

Минералогические особенности золота конгломератов пермского возраста Сололийского поднятия Оленёкского свода (северо-восток Сибирской платформы)*

Б. Б. Герасимов¹, Р. Ю. Желонкин², М. Г. Мухамедьяров²

¹ Институт геологии алмаза и благородных металлов
Сибирского отделения Российской академии наук,
Российская Федерация, 677000, Якутск, пр. Ленина, 39

² АО «Алмазы Анабара»,
Российская Федерация, 677000, Якутск, ул. Кирова, 18

Для цитирования: Герасимов, Б. Б., Желонкин, Р. Ю., Мухамедьяров, М. Г. (2021). Минералогические особенности золота конгломератов пермского возраста Сололийского поднятия Оленёкского свода (северо-восток Сибирской платформы). *Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле*, 66 (3), 578–594. <https://doi.org/10.21638/spbu07.2021.308>

Изучены типоморфные особенности россыпного золота конгломератов ортокинской свиты раннепермского возраста (P1or) Сололийского поднятия Оленёкского свода и современного руслового аллювия р. Ортоку-Эекит, дренирующей эти отложения. Целью исследований явилось выявление индикаторных типоморфных признаков, показывающих степень преобразования золота в промежуточных коллекторах, а также определение их роли в качестве промежуточных источников благородного металла в современном россыпеобразовании. Выявлено, что характерной особенностью большей части золота пермских конгломератов является его крайне неоднородный химический состав и сложное внутреннее строение. В пределах одной золотины выделяются несколько разнопробных фаз (от 251 до 999‰), за счет этого золото приобретает мозаично-блоковое внутреннее строение. Выдвинуто предположение, что такая неоднородность образуется в результате эпигенетических преобразований первично среднепробного золота в промежуточном коллекторе пермского возраста, а также под влиянием наложенной гидротермальной минерализации с низкопробным золотом, связанной с процессами мезозойской тектоно-магматической активизации. Об этом свидетельствует обнаружение вкрапленной золотосульфидной минерализации в пермских конгломератах. Рудная минерализация представлена золотом, серебром, пиритом, сфалеритом, халькопиритом, галенитом, акантитом и самородным оловом. Приуроченность оруденения к маломощным зонам дробления конгломератов, обусловленных тектоническим воздействием, позволяет предположить, что наложенная золотосульфидная гидротермальная минерализация вкрапленного типа сформировалась в результате проявлений тектоно-магматической активизации мезозойского возраста, при которых происходила миграция золотоносных гидротермальных растворов по разрывным нарушениям. Установлено, что основными источниками золота современного аллювия на изученном отрезке р. Ортоку-Эекит являются золотоносные конгломераты ортокинской свиты пермского возраста. Об этом свидетельствуют характерные типоморфные признаки россыпного золота.

* Работа выполнена по государственному заданию Института геологии алмаза и благородных металлов СО РАН и частично в рамках хозяйственных работ с АО «Алмазы Анабара».

Ключевые слова: Сибирская платформа, Оленёкский свод, конгломераты, россыпное золото, типоморфные особенности, пробность, внутреннее строение, вкрапленная золотосульфидная минерализация, эпигенетическое преобразование, тектоно-магматическая активизация.

1. Введение

На территории Оленёкского свода известны многочисленные современные россыпные проявления мелкого и тонкого золота, для которых остается открытой проблема их коренных источников. В связи с этим актуальным является изучение золотоносности древних промежуточных коллекторов, а также зон рудной минерализации как потенциальных источников мелкого и тонкодисперсного золота.

Нами исследованы минералогические особенности золота конгломератов пермского возраста и руслового аллювия р. Ортоку-Экит (Сололийское поднятие Оленёкского свода), с целью выявления индикаторных типоморфных признаков, показывающих степень преобразования золота в промежуточных коллекторах, а также определения роли этих коллекторов в качестве источников благородного металла в современном россыпеобразовании. Для достижения поставленной цели изучены типоморфные признаки россыпного золота пермских терригенных и современных аллювиальных отложений, а также минералогия наложенного низкотемпературного гидротермального золотосульфидного оруденения.

Золотоносность современных аллювиальных отложений и конгломератов пермского возраста была установлена сотрудниками Научно-исследовательского института геологии Арктики (НИИГА) (Виноградов и др., 1967). Впервые типоморфные особенности золота пермских конгломератов были изучены С. В. Яблоковой и Л. М. Израилевым (1988).

2. Методика исследований

Изучено россыпное золото на основе проб ($V = 3 \text{ м}^3$), отобранных из базальных конгломератов раннепермского возраста. Отобранный материал подвергался дроблению в ступах ручным способом, затем промывался на ручном грохоте, т. н. «шейкере», с набором сит +8, -8+4, -4+2, -2+1 мм, под струей воды, подаваемой вручную. При грохочении материал пробы размером более 8 мм просматривался визуально на выявление крупных зерен минералов-спутников алмаза, алмазов и золота, затем сливался в хвосты. Классы -8+4, -4+2, -2+1 и -1 мм складировались на плотный брезент отдельно по классам крупности. По завершении грохочения складированный материал подвергался концентрации при помощи отсадочных сит. Материал класса крупности -8+4 мм после концентрации просматривался визуально и сливался в хвосты. С материала классов -4+2 и -2+1 мм после осмотра в отдельные мешки отбирались концентраты отсадки. Фракция -1 мм промывалась лотком до серого шлиха. В лабораторных условиях шлик подвергался доводке в тяжелой жидкости (бромформ) для получения ультратяжелого концентрата, из которого выделялись мономинеральные фракции золота под бинокуляром.

Для решения поставленной цели выполнены следующие минералогические и физико-химические исследования:

- золото разделено на классы-фракции по размерам зерен (ситование, взвешивание по фракциям, вычисление процента выхода фракций);
- выделены морфологические разновидности золота с учетом цветовых оттенков, степени окатанности, наличия включений;
- выполнено описание этих морфологических разновидностей золота, установлены их процентные отношения;
- определена пробность наиболее типичных золотин.

Целью ситового анализа является получение объективной цифровой характеристики крупности золота и количественного соотношения фракций различной крупности.

Морфология самородного золота изучалась и описывалась в соответствии с морфогенетической систематикой выделений самородного золота, составленной Н. В. Петровской (1973). Морфологический анализ золота включает в себя изучение типоморфных особенностей: цвета, блеска, размера, формы выделения золотин, характера их поверхности, состава включений, пленок и сростков со вмещающими минералами, степени окатанности.

Все особенности золота исследовались отдельно для разных классов крупности и генетических типов золота. С этой целью золотины вручную под биноклем отбирались и разделялись на группы. Количественные соотношения разновидностей золота по морфологии определялись приближенно. Параллельно производился отбор наиболее типичных золотин для физико-химических исследований.

Для исследования 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 золота, необходимый для дальнейшего изучения внутренней структуры золота.

Внутреннее строение самородного золота изучалось путем его травления в монтированных шлифах по отработанной методике (Петровская и др., 1980) с использованием реактива: $\text{HCl} + \text{HNO}_3 + \text{FeCl}_3 \times 6\text{H}_2\text{O} + \text{CrO}_3 + \text{тиомочевина} + \text{вода}$. Химический состав минералов определялся при помощи энергетического спектрометра OXFORD INCA-sight фирмы JEOL, оснащенного аналитическими приставками OxfordInstruments (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 — $\text{M}\alpha$, Ag — α , другие элементы — $\text{K}\alpha$. При этом использовались следующие стандарты: золото 850 % — Au, Ag; FeS_2 (пирит) — Fe, S; CuFeS_2 (халькопирит) — Cu; FeAsS (арсенопирит) — As; ZnS (сфалерит) — Zn. Пределы обнаружения элементов (мас. %): Au — 1.81, Ag — 1.11, Fe — 1.02, S — 0.71, Cu — 1.22, As — 1.07, Zn — 1.73. Аналитические работы проведены в отделе физико-химических методов анализа Института геологии алмаза и благородных металлов (ИГАБМ) СО РАН (аналитик Н. В. Христофорова).

3. Геологическое строение района

На исследованной территории на уровне современного эрозионного среза развиты отложения раннепротерозойского, рифейского, вендского, пермского, триасового, юрского (рис. 1) и четвертичного возрастов. Эекитская серия раннего протерозоя представлена глинистыми филлитовидными сланцами, метаморфизованными песчаниками и алевролитами. На этих отложениях с резким угловым несогласием залегают толщи рифейского комплекса, включающие породы сыгынахтахой, кютюнгинской, арымасской и дебенгдинской свит, сложенных кварцевыми конгломератами, песчаниками, алевролитами, известняками и доломитами. Выше на неровной поверхности размыва среднерифейских пород прослеживаются отложения мастахой и хатыспытской свит вендского возраста, состоящие из песчаников, гравелитов с подчиненным количеством конгломератов и доломитов. На размывной поверхности отложений венда, рифея, нижнего протерозоя и магматических образований ранне- и верхнепротерозойских комплексов залегают породы пермского возраста, включающие кварцевые конгломераты и песчаники. Отложения триасового возраста имеют ограниченное распространение и сложены аргиллитами и алевролитами. Породы юрского возраста представлены преимущественно аргиллитами с незначительным количеством прослоев алевролитов и песчаников. Песчано-галечные и песчано-суглинистые четвертичные отложения перекрывают водораздельные пространства, склоны и днища долин водотоков. В районе установлены ранне-, позднепротерозойские и раннетриасовые магматические образования. К раннепротерозойскому комплексу относятся метаморфизованные вулканогенные породы эекитской серии щелочного состава, метадиабазы, гранитоиды, кварцевые габбро. С магматизмом данного этапа связаны кварцевые и кварц-карбонатные жилы. К рифейскому магматическому комплексу относятся силлы и дайки диабазов и габбро-диабазов, а также туфолавы, туфы трахитов и эруптивные брекчии. Интрузивные породы траптовой формации раннетриасового возраста закартированы юго-западнее изученной территории и не попадают в границы рис. 1 (Сметанникова и др., 2013).

4. Результаты

Отложения ортокинской свиты ранней перми (P1or) протягиваются широкой (более 15 км) прерывистой полосой субмеридионального направления — от бассейнов рр. Ортоку-Эекит, Хотугу-Эекит до долины р. Сололи. Породы залегают с размывом на поверхности более древних образований от эекитской серии и гранитоидов раннего протерозоя до дебенгдинской свиты верхнего рифея. Свита сложена в основном полимиктовыми песчаниками с подчиненными пластами кварцевых конгломератов и гравелитов, прослоями алевролитов, аргиллитов, линзами углисто-глинистых сланцев и углей.

Нами опробованы базальные конгломераты, обнажающиеся по правому берегу р. Ортоку-Эекит (рис. 2). Видимая мощность конгломератов составляет около 1.5 м. Обломочный материал представлен главным образом кварцем. Размер галек достигает в основном 3–5 см (рис. 3), отмечаются единичные крупные слабо-

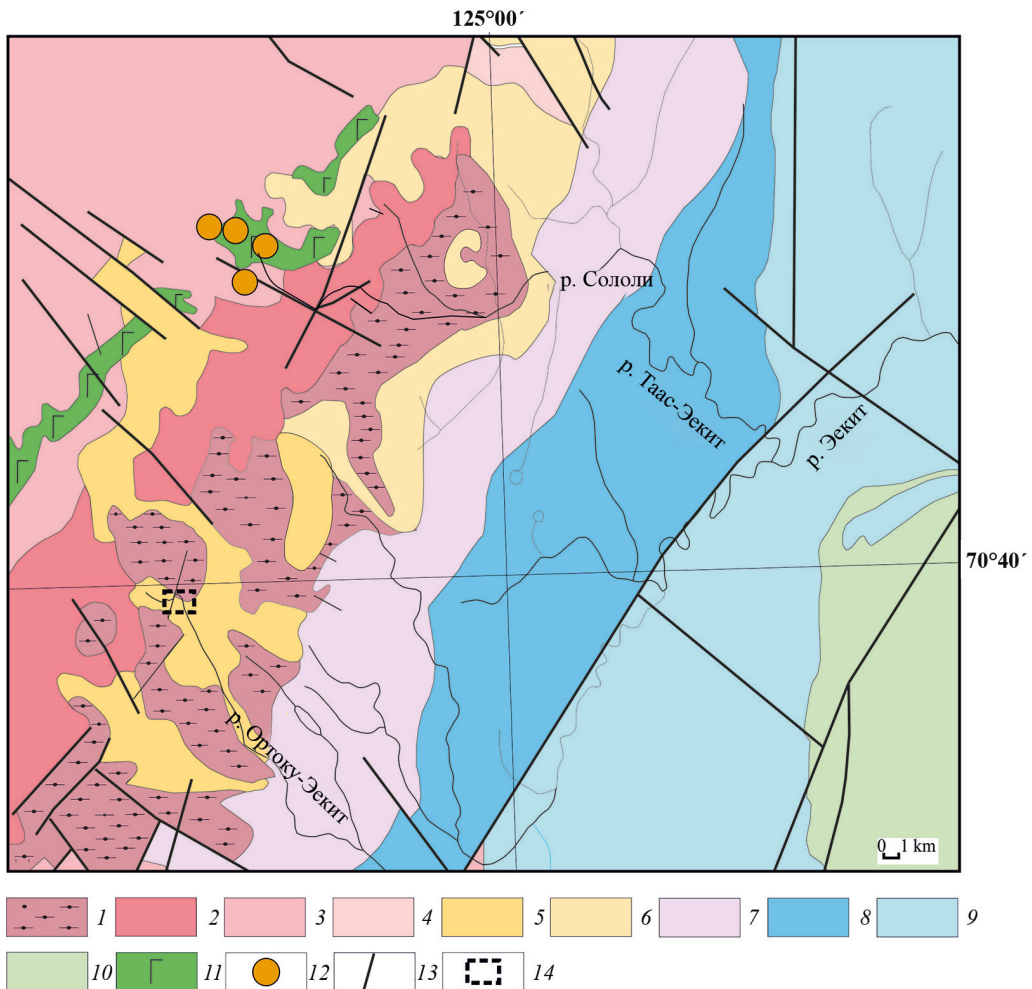


Рис. 1. Схема геологического строения дочетвертичных образований Сололийского поднятия, по данным (Сметанникова и др., 2013):

1 — образования раннего протерозоя; 2 — раннерифейские песчаники, алевролиты, гравелиты и конгломераты; 3 — позднерифейские 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 — поздне триасовые 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 — раннерифейский уэтяхский комплекс долеритов; 12 — вендский трахибазальт (траховый монгусский комплекс); 13 — разломы; 14 — участок работ



Рис. 2. Выходы пород ортокинской свиты пермского возраста в коренном залегании (руч. Прямой — правый приток р. Ортоку-Эекит). Фото авторов



Рис. 3. Базальные мелкогалечные конгломераты раннепермского возраста. Фото авторов

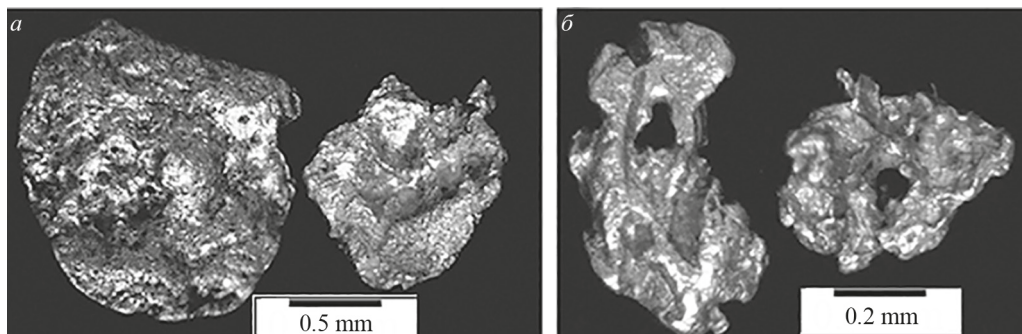
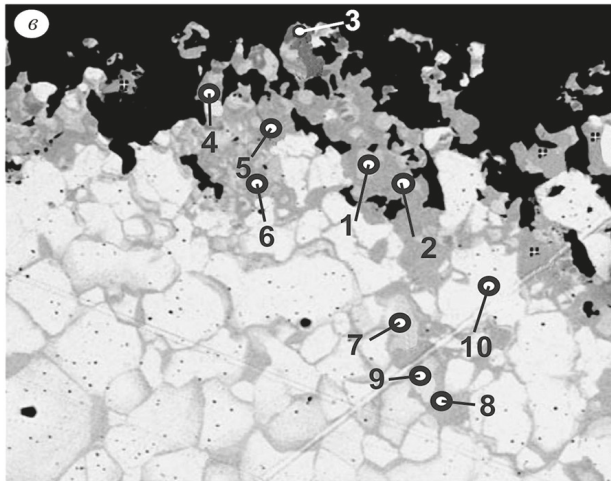
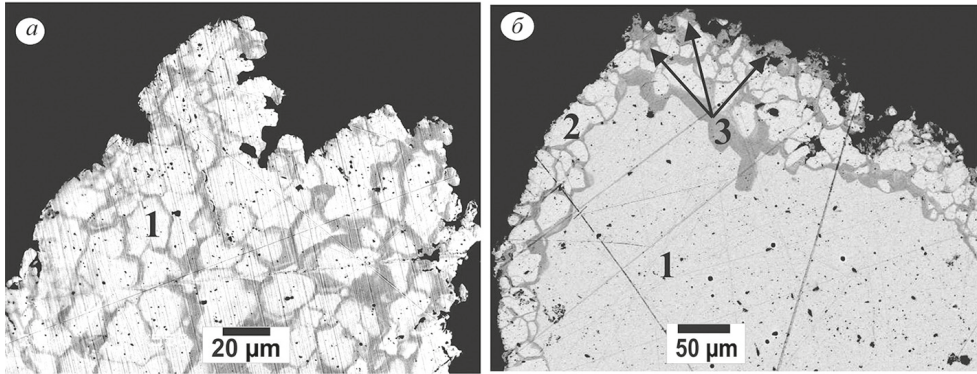


Рис. 4. Кластогенное золото пермских конгломератов: *а* — пластинки с отпечатками вдавливания минералов вмещающих толщ; *б* — золотины со сквозными отверстиями. Фото авторов

окатанные обломки (до 25 см). В тяжелой фракции класса –1 мм пермских конгломератов бассейна р. Ортоку-Экит диагностируются магнетит, гранаты, циркон, танталит-колумбит, сульфиды и самородное золото. Гранулометрический состав золота следующий: 0.5–1 мм — 24 %, 0.5–0.25 мм — 44 %, 0.1–0.25 мм — 30 % и –0.1 мм — 2 %. В основном преобладают пластинчатые (70 %) и комковидные (20 %) индивиды, наряду с которыми встречаются золотины лентовидной (5 %) и палочковидной (5 %) форм. Поверхность у золотин грубошагреновая, мелкоямчатая, шероховатая с отпечатками вдавливания минералов и пелитовым материалом в западинах (рис. 4, *а*). Отмечаются золотины со сквозными отверстиями (рис. 4, *б*). Довольно часто встречаются индивиды с необработанным шероховатым микрорельефом поверхности. Цвет золота в основном лимонно-желтый с зеленоватым оттенком (80 %), что указывает на его низкую пробность. Однако микронзондовый анализ показал, что пробность золота варьирует в очень широких пределах (251–998 ‰). Элементы-микропримеси в изученном золоте, кроме серебра, не обнаружены.

Характерной особенностью большей части изученного золота является его крайне неоднородный химический состав и сложное внутреннее строение. В пределах одной золотины выделяются несколько разнопробных фаз, за счет этого золото приобретает мозаично-блоковое внутреннее строение. Основная матрица золотин сложена высокопробной фазой — зернами неправильной формы с округлыми границами, пробностью выше 900 ‰ (рис. 5, *а*). Как правило, в центральной части золотин присутствуют относительно низкопробная и среднепробная фазы — 700–899 ‰ (рис. 5, *б*). Поздняя низкопробная фаза (251–699 ‰) перекрывает поверхность золотин в виде весьма тонкой (несколько мкм) оторочки (рис. 5, *б, в*), а также иногда заполняет межзерновые пространства (рис. 5, *б, в*). Вследствие этого золото приобретает необработанный шероховатый микрорельеф поверхности и светло-желтый цвет с зеленоватым оттенком, характерным для низкопробного золота.

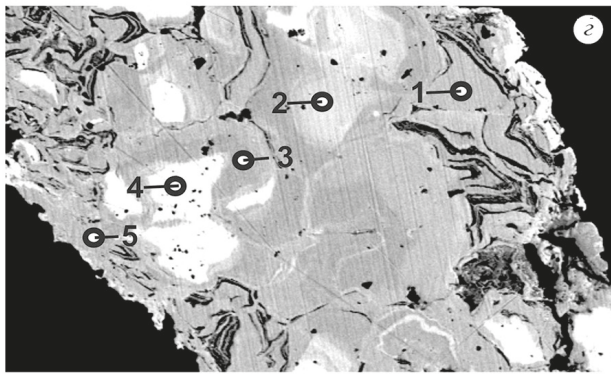
Золото современных аллювиальных отложений р. Ортоку-Экит представлено главным образом фракцией 0.25–0.5 мм, пластинчатой и комковидной формой. Среднее содержание металла составило 102.65 мг/м³. Поверхность у золотин грубошагреновая с отпечатками вдавливания минералов и пелитовым материа-



Spectrum	Ag	Au	Total
1	36.10	65.65	101.75
2	50.98	47.86	98.84
3	63.32	34.91	98.23
4	56.25	35.16	91.41
5	48.53	40.82	89.34
6	57.76	42.53	100.29
7	25.51	79.62	105.13
8	51.96	55.62	107.58
9	19.55	83.94	103.50
10		105.65	105.65

100 μm

Electron Image 1



Spectrum	Ag	Au	Total
1	61.41	37.87	99.27
2	39.44	57.94	97.38
3	73.67	24.73	98.39
4		96.30	96.30
5	58.37	43.17	101.54

70 μm

Electron Image 2

Рис. 5. Минералогические особенности золота конгломератов пермского возраста: а — многофазное золото фракции 0,5–1 мм в полированном срезе (режим BES) (1 — высокопробная фаза); б — внутреннее строение многофазного золота (1 — среднепробная, 2 — высокопробная, 3 — низкопробная фазы (протравлено реактивом на основе царской водки)); в — многофазное золото в поперечном срезе и его химический состав, по периферии нитевидные наросты высокосеребристого наложенного золота (темное); г — практически полностью замещенное низкопробной фазой первично высокопробное золото, светлое (спектр 4) — реликтовые зерна высокопробного золота. Составлено авторами

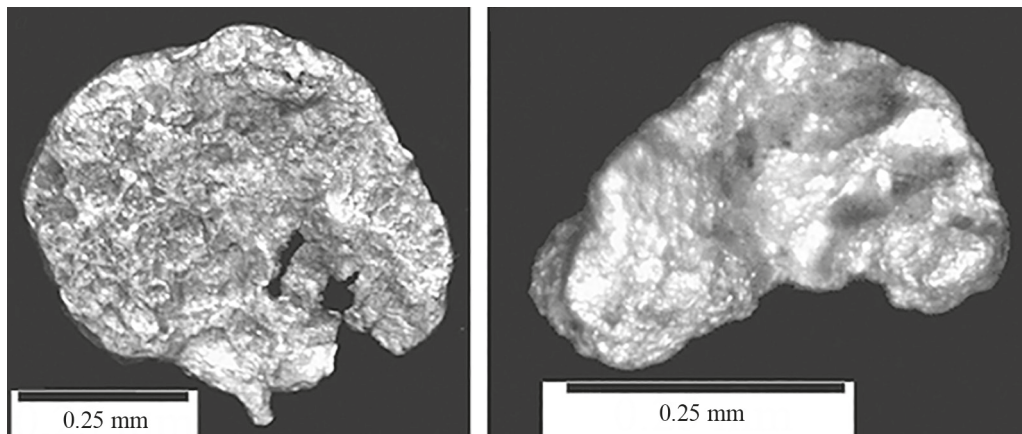


Рис. 6. Золото из руслового аллювия р. Ортоку-Эекит: пластинки с отпечатками вдавливания минералов. Фото авторов

лом в западинах (рис. 6). Пробность варьирует в очень широких пределах — от 300 до 999 ‰.

5. Обсуждение

Известно, что в условиях россыпеобразования происходят изменения морфологии, внутренней структуры и химического состава самородного золота (Петровская, 1973; Николаева, 1978; Charman et al., 2000; 2011; Nikiforova et al., 2020).

Одним из наиболее информативных типоморфных признаков, показывающих пострудные эндогенные изменения и продолжительность пребывания золота в экзогенной среде, является его внутреннее строение. Классификация внутренних структур самородного золота была разработана Н. В. Петровской (1973), в последующем была дополнена Л. А. Николаевой (Николаева, 1978; Николаева и др., 2003). Преобразования внутреннего строения характеризуются прежде всего образованием высокопробной оболочки по периферийным частям золота (Charman and 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 and Craw, 2009; Craw and Lilly, 2016; Craw et al., 2016; Lalomov et al., 2017).

Вместе с тем в работе Джеймса Стюарта с соавторами (Stewart et al., 2017) показано, что процессы растворения и осаждения Au приводят лишь к поверхностным изменениям и формированию высокопробной оторочки не толще 10 микрон. Эти авторы связывают образование более мощной высокопробной оболочки в россыпных золотилах с процессами рекристаллизации, происходившими под воздействием остаточной энергии механических деформаций, образовавшихся в результате многократных ударов обломков пород во время речного переноса. Данные процессы способствовали интенсивному выносу Ag из золота. Это положение наглядно подтверждается микрозернистыми структурами рекристаллизации высокопроб-

ных оболочек золота, которые образовались в условиях покоя в палеоотложениях (Stewart et al., 2017).

По данным Л. А. Николаевой с соавторами (2003), в структуре 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 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 выражается образованием микрозернистой структуры. При более длительном пребывании в покое происходит процесс собирательной перекристаллизации и приводит к еще более глубокому преобразованию высокопробной оболочки. Наиболее интенсивные изменения внутреннего строения золота происходят после захоронения отложений и их литификации в результате температурного воздействия, сопровождающегося интенсивной диффузией серебра. Не исключается также гидротермальное воздействие с наложением низкотемпературной минерализации (Николаева и др., 2003). Таким образом, существенные внутренние кристаллографические преобразования в частицах золота в условиях промежуточных коллекторов способствуют ускорению их химических изменений, и прежде всего выносу серебра.

В целом очевидно, что в природе могут осуществляться оба рассмотренных варианта формирования обедненной Ag оболочки. Вместе с тем на изученное нами золото повлияли процессы, характерные для древних промежуточных коллекторов, а также связанные с наложением низкотемпературной рудной минерализации.

По нашему предположению, неоднородность золота пермских конгломератов объясняется следующим образом. В промежуточном коллекторе пермского возраста россыпное, главным образом среднепробное, золото подверглось процессам дезинтеграции, грануляции и перекристаллизации. При этом на первых этапах преобразования в периферийных частях образовалось высокопробное золото за счет выноса серебра. В последующем высокопробная фаза частично или полностью заместила первичную среднепробную матрицу. В период мезозойской тектономагматической активизации, широко проявленной на северо-востоке Сибирской платформы, вероятно, происходила миграция низкотемпературных золотоносных гидротермальных растворов по разломам. В результате на поверхности окатанных золотин отлагалось низкопробное золото (251–699‰), полностью покрывающее их в виде тонкой оторочки. Низкопробная фаза проникала по межзерновым промежуткам (рис. 5, б). При этом в некоторых случаях она практически полностью замещала высокопробную фазу (рис. 5, з). Не исключается также вероятность того, что под термальным воздействием совершалась отгонка примеси серебра реликтового среднепробного золота в межзерновые пространства (рис. 5, б). По данным Н. Е. Саввы (2018), такой процесс характерен при термометаморфизме руд. В целом, по всей видимости, здесь имели место процессы, близкие к эндогенным пострудным преобразованиям самородного золота, с образованием структур дезинтеграции с широкими границами зерен и заполнением этих промежутков поздней высокосеребристой фазой (Савва и Прейс, 1990; Николаева и др., 2003;

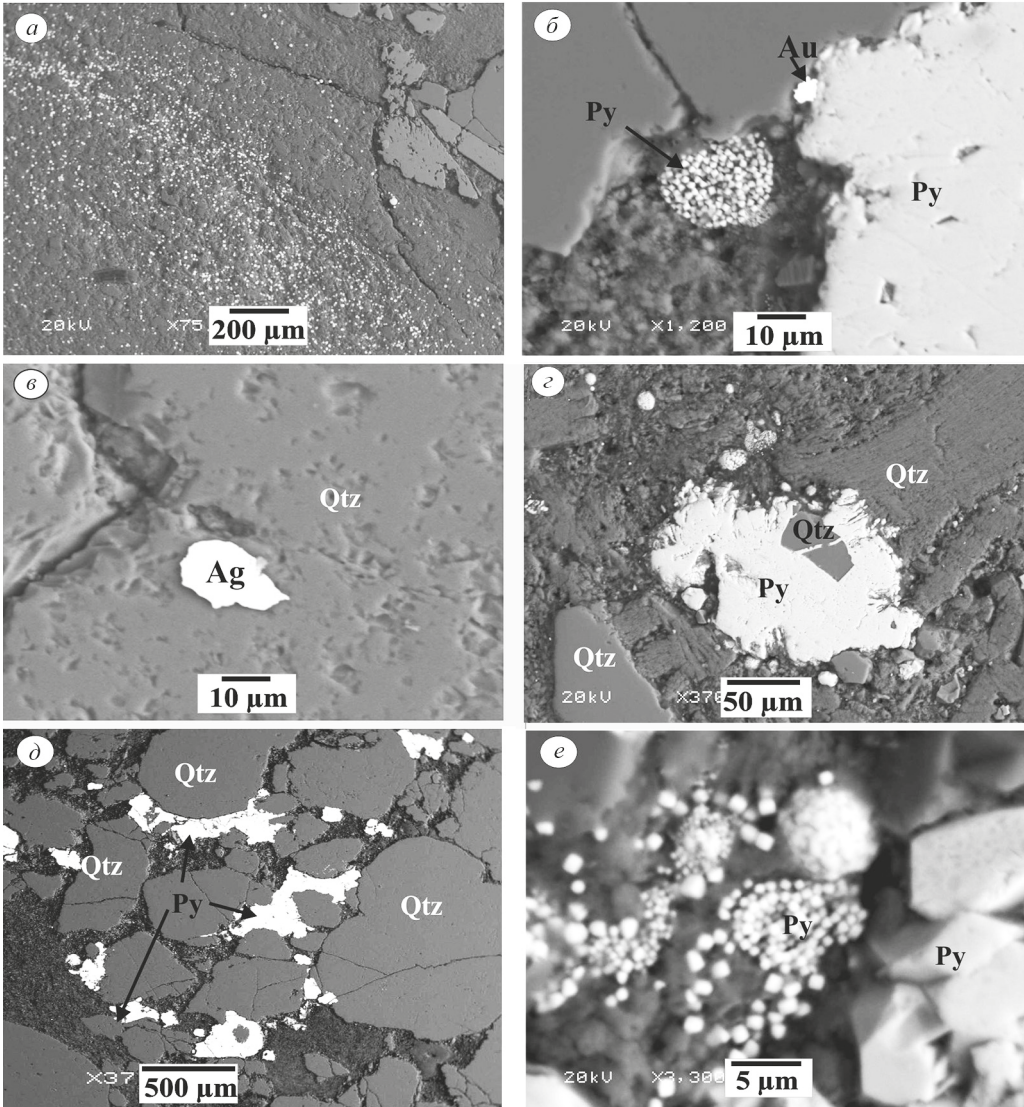


Рис. 7. Золотосульфидная вкрапленная минерализация в раннепермских конгломератах бассейна р. Ортоку-Эекит (режим BSE): а — вкрапленная сульфидная минерализация; б — срастание тонкодисперсного золота с пиритом и пиритовый фрамбоид; в — изометричное зерно самородного серебра в трещине кварца; г и д — пирит, развитый по трещинам раздробленной гальки кварца; е — не до конца сформировавшийся пиритовый фрамбоид на подложке раннего кристаллического пирита. Фото авторов

Савва, 2018). В нашем случае это происходило при наложении гидротермальной минерализации на золотоносный промежуточный коллектор.

Данное предположение подтверждается выявлением в ортокоэекитских конгломератах наложенной вкрапленной рудной минерализации, представленной тонкодисперсным самородным золотом и серебром, пиритом, сфалеритом, халькопиритом, галенитом, акантитом и самородным оловом (рис. 7, а). Микрорентгено-спектральным анализом установлены в основном мельчайшие (до 5 мкм) частицы самородного золота в сростании с изометричными кристаллами пирита (рис. 7, б). К сожалению, из-за весьма мелких размеров золотин невозможно определить их точный химический состав. Самородное серебро представлено более крупными изометричными зернами и встречается намного чаще, чем золото (рис. 7, з). Кроме этого, довольно часто отмечается сульфид серебра, вероятно акантит, как более устойчивая модификация, чем аргентит (Савва, 2018).

Среди сульфидов наибольшей распространенностью обладает пирит, характеризующийся в основном кубическими кристаллами и их агрегатами, а также фрамбоидальными формами (рис. 7, д). Его размеры колеблются от десятков микрон до 1–2 мм. Фрамбоиды, по всей видимости, относятся к поздней стадии оруденения, поскольку довольно часто наблюдаются не до конца сформированные сферические пиритовые стяжения, осаждающиеся рядом с кристаллическим пиритом ранней стадии (рис. 7, е). По данным А. Е. Лукина и И. П. Гафича (2018), фрамбоидальный пирит принадлежит к наиболее поздним минеральным генерациям, которые формируются при процессах тектоно-гидротермальной активизации в условиях режима с резкими колебаниями давления и температуры. Другие вышеперечисленные сульфиды, а также самородное олово встречаются намного реже пирита, характеризуются весьма мелкими изометричными формами и наблюдаются в виде вкрапленников в цементе конгломератов.

По данным пробирного анализа содержание золота в конгломератах достигает 2.8 г/т, что намного превышает результаты шлихового опробования — 53 мг/м³. В связи с этим справедливо констатировать, что значительная часть золота в этих отложениях находится в тонкодисперсном состоянии и, вероятно, связана с описанной сульфидной минерализацией. Важно подчеркнуть, что рудная минерализация приурочена главным образом к маломощным зонам дробления конгломератов, обусловленных тектоническим воздействием. Это позволяет предположить, что наложенная золотосульфидная гидротермальная минерализация вкрапленного типа могла сформироваться в результате проявлений тектоно-гидротермальной активизации мезозойского возраста, при которых происходила миграция золотоносных гидротермальных растворов по разрывным нарушениям.

Россыпное золото из современных аллювиальных отложений р. Ортоку-Эекит по своим типоморфным признакам аналогично золоту конгломератов ортокинской свиты раннепермского возраста. Об этом свидетельствует идентичное мозаично-блоковое внутреннее строение золотин древнего коллектора и современного аллювия, обусловленное разнопробностью отдельных участков золота (рис. 8, а, б). Незначительные гипергенные изменения золота в современных россыпях проявлены в виде весьма тонких высокопробных оторочек (рис. 8, в, з). Кроме того, очевидно, что тончайшая оторочка высокосеребристого наложенного золота при пребывании в водно-аллювиальной среде и обработке обломочным

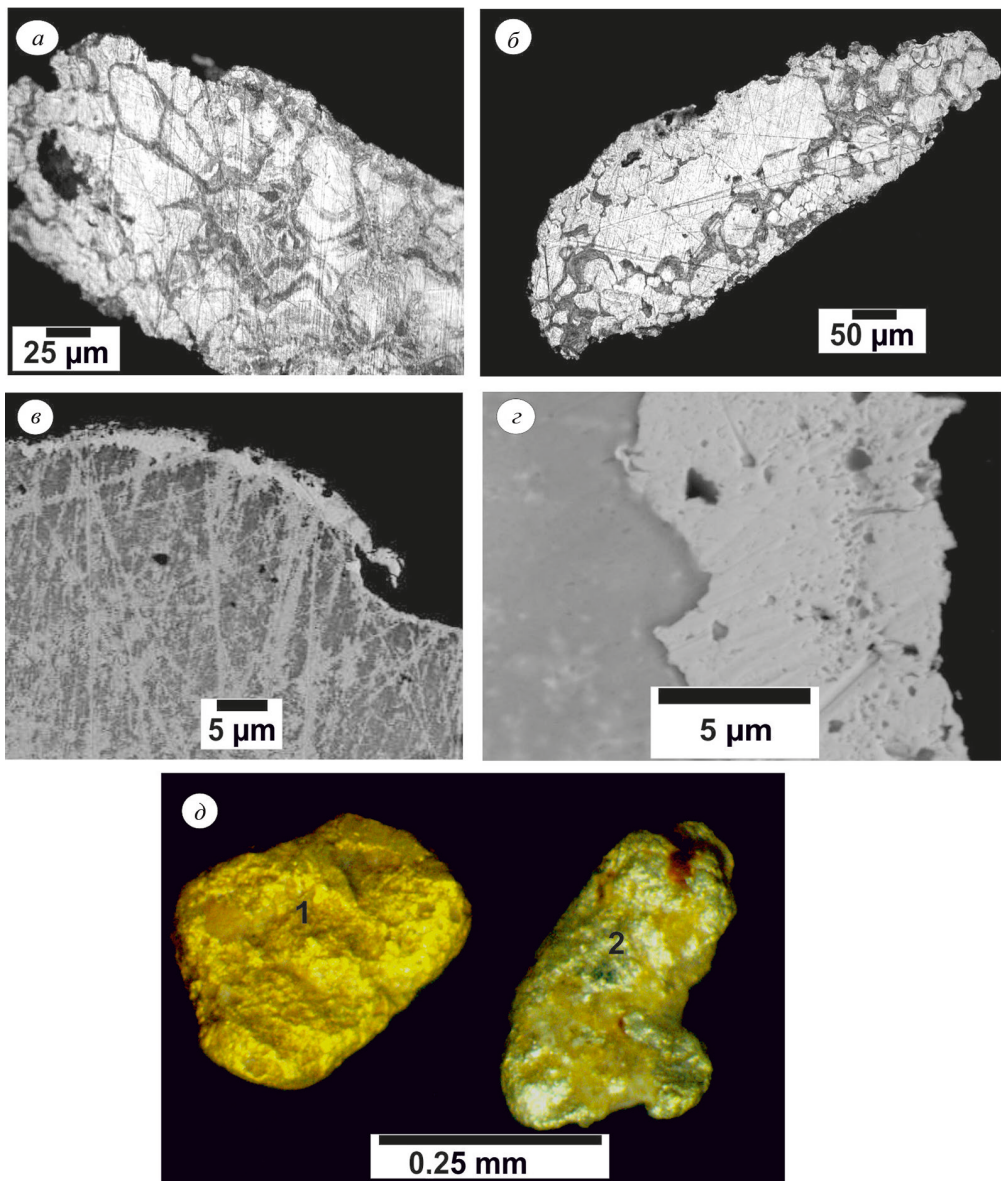


Рис. 8. Минералогические особенности россыпного золота руслового аллювия р. Ортоку-Эекит (а-г: режим BES): а и б — внутреннее строение золота (протравлено реактивом на основе царской водки); в и г — тонкая высокопробная оторочка; д — золотины из разновозрастных отложений (1 — современного аллювия темно-желтого цвета; 2 — из пермских конгломератов лимонно-желтого цвета с зеленоватым оттенком). Фото авторов

материалом аллювия полностью удаляется. В связи с этим золото современных отложений визуально отличается (темно-желтый цвет) от металла пермского коллектора (рис. 8, д).

6. Заключение

Полевые работы, изучение комплекса типоморфных признаков золота, анализ опубликованной и фондовой литературы, а также сопоставление полученных данных с геологической позицией района позволили сделать следующие основные выводы.

1. Выявлен основной индикаторный признак золота изученных конгломератов — это исключительно неоднородное внутреннее строение, обусловленное наличием в пределах одной золотины разнопробных фаз (от 24 до 100 % Au). Данное золото подверглось глубокому эпигенетическому преобразованию в промежуточном коллекторе пермского возраста и при проявлении мезозойской тектоно-магматической активизации.
2. Рудная минерализация, наложенная на базальные конгломераты ортокинской свиты ранней перми (P1or) Оленёкского свода, представлена золотом, серебром, пиритом, сфалеритом, халькопиритом, галенитом, акантитом и самородным оловом. Ее приуроченность к маломощным зонам катаклаза конгломератов позволяет предположить, что наложенная золотосульфидная гидротермальная минерализация вкрапленного типа сформировалась в результате проявлений тектонической активизации мезозойского возраста, при которых происходила миграция золотоносных гидротермальных растворов по разрывным нарушениям.
3. Содержание тонкодисперсного золота в пермских конгломератах по данным пробирного анализа достигает 2.8 г/т, что намного превышает содержание (53 мг/м³) кластогенного золота.
4. Основными источниками россыпного золота современного аллювия на изученном отрезке р. Ортоку-Экит являются золотоносные конгломераты ортокинской свиты пермского возраста.

Литература

- Виноградов, В. А., Красильщиков, А. А., Горина, И. Г. (1967). Об источниках золота на Оленекском поднятии. В: *Материалы по геологии и полезным ископаемым Якутской АССР. Вып. 15*, 114–119.
- Лукин, А. Е., Гафич, И. П. (2018). Позднеэпигенетический фрамбоидальный пирит в глубокозалегающих коллекторах газоконденсатных залежей. *Допов. Нац. акад. наук Укр.*, (8), 76–82. <https://doi.org/10.15407/dopovidi2018.08.076>
- Николаева, Л. А. (1978). *Генетические особенности самородного золота как критерии при поисках и оценке руд и россытей*. Москва: Недра.
- Николаева, Л. А., Гаврилов, А. М., Некрасова, А. Н., Яблокова, С. В., Шатилова, Л. В. (2003). *Атлас самородного золота рудных и россыпных месторождений России*. Москва: ЦНИГРИ.
- Петровская, Н. В. (1973). *Самородное золото*. Москва: Наука.
- Петровская, Н. В., Новгородова, М. И., Фролова, К. Е. (1980). О природе структур и субструктур эндогенных выделений самородного золота. В: Н. В. Петровская, И. И. Фатянов, под ред., *Минералогия самородных элементов*. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 10–20.
- Савва, Н. Е. (2018). *Минералогия серебра северо-востока России*. Москва: Триумф.
- Савва, Н. Е., Прейс, В. К. (1990). *Атлас самородного золота Северо-Востока СССР*. Москва: Наука.
- Сметанникова, Л. И., Гриненко, В. С., Маланин, Ю. А., Прокопьев, А. В. (2013). *Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Анабаро-Вилуйская. Лист R-51 — Джарджан. Объяснительная записка*. Санкт-Петербург: ВСЕГЕИ.

- Яблокова, С. В., Израилев, Л. М. (1988). Минералогия золота в разновозрастных толщах осадочного чехла Оленекского поднятия. В: В. А. Нарсеев, под ред., *Геология россыпей благородных металлов и их прогнозирование*. Москва: ВЦИО.
- Chapman, R. J. and Mortensen, J. K. (2016). 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.*, 111, 1321–1345.
- Chapman, R. J., Leake, R. C., Moles, N. R., Earls, G., Cooper, C., Harrington, K. and Berzins, R. (2000). 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.*, 95, 1753–1773.
- Chapman, R. J., Mortensen, J. K. and LeBarge, W. P. (2011). 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. *Mineral Deposita*, 46, 881–903. <https://doi.org/10.1007/s00126-011-0356-5>
- Craw, D. and Lilly, K. (2016). Gold nugget morphology and geochemical environments of nugget formation, southern New Zealand. *Ore Geol. Rev.*, 79, 301–315.
- Craw, D., Hesson, M. and Kerr, G. (2016). Morphological evolution of gold nuggets in proximal sedimentary environments, southern New Zealand. *Ore Geol. Rev.*, 80, 784–799.
- Falconer, D. M. and Craw, D. (2009). Supergene gold mobility: a textural and geochemical study from gold placers in southern New Zealand. In: S. R. Titley, ed., *Supergene Environments, processes and products. Vol. 14. Econ. Geol. Special Publ.*, 77–93.
- Groen, J. C., Craig, J. R. and Rimstidt, J. D. (1990). Gold-rich rim formation on electrum grains in placers. *Can. Mineral*, 28, 207–228.
- Lalomov, A. V., Chefranov, R. M., Naumov, V. A., Naumova, O. B., LeBarge, W. and Dilly, R. A. (2017). Typomorphic features of placer gold of Vagran cluster (the Northern Urals) and search indicators for primary bedrock gold deposits. *Ore Geology Reviews*, 85, 321–335. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2016.06.018>
- McCready, A. J., Parnell, J. and Castro, L. (2003). Crystalline placer gold from the Rio Neuquern, Argentina: implications for the gold budget in placer gold formation. *Economic Geology*, 98, 623–633.
- Nikiforova, Z. S., Kalinin, Yu. A. and Makarov, V. A. (2020). Evolution of Native Gold under Exogenous Conditions. *Russian Geology and Geophysics*, 61 (11), 1244–1259. <https://doi.org/10.15372/RGG2020109>
- Stewart, J., Kerr, G., Prior, D., Halfpenny, A., Pearce, M., Hough, R. and Craw, D. (2017). Low temperature recrystallisation of alluvial gold in paleoplacer deposits. *Ore Geology Reviews*, 88, 43–56. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2017.04.020>

Статья поступила в редакцию 12 марта 2021 г.
Статья рекомендована в печать 18 июня 2021 г.

Контактная информация:

Герасимов Борис Борисович — bgerasimov@yandex.ru
Желонкин Роман Юрьевич — zhelonkinryu@alanab.alrosa.ru
Мухамедьяров Махмутьян Гумарович — mukhamedyarovmg@alanab.alrosa.ru

Mineralogical features of gold of the Permian conglomerates of the Sololiy uplift of the Olenyok high (Northeastern Siberian platform)*

B. B. Gerasimov¹, R. Yu. Zhelonkin², M. G. Mukhamedyarov²

¹ Diamond and Precious Metal Geology Institute
of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
39, pr. Lenina, Yakutsk, 677000, Russian Federation

² JSC "Almazy Anabara",
18, ul. Kirova, Yakutsk, 677000, Russian Federation

For citation: Gerasimov, B. B., Zhelonkin, R. Yu., Mukhamedyarov, M. G. (2021). Mineralogical features of gold of the Permian conglomerates of the Sololiy uplift of the Olenyok high (Northeastern Siberian platform). *Vestnik of Saint Petersburg University. Earth Sciences*, 66 (3), 578–594.
<https://doi.org/10.21638/spbu07.2021.308> (In Russian)

The article analyses the Typomorphic features of placer gold of conglomerates of the Ortokinskaya formation of the Early Permian age (P1or) of the Sololiy Uplift of the Olenyok high and modern channel alluvium of the Ortoku Eekit river, which drains these deposits. It is found that the extremely heterogeneous composition and complex inner structure are typical features of the vast majority of gold of the Permian conglomerates. There are several stages of different fineness (from 251 to 999‰) within a single gold particle and as a result, gold has a mosaic-block inner structure. It is proposed that such heterogeneity is formed due to epigenetic transformations of primary medium-grade gold in an intermediate reservoir of the Permian age, and also due to the influence of superposed hydrothermal mineralization with low-grade gold, related to the processes of the Mesozoic tectonomagmatic activation. The latter is indicated by the discovery of impregnated gold-sulfide mineralization in the Permian conglomerates. Ore mineralization is represented by gold, silver, pyrite, sphalerite, chalcopyrite, galena, argentite, native tin, and barite. Association mineralization to thin tectonic zones of conglomerate fragmentation suggests that superposed gold-sulfide hydrothermal mineralization of an impregnated type was formed as a result of manifestations of the Mesozoic tectonomagmatic activation, when gold-bearing hydrothermal solutions migrated in faults. It is determined that auriferous conglomerates of the Ortokinskaya formation of the Permian age were major sources of placer gold of modern alluvium in the studied part of the Ortoku Eekit.

Keywords: Siberian platform, Olenyok high, conglomerates, placer gold, typomorphic features, fineness, inner structure, impregnated gold-sulfide mineralization, epigenetic transformation, tectonomagmatic activation.

References

- Chapman, R. J. and Mortensen, J. K. (2016). 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.*, 111, 1321–1345.
- Chapman, R. J., Leake, R. C., Moles, N. R., Earls, G., Cooper, C., Harrington, K. and Berzins, R. (2000). 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.*, 95, 1753–1773.
- Chapman, R. J., Mortensen, J. K. and LeBarge, W. P. (2011). Styles of lode gold mineralization contributing to the placers of the Indian River and Black Hills Creek, Yukon Territory, Canada as deduced

* This work was fulfilled according to state assignment from the Diamond and Precious Metal Geology Institute of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, as well as within the framework of contractual research.

- from microchemical characterization of placer gold grains. *Mineral Deposita*, 46, 881–903. <https://doi.org/10.1007/s00126-011-0356-5>
- Craw, D. and Lilly, K. (2016). Gold nugget morphology and geochemical environments of nugget formation, southern New Zealand. *Ore Geol. Rev.*, 79, 301–315.
- Craw, D., Hesson, M. and Kerr, G. (2016). Morphological evolution of gold nuggets in proximal sedimentary environments, southern New Zealand. *Ore Geol. Rev.*, 80, 784–799.
- Falconer, D. M. and Craw, D. (2009). Supergene gold mobility: a textural and geochemical study from gold placers in southern New Zealand. In: S. R. Tittley, ed., *Supergene Environments, processes and products. Vol. 14. Econ. Geol. Special Publ.*, 77–93.
- Groen, J. C., Craig, J. R. and Rimstidt, J. D. (1990). Gold-rich rim formation on electrum grains in placers. *Can. Mineral*, 28, 207–228.
- Lalomov, A. V., Chefranov, R. M., Naumov, V. A., Naumova, O. B., LeBarge, W. and Dilly, R. A. (2017). Typomorphic features of placer gold of Vagran cluster (the Northern Urals) and search indicators for primary bedrock gold deposits. *Ore Geology Reviews*, 85, 321–335. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2016.06.018>
- Lukin, A. E. and Gafich, I. P. (2018). Late epigenetic framboidal pyrite in deep-lying intermediate sources of gas condensate deposits. *Dopov. Nats. akad. nauk Ukr.*, (8), 76–82. <https://doi.org/10.15407/dopovidi2018.08.076> (In Russian)
- McCready, A. J., Parnell, J. and Castro, L. (2003). Crystalline placer gold from the Rio Neuquén, Argentina: implications for the gold budget in placer gold formation. *Economic Geology*, 98, 623–633.
- Nikiforova, Z. S., Kalinin, Yu. A. and Makarov, V. A. (2020). Evolution of Native Gold under Exogenous Conditions. *Russian Geology and Geophysics*, 61 (11), 1244–1259. <https://doi.org/10.15372/RGG2020109>
- Nikolaeva, L. A. (1978). *Genetic features of native gold as criteria for the search and evaluation of ores and placers*. Moscow: Nedra Publ. (In Russian)
- Nikolaeva, L. A., Gavrilov, A. M., Nekrasova, A. N., Yablokova, S. V. and Shatilova, L. V. (2003). *Atlas of native gold of ore and placer deposits of Russia*. Moscow: TsNIGRI Publ. (In Russian)
- Peyrovskaya, N. V. (1973). *Native gold*. Moscow: Nauka Publ. (In Russian)
- Peyrovskaya, N. V., Novgorodova, M. I. and Frolova, K. E. (1980). Nature of structures and substructures of endogenetic native gold particles. In: N. V. Peyrovskaya, I. I. Fatyanov, ed., *Mineralogy of native elements*. Vladivostok: FASC AS USSR Publ., 10–20. (In Russian)
- Savva, N. E. (2018). *Mineralogy of silver in the North-east of Russia. North-eastern Complex*. Moscow: Triumph Publ. (In Russian)
- Savva, N. E. and Preis, V. K. (1990). *Atlas of native gold of the North-east of the USSR*. Moscow: Nauka Publ. (In Russian)
- Smetannikova, L. I., Grinenko, V. S., Malanin, Y. A. and Prokopiev, A. V. (2013). *State geologic map of Russian Federation. Scale 1:1 000 000 (third generation). Series Anabar-Viluy. Sheet R-51 — Dzhardzhan. Explanatory note*. St. Petersburg: VSEGEI Publ. (In Russian)
- Stewart, J., Kerr, G., Prior, D., Halfpenny, A., Pearce, M., Hough, R. and Craw, D. (2017). Low temperature recrystallisation of alluvial gold in paleoplacer deposits. *Ore Geology Reviews*, 88, 43–56. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2017.04.020>
- Vinogradov, V. A., Krasilshchikov, A. A. and Gorina, I. G. (1967). The sources of gold in the Olenek uplift. In: *Materialy po geologii i poleznym iskopaemym Iakutskoi ASSR, vyp. 15*, 114–119. (In Russian)
- Yablokova, S. V. and Izrailev, L. M. (1998). Mineralogy of gold in strata of different age of sedimentary cover of the Olenek high. In: V. A. Narseev, ed., *Geology of placers of noble metals and their prediction*. Moscow: VTSIO Publ., 58–65. (In Russian)

Received: March 12, 2021

Accepted: June 18, 2021

Contact information:

Boris B. Gerasimov — bgerasimov@yandex.ru

Roman Yu. Zhelonkin — zhelonkinryu@alanab.alrosa.ru

Makhmutyan G. Mukhamedyarov — mukhamedyarovmg@alanab.alrosa.ru