раннеюрские конгломераты, песчаники, алевролиты; 9 – песчаники, конгломераты, прослои аргиллитов и алевролитов, линзы известняков юрского возраста; 10 – меловые песчаники, алевролиты, прослои и линзы конгломератов; 11 – раннерипейский уэтыяхский комплекс долеритов; 12 – вендский трахибазальт-трахитовый монгусский комплекс; 13 – разломы; 14 – точки опробования аллювиальных отложений; 15 – точка опробования конгломератов пермского возраста.

Fig. 2. Geologic scheme of Pre-Quaternary formation of the Sololy uplift (according to: Smetannikova et al., 2013).

1 – formation of the Early Proterozoic; 2 – Early Riphean sandstone, siltstone, gravelstone, and conglomerate; 3 – Late Riphean sandstone, dolomite, and limestone; 4 – Vendian dolomite and limestone; 5 – conglomerate, gravelstone, sandstone, carbonaceous shale, siltstone of Ortokinskaya formation of the Early Permian; 6 – alternation of layers of claystone, siltstone, and sandstone of Nikabytskaya formation of the Late Permian; 7 – Triassic claystone, siltstone, and tuffstone; 8 – Late Triassic and Early Jurassic conglomerate, sandstone, siltstone; 9 – sandstone, conglomerate, interlayers of claystone and siltstone, lenses of sandstone of Jurassic age; 10 – Cretaceous sandstone, siltstone, interlayers and lenses of conglomerate; 11 – Early Riphean Uetyakhsky complex of dolerites; 12 – Vendian trachybasalt – tracytic Mongussky complex; 13 – faults; 14 – alluvial sediment sampling places; 15 – Permian conglomerates sampling places.

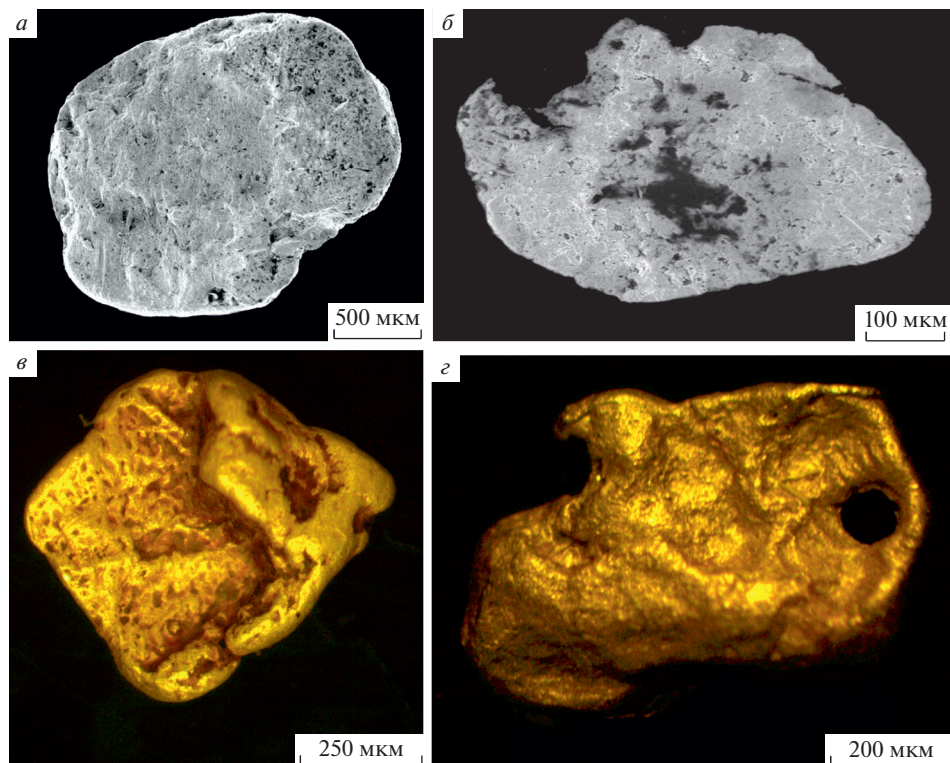


Рис. 3. Морфология хорошо окатанных золотин.

а – пластинчатое выделение, *б* – чешуйчатое выделение, *в* – пластинчатое выделение с отпечатками вдавливания минералов, *г* – то же со сквозным отверстием. *а, б* – изображения в обратно-отраженных электронах, *в, г* – изображения в отраженном свете.

Fig. 3. Morphology of well-rounded gold grains.

a – lamellar, *б* – flaky, *в* – lamellar with casts of pressing of minerals, *г* – lamellar with the through hole, *а, б* – BSE images, *в, г* – reflected light images.

Внутреннее строение слабо окатанных зерен россыпного золота и золотин рудного облика из современных аллювиальных отложений. Наряду с типичным, описанным выше пластинчатым самородным золотом в некоторых россыпях изученной территории встречаются слабо окатанные зерна самородного золота и золотины рудного облика (рис. 8). Их содержание колеблется от 5 до 15% в общей массе золота каждой россыпи. Этот тип зерен самородного золота распространен локально и отмечается, как правило, вблизи зон глубинных разломов и выходов пород докембрийского фундамента (рис. 9).

Это золото характеризуется размером зерен от 0.1 до 11 мм, угловато-комковидными и комковидными формами. Его пробность варьирует в очень широких пределах (350–999 ‰), преобладают средне- и низкопробные разновидности. Содержание Ag находится на уровне 12–65%, содержание Hg достигает 4%, Cu – 1.5%. Преобладают монокристаллические зерна (рис. 10), зерна крупно-среднезернистого сложения (рис. 11, *а, б*), а также двойники (рис. 11, *в, г*); иногда у зерен отмечаются фрагменты очень тонких высокопробных оболочек (рис. 10, 11).

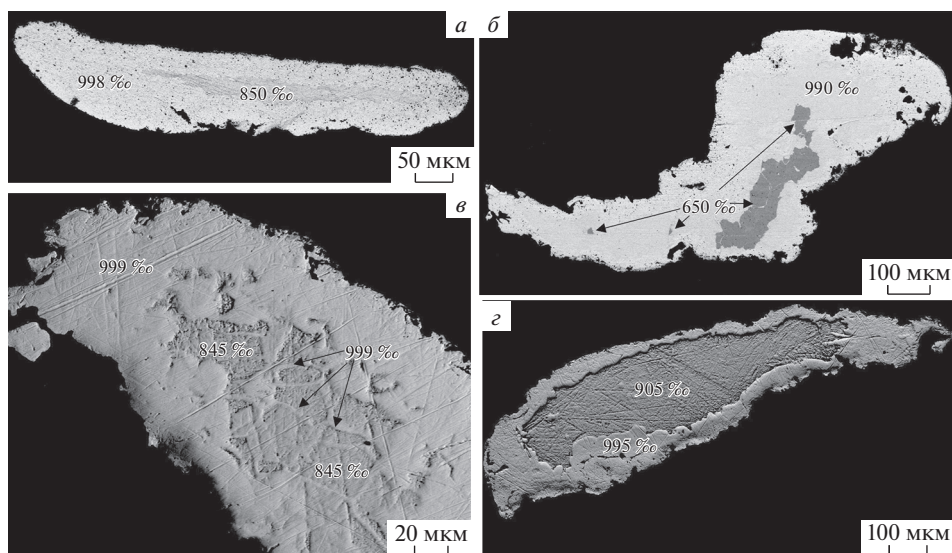


Рис. 4. Высокопробные оболочки вокруг хорошо окатанных пластинчатых золотинок.

a – высокопробная оболочка вокруг среднепробной золотины, бассейн р. Анабар; *б* – практически полностью замещенное высокопробным золотом первичное низкопробное золото, бассейн р. Большая Куонамка; *в* – высокопробная оболочка вокруг зерна среднепробного золота. В центральной части зерна наблюдаются высокопробные межзерновые прожилки, бассейн р. Большая Куонамка; *з* – золотины с высокопробной оболочкой, бассейн р. Малая Куонамка. Протравлено реактивом на основе царской водки. Изображения в обратно-отраженных электронах.

Fig. 4. High-grade rims of well-rounded lamellar gold grains.

a – high-grade rim of the medium-grade gold grain. Basin of the river Anabar; *б* – primary low-grade gold grain almost completely replaced by the high-grade phase. Basin of the river Bolshaya Kuonamka; *в* – high-grade rim of medium-grade gold grain. High-grade intergranular veinlets are observed in the central part of the grain. Basin of the river Bolshaya Kuonamka; *з* – gold grain with thick high-grade rim. Basin of the river Malaya Kuonamka. Etched with a reagent based on Aqua regia. BSE images.

Высокосеребристое (электрум, кюстелит) слабо окатанное россыпное золото (рис. 12) россыпи р. Большая Куонамка представлено зональными зёрнами, не затронутыми эндогенными и гипергенными преобразованиями (рис. 13). В зёрнах относительно низкопробного золота рудного облика обнаружены низкопробные межзерновые прожилки (рис. 14). По данным Н.Е. Саввы и В.К. Прейса (1990) описанные структуры относятся к эндогенным. По их мнению, хорошая сохранность в золотилах эндогенных структур свидетельствует о его поступлении из близлежащих коренных источников.

В россыпном проявлении реч. Биллях бассейна р. Анабар наряду с хорошо окатанными пластинчатыми зёрнами самородного золота выявлены мелкие (–0.25 мм) слабо окатанные золотины пластинчатой и угловато-комковидной формы (рис. 15). Их поверхность губчатая и пористая. Пробность варьирует в очень широких интервалах – от низкой (535 ‰) до весьма высокой (999 ‰). Анализ пробности золота и его морфологических особенностей показал, что относительно низкой (799–700 ‰) и низкой (699–500 ‰) пробностью обладают исключительно золотины рудного облика. Главной особенностью зёрен этого самородного золота является неоднородное гетерофазное внутреннее строение, которое имеет блочный характер. В центральной части золотинок выявлена низкопробная (500–600 ‰) (рис. 16, *a*), а по периферии – относительно низкопробная (750 ‰) фаза. Вдоль краев зёрен относительно низкопробного

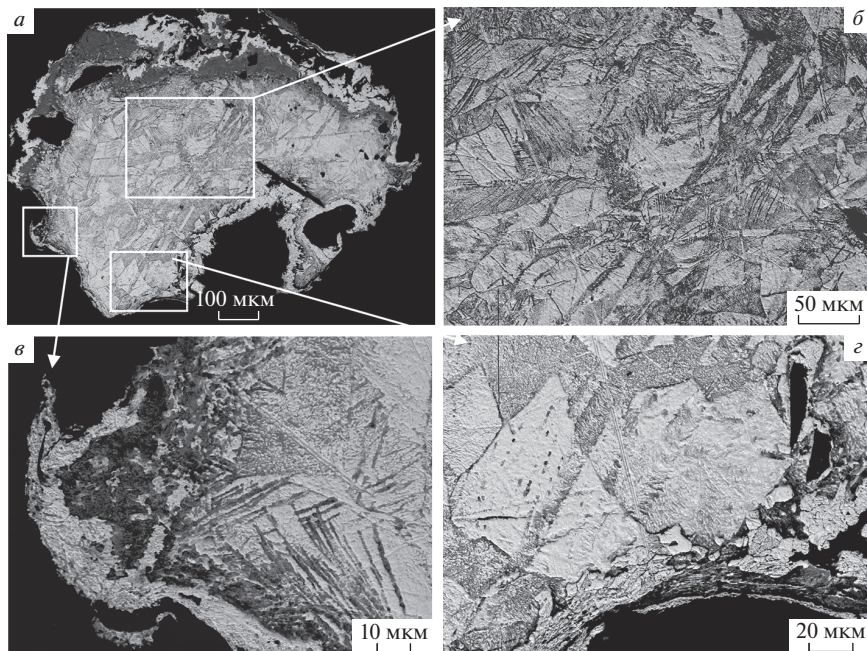


Рис. 5. Полностью перекристаллизованная высокопробная (994 ‰) золотина, бассейн р. Анабар. Протравлено реактивом на основе царской водки. Снято в режиме BSE.

Fig. 5. Completely recrystallized high-grade (994 ‰) gold grain. Basin of the river Anabar. Etched with a reagent based on Aqua regia. BSE images.

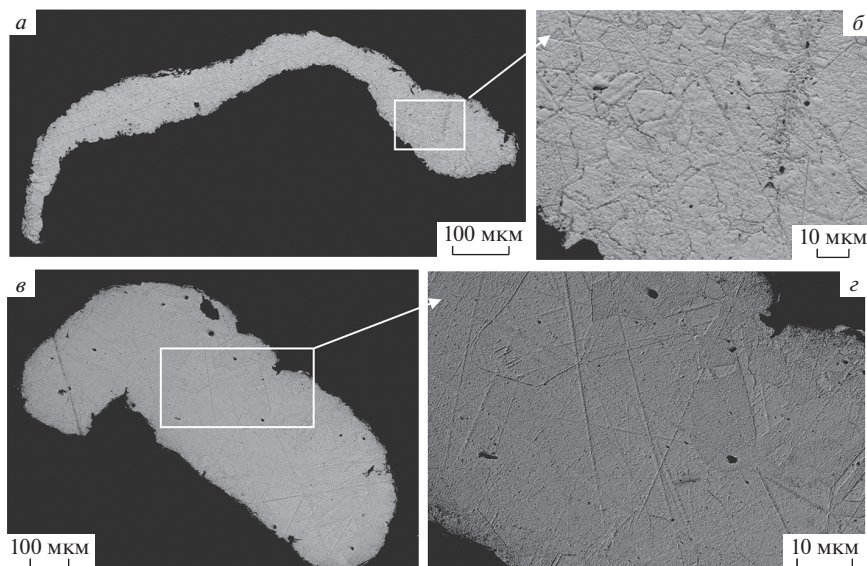


Рис. 6. Структуры перекристаллизации высокопробных золотин, бассейн р. Сололи.

a, б – золотина с пробностью 958 ‰; *в, г* – золотина с пробностью 998 ‰. Протравлено реактивом на основе царской водки. Изображения в обратно-отраженных электронах.

Fig. 6. Structures of recrystallization of high-grade gold grains. Basin of the river Sololi.

a, б – gold grain with fineness 958 ‰; *в, г* – gold grain with fineness 998 ‰, *г* – detail. Etched with a reagent based on Aqua regia. BSE images.

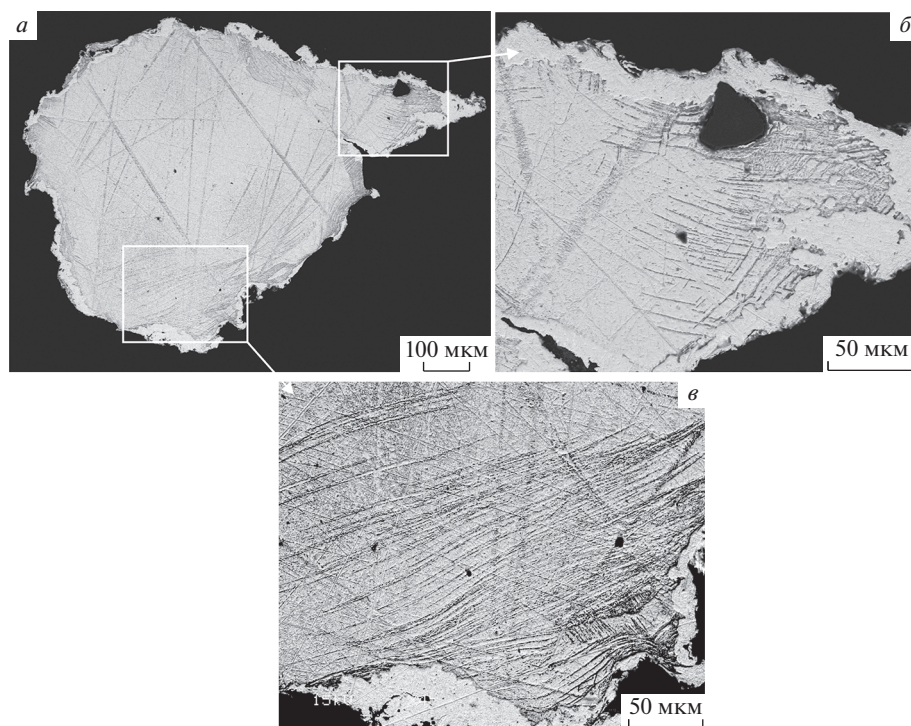


Рис. 7. Высокопробная (955 ‰) золотина с линиями трансляций, образующихся при деформации. Бассейн р. Анабар. Протравлено реактивом на основе царской водки. Изображения в обратно-отраженных электронах.

Fig. 7. High-grade (955 ‰) gold grain with lines of translation formed during deformation. Basin of the river Anabar. Etched with a reagent based on Aqua regia. BSE images.

золота наблюдается прерывистая, весьма тонкая (первые мкм) высокопробная фаза, отличающаяся более светлым оттенком (рис. 16, б). Тонкость и прерывистость высокопробной оторочки свидетельствуют о непродолжительном пребывании данного самородного золота в экзогенных условиях.

Аналогичное самородное золото обнаружено в россыпях рр. Небайбыт и Мачала – правых притоков р. Большая Куонамка. Оно представлено изометричными кристаллами, угловато-комковидными и пластинчатыми зёрнами, а также своеобразными крючковатыми индивидами. Их внутреннее строение также имеет неоднородный гетерофазный характер (рис. 16, в). Как правило, слабоокатанные зёрна самородного золота отмечаются в классе –0.25 мм. Их пробность варьирует в весьма широких пределах – от низкого (535 ‰) до весьма высокого (более 950 ‰). Золотины не несут признаков преобразования в гидродинамических условиях, что свидетельствует о близости коренного источника.

Внутреннее строение золота конгломератов раннепермского возраста. Изучено золото из пермских конгломератов бассейна р. Сололи (Сололийское поднятие Оленекского свода). Конгломераты представляют собой крепко сцементированные породы светлого-серого цвета. Они сложены в основном галькой и гравием молочно-белого и дымчатого кварца. Размер галек 1–2 см, редко 10 см. В качестве цемента выступает белый каолинизированный песчаник. Видимая мощность слоя конгломератов около 2.5 м. Изученные конгломераты перекрывают раннепротерозойские сланцы экиктской серии.

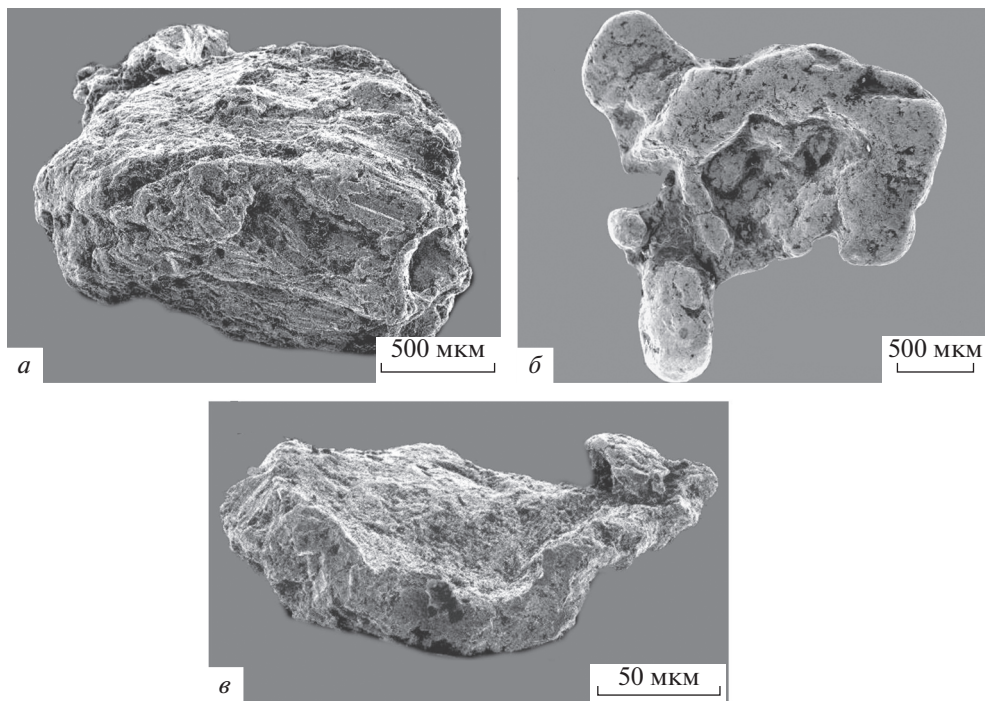


Рис. 8. Морфология слабо окатанных золотинок. Бассейн р. Анабар.

a – комковидное зерно рудного облика; *б* – слабо окатанное зерно угловато-комковидной формы; *в* – зерно рудного облика. Изображения во вторичных электронах.

Fig. 8. Morphology of the slightly rounded gold grain. Basin of the river Anabar.

a – lumpy grain of ore habit; *б* – slightly rounded grain of angular-lumpy shape; *в* – grain of ore habit. SE images.

Предшественники относят эти образования к аллювиальным отложениям палеорусел (Шпунт, 1971; Яблокова, Израилев, 1988; Константиновский, 2000). По данным А.А. Константиновского (2000) снос при их накоплении происходил с местных поднятий, сложенных образованиями кембрийского, вендского и рифейского возраста. Источниками золота, по мнению этого автора, послужили дорифейские золотоносные кварцевые жилы, а также промежуточные коллекторы золота – конгломераты сыгынахтахской свиты рифея и мастахской свиты венда.

Самородное золото встречается в виде главным образом пластинчатых зерен с отпечатками вдавливания минералов (рис. 17) и имеет следующий гранулометрический состав: 0.25–0.5 мм – 10%, <0.25 мм – 90%. Пробность его варьирует от 700 до 999 ‰, при этом преобладает высокопробное золото (900–999 ‰) (его содержание достигает 80%). Золотины обладают структурами дезинтеграции и грануляции (рис. 18, *a*, *б*), что в целом характерно для самородного золота из древних промежуточных коллекторов. Следует отметить, что зерна россыпного золота из русловых отложений реч. Карат (левый приток р. Сололи), отобранных ниже по течению от коренного выхода пермских конгломератов, имеют аналогичное внутреннее строение (рис. 18, *в*). Данное обстоятельство, а также идентичная пробность самородного золота позволяет констатировать, что основными источниками металла в русловом аллювии исследованного участка являются кварцевые конгломераты пермского возраста.

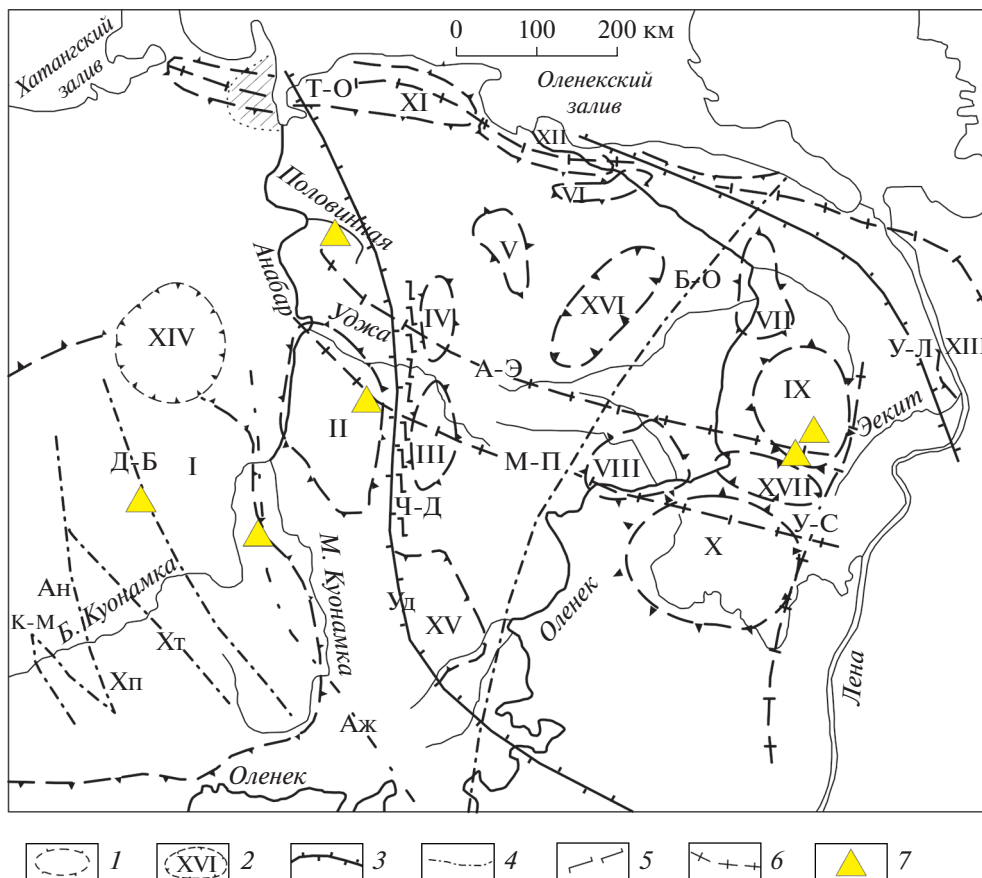


Рис. 9. Тектоническая схема Лено-Анабарского междуречья (составлена по материалам Б.Р. Шпунта, 1976). 1 – поднятия (I – Анабарское, II – Эбеляхское, III – Уджинское, IV – Билирское, V – Буолкалахское, VI – Чарчыкское, VII – Тюмятинское, VIII – Куойкское, IX – Сололийское, X – Далдынское, XI – Тигяно-Оленёкское, XII – Усть-Оленекское, XIII – Хараулахское); 2 – прогибы и впадины (XIV – Попигаийский грабен, XV – Суханская впадина, XVI – Ары-Онгорбутская впадина, XVII – Кютюнгинский прогиб); 3–6 – зоны разломов (3 – предположительно позднеархейского заложения: Уд – Уджинская, У-Л – Усть-Ленская, 4 – предположительно среднепротерозойского заложения: К-М – Котуйкан-Монхолинская, Ан – Анабарская, Хп – Харапская, Д-Б – Дъегес-Биригиндинская, А-Ж – Анабаро-Жиганская, Б-О – Буро-Оленёкская; 5 – предположительно нижнепалеозойского заложения: Ч-Д – Чымара-Джелидинское; 6 – предположительно среднепалеозойского заложения: М-П – Молодо-Попигаийская, А-Э – Анабаро-Эекитская, Т-О – Тигяно-Оленёкская, У-С – Усунку-Сюнгодинская); 7 – места находок слабо окатанных зерен золота.

Fig. 9. Tectonic scheme of the Lena-Anabar interfluvium (after: B.R. Shpunt, 1976). 1 – uplifts (I – Anabar, II – Ebelyakh, III – Udzha, IV – Bilir, V – Buolkalakh, VI – Charchyk, VII – Tyumyatskoye, VIII – Kuoykskoye, IX – Sololiyskoye, X – Daldynskoye, XI – Tigyano-Olenekskoye, XII – Ust-Olenekskoye, XIII – Kharaulakhske); 2 – troughs and depressions (XIV – Popigay graben, XV – Sukhanskaya depression, XVI – Ares-Ongorbut depression, XVII – Kyutyungda trough); 3–6 – fault zones (3 – presumably Late Archean: Ud – Udzha, U-L – Ust-Lenskaya, 4 – presumably Middle Proterozoic: K-M – Kotuykan-Monkholinskaya, An – Anabarskaya, Khp – Kharapskaya, D-B – D’eges-Birigindinskaya, A-Zh – Anabaro-Zhiganskaya, B-O – Buro-Olenyokskaya; 5 – presumably of the Middle Paleozoic inception (M-P – Molodo-Popigaikskaya, A-E – Anabaro-Eekitskaya, T-O – Tigyano-Olenyokskaya, U-S – Usunku-Syungyudinskaya)); 7 – sites of finds of weakly rounded gold grains.

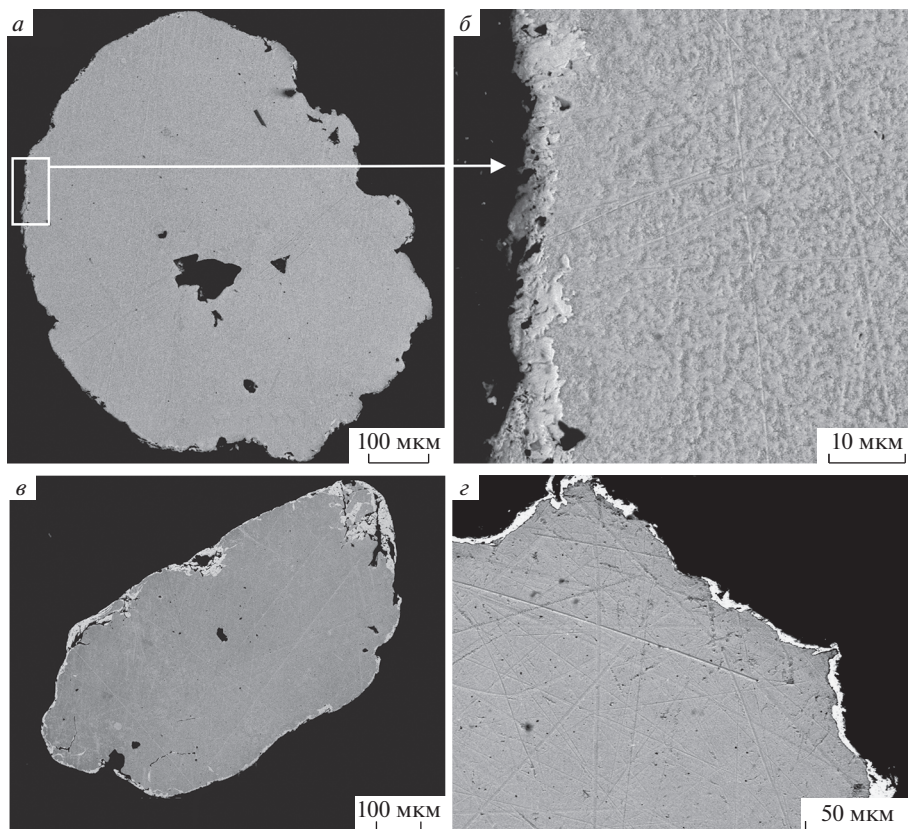


Рис. 10. Монозерна самородного золота. Бассейн р. Анабар.

a, б – монозерно низкопробного (650 ‰) золота; на рис. *б* видна очень тонкая высокопробная оторочка; *в* – монозерно относительно низкопробного золота (750 ‰); *г* – монозерно низкопробного (550 ‰) золота с очень тонкой прерывистой высокопробной оторочкой. Протравлено реактивом на основе царской водки. Изображения в обратно-отраженных электронах.

Fig. 10. Grains of native gold. Basin of river Anabar.

a, б – grain of low-grade (650 ‰) gold with very thin high-grade rim; *в* – grain of relatively low-grade (750 ‰) gold; *г* – grain of low-grade (550 ‰) gold with very thin discontinuous high-grade rim. Etched with a reagent based on Aqua regia. BSE images.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Преобразования внутреннего строения золотин в россыпях сводятся, прежде всего, к формированию высокопробной оболочки по краям зерен золота (Николаева и др., 2003; Chapman, Mortensen, 2016). Существуют различные мнения по поводу их происхождения. Ряд исследователей считает, что эти оболочки образуются в результате процессов растворения и повторного осаждения Au непосредственно в условиях речного потока или в донных осадках водотоков (Groen et al., 1990; McCready et al., 2003; Falconer, Craw, 2009; Craw, Lilly, 2016; Craw et al., 2016; Lalomov et al., 2017).

В работе Д. Стюарта с соавторами (Stewart et al., 2017) показано, что процессы растворения и осаждения золота приводят лишь к поверхностным изменениям и формированию высокопробной оторочки мощностью не толще 10 микрон. Такая оторочка

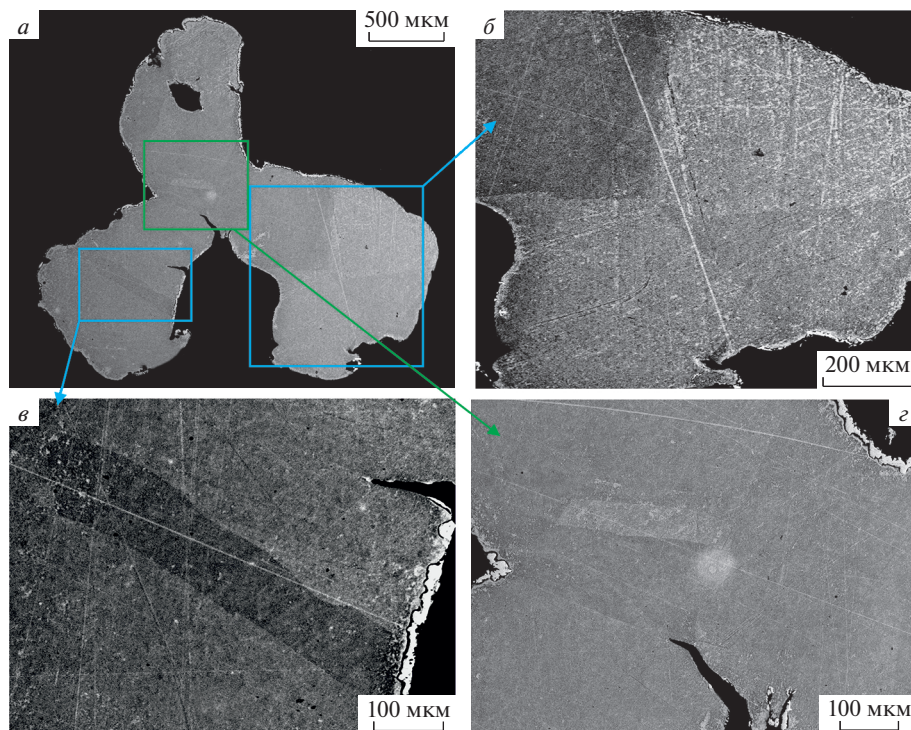


Рис. 11. Слабо окатанная низкопробная (675 ‰) золотина угловато-комковидной формы с неизменной среднезернистой внутренней структурой. Бассейн р. Анабар.

a, б – общий вид в срезе; *в* – двойник прорастания; *з* – первичная двойниковая структура. Протравлено реактивом на основе царской водки. Изображения в обратно-отраженных электронах.

Fig. 11. Slightly rounded low-grade (675 ‰) gold grain of angular-lumpy shape with the unchanged medium-grained internal structure. Basin of river Anabar.

a, б – general view; *в* – cross twin; *з* – primary twin structure. Etched with a reagent based on Aqua regia. BSE images.

начальной стадии заложения обнаружена нами на низкопробном мини-самородке из россыпи реч. Улахан Хаптасыннаах (рис. 19) (Gerasimov et al., 2020).

Образование более мощной высокопробной оболочки в россыпных золотинах Дж. Стюарт с соавторами связывают с процессами рекристаллизации, происходившими под воздействием остаточной энергии механических деформаций, возникших в результате многократных ударов обломков пород во время речного переноса. Данные процессы способствуют интенсивному выносу примеси Ag из золота. Это предположение наглядно подтверждается микрозернистыми структурами рекристаллизации высокопробных оболочек золота, которые образовались в условиях покоя в палеотолжениях (Stewart et al., 2017). Такие же структуры рекристаллизации высокопробных оболочек выявлены при структурном травлении хорошо окатанных пластинчатых золотин современного аллювия бассейнов рр. Анабар, Большая и Малая Куонамка, Со-лоли (рис. 20).

По данным Л.А. Николаевой с соавторами (2003) в структуре зерен самородного золота, которое пребывало длительное время в дочетвертичных конгломератах, отражаются глубокие изменения, обусловленные его преобразованием в условиях не только древнего коро- и россыпеобразования, но и диагенеза и эпигенеза осадков. При этом

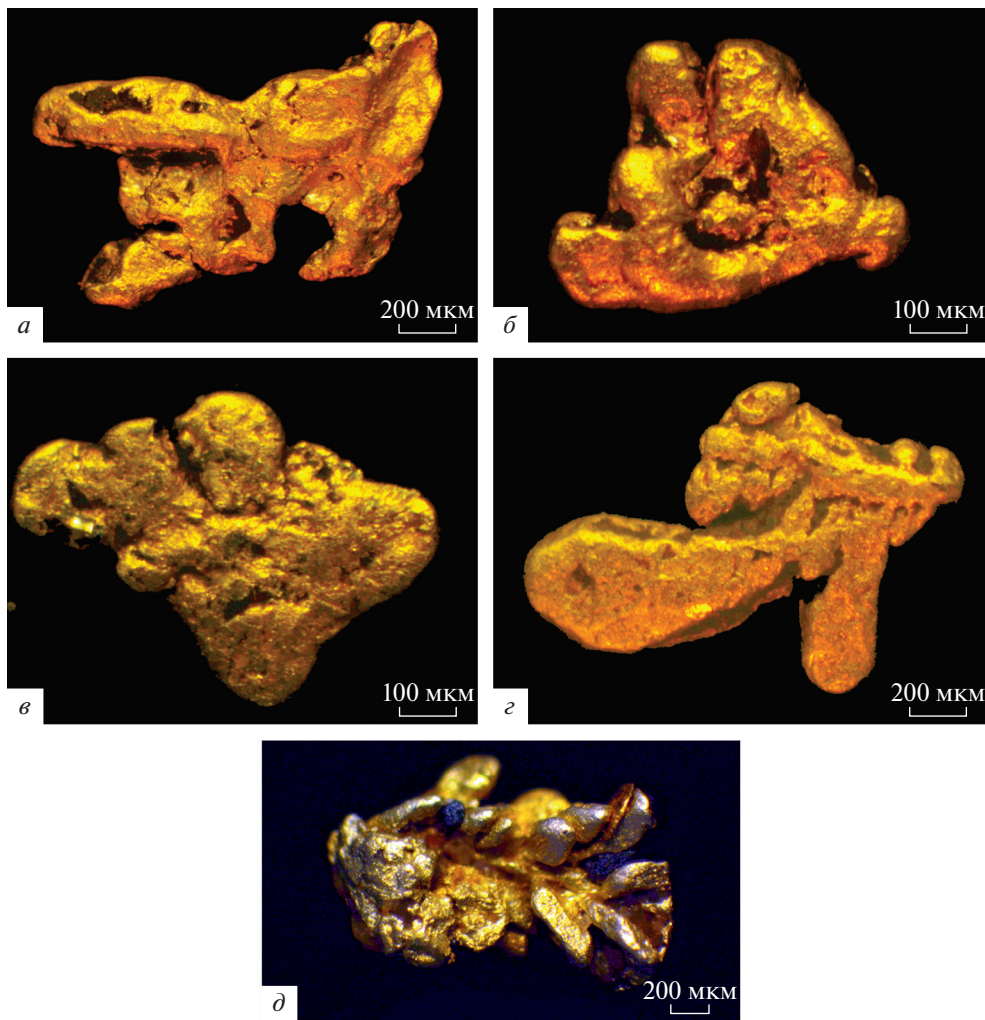


Рис. 12. Слабо окатанные зерна самородного золота россыпи р. Большая Куонамка.

a–z – слабо окатанные дендритоиды; *д* – совершенно не окатанная друзовидная золотина. Изображения в отраженном свете.

Fig. 12. Slightly rounded gold grains from the placer of the Bolshaya Kuonamka river.

a–z – slightly rounded dendrites; *d* – completely unrounded drusoid gold grain. Reflected light images.

высокопробная оболочка может достигать мощности 0.25 мм и более, частично или полностью замещая первичную матрицу. Механические деформации способствуют процессам рекристаллизации периферийных частей золотин, что приводит к появлению микрозернистой структуры. При более длительном пребывании в покое процесс собирательной перекристаллизации способствует более глубокому преобразованию высокопробной оболочки. Наиболее интенсивные изменения внутреннего строения зерен золота происходят после захоронения отложений и их литификации в результате температурного воздействия, сопровождающегося интенсивной диффузией серебра (Николаева и др., 2003). Происходит дезинтеграция зерен золота, что приводит к образованию структур грануляции. Таким образом, существенные внутренние кри-

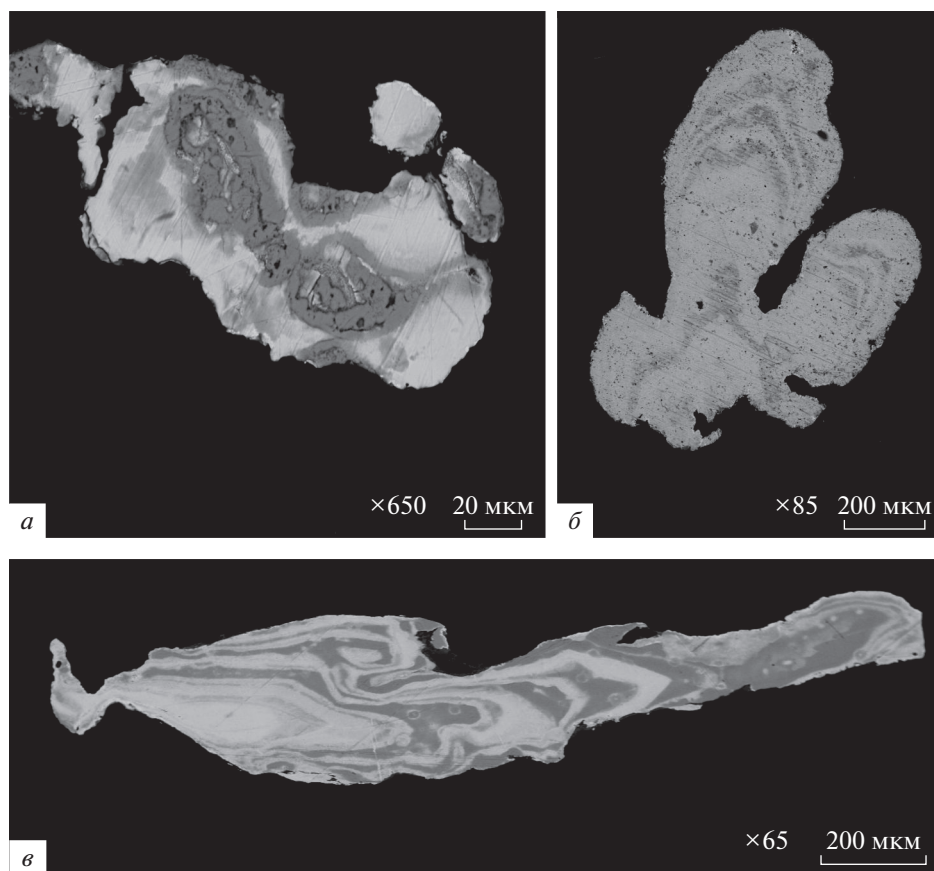


Рис. 13. Внутреннее строение слабо окатанных зерен низкопробного самородного золота россыпи р. Большая Куонамка.

a – зональная структура слабо окатанного зерна кюстелита (350 ‰); *б* – концентрически-зональная структура полуокатанного зерна относительно низкопробного (720 ‰) самородного золота; *в* – ясно-зональная структура слабо окатанного зерна электрума (505 ‰). Протравлено реактивом на основе царской водки. Изображения в обратно-отраженных электронах.

Fig. 13. Internal structure of low-grade slightly rounded gold grains from the placer of the Bolshaya Kuonamka river. *a* – zonal structure of the slightly rounded grain of kustelite (350 ‰); *б* – concentrically zonal structure of semi-rounded grain of relatively low-grade native gold (720 ‰); *в* – clearly zonal structure of slightly rounded grain of electrum (505 ‰). Etched with a reagent based on Aqua regia. BSE images.

сталлографические преобразования в частицах золота в условиях промежуточных коллекторов способствуют ускорению их химических изменений.

В целом, результаты изучения внутреннего строения хорошо окатанных зерен самородного золота современных россыпей свидетельствуют о его переотложении через промежуточные коллекторы. В качестве последних могли служить золотоносные терригенные отложения докембрийского, пермского и неоген-четвертичного возраста, развитые в пределах изученной территории (Шпунт, 1971). Сделанный вывод подтверждается нашими исследованиями самородного золота пермских конгломератов и современного аллювия речки Карат, дренирующей эти отложения (рис. 2). Идентичность внутреннего строения зерен самородного золота пермского коллектора (рис. 18, *a*) и

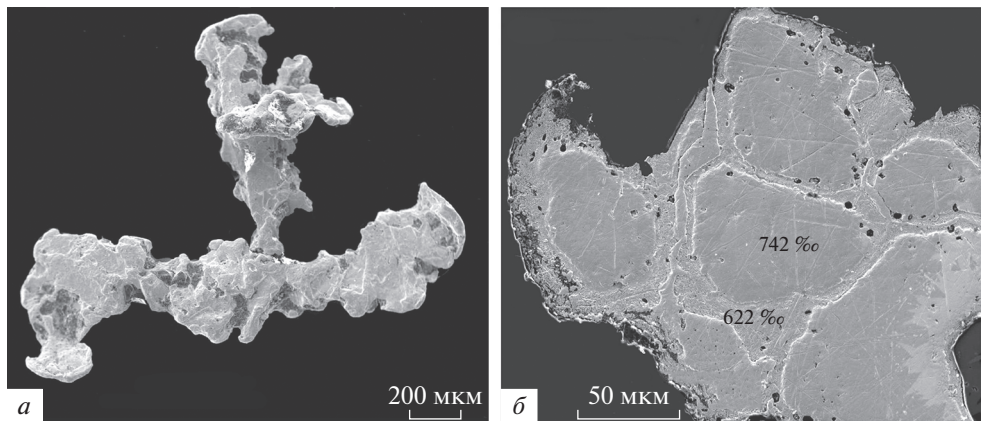


Рис. 14. Относительно низкопробное золото рудного облика россыпи р. Большая Куонамка. *a* – общий вид; *б* – внутреннее строение. Светлое – низкопробные межзерновые прожилки. Протравлено реактивом на основе царской водки. Изображения во вторичных электронах.

Fig. 14. Ore habit grains of relatively low-grade gold from the placer of the Bolshaya Kuonamka river. *a* – general view; *б* – internal structure of grains where light stripes indicate low-grade intergranular veinlets. Etched with a reagent based on Aqua regia. SE images.

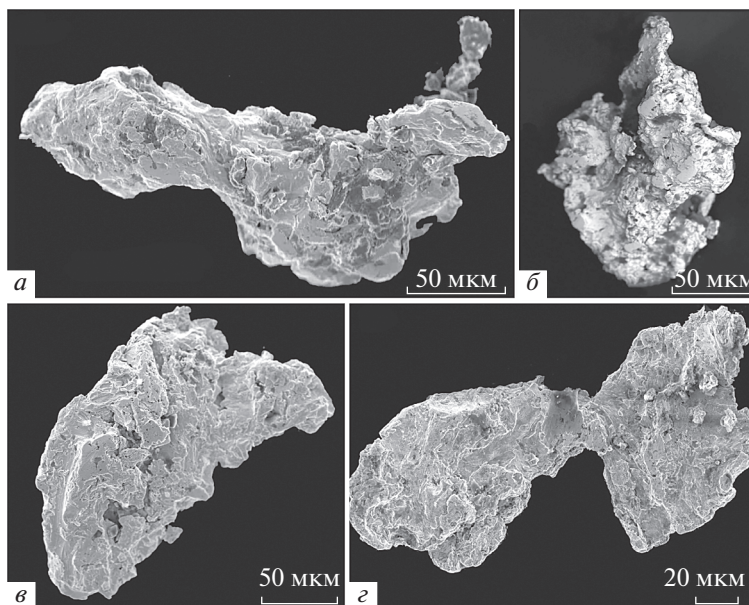


Рис. 15. Морфологические особенности слабо окатанных зерен самородного золота россыпи реч. Биллях. *a* – слабоокатанная золотина; *б* – угловато-комковидное зерно самородного золота с пористой поверхностью; *в* – золотина рудного облика трещинного типа; *г* – неокатанная золотина неправильной формы. Изображения во вторичных электронах.

Fig. 15. Morphological features of slightly rounded grains of native gold from the Billyakh river placer. *a* – slightly rounded gold grain; *б* – angular-lumpy gold grain with unrounded porous surface; *в* – fractured gold grain of ore habit with unrounded surface; *г* – unrounded gold grain of irregular shape. SEI images.

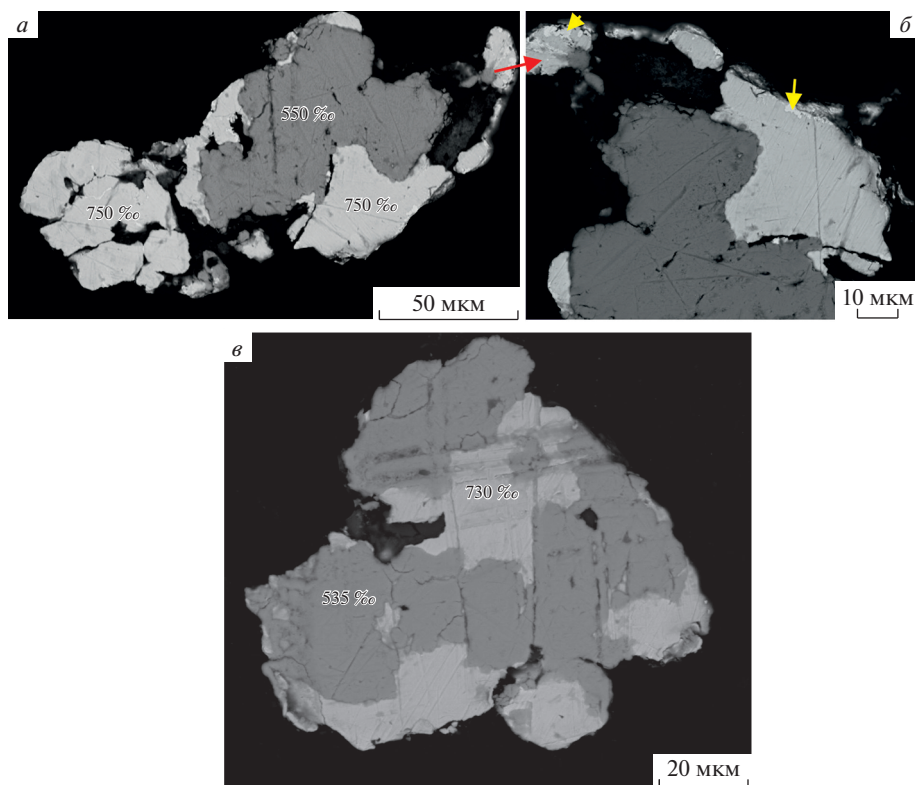


Рис. 16. Внутреннее строение слабо окатанных зерен самородного золота.

a–b – зерна из россыпи реч. Биллях. На рис. *b* желтыми стрелками показана высокопробная фаза; *c* – зерна из россыпи реч. Небайбыт. Протравлено реактивом на основе царской водки. Изображения в обратно-отраженных электронах.

Fig. 16. Internal structure of weakly rounded gold grains.

a–b – grains from the Billyakh river placer. Yellow arrows on Fig. *b* show high-grade phase; *c* – grains from the Nebayt river placer. Etched with a reagent based on Aqua regia. BSE images.

современного аллювия (рис. 18, *e*) позволяет констатировать ведущую роль конгломератов как промежуточного источника на изученном участке россыпи.

Обнаружение зерен самородного золота с внутренним строением, которое не несет признаков экзогенного преобразования, свидетельствует о их поступлении в современный аллювий из близлежащих коренных источников. В качестве примера можно привести своеобразное неизмененное внутреннее строение весьма мелких слабоокатанных золотин россыпи реч. Биллях (рис. 16, *a, b*). Совокупность типоморфных особенностей этого золота позволило отнести его к автохтонному типу. В связи с этим было выдвинуто предположение, что в верхнем течении р. Биллях в поле развития кембрийских карбонатных пород в зоне разломов может быть локализовано золоторудное проявление – потенциальный коренной источник весьма мелкого золота (Герасимов, 2018). Данное предположение нашло подтверждение. В истоках реч. Биллях были обнаружены приразломные апокарбонатные гидротермально-метасоматические образования. В них выявлено вкрапленное золотосульфидное оруденение. По эпигенетическим минеральным ассоциациям выделены калиево-полевошпатовые и крем-

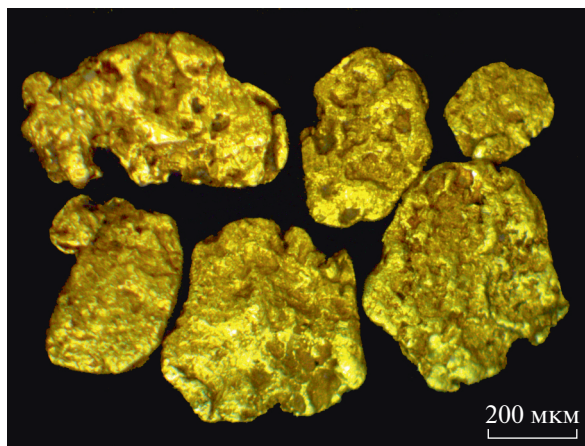


Рис. 17. Пластинчатые зерна самородного золота с отпечатками вдавливания минералов. Пермские конгломераты Сололийского поднятия Оленекского свода. Изображение в отраженном свете.

Fig. 17. Lamellar gold grains with casts of pressing of minerals. Permian conglomerates from the Sololi uplift of the Olenek arch. Reflected light images.

нисто-кварцевые гидротермально-метасоматические образования. Рудные минералы в них представлены галенитом, пиритом, акантитом, арсенопиритом и сфалеритом. Также часто отмечается барит, развивающийся по микротрещинам в доломите. Самородное золото встречается в кварцевых прожилках и в ассоциации с калиевым полевым шпатом. Размер его зерен колеблется от первых мкм до 15 мкм (Gerasimov, 2019).

Сходное по признакам самородное золото, как говорилось выше, обнаружено в бассейне р. Большая Куонамка в восточном обрамлении Анабарского щита (рис. 16, в). Примечательно, что здесь обнажены катаклазированные доломитистые известняки, в которых также выявлены гидротермально-метасоматические образования с вкрапленным золото-сульфидным оруденением (Gerasimov, 2019). Оруденение представлено мельчайшими выделениями самородного золота, самородного серебра, пирита, арсенопирита, антимонита, молибденита и акантита. Предполагается, что коренными источниками весьма мелких неокатанных зерен самородного золота ближнего сноса могли служить выявленные проявления вкрапленной рудной минерализации, локализованные в измененных карбонатных породах. Таким образом, описанные внутренние структуры золотин (рис. 16), по нашему мнению, являются индикаторными признаками для самородного золота из апокарбонатных приразломных гидротермально-метасоматических образований. Вероятно, гетерофазность этих золотин обусловлена колебаниями степени пересыщения растворов в процессе их роста в малоглубинных условиях. По данным В.П. Самусикова (2010) при малоглубинной обстановке рудообразования происходили кратковременные пульсационные изменения пересыщения водных растворов. При увеличении степени пересыщения концентрация Ag увеличивалась, а при уменьшении — уменьшалась.

Выявление слабо окатанных зерен низкопробного золота с зональными структурами (рис. 13), не затронутыми гипергенными преобразованиями, в россыпи р. Большая Куонамка также свидетельствуют о близости коренных источников. В связи с этим возникает предпосылка постановки поисковых работ на рудное золото на данном участке.

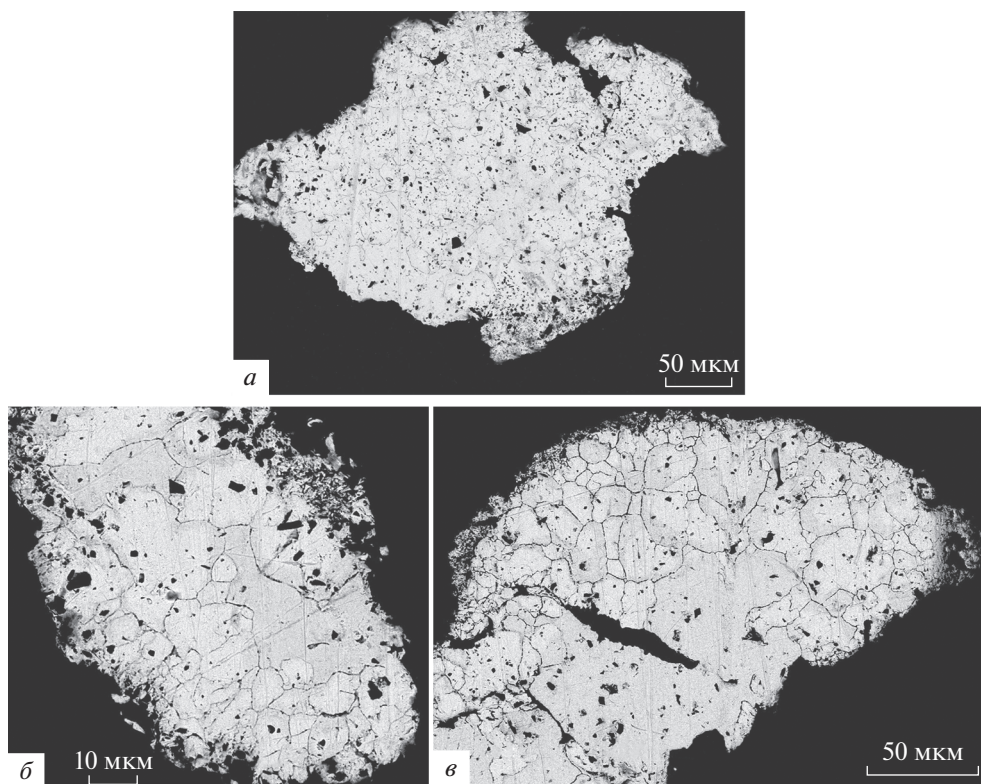


Рис. 18. Внутреннее строение зерен самородного золота Сололийского поднятия Оленекского свода. Изображения обратно-отраженных электронах.

a – зерна высокопробного (950 ‰) самородного золота со структурами дезинтеграции из пермских конгломератов; *б* – дезинтегрированные зерна высокопробного (945 ‰) самородного золота из пермских конгломератов; *в* – дезинтеграция зерен высокопробного (940 ‰) золота из современного аллювия бассейна р. Сололи. Протравлено реактивом на основе царской водки. Изображения в обратных электронах.

Fig. 18. Internal structure of gold grains from the Sololi uplift of the Olenek arch.

a – high-grade (950 ‰) gold grains with structures of disintegration from the Permian conglomerates; *б* – disintegrated high-grade (945 ‰) gold grains from the Permian conglomerates; *в* – disintegration of high-grade (940 ‰) gold grains from modern alluvium of the Sololi river basin. Etched with a reagent based on Aqua regia. BSE images.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам исследования можно сформулировать следующие выводы.

1. Выявление интенсивно измененного внутреннего строения у хорошо окатанных зерен высокопробного золота из современных россыпей северо-восточной части Сибирской платформы указывает на неоднократное его переотложение через промежуточные коллекторы. Роль последних могли играть золотоносные терригенные отложения докембрийского, пермского и неоген-четвертичного возраста.

2. Зерна самородного золота из пермских конгломератов Сололийского поднятия Оленекского свода характеризуются структурами дезинтеграции и грануляции, что в целом типично для золота древних промежуточных коллекторов, поскольку в структуре золотин, которые пребывали длительное время в конгломератах, отражаются глубокие изменения обусловленные их преобразованием в условиях не только древнего коро- и россыпеобразования, но и диагенеза и эпигенеза осадков.

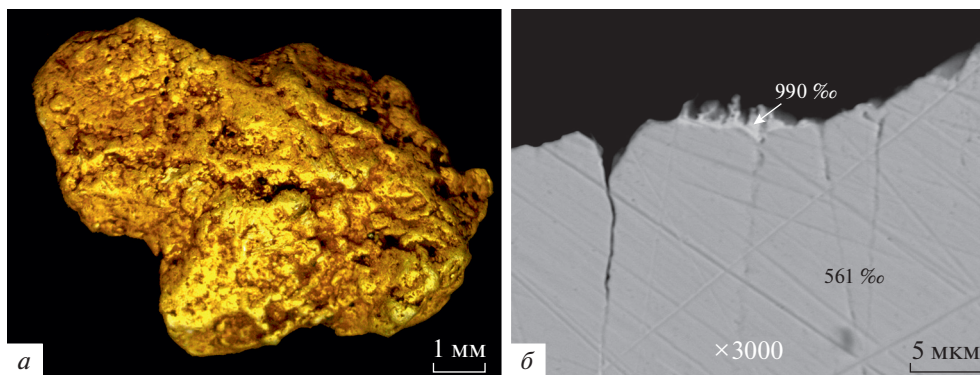


Рис. 19. Мини-самородок из аллювиальных отложений реч. Улахан Хаптасыннаах (Анабарский щит). *a* – общий вид; *б* – срез. Тончайшая прерывистая высокопробная оторочка на периферии мини-самородка. Изображения в отраженном свете (*a*) и обратно-отраженных электронах (*б*).

Fig. 19. Mini nugget from the alluvial deposits of the Ulakhan Haptasynnaakh river (Anabar Shield). *a* – general view; *б* – polish section. Thin discontinuous high-grade rim at the edge of the nugget. Reflected light (*a*) and BSE (*б*) images.

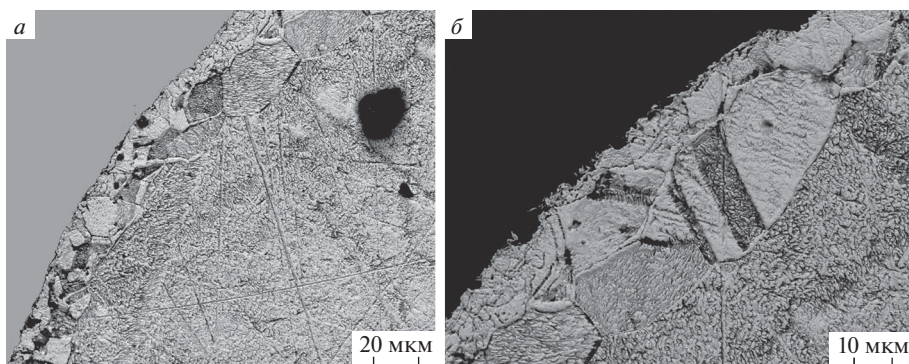


Рис. 20. Структуры рекристаллизации весьма высокопробных (более 950 ‰) оболочек хорошо окатанных высокопробных (900–950 ‰) золотин из россыпей рек Анабар (*a*) и Эбелях (*б*). Протравлено реактивом на основе царской водки. Изображения в обратно-отраженных электронах.

Fig. 20. Structures of recrystallization of very high-grade (>950 ‰) rims of well-rounded high-grade (900–950 ‰) gold grains from placers of Anabar (*a*) and Ebelyakh (*б*) rivers. Etched with a reagent based on Aqua regia. BSE images.

3. Установлено, что основными источниками золота русловой россыпи реч. Карат (Сололийское поднятие) являются золотоносные конгломераты ортокинской свиты пермского возраста. Об этом свидетельствует идентичность внутреннего строения и пробности зерен самородного золота из современного аллювия и пермского коллектора.

4. Выявление зерен слабо окатанного самородного золота, внутреннее строение которых не несет признаков экзогенного преобразования, свидетельствует о его поступлении в современный аллювий из близлежащего коренного источника. Сказанное явилось одной из предпосылок постановки поисковых работ на рудное золото в Ана-

барском районе. В результате этих работ обнаружены апокарбонатные гидротермально-метасоматические образования с вкрапленным золотосульфидным оруденением, локализованные в зонах разломов.

В целом особенности внутренней структуры зерен россыпного золота выступают дополнительными и достаточно достоверными критериями определения потенциальных источников формирования золотоносных россыпей. В связи с этим предлагаются следующие рекомендации по их использованию в качестве поискового признака при прогнозировании коренных источников Северо-Востока Сибирской платформы:

– изучать внутреннюю структуру зерен россыпного золота надо в сочетании с другими типоморфными признаками;

– преобладание в россыпи пластинчатых золотинок с отпечатками вдавливания минералов вмещающих толщ на поверхности и внутренними структурами дезинтеграции и грануляции может свидетельствовать о поступлении самородного золота из промежуточных коллекторов. На подобной территории возникает необходимость постановки работ на поиски золотоносных конгломератов;

– обнаружение слабо окатанных золотинок с неизмененным в условиях россыпеобразования внутренним строением (отсутствием коррозионной рекристаллизованной оболочки, наличием первичной зональности и гетерофазности) указывает на близость коренных источников. В этом случае рекомендуется прохождение поисковых маршрутов со штыфтным опробованием выше по течению точки опробования изучаемых водотоков.

Работа выполнена по государственному заданию ИГАБМ СО РАН и частично в рамках хоздоговорных работ с АО “Алмазы Анабара”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Герасимов Б.Б., Никифорова З.С. Предполагаемые формационные типы коренных источников золота Анабарского района (северо-восток Сибирской платформы) // Наука и образование. **2017**. № 2. С. 11–16.

Герасимов Б.Б. Индикаторные типоморфные признаки и потенциальные источники мелкого россыпного золота Эбеляхской площади (северо-восток Сибирской платформы) // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. **2018**. Т. 63. Вып. 3. С. 291–302.

Духанин С.Ф., Эрлих Э.Н. Объяснительная записка к геологической карте масштаба 1: 200000 (Лист R-49-XVII, XVIII – серия Анабарская). Москва, **1967**. 70 с.

Константиновский А.А. Палеороссыпи в эволюции осадочной оболочки континентов. М.: Научный мир, **2000**. 288 с.

Милашев В.А. Структуры кимберлитовых полей. Л.: Недра, **1979**. 183 с.

Никифорова З.С., Герасимов Б.Б., Глушкова Е.Г., Каженкина А.Г. Индикаторные признаки россыпного золота как показатель прогнозирования формационных типов золоторудных месторождений (восток Сибирской платформы) // Геология и геофизика, **2018**. Т. 59. № 10. С. 1643–1657.

Никифорова З.С., Калинин Ю.А., Макаров В.А. Эволюция самородного золота в экзогенных условиях // Геология и геофизика. **2020**. Т. 61. № 11. С. 1514–1534.

Николаева Л.А. Генетические особенности самородного золота как критерий при поисках и оценке руд и россыпей. М.: Недра, **1978**. 100 с.

Николаева Л.А., Гаврилов А.М., Некрасова А.Н., Яблокова С.В., Шатилова Л.В. (2003) Атлас самородного золота рудных и россыпных месторождений России. М.: ЦНИГРИ, **2003**. 184 с.

Петровская Н.В. Самородное золото. М.: Наука, **1973**. 347 с.

Петровская Н.В., Новгородова М.И., Фролова К.Е. О природе структур и субструктур эндогенных выделений самородного золота / Минералогия самородных элементов. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, **1980**; С. 10–20.

Рубенчик И.Б., Борщева Н.А., Зарецкий Л.М. Объяснительная записка к геологической карте масштаба 1: 200 000 (Лист R-50-VII, VIII). М.: Севморгео, **1980**. 72 с.

Савва Н.Е., Прейс К.В. Атлас самородного золота Северо-Востока СССР. М.: Наука, **1990**. 292 с.

Савва Н.Е. Минералогия серебра северо-востока России. М.: Триумф, **2018**. 544 с.

Самусиков В.П. Закономерности концентрации изоморфно-примесных элементов в минералах при гидротермальном рудообразовании // Геология и геофизика. **2010**. Т. 51. № 3. С. 338–352.

Сметанникова Л.И., Гриненко В.С., Маланин Ю.А., Прокопьев А.В. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1000000 (третье поколение). Серия Анабаро-Вилюйская. Лист R-51 – Джарджан. Объяснительная записка. СПб: ВСЕГЕИ, 2013. 397 с.

Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия). Ред. Л.М. Парфенов и М.И. Кузьмин. М.: МАИК “Наука/Интерпериодика”, 2001. 571 с.

Шпунт Б.Р. Золотоносность осадочных комплексов Лено-Анабарского междуречья. Дисс. ... к. г.-м. н. Новосибирск, 1971. 203 с.

Шпунт Б.Р. Типоморфные особенности и генезис россыпного золота на севере Сибирской платформы // Геология и геофизика. 1974. № 9. С. 77–88.

Шпунт Б.Р., Шамшина Э.А., Шаповалова И.Г. Докембрий Анабаро-Оленекского междуречья. Новосибирск: Наука, 1976. 142 с.

Яблокова С.В., Израилев Л.М. Минералогия золота в разновозрастных толщах осадочного чехла Оленекского поднятия / Геология россыпей благородных металлов и их прогнозирование. М.: ВЦИО, 1988. С. 59–65.

Internal Structures of Placer Gold Grains as Prospecting Indicators of Primary Gold Sources in the North-East of the Siberian Platform

B. B. Gerasimov*

Diamond and Precious Metal Geology Institute, Siberian Branch RAS, Yakutsk, Russia

*e-mail: bgerasimov@yandex.ru

Typomorphic features of placer gold are carriers of the important information necessary for reconstruction of the history of the formation of gold placers and can be used as mineralogical criteria in the search for primary sources. The internal structure of grains of native gold is one of the most informative features. Internal structures of gold grains from modern placers and conglomerates of the Early Permian age in the north-east of the Siberian Platform are studied. Structural etching of native gold was performed using the reagent (HCl + HNO₃ + FeCl₃·6H₂O + CrO₃ + thiurea + water). It was found that the well-rounded grains of high-grade gold from modern placers has undergone repeated redeposition through intermediate sources. Detection of slightly rounded gold grains with internal structures without signs of exogenous transformation indicates that they entered the modern alluvium from a nearby primary source. This was a prerequisite for setting up ore gold exploration, resulting in identification of apocarbonate hydrothermal-metasomatic formations with the disseminated gold-sulfide mineralization were identified.

Keywords: placer gold, internal structures of gold grains, high-grade rim, primary sources, Siberian platform, prospecting indicators

REFERENCES

Alam M., Li S., Santosh M., Yuan M. Morphology and chemistry of placer gold in the Bagrote and Daintierstreams, northern Pakistan: Implications for provenance and exploration. *Geol. J.* 2019. N 54. P. 1672–1687.

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

Chapman R.J., Mortensen J.K., LeBarge W.P. Styles of lode gold mineralization contributing to the placers of the Indian River and Black Hills Creek, Yukon Territory, Canada as deduced from microchemical characterization of placer gold grains. *Miner. Deposita.* 2011. N 46. P. 881–903.

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

Craw D., Lilly K. Gold nugget morphology and geochemical environments of nugget formation, southern New Zealand. *Ore Geol. Rev.* 2016. N 79. P. 301–315.

Craw D., Hesson M., Kerr G. Morphological evolution of gold nuggets in proximal sedimentary environments, southern New Zealand. *Ore Geol. Rev.* 2016. N 80. P. 784–799.

Dill H.G. Geogene and anthropogenic controls on the mineralogy and geochemistry of modern alluvial–(fluvial) gold placer deposits in man-made landscapes in France, Switzerland and Germany. *JGE.* 2008. N 99. P. 29–60.

- Dukhanin S.F., Erlikh E.N. Explanatory note to the geological map of scale 1 : 200000 (Sheet R-49-XVII, XVIII – Anabar series). Moscow, **1967**. 70 p. (in Russian).
- Falconer D., Craw D. Supergene gold mobility: a textural and geochemical study from gold placers in southern New Zealand. In: Supergene environments, processes and products. Ed. Tittley S.R., *Econ Geol. Spec. Publ.* **2009**. N 14. P. 77–93.
- Gerasimov B.B., Nikiforova Z.S. Expected formation types of gold primary sources of the Anabar region (North-East Siberian Platform). *Sci. Education*. **2017**. N 2. P. 11–16 (in Russian).
- Gerasimov B. Indicator typomorphic features and potential sources of fine alluvial gold of the Ebe-lyakh area (north-east of the Siberian platform). *Bull. Saint Petersburg Univ. Earth Sci.* **2018**. Vol. 63. Iss. 3. P. 291–302 (in Russian).
- Gerasimov B. Typomorphism of fine placer gold and potential primary sources of the Anabar mineral subprovince (North-eastern Siberian Platform). In: *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 362. IOP Publishing, **2019**. 012039.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/362/1/012039>
- Gerasimov B., Beryozkin V., Kravchenko A. Typomorphic features of placer gold from the Billyakh tectonic melange zone of the Anabar Shield and its potential ore sources (Northeastern Siberian Platform). *Minerals*. **2020**. Vol. 10. N 281.
- Groen J.C., Craig J.R., Rimstidt J.D. Gold-rich rim formation on electrum grains in placers. *Canad. Miner.* **1990**. N 28. P. 207–228.
- Konstantinovskiy A.A. Paleoplacers in the evolution of the sedimentary shell of the continents. Moscow: Scientific World, **2000**. 288 p.
- Lalomov A.V., Chefranov R.M., Naumov V.A., Naumova O.B., LeBarge W., Dilly R.A. Typomorphic features of placer gold of Vagran cluster (the Northern Urals) and search indicators for primary bedrock gold deposits. *Ore Geol. Rev.* **2017**. N 85. P. 321–335.
- McCready A.J., Parnell J., Castro L. Crystalline placer gold from the Rio Neuquern, Argentina: implications for the gold budget in placer gold formation. *Econ. Geol.* **2003**. N 98. P. 623–633.
- Milashev V.A. Structures of kimberlite fields. Leningrad: Nedra, **1979**. 183 p. (in Russian).
- Nikiforova Z.S., Gerasimov B.B., Glushkova E.G., Kazhenkina A.G. Indicative features of placer gold for the prediction of the formation types of gold deposits (east of the Siberian Platform). *Russian Geol. Geophys.* **2018**. N 59. P. 1318–1329.
- Nikiforova Z.S., Kalinin Y.A., Makarov V.A. Evolution of native gold in exogenous conditions. *Russian Geol. Geophys.* **2020**. Vol. 61. N 11. P. 1514–1534.
- Nikolaeva L.A. Genetic features of native gold as a criterion in the search and evaluation of ores and placers. Moscow: Nedra, **1978**. 101 p. (in Russian).
- Nikolaeva L.A., Gavrilov A.M., Nekrasova A.N., Yablokova S.V., Shatilova L.V. Atlas of Native Gold of Ore and Placer Deposits in Russia. Moscow: TSNIGRI, **2003**. 184 p. (in Russian).
- Petrovskaya N.V. Native gold. Moscow: Nauka, **1973**. 347 p. (in Russian).
- Petrovskaya N.V., Novgorodova M.I., Frolova K.E. **1980**. The nature of structures and substructures of endogenous native gold particles. In: *Mineralogy of native elements*. Eds. Petrovskaya N., Fatyanov I. Vladivostok: Far East Sci. Center USSR Acad. Sci., **1980**. P. 10–20 (in Russian).
- Rubenchik Li.B., Borshcheva N.A., Zaretsky L.M. Explanatory note to the geological map of scale 1 : 200000 (Sheet R-50-VII, VIII). Moscow: SEVMORGEО, **1980**. 72 p. (in Russian).
- Savva N.E., Preis K.V. Atlas of native gold of the North-East of the USSR. Moscow: Nauka, **1990**. 292 p. (in Russian).
- Savva N.E. Mineralogy of silver in the North-East of Russia. Moscow: Triumph, **2018**. 544 p. (in Russian).
- Samusikov V.P. Regularities in the isomorphic-impurity element content of minerals during hydrothermal ore formation. *Russian Geol. Geophys.* **2010**. Vol. 51. N 3. P. 338–352. (in Russian).
- Shpunt B.R. Gold content of sedimentary complexes of the Lena-Anabar interfluvium. PhD Dissertation. Novosibirsk, **1971**. 203 p. (in Russian).
- Shpunt B.R. Typomorphic features and genesis of alluvial gold in the north of the Siberian Platform. *Russian Geol. Geophys.* **1974**. N 9. P. 77–88 (in Russian).
- Shpunt B.R., Shamshina E.A., Shapovalova I.G. The Precambrian Anabar-Olenek interfluvium. Novosibirsk: Nauka, **1976**. 142 p. (in Russian).
- Smetannikova L.I., Grinenko V.S., Malanin Y.A., Prokopyev A.V. et al. State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1 : 1000000 (third generation). Anabar-Viluy series. Sheet R-51 – Dzhardzhan. Explanatory note. Saint Petersburg: VSEGEI, **2013**. 397 p. (in Russian).
- Stewart J., Kerr G., Prior D., Halpenny A., Pearce M., Hough R., Craw D. Low temperature recrystallization of alluvial gold in paleoplacer deposits. *Ore Geol. Rev.* **2017**. N 88. P. 43–56.
- Tectonics, geodynamics and metallogeny of the territory of the Republic of Sakha (Yakutia). Eds. Parfenov L., Kuzmin N. Moscow: MAIK Nauka/Interperiodica, **2001**. 571 p.
- Yablokova S.V., Izrailov L.M. Mineralogy of gold in different-aged strata of the sedimentary cover of the Olenek uplift / Geology of precious metal placers and their prediction. Moscow, **1988**. P. 59–65 (in Russian).