

Природа сфероидального золота Среднекыввожской россыпи на Среднем Тимане

М. Ю. Сокерин¹, Ю. В. Глухов¹, Р. И. Шайбеков¹, Б. А. Макеев¹, С. О. Зорина²

¹ Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар
m_sokerin@mail.ru, glukhov@geo.komisc.ru, shaybekov@geo.komisc.ru, makboris@mail.ru

² Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань
svzorina@yandex.ru

Проведено комплексное минералогическое исследование 13 образцов сфероидального золота из шлиховых концентратов Среднекыввожской золотоносной россыпи, входящей в состав Кыввожского золотороссыпного поля, расположенного в центральной части Вольско-Вымской гряды Среднего Тимана. Установлено присутствие в концентратах как природного, так и техногенного золота. Природное россыпное сфероидальное золото характеризуется изношенной поверхностью с оксидными плёнками и развитием высокопробной коррозионной каймы. Техногенные сфероиды золота обладают полигонально-мозаичной бугорчато-ямчатой или гладкой поверхностью, наличием алюмосиликатных стёкол и шлаков в виде корок или включений в матрице, присутствием нехарактерных для самородного золота минеральных включений и примесей металлов платиновой группы, олова и свинца. Формирование природных сфероидов обусловлено естественной голтовкой в водном потоке при формировании россыпи. Образование техногенных сфероидов связывается с воздействием на обогащенный россыпными золотом и платиноидами шлиховой концентрат высокотемпературной плазмы, возникающей при электросварочных работах во время ремонта шлюзов промывочных приборов. Результаты исследования должны помочь избежать ошибок в трактовке генезиса подобного золота и, как следствие, в определении природы первичных источников россыпей.

Ключевые слова: самородное золото, сфероидальное золото, россыпь, техногенное золото, иридоосмин, железистая платина, Средний Тиман.

The nature of spheroidal gold of the Middle Kyvvozh placer in the Middle Timan

M. Yu. Sokerin¹, Yu. V. Glukhov¹, R. I. Shaibekov¹, B. A. Makeev¹, S. O. Zorina²

¹ Institute of Geology FRC Komi SC UB RAS, Syktyvkar

² Kazan federal university, Kazan

A comprehensive mineralogical study of 13 samples of spheroidal gold from schlich concentrates of the Middle Kyvvozh gold placer, which is part of the Kyvvozh gold placer field located in the central part of the Volsk-Vym ridge of the Middle Timan, was carried out. The presence of both natural and technogenic gold in concentrates was established. Natural placer spheroidal gold is characterized by a worn surface with oxide films and the development of a high-grade corrosion rim. Technogenic gold spheroids have a polygonal-mosaic tuberculate-pitted or smooth surface, the presence of aluminosilicate glasses and slags in the form of crusts or inclusions in the matrix, the presence of mineral inclusions and impurities of platinum group metals, tin and lead, which are not characteristic of native gold. Natural spheroids were formed by natural smoothing in the water flow during the formation of the placer. The formation of technogenic spheroids is associated with the impact of high-temperature plasma on the concentrate enriched in placer gold and platinoids, which occurs during electric welding undertaken during the repair work of the flushing devices. The results of the study should help to avoid errors in the interpretation of the genesis of such gold and, as a result, in determining the nature of the primary sources of placers.

Keywords: native gold, spheroidal gold, technogenic gold, placer, iridosmine, ferrian platinum, Middle Timan.

Введение

Сфероидальная форма характерна для широкого спектра минеральных веществ, образованных в самых разных условиях. Самородное золото не является исключением. Его сфероиды описаны в пикритах в виде включений во вкрапленниках оливина (Zhang, 2006), пирокластических породах (Бердников, 2021; Berdnikov, 2023), кварцевых жилах (Новгородова, 2003; Татарин, 2016), осадочных коллекторах углеводородов (Лукин, 2009), рудоносных черносланцевых поро-

дах (Медведев, 2013), золотоносных корах выветривания (Жмодик, 2012; Калинин, 2010; Майорова, 2010; Янченко, 2019) и техногенных отвалах и россыпях (Литвинцев, 2005).

Соответственно, условия образования сфероидального золота также весьма разнообразны — от ликвационной дифференциации рудно-силикатных расплавов при высоких скоростях охлаждения (Бердников, 2021; Berdnikov, 2023) и кавитационных процессов в гидротермальных флюидах (Новгородова, 2003; Лукин,

Для цитирования: Сокерин М. Ю., Глухов Ю. В., Шайбеков Р. И., Макеев Б. А., Зорина С. О. Природа сфероидального золота Среднекыввожской россыпи на Среднем Тимане // Вестник геонаук. 2023. 9(345). С. 40–47. DOI: 10.19110/geov.2023.9.3

For citation: Sokerin M. Yu., Glukhov Yu. V., Shaibekov R. I., Makeev B. A., Zorina S. O. The nature of spheroidal gold of the Middle Kyvvozh placer in the Middle Timan. Vestnik of Geosciences, 2023, 9(345), pp. 40–47, doi: 10.19110/geov.2023.9.3



2013; Татаринев, 2005) до бактериально инициированного минералообразования в корах выветривания (Жмодик, 2012; Калинин, 2010; Никифорова, 2020; Янченко, 2019; Southam, 2009) и механической голтовки при формировании россыпи. Есть предположение об образовании сфероидов золота по механизму роста сферокристаллов (Майорова, 2010).

Находки сфероидов золота, других металлов и их сплавов в россыпях не являются большой редкостью. Если искусственное происхождение свинцовой дробы, железных, медных, латунных шариков обычно не вызывает сомнений, особенно на объектах, на которых шла разведка и добыча металла, то объяснение природы сфероидального золота в свете приведенного выше краткого обзора является нетривиальной задачей. Ошибочная трактовка генезиса такого золота может привести и к неправильному определению генезиса первичных источников россыпей и, как следствие, неверным прогнозным построениям.

Объектом настоящего исследования явились 13 образцов сфероидального золота (рис. 1), обнаруженных при минералогическом анализе тяжёлой фракции шлиховых концентратов большеобъёмных проб частично отработанной Среднекыввожской золотоносной россыпи, входящей в состав Кыввожского золотороссыпного поля. Россыпь находится в центральной части Вольско-Вымской гряды Среднего Тимана (Глухов, 2018; Дудар, 1996), локализована в пойменно-руслых приплотиковых псефитах и кровле пород верхнерифейского сланцевого комплекса, сложенного покъюской, лунвожской и кыввожской свитами. Свиты характеризуются близким литологическим составом — серицит-кварц-хлоритовые, серицит-хлорит-кварцевые углеродсодержащие алевросланцы, кварцевые метапесчаники — и отличаются текстурно-структурными особенностями и количественным соотношением литотипов в различных интервалах разреза.

Кроме самородного золота и его сростков с гётитом, кварцем и кварц-гётит-хлорит-серицитовыми агрегатами в составе тяжёлой фракции шлиховых кон-

центратов присутствовали гематит, гранат, циркон, эпидот, куларит, гётит, округлые частицы шлакоподобного стекла и единичные знаки минералов платиновой группы, касситерита, киновари, а также большое количество явно техногенного материала — свинцовой дробы, железных шариков, изредка образующих сростания с окатанным самородным золотом (рис. 1, f), мелких частиц латуни и др.

Методика исследований

Собранный материал обрабатывался и исследовался на базе ЦКП «Геонаука» в Институте геологии им. академика Н. П. Юшкина ФИЦ Коми НЦ УрО РАН. Изучение поверхности, внутреннего строения и состава образцов проводилось при помощи растрового электронного микроскопа Tescan VEGA 3 LMN с энергодисперсионной приставкой INCA X-MAX 50 mm² (EDS) Oxford Instruments (рабочее напряжение — 20 kV, сила тока — 15 нА, диаметр пучка — 2 мкм, напыление углеродом). Оптические изображения получены на поляризационном микроскопе Nikon EKLIPSE LV100ND. Структурные характеристики золота регистрировались фотометрически рентгенодифрактометрическим методом Дебая — Шеррера. Использовалась камера РКД с диаметром 57.3 мм, аппарат АРОС с рентгеновской трубкой с железным анодом, ток — 10 мА, напряжение — 30 kV, фильтрация не проводилась.

Результаты исследований

Изученные образцы золота представлены сфероидальными круглыми или слегка сплюснутыми, каплевидными, гантелеобразными частицами жёлтого цвета (рис. 2). Половина образцов представляет собой агрегаты в различной степени сросшихся сфероидов разного размера. Средняя величина отдельных сфероидов и их агрегатов составляет 0.4 мм (до 0.7 мм). Минимальный размер мелких сфероидов в агрегатах — 15 мкм.

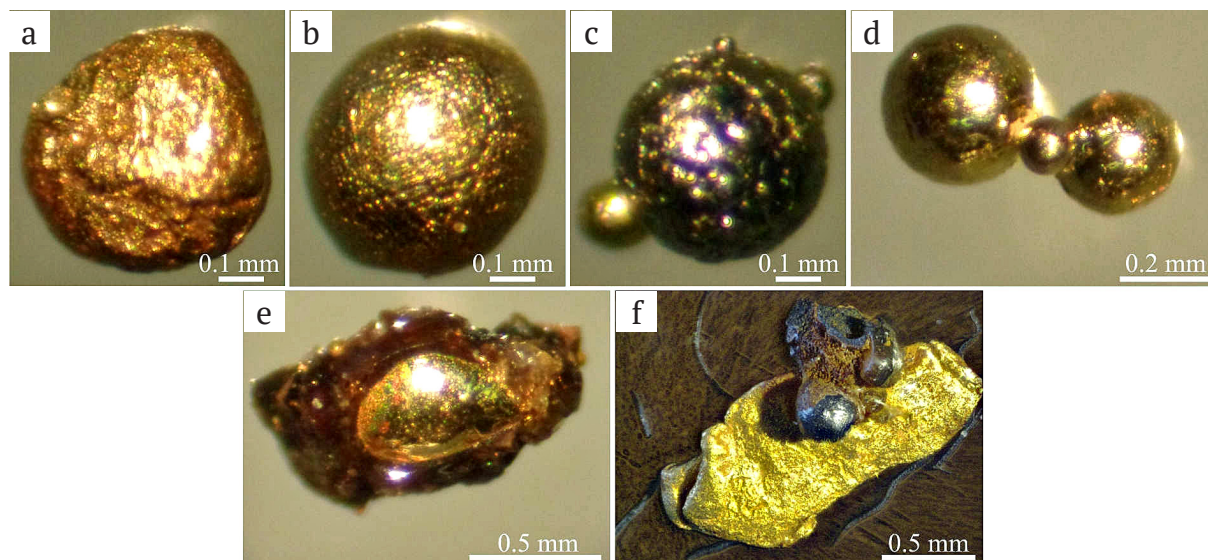


Рис. 1. Вид сфероидов золота (а—е) и сростка пластинчатого аллювиального самородного золота с железным шариком под бинокуляром (f)

Fig. 1. View of gold spheroids (a—e) and an intergrowth of lamellar alluvial native gold with an iron ball under a binocular (f)

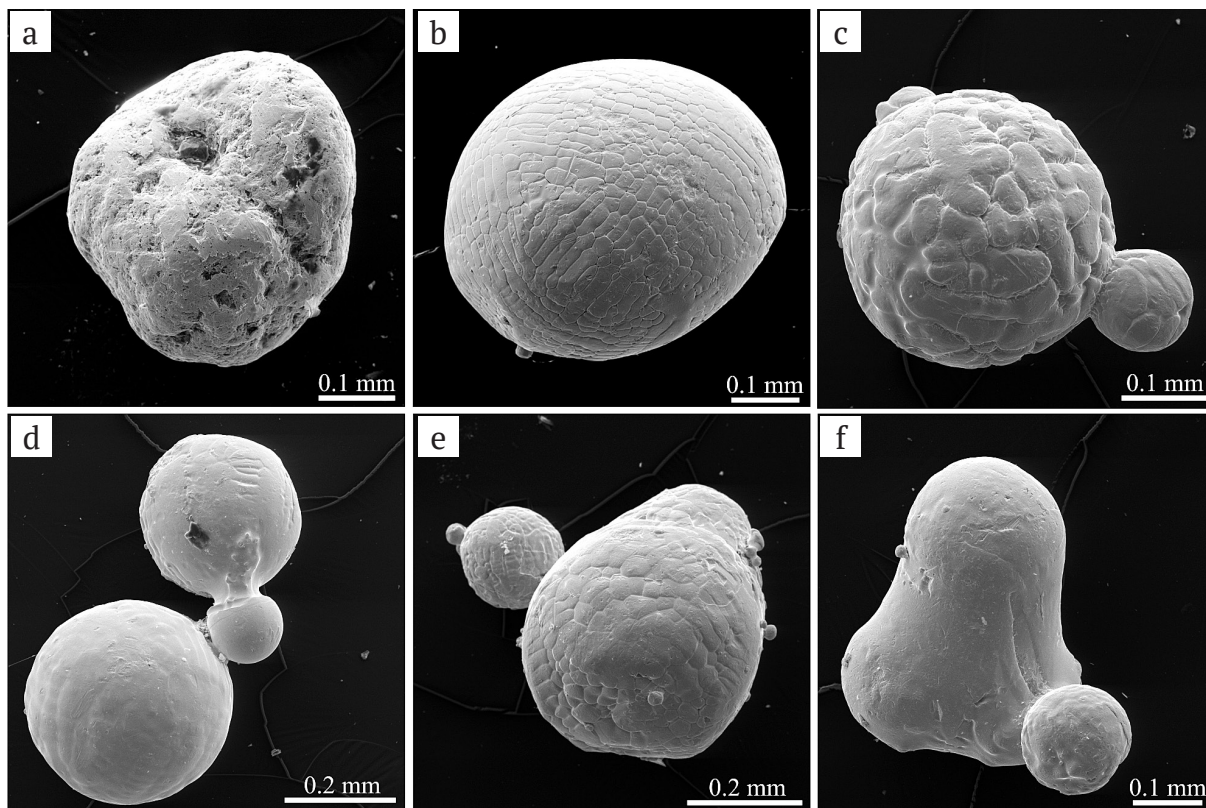


Рис. 2. СЭМ-изображения сфероидов золота первого (а) и второго (b–f) морфологических типов в режиме вторичных электронов

Fig. 2. SEM-images of gold spheroids of the first (a) and second (b–f) morphological types in the secondary electron mode

По характеру рельефа поверхности сфероидов золота выделено 3 типа.

Первый тип (2 образца) характеризуется изношенной бугорчато-ямчатой поверхностью с тонкими плёнками оксигидроксидов Fe и Mn, включениями кварца, каолинита и гётита в кавернах (рис. 3, а).

Рельеф золота *второго типа* (8 образцов) имеет в различной степени выраженную полигонально-мо-

заичную бугристо-ячеистую текстуру, подобную конвекционным ячейкам Рэля–Бенара (рис. 3, b). Часто между бугорками присутствуют мелкие ямки микрометрового размера (рис. 3, с).

Золото частиц *третьего типа* (3 образца) обладает сферической или эллипсоидальной гладкой поверхностью, иногда с мелкими царапинами, стёсами и вмятинами (рис. 4). Во всех образцах этого типа золото

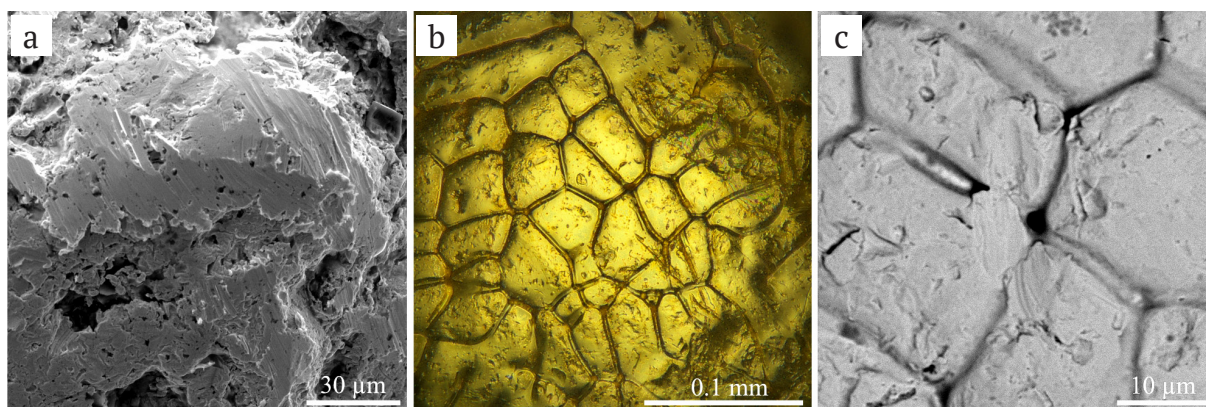


Рис. 3. Характер поверхности сфероидов золота:

а — бугорчато-ямчатая изношенная поверхность золота первого морфотипа, б — полигонально-мозаичный рельеф золота второго морфотипа; с — ямки между полигональными бугорками на поверхности золота второго морфотипа. Режимы съёмки: а — СЭМ-изображение в режиме вторичных электронов, б — оптическое изображение в отраженном свете, с — СЭМ-изображение в режиме обратнорассеянных электронов

Fig. 3. Character of the surface of gold spheroids:

а — tuberculate-pitted worn surface of gold of the first morphotype, б — polygonal-mosaic relief of gold of the second morphotype; с — pits between polygonal tubercles on the surface of gold of the second morphotype. Imaging modes: а — SEM image in the secondary electron mode, б — optical image in reflected light, с — SEM image in the backscattered electron mode

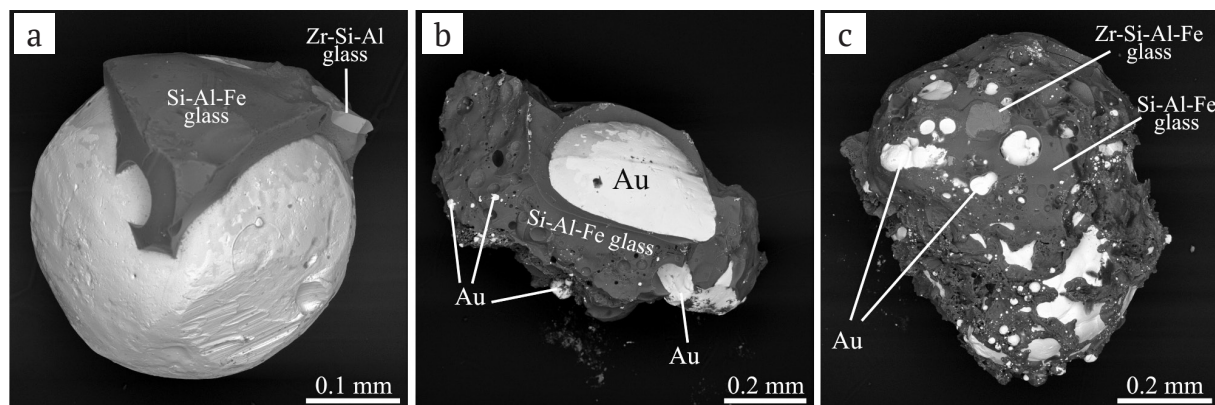


Рис. 4. Сфероиды золота третьего морфологического типа. СЭМ-изображения в режиме обратнорассеянных электронов
 Fig. 4. Gold spheroids of the third morphological type. SEM images in the backscattered electron mode

полностью или частично покрыто тонкой (20–50 мкм) коркой стекла или шлака преимущественно Si-Al-Fe-с участками Zr-Si-Al-состава с примесью Na, K и Ti в разных пропорциях (рис. 4, а, с; 5, h). Часть пор в шлаковых корочках выполнена золотом.

Весьма информативным для определения природы сфероидов золота оказалось и их внутреннее строение, изученное на срезах (рис. 5, табл. 1).

Сфероиды с первым типом рельефа имеют однородное строение, Au-Ag-состав, соответствующий электрону в одном образце и умеренно высокопробному золоту в другом. Характерно также наличие весьма высокопробной коррозионной каймы толщиной около 10 мкм (рис. 5, а).

Сфероиды второго и третьего типов рельефа обычно также обладают однородным строением (рис. 5, b).

Таблица 1. Химический состав сфероидов золота (мас. %)

Table 1. Chemical composition of gold spheroids (wt.%)

Морфотип Morphotype	№ обр. Sample No.	№ анализа Analysis No.	№ рис. Fig. No.	Au	Ag	Fe	Cu	Sn	Pb	Ru	Rh	Pd	Os	Ir	Pt	Сумма Total
1	10	10-1	5 a	56.05	45.15	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	101.20
«	«	10-2	«	100.20	0.40	«	«	«	«	«	«	«	«	«	«	100.57
«	«	10-3	«	54.54	45.11	«	«	«	«	«	«	«	«	«	«	99.65
«	«	10-4	«	56.27	45.29	«	«	«	«	«	«	«	«	«	«	101.56
«	«	10-5	«	55.00	44.13	«	«	«	«	«	«	«	«	«	«	99.13
«	«	10-6	«	54.89	44.88	«	«	«	«	«	«	«	«	«	«	99.77
«	«	10-7	«	54.89	44.84	«	«	«	«	«	«	«	«	«	«	99.73
2	2	2-1	5 b	96.97	3.42	«	«	«	«	«	«	«	«	«	«	100.39
«	«	2-2	«	96.30	2.72	«	«	«	«	«	«	«	«	«	«	99.02
2	8	8-1	5 c	95.46	1.84	«	«	1.89	«	«	«	«	«	«	«	99.19
«	«	8-4	«	96.64	1.99	«	«	2.12	«	«	«	«	«	«	«	100.75
«	«	8-2	5 d	70.49	н.о.	«	«	17.96	12.45	«	«	«	«	«	«	100.90
«	«	8-3	«	70.87	«	«	«	18.43	12.42	«	«	«	«	«	«	101.72
2	9	9-1	5 e	2.87	«	0.36	«	н.о.	н.о.	4.30	«	«	58.04	32.64	«	98.21
«	«	9-2	«	3.85	«	0.42	«	«	«	4.11	«	«	54.12	34.55	«	97.05
«	«	9-3	«	99.21	1.77	н.о.	«	«	«	н.о.	«	«	н.о.	н.о.	«	100.98
«	«	9-4	«	86.29	1.69	0.41	«	«	«	«	«	«	1.95	10.69	«	101.03
«	«	9-5	«	86.51	1.12	0.24	«	«	«	«	«	«	2.05	10.11	«	100.03
«	«	9-6	«	97.35	2.09	н.о.	«	«	«	«	«	«	н.о.	н.о.	«	99.44
«	«	9-7	«	99.41	2.35	«	«	«	«	«	«	«	«	«	«	101.76
3	12	12-1	5 f	93.07	1.54	«	«	«	«	«	«	«	«	«	5.24	99.85
«	«	12-2	«	97.61	1.53	«	«	«	«	«	«	«	«	«	н.о.	99.14
«	«	12-3	«	96.07	1.17	0.40	«	«	«	«	«	«	«	«	3.43	101.07
«	«	12-4	«	97.77	1.72	0.34	«	«	«	«	«	«	«	«	н.о.	99.83
«	«	12-5	«	6.84	н.о.	8.56	«	«	«	0.46	5.11	«	«	1.82	75.88	98.46
«	«	12-6	5 g	н.о.	«	8.56	1.08	«	«	0.39	1.20	1.25	«	н.о.	88.45	100.93
«	«	12-7	«	«	«	8.52	0.78	«	«	н.о.	1.36	1.38	«	«	87.62	99.66
«	13	13-1	5 h	97.67	2.01	н.о.	н.о.	«	«	«	н.о.	н.о.	«	«	н.о.	99.68
«	«	13-2	«	97.37	2.62	«	«	«	«	«	«	«	«	«	«	99.99

Примечание. Номера анализов соответствуют номерам точек анализов на рис. 5; н. о. — элемент не обнаружен.

Note. The numbers of the analyzes correspond to the numbers of the analysis points in Fig. 5; н. о. — element not found.

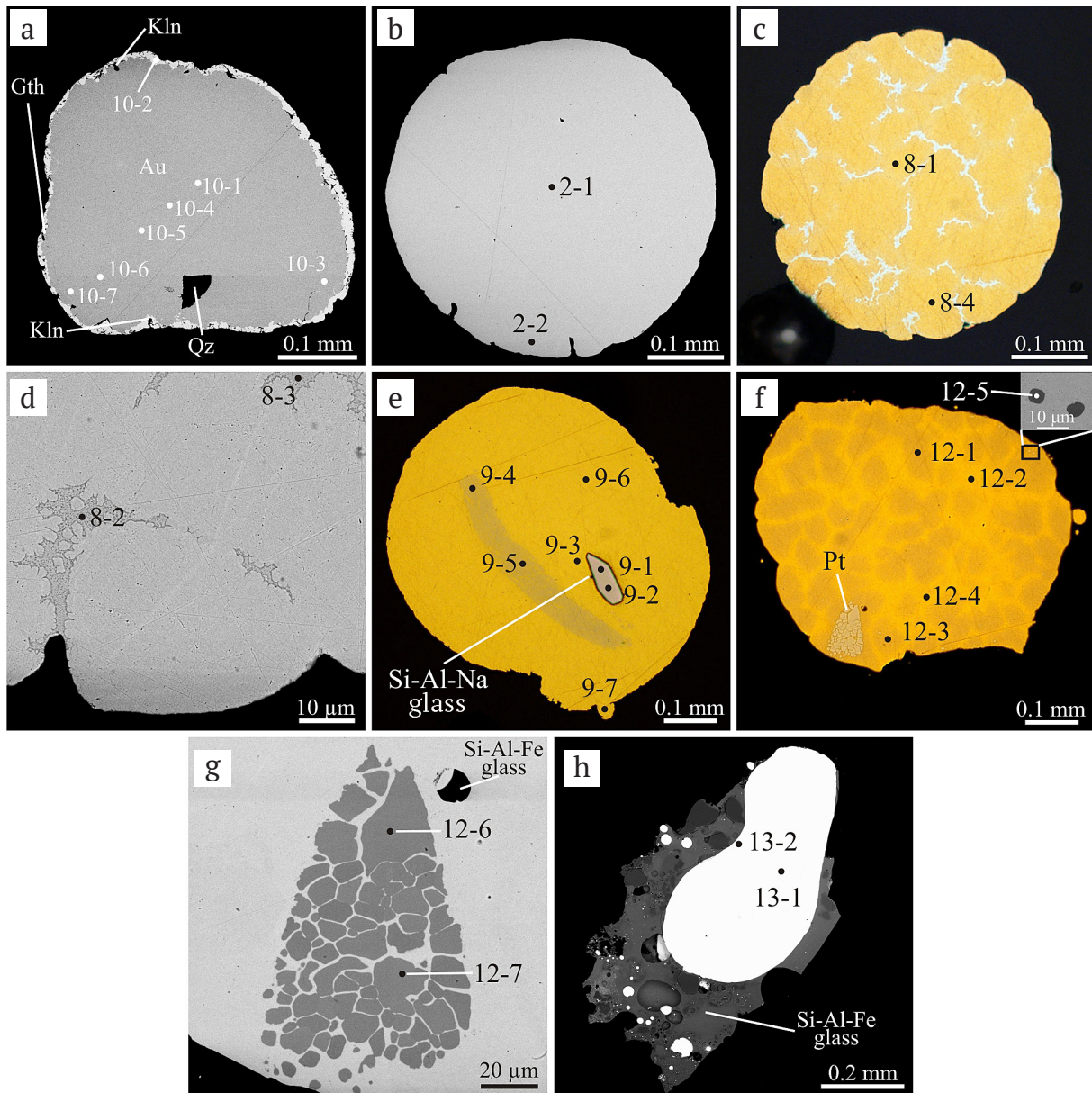


Рис. 5. Внутреннее строение сфероидов золота первого (а), второго (б–е) и третьего (ф–h) морфологических типов. Точками показаны места микрозондовых анализов, цифры соответствуют номерам анализов в таблице. Qz — кварц, Kln — каолинит. Режим съёмки: а, б, d, g, h — СЭМ-изображение в режиме обратнорассеянных электронов; с, е — оптическое изображение в отраженном свете; ф — оптическое изображение в отраженном свете с врезкой (вверху справа) в режиме обратнорассеянных электронов

Fig. 5. Internal structure of gold spheroids of the first (a), second (b–e), and third (f–h) morphological types. The dots show the locations of microprobe analyses; the numbers correspond to the numbers of analyzes in the table. Qz — quartz, Kln — kaolinite. Imaging mode: a, b, d, g, h — SEM image in the backscattered electron mode; c, e — optical image in reflected light; f — an optical image in reflected light with an insert (upper right) in the backscattered electron mode

Концентрация примеси Ag примерно одинакова во всех образцах и составляет в среднем 1.9 мас. % при дисперсии 0.8 мас. %. Коррозионная кайма отсутствует. Примерно в половине образцов этих типов присутствуют мелкие округлые включения стеклоподобного вещества Si-Na-Al- и Si-Al-Fe-составов с примесью Ti, Zr, Ca, Mg, K, Mn и Pt в разных соотношениях. В одном образце второго типа выявлены тонкие короткие ветвящиеся прожилки и сгустки, обогащенные Sn и Pb (рис. 5, с, d), часть из которых выходит на поверхность в области упомянутых выше ямок.

Минеральные фазы и примеси металлов платиновой группы обнаружены в двух образцах, отнесён-

ных ко второму и третьему типам рельефа. Один из них содержит угловатое зерно, близкое по составу иридистому осмию с примесью Ru и Fe, и вытянутую диффузную область, обогащенную Ir и Os (рис. 5, е). В другом присутствует одно относительно крупное и два субмикронных включения железистой платины (рис. 5, f, g). Крупное включение фрагментированно и содержит примеси Pd, Rh и Cu. Субмикронные включения имеют округлую форму и обогащены Rh, Ir и Ru. Кроме того, в самой золотой матрице этого образца выявлены примеси Pt и Fe, обособляющиеся в виде неконтрастных пятен и полигонов. При этом соотношение между содержаниями Fe и Pt как во включени-



ях железистой платины, так и в золоте остается одинаковым — 1×10 .

На фотодебаграммах образцов сфероидов золота второго и третьего типов наблюдаются штриховые линии отражающих плоскостей (рефлексов), характеризующиеся типичными для золота значениями межплоскостных расстояний D_{hkl} (Å): 2.33(111), 2.03(200), 1.434(220), 1.227(311), 1.174(222) и 1.020(400). Штриховой тип линий указывает на субориентированный характер микрокристаллитов (текстурированность). Кроме того, на фоне утолщённых штриховых линий различимы слабые тонкие сплошные линии рефлексов. Последнее характерно для случая хаотически ориентированных микрокристаллитов, что, по-видимому, указывает на незначительное механическое обминание исследованных образцов. По набору пиков отражений методом наименьших квадратов рассчитан параметр элементарной ячейки — $a_0 = 4.054 \pm 0.007$ Å, что соответствует параметрам высокопробного золота.

Обсуждение результатов

Анализ полученных результатов выявил значимые различия в свойствах сфероидального золота выделенных морфологических типов. Наиболее велика разница между первым и двумя другими типами.

Сфероиды золота первого морфотипа по степени изношенности поверхности, развитию плёнок оксидов Fe и Mn, ассортименту минеральных включений, а также наличию практически беспримесной каймы хорошо сопоставляются с самородным золотом Среднекувужской россыпи (Глухов, 2018) и, скорее всего, таковым и являются. Очевидно, что их сфероидальная форма является следствием естественной голтовки в водном потоке при формировании россыпи.

Характер сростаний сфероидов золота второго и третьего морфотипов в агрегатах, присутствие корочек стекла и шлака на поверхности и расплавных включений в матрице золота свидетельствуют об их кристаллизации из расплава. Весьма вероятно, что и необычный полигонально-мозаичный бугристо-ячеистый рельеф сфероидов второго морфотипа обусловлен высокой скоростью остывания капелек расплавленного золота. Подобная ячеистая структура поверхности искусственных Au-Ag-Cu-сфероидов была описана в работе Н. В. Бердникова (Berdnikov, 2023) в экспериментах по охлаждению в воздухе при нормальных условиях расплава 14-каратного золотого лома. О высокой температуре формирования описываемых сфероидов свидетельствуют участки, обогащенные примесями металлов платиновой группы, в том числе тугоплавких платиноидов — Ru, Os, Ir — в золоте и участки Zr-Si-Al-состава в стеклах и шлаке. Наличие этих примесей позволяет предполагать минимальную верхнюю границу температуры их образования от 1700 (t пл. Pt — 1774 °C) до 3000 °C (t пл. Os — 3027 °C).

Местное происхождение изученных образцов доказывает состав корочек стёкол и шлаков, удовлетворительно соответствующий примерно химическому составу смеси лёгкой (кварц, полевые шпаты, слюды, хлорит) и тяжёлой (гранат, циркон, эпидот, гётит,

ильменит) фракций аллювиальных отложений россыпи. Выявленные в виде минеральных включений в золоте железистая платина и иридий также встречаются в Среднекувужской россыпи в ассоциации с самородным золотом (Макеев, 1996).

Вызвала некоторые затруднения расшифровка природы экзотических выделений Sn-Pb-состава в золоте второго морфотипа. Однако, учитывая близкое количественное соотношение этих металлов во включениях в нашем образце и в баббите (антифрикционный сплав, используемый во вкладышах подшипников), а также факт использования различной техники при разведочных и добычных работах на россыпи, можно предположить, что первоначально это и был баббитовый сплав, фрагменты которого попали в тяжёлую фракцию концентратов.

Таким образом, приведенный анализ позволяет исключить магматогенную, вулканогенную и экзогенную версии происхождения второго и третьего морфотипов сфероидов золота. Наиболее вероятно их техногенная природа. Единственным источником столь высоких температур, достаточных для плавления золотосодержащего шлихового концентрата, могла служить только высокотемпературная плазма, возникающая при электросварке — вполне обычных работах при ремонте шлюзов промышленных промывочных приборов.

Выводы

Результаты проведенных исследований показывают, что типоморфными признаками изученных сфероидов природного россыпного золота служат механически изношенная поверхность с оксидными плёнками и минеральными включениями в кавернах и наличие высокопробной коррозионной каймы, свидетельствующей о естественном, природном происхождении золота.

Отличительными свойствами сфероидов техногенного золота являются:

- полигонально-мозаичный бугорчато-ямчатый рельеф;
- гладкая поверхность без признаков механического износа;
- развитие алюмосиликатных стёкол и шлаков в виде корок или включений в золоте;
- присутствие нехарактерных для самородного золота минеральных включений и примесей металлов платиновой группы, олова и свинца.

Их образование, по нашему мнению, вызвано воздействием на обогащенный россыпными золотом и платиноидами шлиховой концентрат высокотемпературной плазмы, возникающей при электросварочных работах во время ремонта шлюзов промывочных приборов.

Авторы благодарны работникам Института геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН Н. Х. Хачатурян, Т. Н. Бушенёвой и Д. А. Шушковой за выделение образцов из шлиховых концентратов, А.С. Шуйскому и Е. М. Тропникову — за выполнение микронзондовых исследований.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН по теме НИР «Фундаментальные проблемы минералогии и минералогического образования, минералы как индикаторы петро- и рудо-



генеза, минералогия рудных районов и месторождений Тимано-Североуральского региона и арктических территорий» (ГР № 122040600009-2).

Литература

- Бердников Н. В., Невструев В. Г., Кеpezжинская П. К., Крутикова В. О., Коновалова Н. С., Астапов И. А. Силикатные, железоксидные и золото-медь-серебряные микросферы в рудах и пирокластике Костеньгинского железорудного месторождения (Дальний Восток России) // Тихоокеанская геология. 2021. Т. 40. № 3. С. 67–84.
- Berdnikov N. V., Nevstruev V. G., Kopezzhinskaya P. K., Krutikova V. O., Konovalova N. S., Astapov I. A. Silicate, iron-oxide and gold-copper-silver microspherules in ores and pyroclastics of the Kostenginskoe iron ore deposit (Far East of Russia). Pacific Geology, 2021, V. 40, No. 3, pp. 67–84. (in Russian)
- Глухов Ю. В., Кузнецов С. К., Савельев В. П., Котречко Е. Ю. Золото из аллювиальных отложений Среднего Киввожа (Вольско-Вымская гряда, Тиман) // Известия Коми НЦ УрО РАН. 2018. № 1 (33). С. 49–59.
- Glukhov Yu. V., Kuznetsov S. K., Saveliev V. P., Kotrechko E. Yu. Gold from alluvial deposits of the Middle Kuvvozh (Volsko-Vymskaya ridge, Timan). Proc. Komi SC UB RAS, 2018, No. 1 (33), pp. 49–59. (in Russian)
- Дудар В. А. Россыпи Среднего Тимана // Руды и металлы. 1996. № 4. С. 80–90.
- Dudar V. A. Placers of the Middle Timan. Ores and Metals, 1996, No. 4, pp. 80–90. (in Russian)
- Жмодик С. М., Калинин Ю. А., Росляков Н. А., Миронов А. Г., Михлин Ю. Л., Белянин Д. К., Немировская Н. А., Спиридонов А. М., Нестеренко Г. В., Айриянец Е. В., Мороз Т. Н., Бульбак Т. А. Наночастицы благородных металлов в зоне гипергенеза // Геология рудных месторождений. 2012. Т. 54. № 2. С. 168–183.
- Zhmodik S. M., Kalinin Yu. A., Roslyakov N. A., Mironov A. G., Mikhlin Yu. L., Belyanin D. K., Nemirovskaya N. A., Spiridonov A. M., Nesterenko G. V., Ayriyants E. V., Moroz T. N., Bulbak T. A. Nanoparticles of noble metals in the hypergenesis zone. Geology of ore deposits, 2012, V. 54, No. 2, pp. 168–183. (in Russian)
- Калинин Ю. А., Жмодик С. М., Спиридонов А. М. Сфероидальное золото из латеритной коры выветривания // Россыпи и месторождения кор выветривания: современные проблемы исследования и освоения. Материалы XIV международного совещания по геологии россыпей и месторождений кор выветривания (РКВ-2010). Новосибирск: Апельсин, 2010. С. 290–294.
- Kalinin Yu. A., Zhmodik S. M., Spiridonov A. M. Spheroidal gold from lateritic weathering crust. Proceedings of the 14 International Meeting on the Geology of Placers and Weathering Crust Deposits (RKV-2010). Novosibirsk: Apelsin, 2010, pp. 290–294. (in Russian)
- Литвинцев В. С., Пономарчук Г. П., Банщикова Т. С. Морфологическая характеристика золота техногенных россыпей р. Джалинда и р. Ингали и проблемы его извлечения // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2005. С. 318–326.
- Litvintsev V. S., Ponomarchuk G. P., Banchshikova T. S. Morphological characteristics of gold from technogenic placers of the Jalinda River and B. Ingali River and problems of its extraction. Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal), 2005, pp. 318–326. (in Russian)
- Лукин А. Е. Минеральные сферы — индикаторы специфического флюидного режима рудообразования и нафтидогенеза // Геофизический журнал. № 6. Т. 35. 2013. С. 10–53.
- Lukin A. E. Mineral spherules as indicators of the specific fluid regime of ore formation and naftidogenesis. Geophysical Journal, No. 6, V. 35, 2013, pp. 10–53. (in Russian)
- Лукин А. Е. Самородно-металлические микро- и нановключения в формациях нефтегазоносных бассейнов — трассеры суперглубинных флюидов // Геофиз. журн. 2009. Т. 31. № 2. С. 61–92.
- Lukin A. E. Native-metallic micro- and nanoinclusions in formations of oil and gas bearing basins — tracers of superdeep fluids. Geophysical Journal, 2009, V. 31, No. 2, pp. 61–92. (in Russian)
- Майорова Т. П. Редкие формы самородного золота — «усы» и сферокристаллы // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2010. № 9—1. С. 22–23.
- Mayorova T. P. Rare forms of native gold — «whiskers» and spherocrystals. Vestnik IG Komi SC UB RAS, 2010, No. 9—1, pp. 22–23. (in Russian)
- Макеев А. Б., Крапля Е. А., Брянчанинова Н. И. Платиноиды в аллювии и россыпях — ключ к поискам коренных месторождений платины в Республике Коми. Сыктывкар. 1996. 44 с.
- Makeev A. B., Kraplya E. A., Brianchaninova N. I. Platinoids in alluvium and placers — the key to the search for primary deposits of platinum in the Komi Republic. Syktyvkar, 1996, 44 p. (in Russian)
- Медведев Е. И., Молчанов В. П. Амальгама золота и её минералы-спутники (Дальний Восток, Приморье) // Фундаментальные исследования. 2013. № 11—5. С. 958–963. URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=33233>
- Medvedev E. I., Molchanov V. P. Gold amalgam and its satellite minerals (Far East, Primorye). Fundamental researches, 2013, No. 11—5, pp. 958–963. URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=33233> (in Russian)
- Никифорова З. С., Калинин Ю. А., Макаров В. А. Эволюция самородного золота в экзогенных условиях // Геология и геофизика. 2020. Т. 61. № 11. С. 1514–1534.
- Nikiforova Z. S., Kalinin Yu. A., Makarov V. A. Evolution of native gold under exogenous conditions. Geology and Geophysics, 2020, V. 61, No. 11, pp. 1514–1534. (in Russian)
- Новгородова М. И., Андреев С. Н., Самохин А. А., Гамянин Г. Н. Кавитационные эффекты в образовании минеральных микросферул в гидротермальных растворах // ДАН. 2003. т. 389. № 5. С. 669–671.
- Novgorodova M. I., Andreev S. N., Samokhin A. A., Gamyanin G. N. Cavitation effects in the formation of mineral microspherules in hydrothermal solutions. Doklady Earth Sciences, 2003, V. 389, No. 5, pp. 669–671. (in Russian)
- Татаринова А. В., Ялович Л. И., Ванин В. А. Сферические микрочастицы из золоторудных кварцевых жил Ирокиндинского месторождения (Западное Забайкалье) // Геодинамика и тектонофизика. 2016. Т. 7. № 4. С. 651–662. doi:10.5800/GT?2016?7?4?0226



- Tatarinov A. V., Yalovik L. I., Vanin V. A. Spherical microparticles from gold ore quartz veins of the Irokinda deposit (Western Transbaikalia). *Geodynamics and Tectonophysics*, 2016, V. 7, No. 4, pp. 651–662. doi:10.5800/GT?2016?7?4?0226 (in Russian)
- Янченко О. М., Ворошилов В. Г., Тимкин Т. В., Мартыненко И. В., Зиши Мансур. Морфология и состав золота кор выветривания Томь-Яйского междуречья // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2019. Т. 330. № 3. С. 84–92. DOI 10.18799/24131830/2019/3/166
- Yanchenko O. M., Voroshilov V. G., Timkin T. V., Martynenko I. V. Morphology and composition of gold in the weathering crusts of the Tom-Yaya interfluvium. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Engineering of georesources*, 2019, V. 330, No. 3, pp. 84–92. DOI 10.18799/24131830/2019/3/166 (in Russian)
- Berdnikov N., Kepezhinskas P., Krutikova V., Kozhemyako N., Konovalova N. Cu-Ag-Au Microspherules in Igneous Rocks: Morphology, Composition, Diagnostic Criteria and Possible Origin. *Minerals*. 2023; 13(6):819. <https://doi.org/10.3390/min13060819>
- Southam G., Lengke M. F., Fairbrother L., Reith F. The biogeochemistry of gold // *Elements*. 2009. V. 5. P. 303–307.
- Zhaochong Zhang, Jingwen Mao, Feusheng Wang and Franco Pirajno. Native gold and native copper grains enclosed by olivine phenocrysts in a picrite lava of the Emeishan large igneous province, SW China // *American Mineralogist*. 2006. V. 91. P. 1178–1183. doi.org/10.2138/am.2006.1888

Received / Поступила в редакцию 04.07.2023