

Самородное золото кор выветривания Нижнеселемджинского золотоносного узла (Приамурье)

И. В. Кузнецова¹, П. П. Сафронов²

¹Институт геологии и природопользования ДВО РАН (ИГиП ДВО РАН), 675000, г. Благовещенск, пер. Речной, 1, e-mail: kuzia67@mail.ru

²Дальневосточный геологический институт ДВО РАН (ДВГИ ДВО РАН), 690022, г. Владивосток, просп. 100-летия Владивостока, 159, e-mail: psafonov@mail.ru

Поступила в редакцию 14.09.2020 г., принята к печати 08.11.2020 г.

Объект исследований. Коры выветривания протерозойских сланцев в бассейне р. Некля и палеозойских гранитов Нижнеселемджинского золотоносного узла (НЗУ) в бассейне р. Татарка. **Методы.** Атомно-абсорбционный (ААА), рентгенофлуоресцентный (РФА) и минералогический анализ пород и минералов. Изучение элементного состава, морфологических и микроструктурных особенностей минералов методом аналитической растровой электронной микроскопии. **Результаты.** Определены особенности самородного золота из коры выветривания НЗУ. Установлено, что в корях выветривания одновременно присутствует гипогенное, частично измененное в процессе гипергенеза, и новообразованное золото. Значительная часть благородного металла имеет высокую пробу (1000‰). Нередко встречается золото в виде сложных сростаний из зерен разной морфологии и состава. Специфической особенностью золота коры выветривания является то, что оно представляет собой тесные взаимопространения благородного металла и породной матрицы варьирующего минерального состава. Выявлены золотоносные углеродистые образования в виде пленок и наростов на золотилах, определено присутствие углерода в породных составляющих, ассоциирующих с благородным металлом. В корях установлено участие углерода в физико-химических процессах, в результате которых происходят высвобождение Au, закапсулированного в минералоконцентрациях, и его переотложение на геохимических барьерах. Наночастицы золота на протяжении продолжительного времени могут являться активными центрами роста во вмещающих породах. Они сростаются друг с другом сначала в виде нанообразований, затем микроформ и т. д. В коре выветривания месторождений золота происходят как преобразование гипогенного благородного металла, так и образование его новых форм. **Заключение.** Работы способствуют наращиванию минерально-сырьевой базы золота в Амурской области, в том числе за счет нетрадиционных источников, к которым относятся коры выветривания НЗУ Приамурья.

Ключевые слова: самородное золото, зона гипергенеза, кора выветривания, наноминералы

Native gold in the weathering crust of the Nizhneselemdzhinsky gold-bearing node (Amur region)

Inna V. Kuznetsova¹, Petr P. Safronov²

¹Institute of Geology and Nature Management (IGNM FEB RAS), 1 Relochny Lane, Blagoveshchensk 675000, Russia, e-mail: kuzia67@mail.ru

²Far East Geological Institute (FEGI FEB RAS), 159 100-letiya Vladivostoka av., Vladivostok 690022, Russia, e-mail: psafonov@mail.ru

Received 14.09.2020, accepted 08.11.2020

Research subject. The weathering crust of Proterozoic slates in the Neklya River basin and Paleozoic granites in the Nizhneselemdzhinsky gold-bearing node (NGBN) in the Tatarka River basin. **Methods.** The research was carried out using the methods of atomic absorption, X-ray fluorescent and mineralogical analysis of rocks and minerals. The method of raster electron microscopy was used to study the element structure, morphological and microstructural features of minerals. **Results.** Specific features of native gold from the weathering crust of NGBK were defined. It was established that the NGBN weathering crust contains both hypogene gold, partially changed in the course of hypergenesis, and neogenic gold. A considerable share of gold is of high purity (1000‰). Occasionally, gold in the form of complex accretions from grains of different morphology and structure is present. A specific feature of weathering crust gold is its interpenetrations within the rock matrix of a varying mineral structure. Gold-bearing carbonaceous structures in the form of films and outgrowths on

Для цитирования: Кузнецова И.В., Сафронов П.П. (2021) Самородное золото кор выветривания Нижнеселемджинского золотоносного узла (Приамурье). *Литосфера*, **21**(2), 239-255. DOI: 10.24930/1681-9004-2021-21-2-239-255

For citation: Kuznetsova I.V., Safronov P.P. (2021) Native gold in the weathering crust of the Nizhneselemdzhinsky gold-bearing node (Amur region). *Litosfera*, **21**(2), 239-255. DOI: 10.24930/1681-9004-2021-21-2-239-255

gold grains were revealed; the presence of carbon in rock components associating with the noble metal was defined. In the crust, the participation of carbon in physicochemical processes was established, as a result of which the release of Au, encapsulated in minerals-concentrators, and its redeposition on geochemical barriers occur. Gold nanoparticles can be long-acting growth centres in the host rocks, first coalescing with each other to yield nanoformations, then microforms, etc. In the weathering crust of gold deposits, both the transformation of the hypogenic noble metal and the formation of its new forms occur. *Conclusion.* This work contributes to the expansion of the mineral resource base of gold in the Amur Region, including through such unconventional sources as the NGBN weathering crust.

Keywords: *native gold, hypergenesis zone, weathering crust, nanominerals*

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время приоритет по золотодобыче, безусловно, принадлежит рудным месторождениям. Однако в Амурской области активно продолжается обработка россыпей, из которых добывают золото более 50 предприятий (недропользователей). В свете этого все актуальнее стоит вопрос о расширении золотороссышной минерально-сырьевой базы Приамурья, в том числе за счет нетрадиционных источников, к которым относятся коры выветривания (КВ).

В Приамурье КВ распространены широко, есть успешный опыт разработки подобных месторождений – коры выветривания Петровской, Нагиминской, Джалиндинской россыпей (Орлова, Воропаева, 1998).

Для отработки рациональных технологий необходимо иметь достоверные сведения о составе руд и особенностях благородного металла, содержащегося на этих объектах. Кроме того, изучение поведения золота в экзогенных условиях является одним из актуальных вопросов геохимии.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Нижнеселемджинский золотоносный узел приурочен к Селемджинскому звену позднепротерозойско-палеозойской Дасинаньлин-Селемджинской складчатой системы Центрально-Азиатского подвижного пояса и расположен в центральной части Амуро-Охотской минерагенической провинции на правом берегу р. Селемджа (Красный, Юньбао, 1998).

Основание Нижнеселемджинского золотоносного узла сложено позднепротерозойскими черносланцевыми толщами, прорываемыми в центральной части крупными гранитоидными массивами позднего палеозоя (Армейский, Юхточинский, Королевский, Надягинский и Татаркинский) и в меньшей степени габброидами раннего палеозоя (Имчиканский массив габбро и габбро-диоритов). По всей площади широко распространены серии малых интрузий и даек гранит-порфиров ранне-мелового возраста (Зубков, 1980) (рис. 1). Территория НЗУ характеризуется слаборасчлененным и равнинным рельефом, заболоченностью и развитием островной вечной мерзлоты. Особенностью узла является развитие химических кор выветривания преимущественно гидрослюдистых и

гидрослюдисто-монтмориллонитовых различной мощности: 2–3 м в восточной части и до 20–35 м – в западной (Сорокин, 1989; Орлова, 1995). По условиям залегания в пределах района выделяются линейные и линейно-площадные зоны выветривания с преобладанием кор линейного типа (Сорокин, Глотов, 1997).

Рассматриваемая территория охватывает нижнее течение рек Орловка, Селемджа и Альдикон. Здесь известно около 30 россыпей золота, которые эксплуатируются с 1895 г. (Анерт, 1928), за это время добыто более 24 т благородного металла. Максимальная концентрация россыпей приходится на долину р. Некля. Большинство россыпей относятся к аллювиальному генетическому типу, исключение составляют наиболее богатые делювиально-элювиальные россыпи, приуроченные к коре выветривания по верхнепротерозойским сланцам (вершина р. Некля) и палеозойским гранитам (р. Татарка) (Неронский, Добрая, 1975; Неронский, 1998; Кузнецова, 2011).

Россыпь р. Некля протяженностью 7.5 км имеет сложное строение. Верхняя часть россыпи относится к делювиально-элювиальному типу. Ниже по долине развит верхний золотоносный пласт, приуроченный к четвертичным отложениям, мощностью 4–5 м, на данный момент полностью отработанный. В процессе эксплуатации под пойменными образованиями была обнаружена древняя долина со вторым – неогеновым – золотоносным пластом, залегающим на глубине 13–18 м, мощность его 1–4 м (Сорокин, 1989). Нижний пласт (на глубине 12–17 м) отрабатывался подземным способом в 1936–1937 гг., добыто около 200 кг золота. Продуктивная толща представлена преимущественно песчанистыми глинами с дресвяно-гравийно-щебнистым материалом и редкой галькой, плотик – кора выветривания кварцево-слюдистых сланцев (Мельников и др., 2006а, б) (рис. 2).

В бассейне р. Татарка установлены КВ гидрослюдисто-каолининового до каолинового профиля, мощностью 5–20 м по гранодиоритам, где они представлены светлыми, неравномерно окрашенными гидроксидами железа, глинами с зернами кварца и измененными темноцветными минералами (Орлова, 1995) (рис. 3).

Большинство промышленных россыпей залегают в верхнечетвертичных отложениях, современ-

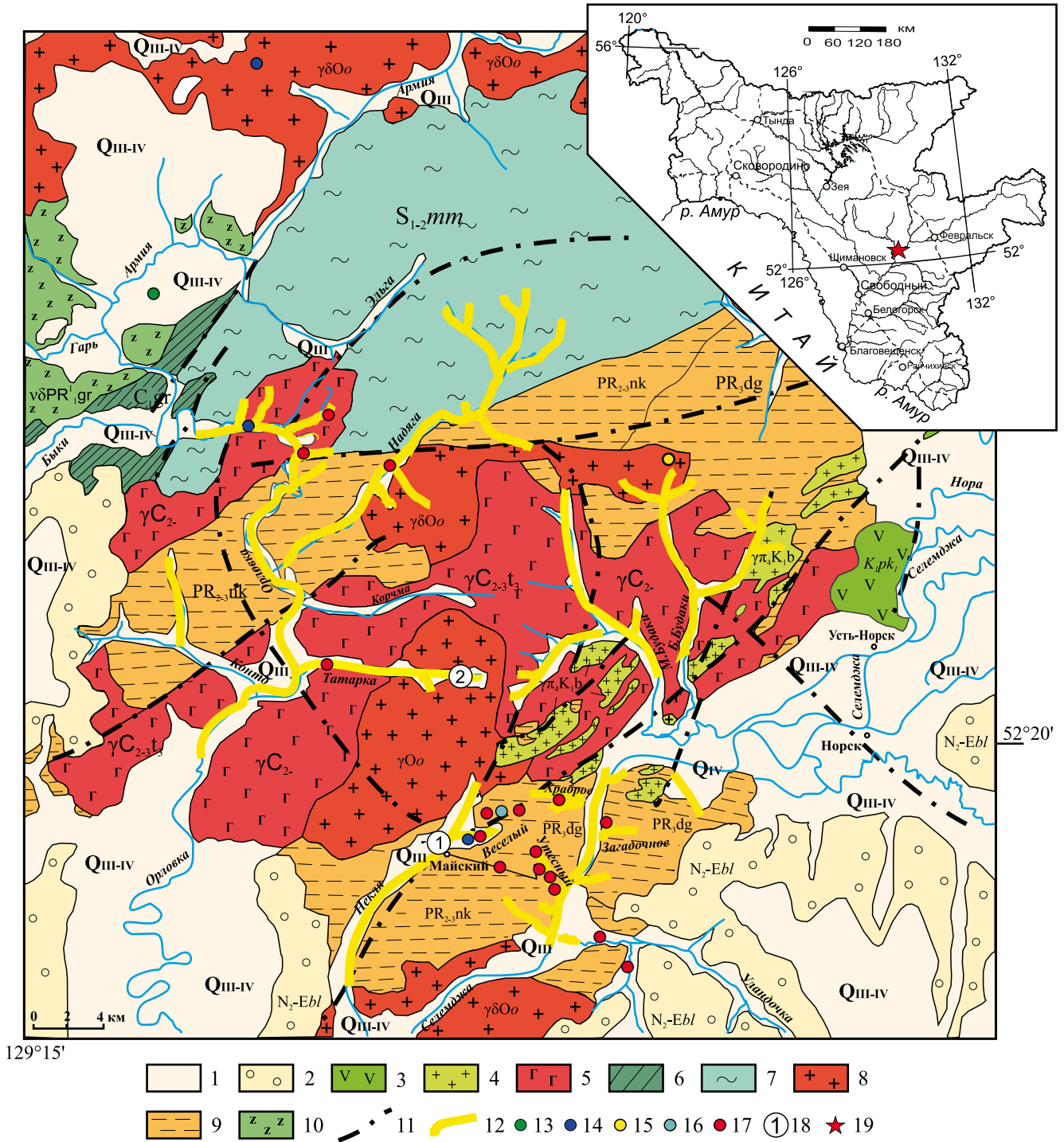


Рис. 1. Географическое положение (врезка), геологическое строение и рудоносность Нижнеселемджинского золотоносного узла (с использованием материалов В.Ф. Зубкова (1980) и Д.Л. Вьюнова с соавторами (2005)).

1 – четвертичные образования (валуны, галька, гравий); 2 – неоген-четвертичные образования (глины, песок, галька, алевролиты); 3 – раннемеловые андезиты; 4 – раннемеловые гранит-порфиры, гранодиорит-порфиры и диоритовые порфири-ты; 5 – граниты и гранодиориты среднего-позднего карбона; 6 – нижнекарбоновые отложения (песчаники, известняки, алевролиты); 7 – силурийские отложения (песчаники, алевролиты, конгломераты, туфы); 8 – ордовикские граниты; 9 – верхнепротерозойские терригенно-карбонатные отложения (сланцы, известняки, песчаники); 10 – раннепротерозойские габбро-диориты; 11 – разломы; 12 – россыпи золота; 13–17 – рудопроявления и точки минерализации: 13 – железа, 14 – золота и свинца, 15 – олова и ниобия, 16 – серебра, 17 – золота; 18 – точки отбора проб; 19 – местоположение Нижнеселемджинского золотоносного узла.

Fig. 1. Geographic position (the inset), geological structure, and ore content of the Nizhneseledzhinsky gold-bearing zone (the materials of V.F. Zubkov (1980) and D.L. V'yunov et al. (2005)).

1 – Quaternary formations (boulders, pebble, gravel); 2 – Neogene-Quaternary formations (clays, sand, pebble, siltstones); 3 – Early Cretaceous andesites; 4 – Early Cretaceous granite-porphyrries, granodiorite-porphyrries, and diorite porphyrites; 5 – granites and granodiorites of the Middle-Late Carboniferous age; 6 – Lower Carboniferous deposits (sandstones, limestones, siltstones); 7 – Silurian deposits (sandstones, siltstones, conglomerates, tuffs); 8 – Ordovician granites; 9 – Upper Proterozoic terrigenous-carbonaceous deposits (shales, limestones, sandstones); 10 – Early Proterozoic gabbrodiorites; 11 – faults; 12 – gold placers; 13–17 – ore occurrences and points of a mineralization: 13 – iron, 14 – lead, 15 – tin and niobium, 16 – silver, 17 – gold; 18 – point (place) of sample drawing; 19 – position Nizhneseledzhinsky gold-bearing zone.

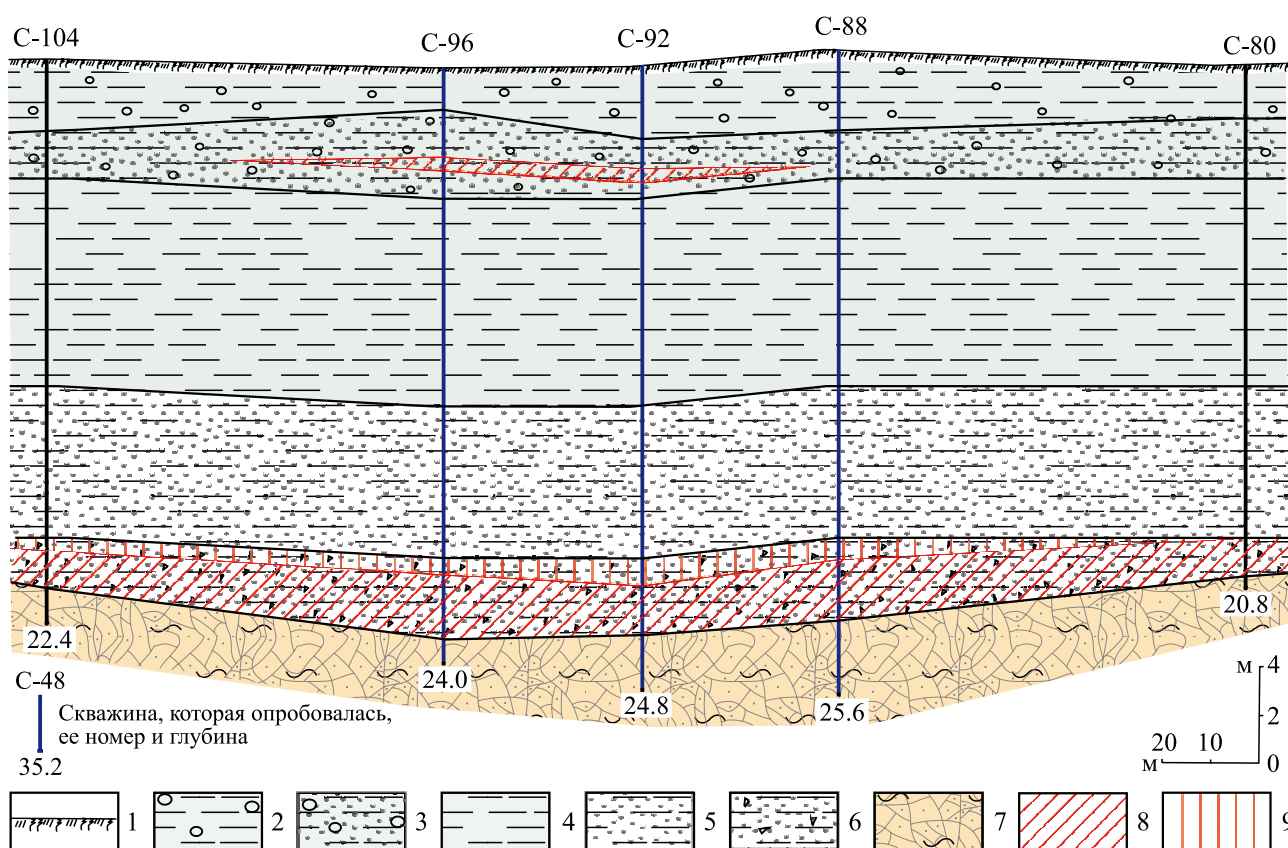


Рис. 2. Схематический литологический разрез р. Некля.

1 – почвенно-растительный слой; 2 – серо-зеленые алевролитовые глины с полуокатанной галькой; 3 – песчаные глины с редкой галькой; 4 – глины серо-зеленые, местами лимонитизированные; 5 – пестрые песчаные глины; 6 – песчаная каолинит-хлорит-серцитовая порода с дресвяно-гравийно-щебнистым материалом; 7 – сильно измененные дезинтегрированные кварцево-сланцевые протерозойские сланцы; 8, 9 – содержание золота в породах (AAA), г/т: 8 – от 0.03 до 0.16, 9 – от 0.16 до 0.80.

Fig. 2. Schematic lithological section of the river Nekly.

1 – soil-plant layer; 2 – gray-green aleurolite clays with semi-rolled pebbles; 3 – sandy clays with rare pebbles; 4 – clay gray-green, limonitic in places; 5 – mottled sandy clays; 6 – sandstone kaolinite-chlorite-sericite rock with fragmental-gravel-crushed material; 7 – highly altered disintegrated quartz-mica Proterozoic shale; 8, 9 – gold content in rocks (AAA), ppm: 8 – from 0.03 to 0.16, 9 – from 0.16 to 0.80.

ные россыпи известны только по крупным рекам – Орловке и Селемдже.

Рудопоявления золота выявлено немного, они преимущественно золотокварцевые, золотополиметаллического и золотосеребряного типов (Зубков, 1980; Кузнецова, 2011), параметры золотого оруденения не соответствуют богатым россыпям.

На сегодняшний день практически все россыпные месторождения уже отработаны и перешли в разряд техногенных, тем не менее добыча благородного металла на территории НЗУ продолжается, в свете этого особый интерес вызывают коры выветривания, ресурсы которых оцениваются в 4 т золота (Васильев и др., 2000; Мельников и др., 2006а, б).

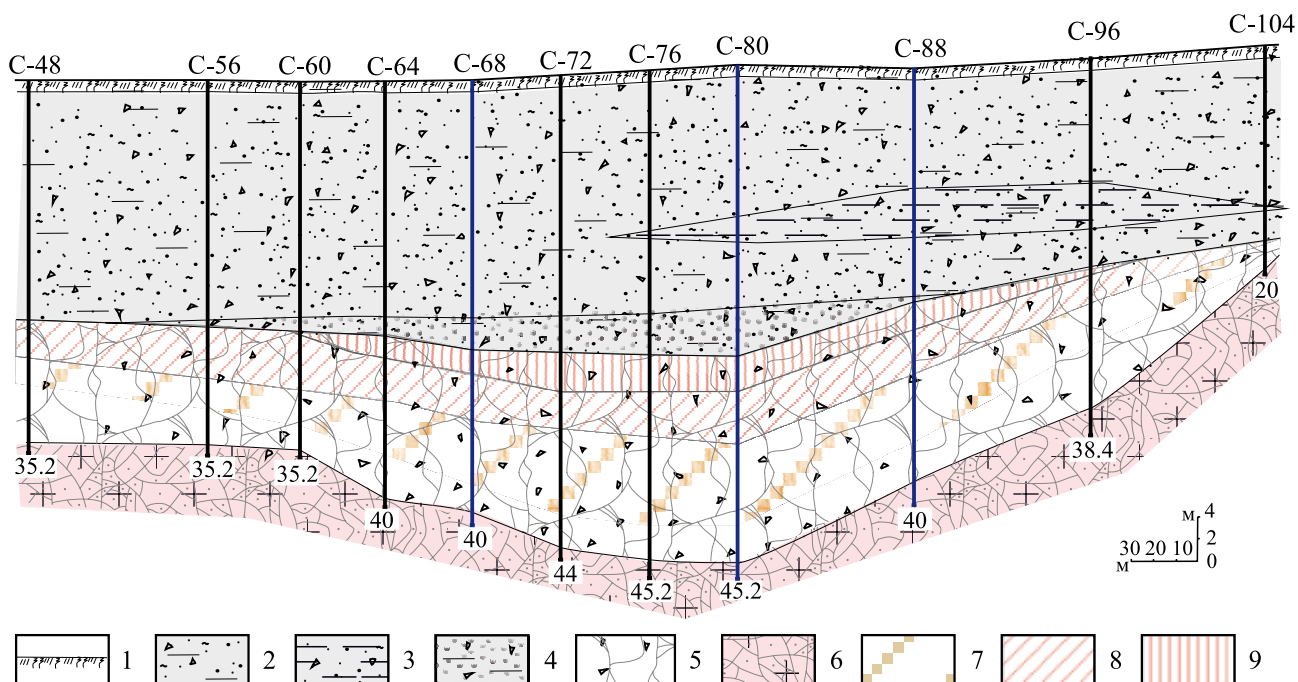


Рис. 3. Схематический литологический разрез р. Татарка.

1 – почвенно-растительный слой; 2 – серые алевролитовые глины; 3 – прослойки коалинов; 4 – линзы песков и песчаников; 5 – кварц-гидрослюдисто-каолининовая порода с реликтовой текстурой; 6 – палеозойские слабоизмененные дезинтегрированные гранитоиды; 7–9 – содержание золота в породах (AAA), г/т: 7 – от 0.08 до 0.11, 8 – от 0.11 до 0.43, 9 – от 0.43 до 0.60.

Fig. 3. Schematic lithological section of the river Tatarka.

1 – soil-plant layer; 2 – gray aleurolite clays; 3 – interlayers of coalitions; 4 – lenses of sands and sandstones; 5 – quartz-hydrosilicate-kaolinite rock with relict texture; 6 – Paleozoic slightly altered disintegrated granitoids; 7–9 – gold content in rocks (AAA), ppm: 7 – from 0.08 to 0.11, 8 – from 0.11 to 0.43, 9 – from 0.43 to 0.60.

Самородное золото из россыпей рассматриваемого района описано достаточно широко (Неронский, Добрая, 1975; Неронский, 1998; Кузнецова, 2011; Кузнецова, 2014).

Работ по исследованию особенностей благородного металла из кор выветривания НЗУ немного. Как правило, приводятся данные по размерности самородного золота, пробе и краткие морфологические описания (Неронский, Добрая, 1975, 1976; Сорокин, 1989; Орлова, 1995; Неронский, 1998; Мельников и др., 2006а, б).

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для исследований были отобраны пробы из представительных горизонтов кор выветривания Нижнеселемджинского золотоносного узла – по палеозойским гранитам водораздела р. Татарка (80 кг) и протерозойским сланцам бассейна р. Некля (60 кг). Опробовался весь керн, полученный при колонковом бурении диаметром 195 мм в процессе поисковых работ на палеороссыпи, проведенных в 2015 г. по госконтракту № 2–2013 на территории НЗУ: в долине р. Некля – скв. 88,

92, 96; в долине р. Татарка – скв. 68, 80, 88 (см. рис. 1–3).

Стандартным фракционированием из проб выделен тяжелый шлик. Самородное золото и минералы-концентраторы благородного металла в виде отдельных зерен и сростков выделялись по заранее отработанной методике (Моисеенко, 1997, 2007).

Атомно-абсорбционный (ААА), рентгенофлуоресцентный (РФА) и минералогический анализ проб и образцов выполнялись в ФГБУН ИГиП ДВО РАН. Элементный состав, морфологические и микроструктурные особенности минералов исследовались методом аналитической растровой электронной микроскопии (АРЭМ) на электронном микроскопе EVO 40XVP (фирмы Carl Zeiss, Германия), оснащенном системой энергодисперсионного рентгеновского (EDX) анализа INCA Energy (фирмы Oxford instruments, Великобритания), в центре электронной микроскопии в ФГБУН ИБМ ДВО РАН. Минералы изучались в режимах вторичных и обратнорассеянных электронов и режиме EDX микрозондирования при различных увеличениях (при ускоряющем напряжении электронного пучка 20 кВ). Образцы углеродом не напылялись, по-

сколькo они в большинстве своем являются токопроводящим материалом. Это позволило в процессе анализа однозначно выявлять углерод в породах (минеральных смесях), находящихся в тесных контактах с золотом.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Большая часть всего учтенного золота НЗУ была добыта из россыпей рек Некля и Татарка, которые относятся к делювиально-элювиальному типу и приурочены к коре выветривания: р. Некля – сланцев (PR₂₋₃?) и р. Татарка – гранитоидов (γO₀). Мощность рыхлых образований непостоянна и зависит от типа рельефа. По большей части мощность рыхлого покрова не превышает 5–10 м, но на отдельных участках достигает 30 м и более.

Кора выветривания по протерозойским сланцам бассейна р. Некля

Основными поставщиками золота в россыпи р. Некля являются кварцевые жилы в осадочных породах, метаморфизованных в фации зеленых сланцев. Обломки дезинтегрированных кварцевых жил залегают в полностью разложенных протерозойских сланцах, состав которых, судя по остаткам, был амфиболовым и хлорит-серицит-кварцевым. В обломочном жильном кварце установлено содержание золота от 0.07 до 180 г/т (Кузнецова, 2011).

Кроме того, источниками самородного золота являются также продукты химического выветривания коренных пород, в том числе с относительно невысокими содержаниями в них благородного металла. Содержание золота во вмещающих породах – углеродистых сланцах верхнего протерозоя (?) – 0.05–0.35 г/т.

Глины из кор выветривания различны по составу, наиболее золотоносными являются каолинит-хлорит-серицитовые зоны. Содержание Au в них от 0.03 г/т непосредственно в приплотиковой части до 0.8 г/т в верхнем горизонте пласта, Ag – соответственно от 0.1 до 1.8 г/т (AAA) (Кузнецова, 2011) (см. рис. 2). Выделить видимое самородное золото удалось только в каолинит-хлорит-серицитовой части разреза. Химический состав этих глин следующий, мас. %: SiO₂ – 75.83, Al₂O₃ – 13.32, Fe₂O₃ – 2.30, CaO – 1.18, MgO – 1.07, Na₂O – 0.37, TiO₂ – 0.90, K₂O – 2.15, MnO – 0.11, P₂O₅ – 0.05, FeO – 0.7; содержание S_{общ} – 0.004, C_{орг} – 0.25. Концентрации микроэлементов, г/т: V – 77, Zn – 70, Cr – 113, Co – 12, Ni – 36, Rb – 76, Sr – 39, Y – 21, Zr – 201, Nb – 15, Ba – 418. Выход шлиха от 0.1 до 0.2% на массу.

Усредненный минеральный состав тяжелой фракции из каолинит-хлорит-серицитовых зон коры выветривания по протерозойским сланцам Нижнеселемджинского золотоносного узла приведен в табл. 1. Химический состав и наличие в тя-

желой фракции значительного количества биотита свидетельствует о начальной стадии выветривания (Гинзбург, 1963).

Самородное золото из каолинит-хлорит-серицитовых зон коры выветривания НЗУ золотисто-желтого цвета, в большинстве своем мелкое от 50 до 300 мкм, но встречается и размером до 600 мкм. Более крупные образцы представлены агрегатами, состоящими из разных зерен. Встречаются сростки с кварцем. Золотины слабоокатанные, комковатые, изометричной, часто крючковатой формы (рис. 4), иногда в лимонитовой “рубашке”. В основной массе высокопробные (от 940 до 1000‰), средняя проба золота из КВ по сланцам (PR₂₋₃?) – 980‰ (Au анализировалось на предмет пробности атомно-абсорбционным методом).

Золото в корах выветривания большей частью, несомненно, гипогенное, что достоверно определяется по взаимоотношению с кварцем, но присутствует и гипергенное, для которого характерны высокая пробность, сложная микроструктура поверхности и наличие включений углерода, гидроксидов железа и алюмосиликатов.

Методами растровой электронной микроскопии было исследовано более 100 образцов самородного золота из коры выветривания по протерозойским сланцам и палеозойским гранитоидам. По характеру микроструктуры самородное золото из этих двух разнотипных источников различается.

Золото из каолинит-хлорит-серицитовых зон коры выветривания по сланцам (PR₂₋₃?) в основном представлено зернами с включениями в них метасоматического породного вещества (см. рис. 4). Установлено, что 56% образцов имеют пробу 1000‰ (рис. 5, табл. 2, сп. 1 и 2), в 26% золота содержится Ag (от 3.0 до 10.5 мас. %), 13% благородного металла в качестве примеси содержит Cu (до 0.9) и Zn (до 0.7 мас. %) и в 4% исследованных зерен на поверхности образцов установлены фазы соединения меди с цинком.

Часть золотин представляют собой сростки из зерен различного состава (рис. 4–6). В целом микроструктура золота пористая, губчатая. Подобная поверхность характерна для процессов выщелачивания, сопровождающих формирование КВ (Петровская, Яблокова, 1974; Росляков, 1981). Поры заполнены тонкой углеродистой рутил-лимонит-каолинит-сметитовой смесью (см. рис. 5, табл. 2, сп. 3 и 4). На поверхности зерен наблюдаются наложенные фазы соединения меди с цинком близкого к стехиометрии Cu₃Zn₂ состава (см. рис. 5 и табл. 2, сп. 5). По-видимому, наличие углерода создает восстановительную среду, способствующую локальному отложению и концентрированию самородных металлов.

Глины каолинит-хлорит-серицитовых зон отличаются наличием многочисленных стажений железомарганцевых оксидов и гидроксидов, основную

Таблица 1. Минеральный состав тяжелой фракции из каолинит-хлорит-серицитовых зон КВ по сланцам (PR₂₋₃?)

Table 1. Mineral structure of the last cut from kaolinite-chlorite-sericite of the zones AB on slates (RR_{2,3}?)

Минерал	Фракция (содержание минералов, %)			Σ, %
	Магнитная (0.7–1.6)	Электромагнитная (92–93)	Немагнитная тяжелая (6.7–5.4)	
Магнетит	90–94	–	–	0.7–1.5
Гранат	–	Зн.	–	Зн.
Ильменит	–	1–73	–	1.0–67.6
Лимонит	5–10	7–8	0.1–1.0	6.6–7.6
Пирит	–	Зн.	Зн.–1.0	0.0–0.1
Эпидот	–	Зн.–3	–	0.0–2.8
Амфибол	–	Зн.	–	Зн.
Пироксен	–	Зн.	–	Зн.
Сфен	–	Зн.	Зн.–3.0	0.0–0.2
Рутил	–	–	Зн.–13.0	Зн.–0.5
Анатаз	–	–	0.0–0.5	0.00–0.03
Лейкоксен	–	Зн.	0.0–43.0	0.0–2.9
Циркон	–	Зн.	Зн.–32.0	0.0–2.1
Апатит	–	–	Зн.–0.5	Зн.–0.03
Турмалин	Зн.	Зн.–10	Зн.	Зн.–9.3
Кварц ожеженный	Зн.	0–1	8.0–98.0	Зн.–0.5
Полевой шпат	Зн.	0–7	Зн.	Зн.–6.5
Биотит	Зн.–1	Зн.–53	Зн.	Зн.–46.5
Гидроокислы Fe	Зн.–5	–	–	Зн.
Мусковит	Зн.	–	Зн.	Зн.
Самородное золото	–	–	Зн.	Зн.

Примечание. Прочерк – минерал не установлен. Зн. – единичные зерна минералов.

Note. Dash – mineral is not installed. Зн. – single grains of minerals.

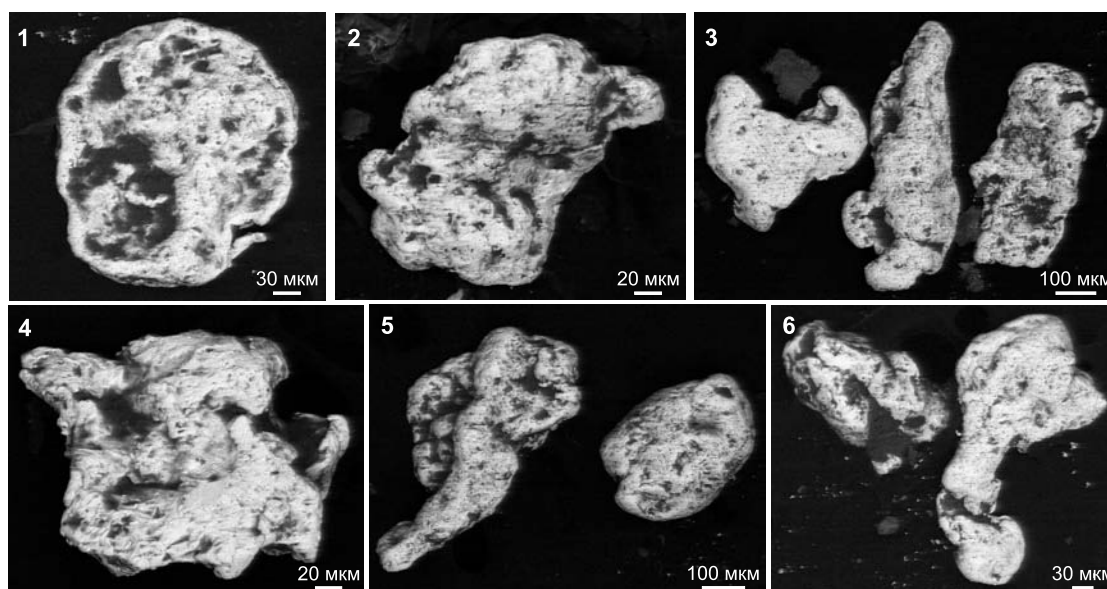


Рис. 4. Формы самородного золота из каолинит-хлорит-серицовой зоны КВ по сланцам протерозоя Нижне-селемджинского золотоносного узла:

1 – изометричное; 2–4 – комковатое; 5, 6 – крючковатое. Снимки в обратнорассеянных электронах.

Fig. 4. Forms of native gold from a zone AB kaolinite-chlorite-sericite on slates of the Proterozoic of Nizhneselemdzhinsky gold-bearing knot:

1 – isomeric; 2–4 – cloggy; 5, 6 – hooked. The photographs were taken in the backward scattered electrons.

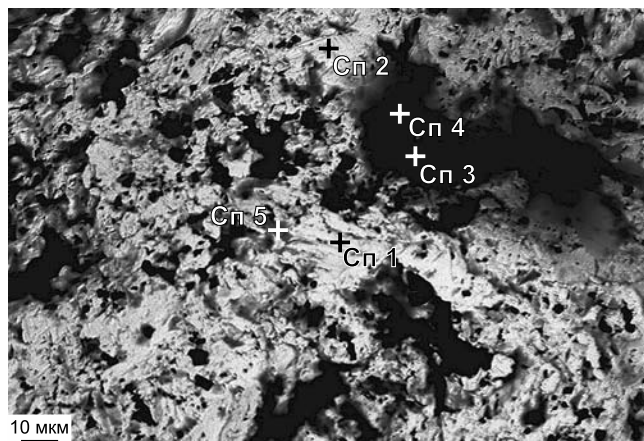


Рис. 5. Микроструктура высокопробного самородного золота из каолинит-хлорит-серицитово́й зоны по сланцам (НЗУ).

Снято в обратнорассеянных электронах. Сп. 1–Сп. 5 – участки исследования методом растровой электронной микроскопии.

Fig. 5. A microstructure of high-standard native gold from kaolinite-chlorite-sericite zone on slates (NGBK).

The photographs were taken in the backward scattered electrons. Сп. 1–Сп. 5 – areas of study by scanning electron microscopy.

Таблица 2. Химический состав золота из коры выветривания (см. рис. 5), мас. %

Table 2. Chemical composition of gold from the bark of aeration (see Fig. 5), wt %

Спектр	C	O	Na	Mg	Al	Si	Cl	K	Ca	Ti	Fe	Cu	Zn	Au
1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	100.00
2	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	100.00
3	32.77	39.96	2.02	2.82	4.17	8.11	1.77	0.65	4.31	0.44	2.97	–	–	–
4	44.75	35.49	2.04	0.72	4.32	5.93	1.19	1.45	0.79	–	2.50	0.83	–	–
5	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	56.40	43.60	–

Примечание. Прочерк – нет данных.

Note. Dash – no data.

Таблица 3. Минеральный состав железомарганцевых стяжений из глин каолинит-хлорит-серицитовых зон

Table 3. Mineral structure of ferromanganese formations from clays of kaolinite-chlorite-sericite of zones

Минералы	Фракция (содержание минералов, %)				Σ, %
	Магнитная (0.1)	Электромагнитная (26.4)	Немагнитная тяжелая (58.9)	Легкая (14.6)	
Магнетит	100	–	–	–	0.1
Полевой шпат	Зн.	–	–	–	Зн.
Ильменит	–	Зн.	–	–	Зн.
Циркон	–	Зн.	–	Зн.	Зн.
Mn-окислы	–	100	–	100	99.9
Рутил	–	–	–	Зн.	Зн.
Пирит	–	Зн.	–	Зн.	Зн.
Гранат	–	Зн.	–	–	Зн.
Карбонат	–	Зн.	–	–	Зн.
Самородное золото	–	–	–	3 зн.	3 зн.

Примечание. Прочерк – элемент не установлен. Зн. – единичные знаки.

Note. Dash – mineral is not installed. Зн. – single grains of minerals.

массу которых составляет пиролюзит, в них содержатся до 0.1% магнетита, единичные зерна ильменита, циркона, рутила, пирита, граната и самородного золота (табл. 3). В железомарганцевых выделениях установлено порядка 0.1% органического углерода.

Повсеместно отмечается золотоносность этих линз (содержание Au от 0.3 до 5.2 г/т), вероятно обусловленная избирательной адсорбционной способностью гидроксидов марганца (Смирнов, 1951).

Самородное золото из Fe-Mn-образований представляет собой сложные сростки мелких золотин

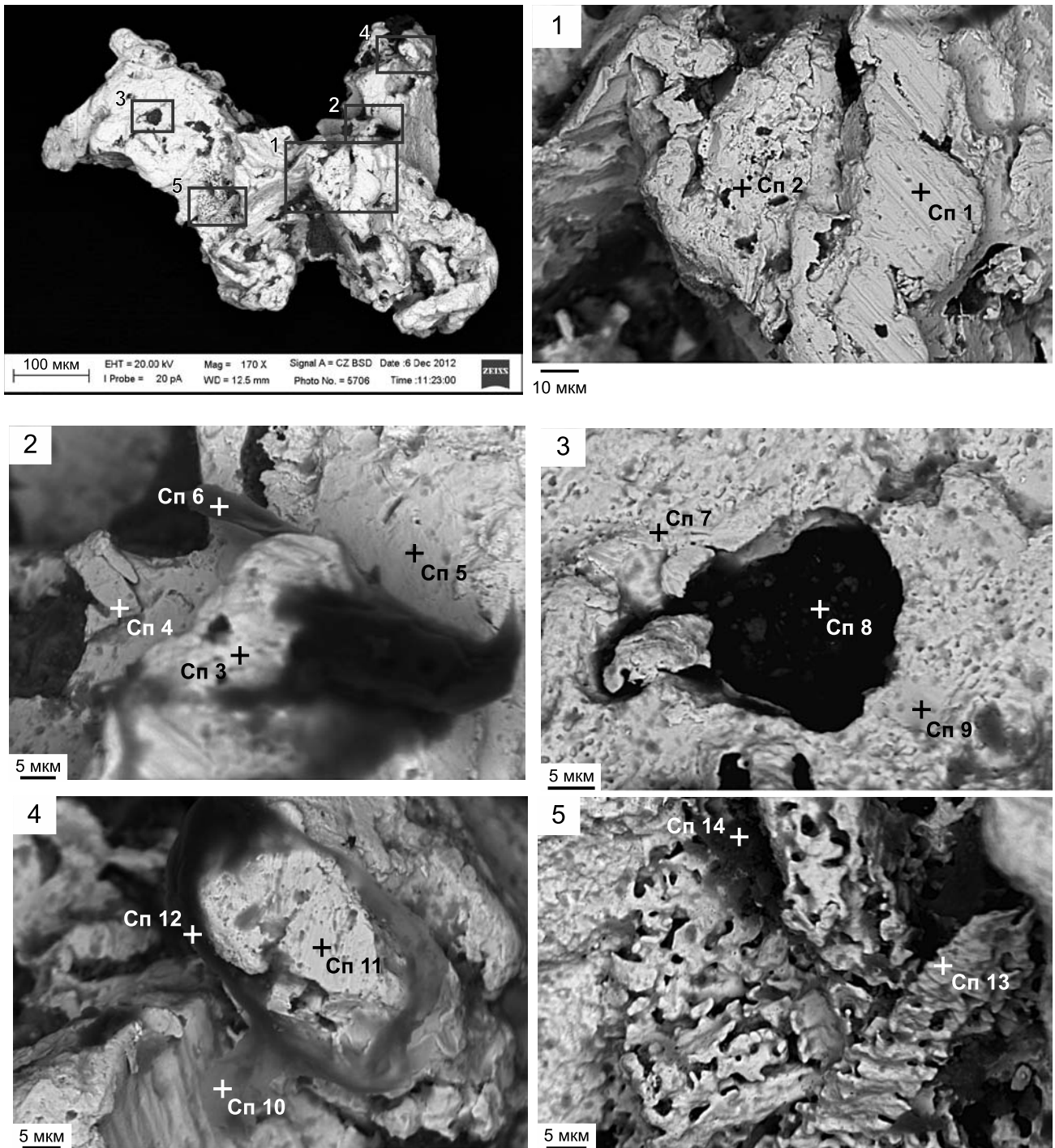


Рис. 6. Общий вид сложного сростка Au из железомарганцевых выделений, состоящий из золотин различной морфологии и состава, сцементированных золотоносной глинистой массой с углеродом, каолинитом, гидроксидами железа и ртутью.

В отмеченных участках (1–5) проводились детальные энергодисперсионные рентгеноспектральные измерения. Снято в обратнорассеянных электронах.

Fig. 6. The complex joint of Au from ferromanganese excretions consisting from free gold of various morphology and structure cemented by gold-bearing clay weight with carbon, kaolinite, hydroxides of iron and hydrargyrum.

Detailed energy-dispersive X-ray spectral measurements were carried out in the marked areas (1–5). The photographs were taken in the backward scattered electrons.

(см. рис. 6), имеющих, по-видимому, различный генезис, поскольку различаются морфологией и прежде всего составом, который весьма широк (табл. 4). Если в уч. 1 золото низкой (сп. 1) и средней (сп. 2) пробы, то в уч. 2 встречено высокопробное (сп. 3) и низкопробное (сп. 4, 5) золото. Кроме того, в этом же участке отмечается золотосодержащая углеродистая порода (сп. 6). В уч. 3 – низкопробное золото (сп. 9) и амальгама золота (сп. 7), а в гидроксидном выделении Fe фиксируются примеси Au и Hg (сп. 8). В уч. 4 – низкопробное золото с примесями Zn и Cu (сп. 11), а также Au- и Ag-содержащая углеродистая порода (сп. 10, 12). В уч. 5 – амальгама (сп. 13) и углеродистая порода с абсорбированными Au, Ag и Hg (сп. 14), но, возможно, в последнем случае в углеродистой породе содержится микро- или нановключения амальгамы.

Таким образом, в одном образце (см. рис. 6, табл. 4) наблюдаются сростки благородного металла: от электрума (уч. 1, сп. 1; уч. 2, сп. 4 и 5; уч. 3, сп. 9; уч. 4, сп. 11) до самородного золота различной пробы (уч. 1, сп. 2), вплоть до высокой (уч. 2, сп. 3), от интерметаллидов золота с медью и цинком (уч. 4, сп. 11) до соединений золота с ртутью варьирующих составов (уч. 3, сп. 7; уч. 5, сп. 13).

Высокосеребристый состав частиц золота типичен для близповерхностных золотосеребряных проявлений, встречающихся в НЗУ (Неронский, 1998), минералы марганца в зоне окисления очень часто “консервируют” некоторые металлы, давно выщелоченные из рудного материала (Смирнов, 1951). При этом дендритообразные структуры роста амальгам золота (см. рис. 6, уч. 5) на образце и наличие органического углерода и литофильных элементов в породе свидетельствуют об изменениях, произошедших с золотом в зоне гипергенеза (Янченко и др., 2019)

Золотины сцементированы в единый агрегат либо золотосодержащими углеродоглинистыми пленками (уч. 2, сп. 6) иногда с ртутью (уч. 4, сп. 10 и 12), либо оксидами и гидроксидами марганца и железа, а также частицами карбоната кальция и магнезия (уч. 3, сп. 8; уч. 5, сп. 14). Содержание золота в цементирующей матрице наиболее достоверно подтверждается наличием примесей Au в составе самого крупного включения оксида железа в золотине (уч. 3, сп. 8). Хотя частиц самого золота не видно даже под электронным микроскопом, но рентгеновская линия золота надежно фиксируется энергодисперсионным спектрометром-приставкой,

Таблица 4. Элементный состав самородного золота из минеральной ассоциации Fe, Fe-Mn-оксидно-гидроксидного и высокоуглеродистого профиля (см. рис. 6, уч. 1–5), мас. %

Table 4. Element composition of native gold from mineral association Fe, Fe-Mn-an oxide-coated and hydroxides and high-carbon profile (see Fig. 6, sites 1–5), wt %

Элемент	Участок 1		Участок 2				Участок 3			Участок 4			Участок 5	
	Спектры		Спектры				Спектры			Спектры			Спектры	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
C	–	–	–	–	–	51.10	–	–	–	44.55	–	47.69	–	–
N	–	–	–	–	–	6.86	–	–	–	18.69	–	17.38	–	–
O	–	–	–	–	–	15.04	–	42.83	–	24.05	–	24.88	–	41.04
F	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	2.40
Na	–	–	–	–	–	0.13	–	–	–	–	–	–	–	–
Mg	–	–	–	–	–	0.06	–	0.70	–	–	–	–	–	–
Al	–	–	–	–	–	0.14	–	2.69	–	–	–	0.11	–	0.92
Si	–	–	–	–	–	0.26	–	3.77	–	0.42	–	0.38	–	1.02
Ca	–	–	–	–	–	–	–	0.40	–	–	–	–	–	–
S	–	–	–	–	–	0.30	–	–	–	–	–	0.25	–	–
Cl	–	–	–	–	–	0.17	–	–	–	–	–	–	–	–
K	–	–	–	–	–	0.37	–	–	–	–	–	–	–	–
Mn	–	–	–	–	–	0.35	–	0.91	–	0.87	–	0.76	–	17.15
Fe	–	–	–	–	–	0.48	–	47.32	–	–	–	0.43	–	4.65
Cu	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.58	–	–	–
Zn	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.69	–	–	–
Ag	33.54	21.83	8.40	34.94	35.12	7.12	28.69	–	34.06	3.48	33.94	1.40	22.05	6.83
Au	66.46	78.17	91.60	65.06	64.88	17.62	60.21	0.59	65.94	7.94	64.79	6.60	43.53	14.50
Hg	–	–	–	–	–	–	11.10	0.79	–	–	–	0.12	34.42	11.49
Σ	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Примечание. Прочерк – элемент не установлен. Σ – сумма элементов.

Note. Dash – mineral is not installed. Σ – sum of elements.

что свидетельствует о размерах этих частиц в несколько единиц или десятков нанометров. Следует отметить, что такого типа субтонкое Au авторами неоднократно устанавливалось в различных золотоносных источниках (Сафронов и др., 2011; Кузнецова и др., 2019). Подобные наночастицы золота могут являться активными центрами роста во вмещающих породах (Моисеенко, 2007; Моисеенко, Кузнецова, 2014; McLachlan et al., 2018; Melchiorre et al., 2018).

Кора выветривания по палеозойским гранитам водораздела р. Татарка

Источниками золота в россыпи р. Татарка являются маломощные кварцевые жилы в метаморфизованных гранитоидных интрузивах ордовикского октябрьского комплекса. В гранитах, кроме окварцевания, широко проявлены зоны микроклинизации и для всех пород характерен катаклиз (Зубков, 1980). Химический состав гранитоидов следующий, мас. %: SiO_2 – 71–83, Al_2O_3 – 8–14, CaO – 0.5–1.0, Na_2O – 3–4, K_2O – 0.3–4.5, P_2O_5 – до 0.1, Fe_2O_3 – 0.8–2.4, TiO_2 – 0.1–0.3, MgO – 0.3–0.8, MnO – до 0.13. Установлено содержание микроэлементов, г/т: Pb – до 70, Zn – 20–110, Rb – 5–110, Cu – 13–26, Co – до 20, Ni – 13–46, Sb – 10–130, Cr – 74–92. В отдельных образцах метаморфизованных гранитов из плотика русла р. Татарка отмечены содержания золота до 1.80 г/т и серебра – до 15.48 г/т. Из рудных минералов присутствуют ильменит, магнетит, мартит, шеелит, пирит, циркон и сфен. В количестве единичных знаков отмечаются галенит, касситерит, монацит, рутил, киноварь и золото (Кузнецова, 2011).

Кора выветривания по гранитам палеозоя имеет следующее строение разреза (снизу вверх): 1) слабоизмененный, дезинтегрированный гранит; 2) кварц-гидрослюдисто-каолининовая порода с реликтовой текстурой; 3) серые алевролитовые глины с прослоями и линзами песков, песчаников и каолинов (см. рис. 3). Золотоносным является второй (кварц-гидрослюдисто-каолининовый) слой. Усредненный химический состав этого слоя следующий, мас. %: SiO_2 – 64.4, Al_2O_3 – 21.3, CaO – 1.2, Na_2O – 0.3, K_2O – 2.7, P_2O_5 – 0.1, Fe_2O_3 – 2.7, TiO_2 – 1.2, MgO – 1.0, MnO – 0.03. Среднее содержание микроэлементов, г/т: V – 126, Zn – 52, Rb – 107, Cu – 17, Co – 11, Ni – 31, Sr – 28, Y – 27, Nb – 18, Ba – 485, Cr – 82; содержание $S_{\text{общ}}$ – 0.004%, $C_{\text{орг}}$ – 0.03%. Содержание золота в кварц-гидрослюдисто-каолининовых отложениях, по данным атомно-абсорбционного анализа, варьирует в зависимости от глубины залегания пород. Наиболее высокое – от 0.43 до 0.60 г/т – наблюдается в верхнем горизонте (от 22 до 25 м), самые низкие содержания Au (от 0.08 до 0.11 г/т) установлены ниже 25 м с уменьшением до 0.04 г/т в приплотиковой зоне.

Золото из коры выветривания палеозойских гранитов существенно отличается от рассмотренного прежде всего тем, что большое число его зерен (до 67%) по строению более однородны (монокристаллы), инородные включения в нем более редки (рис. 7а). Проба этого золота колеблется от 802 до 844‰, по видимому, оно остаточное, т. е. эндогенное.

В то же время установлено типичное гипергенное золото в виде сложных сростков из ксеноморфных образований (рис. 7б) различной пробы (рис. 8). Особо следует отметить присутствие золота с тонкопластинчатыми нарастаниями, по видимому, вторичного самородного золота, характеризующимися высокой пробой (990‰) (см. рис. 8а; табл. 5, сп. 1 и 2). Также наблюдаются сфероидальные образования различной пробы, размер которых колеблется от 1–2 мкм до 200–100 нм (см. рис. 8б; табл. 5, сп. 3–5), т. е. в этом участке золотин установлено не только микро-, но и нанозолото.

Как видно из табл. 5, состав золота различных морфологических типов из коры выветривания по палеозойским гранитоидам в целом весьма высокопробный (937–990‰). Часть его содержит только примесь меди (сп. 1–3), другая часть – Cu и Ag (сп. 4, 5). В результате преобразований в зоне гипергенеза произошло значительное очищение золота.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Процессы химического выветривания приводят к разрушению пород и минералов-концентраторов (прежде всего сульфидов) и высвобождению благородного металла (Craw, Kerr, 2017). Большая часть золота (до 70–95%) в корах выветривания переходит в свободное состояние и ассоциирует с глинистыми минералами, оксидами и гидроксидами железа и марганца, реже с органикой (Росляков, 1981). В зоне окисления происходит не только электрохимическое выщелачивание серебра с поверхности зерен, но и отложение на зернах более высокопробного Au, что приводит к увеличению пробы золота (Lalomov et al., 2016; Stewart et al., 2017; McLachlan et al., 2018).

Физико-химические преобразования вещественного состава КВ (освобождение минералов из глинистых агрегатов, сростков и др.) и золота (высвобождение, вынос и переотложение), проявляющиеся в зоне гипергенеза, приводят к перераспределению концентраций тонкодисперсного золота и его укрупнению (Смирнов, 1951; Альбов, 1980; Калинин и др., 2009; Craw, 2017; Craw, Kerr, 2017).

Часть благородного металла формировалась в низкотемпературных близповерхностных условиях на завершающей стадии гидротермально-метасоматического процесса и при химическом выветривании, что подтверждается наличием весьма высокопробного золота в ассоциации с мета-

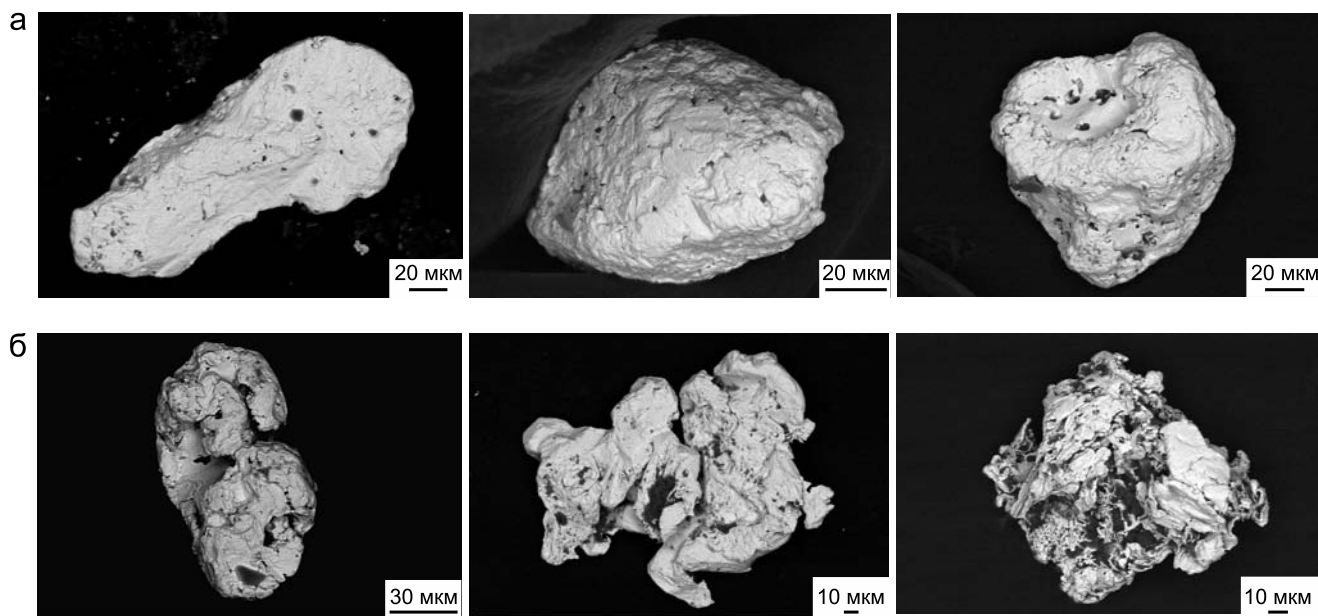


Рис. 7. Золото из коры выветривания по палеозойским гранитоидам.

а – гипогенное, б – преобразованное в зоне гипергенеза. Снято в обратнорассеянных электронах.

Fig. 7. Gold from weathered crust of Paleozoic granitoid.

а – hypogene, б – transformed in a hyper genesis zone. The photographs were taken in the backward scattered electrons.

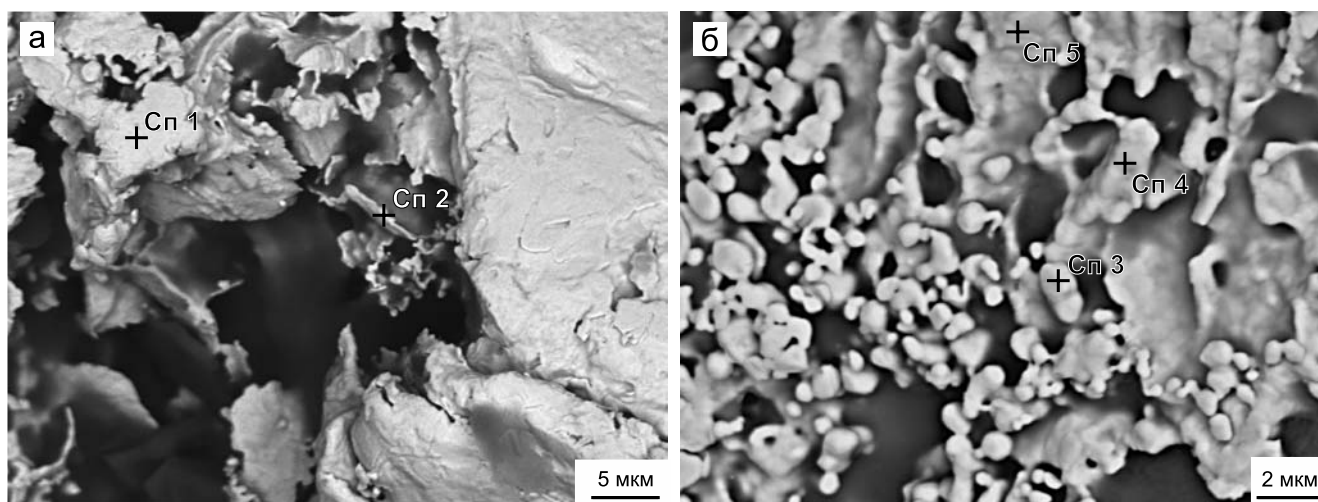


Рис. 8. Новообразованное золото из коры выветривания палеозойских гранитоидов.

а – пластинчатые образования, б – червеобразные и сфероидальные выделения высокопробного золота. Снято в обратнорассеянных электронах.

Fig. 8. New formed gold from weathering crust of Paleozoic granitoid.

а – lamellar formations, б – worm-shaped and sphere-shaped excretions of pure gold. The photographs were taken in the backward scattered electrons.

соматитами различных составов (лимонит-каолининового, каолинит-гидрослюдистого, хлорит-гидрослюдистого и т. д.) (Hough et al., 2012; Moufti, 2014; Vishitia et al., 2015; Anand, Salama, 2019).

Наличие в матрице, цементирующей сростки золота, литофильных элементов (см. рис. 6, уч. 3–5) подтверждает тот факт, что формирование агрегатов нано- и микрочастиц золота происходило од-

Таблица 5. Химический состав самородного золота из коры выветривания по палеозойским гранитоидам (см. рис. 8), мас. %

Table 5. Chemical composition of native gold from aeration bark on Paleozoic granitoid (see Fig. 8), wt %

Спектр	Cu	Ag	Au
1	0.97	–	99.03
2	0.94	–	99.06
3	1.50	–	98.50
4	1.45	4.87	93.69
5	1.66	1.48	96.87

новременно с процессами химического выветривания (Некрасов, 1991). Отложение электрума на некоторых зернах золота (см. рис. 6, уч. 1–4) указывает на локальные (и/или временные) изменения физико-химических условий среды, об этом же свидетельствуют сочетание структур роста, растворения и присутствие микро- и наноразмерного золота разных генераций (Росляков, 1981; Калинин и др., 2009; Kerr et al., 2017).

На поверхности образцов наблюдаются пленки органического углерода, содержащие Au и Ag, а иногда и примесь Hg (см. табл. 4, уч. 2, сп. 6; уч. 4, сп. 10, 12). Такая ассоциация золота с примесью ртути и углеродистого вещества объясняется склонностью Au и Hg к образованию устойчивых золотортутных органических комплексов (Неронский и др., 1988; Наумов и др., 2011). Пленки аморфного углерода формируются в породах при наложенных процессах. Вмещающая порода разрушается, из минералов-концентраторов высвобождается нанозолото, которое осаждается прежде всего на углеродных пленках и новообразованных минералах (Xianhai et al., 2018; Dunn et al., 2019). Присутствие органического углерода создает восстановительные условия, способствующие отложению и концентрированию благородного металла (Моисеенко, Кузнецова, 2014).

По золотоносной алюмосиликатно-железистой матрице наблюдается формирование дендритообразных форм амальгам золота (см. рис. 6, уч. 5). Высокие содержания ртути в золоте связаны, по всей видимости, с зараженностью местности Hg в процессе многолетней золотодобычи, хотя не исключаются и природные амальгамы Au, ряд фаз которых был ранее установлен на различных месторождениях Приамурья (Неронский и др., 1988) и других регионов (Наумов и др., 2011).

Кроме этого, в корях выветривания установлено аутигенное золото, которое отлагается на поверхности золотин и характеризуется высокой (1000%) пробой. Пленки новообразованного золота покрывают поверхность разных минералов, в том числе зерна гипогенного золота (см. рис. 8а). Аутигенное золото нередко имеет пластинчатую, пористую,

глобулярную, губчатую, иногда кристаллическую микроструктуры, характерные для новообразованного Au (см. рис. 8) (Петровская, 1941; Яблокова, 1965; Росляков, 1981; Хазов и др., 2010; Кузнецова, 2011; Shuster, Southam, 2015). Высокая проба и структурные особенности этого золота могут указывать на его биогенный генезис (Моисеенко, Маракушев, 1987; Маракушев и др., 1989; Southam et al., 2009; Reith et al., 2010; Rea et al., 2016; Shuster et al., 2016; Anand et al., 2017).

В процессе укрупнения золота в зоне гипергенеза происходит срастание нанометровых золотин в микрометровые и далее в более крупные зерна (Моисеенко, 2007; Моисеенко, Кузнецова, 2014; Shuster et al., 2017). Еще одним механизмом укрупнения зерен Au является их цементация пленками ртутной амальгамы, когда в единый сросток “спаяны” мелкие зерна. Мелкие золотины, в свою очередь, покрыты пленкой из пластинчатых, сфероидальных и червеобразных нановыделений, размер которых часто не превышает 1 мкм, что позволяет предполагать существование еще более мелких частиц свободного золота (Кузнецова, 2011).

Пленки гидроксидов железа и марганца на образцах самородного золота, а также наличие наростов высокопробного новообразованного Au сложной морфологии являются характерными типоморфными признаками прохождения стадии коры выветривания. Присутствие в золоте элементов халькофильной группы и сростков благородного металла с алюмосиликатной матрицей связано с продуктами разложения в коре выветривания минералов, содержащих эти элементы.

В большинстве своем золото из коры выветривания относится к мелкому (микрометровому), но при этом оно значительно превосходит по размеру Au из коренных месторождений. В то же время по сравнению с золотом, гравитационно извлекаемым из аллювиальных россыпей, оно гораздо более мелкое. В месторождениях коренного золота доля наноразмерного золота максимальна в первичных рудах, затем она снижается в зоне окисления, а в россыпях преобладает микро- и макрозолото (Моисеенко, 1965, 1997, 2007; Альбов, 1980). Можно сказать, что зона гипергенеза выступает в роли своеобразной “фабрики” по преобразованию наночастиц (первичные руды) в микро- и макроформы (зона окисления), вплоть до самородков (россыпи).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что в корях выветривания Нижнеселемджинского золотоносного узла одновременно присутствуют остаточное (гипогенное), частично измененное в процессе гипергенеза, и новообразованное (аутигенное) золото. Большая часть золота относится к высокопробному.

Под воздействием сложных физико-химических процессов с участием углерода (углекислотное выщелачивание), а иногда и ртути (амальгамирование) в корках выветривания происходят высвобождение Au, закапсулированного в минералоконцентракторах, и его переотложение на геохимических барьерах (углеродных пленках и новообразованных минералах) с образованием золотоносных агрегатов необычных форм и гетерогенного состава. Наночастицы золота на протяжении продолжительного времени могут являться активными центрами роста во вмещающих породах. Они сростаются друг с другом сначала в виде нанообразований, затем – микроформ и т. д.

Таким образом, в коре выветривания месторождений золота происходит не только преобразование первичного (гипогенного) благородного металла, но и формирование его аутигенных разновидностей. Последние возникают за счет высвобождения тонкого и наноразмерного золота из минералоконцентракторов при их разложении и последующего его агрегирования в более крупные образования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Альбов М.Н. (1980) Вторичная зональность золоторудных месторождений Урала. М.: Геоиздат, 68 с.
- Анерт Э.Э. (1928) Богатства недр Дальнего Востока. Хабаровск; Владивосток: Книжное дело, 932 с.
- Васильев И.А., Капанин В.П., Ковтонюк Г.П., Мельников В.Д., Лужнов В.Л., Данилов А.П., Сорокин А.П. (2000) Минерально-сырьевая база Амурской области на рубеже веков. Благовещенск: КИП Амур. обл., 168 с.
- Вьюнов Д.Л., Савенко Л.В., Мавринская С.А., Артеменко А.О. (2005) Отчет по литохимической съемке масштаба 1 : 200 000 по потокам рассеяния в бассейне нижнего течения р. Селемджа на площади листов N-52-XXXIII, -XXXIV, -XXXV за 2001-2005 гг. (Бурундинский объект). Благовещенск: ФГУГП “Амургеология”, 163 с.
- Гинзбург И.И. (1963) Типы древних кор выветривания, формы их проявления и классификация. *Кора выветривания*, (6). М.: Изд-во АН СССР, 71-101.
- Зубков В.Ф. (1980) Государственная геологическая карта СССР масштаба 1 : 200 000. Л. N-52-XXXIV. Объяснительная записка. М.: Мингео СССР, 89 с.
- Калинин Ю.А., Ковалев К.Р., Наумов Е.А., Кириллов М.В. (2009) Золото коры выветривания Суздальского месторождения (Казахстан). *Геология и геофизика*, **50**(3), 241-257.
- Красный Л.И., Пэн Юньбао (1998) Геологическая карта Приамурья и сопредельных территорий. Масштаб: 1 : 2 500 000. Объяснительная записка. СПб.: ВСЕГЕИ, 135 с.
- Кузнецова И.В. (2011) Геология, тонкодисперсное и наноразмерное золото в минералах россыпей Нижнеселемджинского узла (Приамурье). Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Красноярск: СФУ, 21 с.
- Кузнецова И.В. (2014) Проблемы выделения наноразмерного золота при россыпной золотодобыче (на примере Приамурья). *Руды и металлы*, **4**, 52-57.
- Кузнецова И.В., Сафронов П.П., Моисеенко Н.В. (2019) Вещественно-минеральная характеристика техногенных россыпей – потенциальных источников благородного металла (на примере Нижнеселемджинского золотоносного узла, Россия). *Георесурсы*, **21**(1), 2-14.
- Маракушев С.А., Ковалевская А.Н., Сафронов П.П., Бородавкина О.Н., Моисеенко В.Г. (1989) Бактериальная перекристаллизация золота. *Докл. АН СССР*, **308**(2), 482-485.
- Мельников В.Д., Мельников А.В., Ковтонюк Г.П. (2006б) Россыпи золота Амурской области. Благовещенск: АмГУ, 296 с.
- Мельников А.В., Мельников В.Д., Шестаков Б.И. (2006а) Золотоносность кор выветривания Амурской области. Благовещенск: АмГУ, 116 с.
- Моисеенко В.Г. (1965) Метаморфизм золота месторождений Приамурья. Хабаровск: Хабаровск. кн. изд-во, 127 с.
- Моисеенко В.Г. (1997) Особенности формирования полигенных россыпей золота и методы их оценки. Благовещенск: АмурКНИИ ДВО РАН, 103 с.
- Моисеенко В.Г. (2007) От атомов золота через кластеры, нано- и микроскопические частицы до самородков благородного металла. Благовещенск: ДВО РАН, Амурское отделение РМО, 187 с.
- Моисеенко В.Г., Кузнецова И.В. (2014) Нанозолото в древних известняках и доломитах Октябрьского рудного поля (Приамурье). *Докл. АН*, **456**(4), 468-471.
- Моисеенко В.Г., Маракушев С.А. (1987) Бактериальное концентрирование, укрупнение и “облагораживание” золота в зоне окисления золоторудных месторождений и россыпях. Благовещенск: ИГиП ДВО РАН, 45 с.
- Наумов Е.А., Борисенко А.С., Гущина Л.В. (2011) Ртутистое золото: критерий поиска коренных источников разных типов золотого оруднения и условия его образования (Электронный ресурс). URL: <http://www.minsoc.ru/FilesBase/E2-2011-1-0.pdf> (дата обращения: 27.02.2021)
- Некрасов И.Я. (1991) Геохимия, минералогия и генезис золоторудных месторождений. М.: Наука, 302 с.
- Неронский Г.И. (1998) Типоморфизм золота месторождений Приамурья. Благовещенск: АмурКНИИ ДВО РАН, 320 с.
- Неронский Г.И., Добрая В.Т. (1975) Особенности состава золота из россыпей Нижнеселемджинского района. *Амурский краевед*. Благовещенск: Амурское отд. Хабаровского книжн. изд-ва, 86-100.
- Неронский Г.И., Добрая В.Т. (1976) Пробность золота и характер ее изменения в некоторых золотоносных районах Приамурья. *Генетические типы и закономерности размещения месторождений золота Дальнего Востока*. Новосибирск: Наука, 45-58.
- Неронский Г.И., Сафронов П.П., Бородавкин С.И., Обухов П.В., Попов А.Б. (1988) “Новое” золото в россыпях Приамурья. *Глубинное строение Тихого океана и его континентального обрамления*. Благовещенск: АмурКНИИ, 55-56.
- Орлова Н.И. (1995) Карта кор выветривания Амурской области масштаба 1 : 500 000. Объяснительная записка. М.: ВИМС, 329 с.
- Орлова Н.И., Воропаева Н.П. (1998) Методические рекомендации по изучению кор выветривания при прове-

- дении ГРР. М.: ВИМС, 114 с.
- Петровская Н.В. (1941) Морфология и структура “нового” золота. *Докл. АН СССР*, **32**(6), 424-426.
- Петровская Н.В., Яблокова С.В. (1974) Золото в корях выветривания. *Рудоносные коры выветривания*. М.: Наука, 173-182.
- Росляков Н.А. (1981) Геохимия золота в зоне гипергенеза. Новосибирск: Наука, 228 с.
- Сафронов П.П., Моисеенко Н.В., Моисеенко В.Г. (2011) Наноразмерное самородное золото в минералах месторождения Пионер (Приамурье) по данным электронно-микроскопических исследований. *Мат-лы XVII Рос. симп. по растровой электронной микроскопии и аналитическим методам исследования твердых тел (РЭМ-2011)*. Черноголовка: ФНИЦ “Кристаллография и фотоника” РАН, 206.
- Смирнов С.С. (1951) Зона окисления сульфидных месторождений. М.: АН СССР, 335 с.
- Сорокин А.П. (1989) Морфоструктуры и россыпи золота Приамурья. ... д-ра геол.-мин. наук. Благовещенск: АмурКНИИ, 394 с.
- Сорокин А.П., Глотов В.Д. (1997) Золотоносные структурно-вещественные ассоциации Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука, 304 с.
- Хазов А.Ф., Силаев В.И., Филиппов В.Н. (2010) Аутигенная минерализация в речных россыпях как природный научный феномен. *Изв. Коми НЦ УрО РАН*, **2**, 54-60.
- Яблокова С.В. (1965) Образование “нового” золота в некоторых россыпях Южной Якутии. *Геология россыпей*. М.: Наука, 152-155.
- Янченко О.М., Ворошилов В.Г., Тимкин Т.В., Мартыненко И.В., Зиайи М. (2019) Морфология и состав золота кор выветривания Томь-Яйского междуречья. *Изв. Томск. политехнического ун-та. Инжиниринг георесурсов*, **330** (3), 84-92.
- Anand R., Lintern M., Hough R., Noble R., Verrall M., Salama W., Balkau J., Radford N. (2017) The dynamics of gold in regolith change with differing environmental conditions over time. *Geology*, **45**(2), 127-130.
- Anand R., Salama W. (2019) Gold dispersion in transported cover sequences especially in chemical (palaeoredox front) and physical (unconformity) interfaces linked to the landscape history of Western Australia. *Explor. Newslett. Assoc. Appl. Geochem.*, **183**, 1-40.
- Craw D. (2017) Placer gold and associated supergene mineralogy at Macraes flat, east Otago, New Zealand. *New Zealand J. Geol. Geophys.*, **60**(4), 353-367. DOI: 10.1080/00288306.2017.1337644.
- Craw D., Kerr G. (2017) Geochemistry and mineralogy of contrasting supergene gold alteration zones, southern New Zealand. *Appl. Geochem.*, **85**(A), 19-34.
- Dunn S., Von der Heyden B., Rozendaal A., Taljaard R. (2019) Secondary gold mineralization in the Amani Placer Gold Deposit, Tanzania. *Ore Geol. Rev.*, **107**, 87-107. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2019.02.011.
- Hough R.M., Noble R.R.P., Reich M. (2012) Natural gold nanoparticles. *Ore Geol. Rev.*, **42**, 55-61.
- Kerr G., Falconer D., Reith F., Craw D. (2017) Transport-related mylonitic ductile deformation and shape change of alluvial gold, southern New Zealand. *Sediment. Geol.*, **361**, 52-63.
- Lalomov A.V., Chefranov R.M., Naumov V.A., Naumova O.B., Lebarge W., Dilly R.A. (2016) Typomorphic features of placer gold of Vagran cluster (the Northern Urals) and search indicators for primary bedrock gold deposits. *Ore Geol. Rev.*, **85**, 321-335.
- McLachlan C., Negrini M., Craw D. (2018) Gold and associated minerals in the Waikaia placer gold mine, Northern Southland, New Zealand. *New Zealand J. Geol. Geophys.*, **61**(2), 1-16. DOI: 10.1080/00288306.2018.1454482.
- Melchiorre E.B., Orwin P.M., Reith F., Rea M.A.D., Yahn J., Allison R. (2018) Biological and Geochemical Development of Placer Gold Deposits at Rich Hill, Arizona, USA. *Minerals*, **8**(56), 1-20.
- Moufti A.M.B. (2014) Opaque mineralogy and resource potential of placer gold in the stream sediments between Duba and Al Wajh, Red Sea coast, northwestern Saudi Arabia. *Afr. Earth Sci.*, **99**(1), 188-201.
- Rea M.A., Zammit C.M., Reith F. (2016) Bacterial biofilms on gold grains-implications for geomicrobial transformations of gold. *FEMS Microbiol. Ecology*, **92**(6), 1-12.
- Reith F., Fairbrother L., Nolze G., Wilhelm O., Clode P.L., Gregg A., Parsons J.E., Wakelin S.A., Pring A., Hough R., Southam G., Brugger J. (2010) Nanoparticle factories: Biofilms hold the key to gold dispersion and nugget formation. *Geology*, **38**, 843-846.
- Shuster J., Lengke M., Marquez-Zavalia M., Southam G. (2016) Floating Gold Grains and Nanophase Particles Produced from the Biogeochemical Weathering of a Gold-Bearing Ore. *Econ. Geol.*, **111**(6), 1485-1494. DOI: 10.2113/econgeo.111.6.1485.
- Shuster J., Reith F., John G.C., John E.P., Southam M.P.G. (2017) Secondary gold structures: Relics of past biogeochemical transformations and implications for colloidal gold dispersion in subtropical environments. *Chem. Geol.*, **450**(5), 154-164.
- Shuster J., Southam G. (2015) The in-vitro growth of gold grains. *Geol.*, **43**, 79-82.
- Southam G., Lengke M.F., Fairbrother L., Reith F. (2009) The biogeochemistry of gold. *Elements*, **5**, 303-307.
- Stewart J., Kerr G., Prior D., Craw D. (2017) Low temperature recrystallisation of alluvial gold in paleoplacer deposits. *Ore Geol. Rev.*, **88**, 173. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2017.04.020.
- Vishitia A., Suha C.E., Lehmann B., Egbe J.A., She-mang E.M. (2015) Gold grade variation and particle microchemistry in exploration pits of the Batouri gold district, SE Cameroon. *Afr. Earth Sci.*, **111**, 1-13.
- Xianhai Li, Zhang Qin, Jun Xie, Zhihui Shen (2018) (Au(CN)₂)₂ – Adsorption on a Graphite (0001) Surface: A First Principles Study. *Minerals*, **8**(10), 425. DOI: 10.3390/min8100425.

REFERENCES

- Anert E.E. (1928) Wealth of the bowels of the Far East. Khabarovsk; Vladivostok, Book Business Publ., 932 p. (In Russian)
- Craw D. (2017) Placer gold and associated supergene mineralogy at Macraes flat, east Otago, New Zealand. *New Zealand J. Geol. Geophys.*, **60**(4), 353-367. DOI: 10.1080/00288306.2017.1337644.
- Craw D., Kerr G. (2017) Geochemistry and mineralogy of contrasting supergene gold alteration zones, southern New Zealand. *Appl. Geochem.*, **85**(A), 19-34.
- Dunn S., Von der Heyden B., Rozendaal A., Taljaard R. (2019) Secondary gold mineralization in the Amani Placer Gold Deposit, Tanzania. *Ore Geol. Rev.*, **107**, 87-107. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2019.02.011.
- Ginsburg I.I. (1963) Types of ancient weathering crusts, the forms of their manifestation and classification. *Kora vyvetrivaniya*, (6). Moscow, USSR Academy of Sci., 71-101. (In Russian)
- Hough R.M., Noble R.R.P., Reich M. (2012) Natural gold nanoparticles. *Ore Geol. Rev.*, **42**, 55-61.
- Kalinin Yu.A., Kovalev K.R., Naumov E.A., Kirillov M.V. (2009) Gold of the weathering bark of the Suzdal deposit (Kazakhstan). *Geol. Geofiz.*, **50**(3), 241-257. (In Russian)
- Kerr G., Falconer D., Reith F., Craw D. (2017) Transport-related mylonitic ductile deformation and shape change of alluvial gold, southern New Zealand. *Sediment. Geol.*, **361**, 52-63.
- Khazov A.F., Silaev V.I., Phillipov V.N. (2010) Autigenic mineralization in river placers as a natural scientific phenomenon. *Izv. Komi NTs UrO RAN*, **2**, 54-60. (In Russian)
- Krasnyi L.I., Pen Yunbao (1998) Geological map of the Amur Region and neighboring territories. Scale: 1 : 2 500 000. Explanation note. St.Petersburg, VSEGEI Publ., 135 p. (In Russian)
- Kuznetsova I.V. (2011) Geology, fine and nanoscale gold in the minerals of the placers of the Lower Selemdzhinsky knot (Amur region). Cand. geol. and min. sci. diss. Krasnoyarsk, SFU, 21 p. (In Russian)
- Kuznetsova I.V. (2014) Problems of nano-sized gold extraction during placer gold mining (using the example of the Amur Region). *Rudy i Metally*, **4**, 52-57. (In Russian)
- Kuznetsova I.V., Safronov P.P., Moiseenko N.V. (2019) Matter-mineral characteristics of technogene placers – potential sources of precious metal (on the example of the Nizneselemdzhinsky gold-bearing node of Priamurye, Russia). *Georesursy*, **21**(1), 2-14. (In Russian)
- Lalomov A.V., Chefranov R.M., Naumov V.A., Naumova O.B., Lebarge W., Dilly R.A. (2016) Typomorphic features of placer gold of Vagran cluster (the Northern Urals) and search indicators for primary bedrock gold deposits. *Ore Geol. Rev.*, **85**, 321-335.
- Marakushev S.A., Kovalevskaya A.N., Safronov P.P., Borodavkina O.N., Moiseenko V.G. (1989) Bacterial recrystallization of gold. *Dokl. AN SSSR*, **308**(2), 482-485. (In Russian)
- McLachlan C., Negrini M., Craw D. (2018) Gold and associated minerals in the Waikaia placer gold mine, Northern Southland, New Zealand. *New Zealand J. Geol. Geophys.*, **61**(2), 1-16. DOI: 10.1080/00288306.2018.1454482.
- Melchiorre E.B., Orwin P.M., Reith F., Rea M.A.D., Yahn J., Allison R. (2018) Biological and Geochemical Development of Placer Gold Deposits at Rich Hill, Arizona, USA. *Minerals*, **8**(56), 1-20.
- Melnikov A.V., Melnikov V.D., Shestakov B.I. (2006) Golden bearing of the weathering crust of the Amur Region. Blagoveshchensk, Amur State University Publ., 116 p. (In Russian)
- Melnikov V.D., Melnikov A.V., Kovtonyuk G.P. (2006) Gold placers of the Amur Region. Blagoveshchensk, Amur State University Publ., 296 p. (In Russian)
- Moiseenko V.G. (1965) Metamorphism of gold deposits of the Amur region. Khabarovsk, Khabarovsk Publishing House, 127 p. (In Russian)
- Moiseenko V.G. (1997) Features of the formation of polygenic gold placers and methods for their assessment. Blagoveshchensk, AmurKNII DVO RAS, 103 p. (In Russian)
- Moiseenko V.G. (2007) From gold atoms through clusters, nano- and microscopic particles to nuggets of noble metal. Blagoveshchensk, DVO RAS, Amur branch of the RMO, 187 p. (In Russian)
- Moiseenko V.G., Kuznetsova I.V. (2014) Nanozoloto in the ancient limestone and dolomites of the October ore field (Amur region). *Dokl. AN*, **456**(4), 468-471. (In Russian)
- Moiseenko V.G., Marakushev S.A. (1987) Bacterial concentration enlargement and “ennobling” of gold in the oxidation zone of gold ore deposits and placers). Blagoveshchensk, IGI P DVO RAS, 45 p. (In Russian)
- Moufti A.M.B. (2014) Opaque mineralogy and resource potential of placer gold in the stream sediments between Duba and Al Wajh, Red Sea coast, northwestern Saudi Arabia. *Afr. Earth Sci.*, **99**(1), 188-201.
- Naumov E.A., Borisenko A.S., Gushchina L.V. (2011) Mercurial gold: the criterion for finding the root sources of different types of gold mineralization and the conditions for its formation. (In Russian) URL: <http://www.minsoc.ru/FilesBase/E2-2011-1-0.pdf> (case date: 27.02.2021)
- Nekrasov I.Ya. (1991) Geochemistry, mineralogy and genesis of gold ore deposits. Moscow, Nauka Publ., 302 p. (In Russian)
- Neronskii G.I. (1998) Tipomorphism of gold deposits of the Amur region. Blagoveshchensk, AmurKNII DVO RAS, 320 p. (In Russian)
- Neronskii G.I., Dobraya V.T. (1975) Features of the composition of gold from placers of the Lower Selemdzhinsky district. *Amurskii Kraeved.* Blagoveshchensk, Amur Otd. Khabarovsk book. Publ. House, 86-100. (In Russian)
- Neronskii G.I., Dobraya V.T. (1976) Gold quality and the nature of its change in some gold-bearing areas of the Amur region. *Genetic types and patterns of placement of gold deposits in the Far East.* Novosibirsk, Nauka Publ., 45-58. (In Russian)
- Neronskii G.I., Safronov P.P., Borodavkin S.I., Obuhov P.V., Popov A.B. (1988) “New” gold in the placers of the Amur Region. *The deep structure of the Pacific Ocean and its continental framing.* Blagoveshchensk, AmurKNII, 55-56. (In Russian)
- Orlova N.I. (1995) Map of weathering of the Amur region on a scale of 1 : 500 000. Moscow, VIMS Publ., 329 p. (In Russian)
- Orlova N.I., Voropaeva N.P. (1998) Methodological recommendations for the study of weathering crusts during geological prospecting. Moscow, VIMS Publ., 114 p. (In Russian)
- Petrovskaya N.V. (1941) Morphology and structure of the “new” gold. *Dokl. AN SSSR*, **32**(6), 424-426. (In Russian)

- Petrovskaya N.V., Yablokova S.V. (1974) Gold in weathering crusts. *Rudonosnye Kory Vыветриваниya*. Moscow, Nauka Publ., 173-182. (In Russian)
- Rea M.A., Zammit C.M., Reith F. (2016) Bacterial biofilms on gold grains-implications for geomicrobial transformations of gold. *FEMS Microbiol. Ecol.*, **92**(6), 1-12.
- Reith F., Fairbrother L., Nolze G., Wilhelm O., Clode P.L., Gregg A. Parsons J.E., Wakelin S.A., Pring A., Hough R., Southam G., Brugger J. (2010) Nanoparticle factories: Biofilms hold the key to gold dispersion and nugget formation. *Geology*, **38**, 843-846.
- Roslyakov N.A. (1981) Gold geochemistry in the hypergenesis zone. Novosibirsk, Nauka Publ., 228 p. (In Russian)
- Safronov P.P., Moiseenko N.V., Moiseenko V.G. (2011) Nanoscale native gold in the minerals of the Pioneer deposit (Amur Region) according to electron microscopic studies. Chernogolovka, FNITs "Crystallography and Photonics" RAS, 206 p. (In Russian)
- Shuster J., Lengke M., Marquez-Zavalia M., Southam G. (2016) Floating Gold Grains and Nanophase Particles Produced from the Biogeochemical Weathering of a Gold-Bearing Ore. *Econ. Geol.*, **111**(6), 1485-1494. DOI: 10.2113/econgeo.111.6.1485.
- Shuster J., Reith F., John G.C., John E.P., Southam M.P.G. (2017) Secondary gold structures: Relics of past biogeochemical transformations and implications for colloidal gold dispersion in subtropical environments. *Chem. Geol.*, **450**(5), 154-164.
- Shuster J., Southam G. (2015) The in-vitro growth of gold grains. *Geology*, **43**, 79-82.
- Smirnov S.S. (1951) Oxidation zone of sulfide deposits. Moscow, Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 335 p. (In Russian)
- Sorokin A.P. (1989) Morphostructures and placers of gold of the Amur Region. Doc. geol. and min. sci. diss. Blagoveshchensk, AmurBooks Publ., 394 p. (In Russian)
- Sorokin A.P., Glotov V.D. (1997) Gold-bearing structural-real associations of the Far East. Vladivostok, Dal'nauka Publ., 304 p. (In Russian)
- Southam G., Lengke M.F., Fairbrother L., Reith F. (2009) The biogeochemistry of gold. *Elements*, **5**, 303-307.
- Stewart J., Kerr G., Prior D., Craw D. (2017) Low temperature recrystallisation of alluvial gold in paleoplacer deposits. *Ore Geol. Rev.*, **88**, 173. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2017.04.020
- Vasil'ev I.A., Kapanin V.P., Kovtonyuk G.P., Mel'nikov V.D., Luzhnov V.L., Danilov A.P., Sorokin A.P. (2000) Mineral raw materials base of the Amur Region at the turn of the centuries. Blagoveshchensk, KPR Amur region. Publ., 168 p. (In Russian)
- Vishitia A., Suha C.E., Lehmann B., Egbe J.A., She-mang E.M. (2015) Gold grade variation and particle microchemistry in exploration pits of the Batouri gold district, SE Cameroon. *Afr. Earth Sci.*, **111**, 1-13.
- V'yunov D.L., Savenko L.V., Mavrinskaya S.A., Artemenko A.O. Report on lithochemical study of Selemdzha River basin in 2001-2005. Blagoveshchensk, FGUGP "Amurgeologiya", 2005. 163 p. (In Russian, unpublished).
- Xianhai Li, Zhang Qin, Jun Xie, Zhihui Shen (2018) (Au(CN)₂) – Adsorption on a Graphite (0001) Surface: A First Principles Study. *Minerals*, **8**(10), 425. DOI: 10.3390/min8100425.
- Yablokova S.V. (1965) The formation of a "new" gold in some placers of Southern Yakutia. *Geologiya Rossypei*. Moscow, Nauka Publ., 152-155. (In Russian)
- Yanchenko O.M., Voroshilov V.G., Timkin T.V., Martynenko I.V., Ziiai M. (2019) Morphology and composition of weathered burks gold. *Izv. Tomsk. Politekhnich. Univ. Inzhiniring georesursov*, **330**(3), 84-92. (In Russian)
- Zubkov V.F. (1980) State geological map of the USSR scale 1 : 200 000, sheet N-52-XXXIV). Explanation note. Moscow, Mingeo USSR Publ., 89 p. (In Russian)