

УДК 615.035.4

МИКРО-НОНОФОРМЫ ПРИРОДНОГО РТУТИСТОГО ЗОЛОТА ФАДЕЕВСКОГО РУДНО-РОССЫПНОГО УЗЛА (ПРИМОРЬЕ)

Медведев Е.И., Молчанов В.П., Ивин В.В.

ФГБУН «Дальневосточный геологический институт», Владивосток, e-mail: Cage21@mail.ru

Получены новые минералого-геохимические данные по морфологии выделения природного ртутистого золота. Применение современных методов анализа – атомно-силовой, сканирующей микроскопии и микрозондового анализа позволило установить присутствие на поверхности пленок ртутистого золота разнообразных по морфологии и составу микро-нанообособлений, таких как: трубки, спирали и фуллерены. Помимо этого, на фрактальных кристаллах ртутистого золота обнаружены характерные черты зон роста, ширина которых достигает от 100 до 500 нм. Вероятно, это указывает на то, что в формировании углеродистых толщ Фадеевского узла существенную роль играли углеводородные восстановленные флюиды глубинного происхождения, что позволяет по-новому взглянуть на генезис полезных ископаемых не только Фадеевского рудно-россыпного узла, но и других объектов страны, а также может стать предпосылками к возможной переоценке их промышленного потенциала.

Ключевые слова: микро-наноминералогия, амальгама золота, нанотрубки, сфероиды, спирали

MICRO-NONOFORMY NATURAL AMALGAM OF GOLD ORE-PLACER FADEEVSKOGO NODE (PRIMORYE)

Medvedev E.I., Molchanov V.P., Ivin V.V.

Far East Geological Institute, Vladivostok, e-mail: Cage21@mail.ru

Obtained new mineralogical and geochemical data on the morphology of natural selection rtutistogo gold. The use of modern methods of analysis – the atomic force, scanning electron microscopy and microprobe analysis allowed to determine the presence of surface films rtutistogo gold, a variety of morphology and composition of micro-nanoobosobleny. Such as tubes, spirals, and fullerenes, in addition to the fractal crystals rtutistogo gold, discovered the characteristics of growth zones in width reaches from 100 to 500 nm. Which is likely, it indicates that the formation of carbonaceous strata Fadeevskogo site played an important role recovered hydrocarbon fluids of deep origin that provide a new look at the genesis of minerals not only Fadeevskogo ore-placer site, but other sites throughout the country, and may be a precursor to a possible re-evaluation of their industrial capacity.

Keywords: micro-nanomineralogy, amalgam of gold, nanotubes, spheroid, spiral

Площадь Фадеевского рудно-россыпного узла располагается в пределах Западно-Приморской структурно-формационной зоны, которая рассматривается одними исследователями как геосинклинально-складчатая, другими – как новообразованная структура рифтогенного типа, третьими – как составной террейн, образовавшийся в результате сложных процессов коллизии, аккреции и орогенеза. По мнению авторов, исследуемая площадь относится к активной зоне окраины протерозойского континента – Ханкайский террейн [7].

В геологическом строении Фадеевского рудно-россыпного узла принимают участие силурийские (S_{1-2} , кордонкинская свита) отложения (базальто-кремнисто-туфогенными, кремнисто-глинистыми, аргиллитовыми и туфогенно-песчаниковыми породами), которые перекрываются вулканогенно-осадочными толщами (эффузивами кислого состава) пермского (P_{1-2}) возраста. На территории узла известны два интрузивных массива: Софье-Алексеевский (сложенный в зоне эндоконтакта диабазами и пироксенитами, в ядре – анортозитами) и Байкальский (диабазы), приуроченный к ядру одноименной антиклинали. С вмещающими породами кордонкинской свиты он зачастую имеет

тектонические контакты и разбит на отдельные блоки разрывами, сопровождающиеся милонитизацией, катаклизмом, зонами дробления, интенсивными вторичными изменениями пород и зонами с рудной минерализацией. Массив слабо эродирован, содержит ксенолиты и отдельные блоки ороговикованных вмещающих пород. Массив сложен различными габроидами часто амфиболитизированными и калишпатизированными и обнаруживающими фациальные переходы к базальтам и диабазам. Детальное петрографическое изучение его западной части позволило выделить элементы его расщепленности и три основных группы пород:

1. Габбро-плагиоклазы (деанортизированные анортозиты) – габбро-диориты – диориты;

2. Субщелочные породы – сиениты (шонкиниты бесфельдшпатоидные лейкократовые и меланократовые);

3. Гибридные субщелочные породы (габбро – диабазы – микродиориты и базальты).

Причем, наблюдаемое при этом (чередование (расслоенность) лейкократовых и меланократовых разновидностей) обычно присуще габброидам и сиенитовым породам. В сиенитовых иногда наблюдается субпараллельная ориентировка пластинчатых, столбчатых

кристаллов калишпата реже – удлиненно-призматических зерен пироксена, которые подчеркивают текстуру течения. В целом габороиды западной части интрузива (по сравнению с центром) имеют более повышенную трещиноватость, часто рассланцованы, катаклазированы, милонитизированы, иногда с бластезом перетертой массы и наложенным брекчированием (до политектонитов).

С точки зрения промышленно значимой благородной минерализации на рассматриваемой территории выделяются три продуктивные ассоциации: первая – Au-Cu-Pd, содержащая золото, минералы элементов платиновой группы и хромиты, генетически связанные с основными и ультраосновными (базиты) породами; вторая – Au-Ag-Fe-S, включает золото, сульфиды (пирит, апсеносиригит и т.д.) и кварц, связанная с деятельностью гранитоидного магматизма; третья Au-Hg-Pt-S, представленная ртутистым золотом, платиной, киноварью и сопутствующими минералами углерода: кусонгит, муасонит, когенит, самородными металлами (железо, цинк, медь) и их интерметаллическими соединениями – вероятно, связанной с деятель-

ностью глубинных восстановленных флюидов. Детальное изучение ртутистого золота ранее неизвестной Au-Hg-Pt-S ассоциации позволило выделить три морфологических типа: 1 – примазки на ильменитах; 2 – фрактальные кристаллы; и 3 – сфероидальные образования [2, 3].

Микро-наноминералогическое изучение ртутистого золота («примазок на ильменитах» и «фрактальных кристаллов») было выполнено с применением современной приборной базы: методами электронной сканирующей (EVO-50) и атомно-силовой (Solver) микроскопии оснащенных энергодисперсионными спектрометрами JVCA Energy; локального микроспектрального анализа (JEOL 8100). Это позволило обнаружить на поверхности «примазок на ильменитах» и «фрактальных кристаллов» разнообразные по морфологии и составу микро-наноформы ртутистого золота, а также его зоны роста на боковых гранях фрактальных кристаллов. На пленках, покрывающих кристаллы ильменита, представленных на рис. 1 а, б наблюдались следующие морфологические типы микро-нанообособлений:

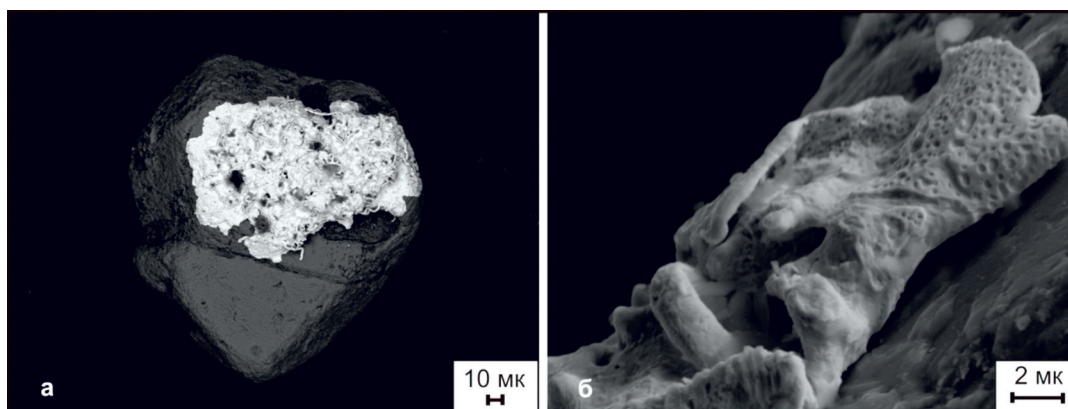


Рис. 1 Кристалл ильменита с ртутистым золотом на его поверхности (а) и увеличенный фрагмент ртутистого золота пленочного типа (б)

Трубки, спирали и сфероиды (рис. 2 а, б, в, г, д, е). Установлена неоднородность составов наноструктур, которая возможно, является следствием их кристаллизации из газовой фазы рудоносных флюидов. Первый тип – *трубчатые формы* – получил наиболее широкое развитие. Длина трубок варьирует от 4–10 мкм при внешнем диаметре до 0,3–1,0 мкм. Толщина стенок нонотрубчатых образований колеблется от 100 до 500 нм. Главным компонентом нанотрубок является Au (80–95 мас. %), в меньших количествах присутствует Hg (0–6 мас. %). Просматривается четкая тенденция в распределении этих элементов в пределах нанотрубок, увеличение содержания золота от основания к краю.

Установлено, что набор основных примесей нанотрубок такой же, как и у нанопленок: С, О, N, Ti, и Fe (0,4–1,9 мас. %); реже Al, Rb, Вг (до 2 мас. %). Примечателен факт снижения содержаний Ti и Fe в нанотрубках по мере их удаления от минеральной матрицы – ильменита (FeTiO_3), что, вероятно, можно объяснить особенностями их сингенетического происхождения. Кроме того, в нанотрубках часто наблюдается обратная зависимость между содержанием N и O.

Второй тип *наноспиралей* обнаружен на участках поверхности пленок с подавляющей концентрацией золота (Au–95 мас. %, из других примесей присутствует только С).

Их образование, вероятно, следует увязывать с процессом геликоизации нанотрубок (формирование микроскопических спиралей), берущим свое начало из строения атома [5]. Длина спирализующихся наночастиц 3–4 мкм при диаметре 500–600 нм и толщине стенок менее 100 нм (рис. 2 б, г). Эволюция химического состава наноспиралей, в направлении от основания к краю, прямо

противоположна изменению химизма нанотрубок: падают концентрации золота и растут концентрации Hg, Fe, Ti. Проследживается вынос этих элементов из золотой пленки. Возможно, это явление в числе прочих (наличие винтовых осей в кристаллизующемся веществе структурных дефектов и т.д.) и послужило причиной закручивания нанотрубок в спирали.

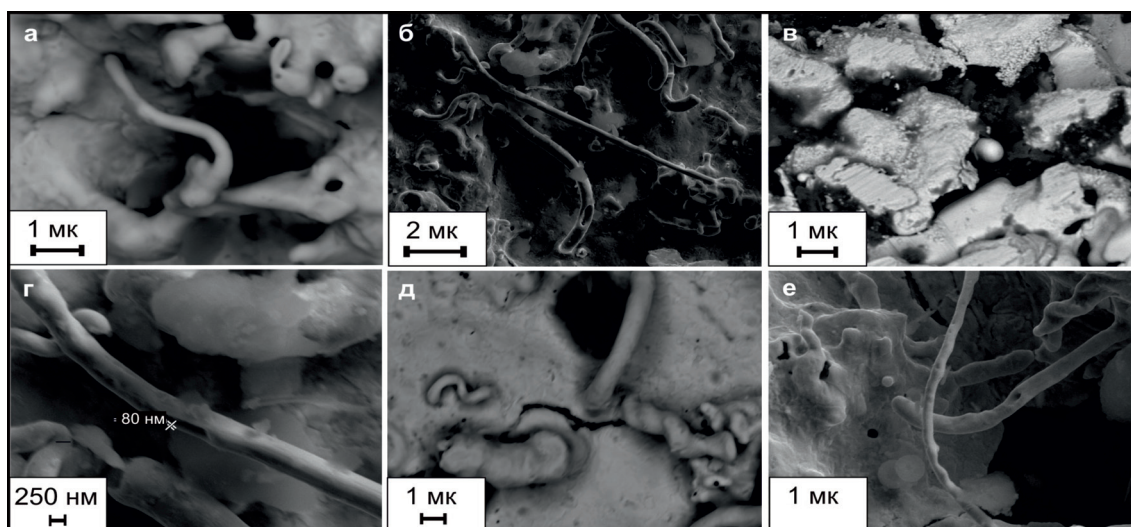


Рис. 2. Золотые микро-нанобословия: а – трубки, б, д – спирали, в, е – сфероиды, г – увеличенный фрагмент спирали (с толщиной стенки 80 нм). Изображение в обратно отраженных электронах

Третий тип наноиндивидов – сфероиды – отвечают первоначальной форме нанокристалла (фулерен) с предельно малыми размерами, диаметром менее 100 нм (рис. 2 в, е). Их элементный состав такой же, как и спиралей, что свидетельствует об общности рудоносных флюидов, из которых они образовались. Отличие – обеднение сфероидов золотом (до 60–65 мас.% Au) и обогащение примесями кислорода, углерода и кремния (O – 13мас.%, C – 7мас.%, Si – 3,2 мас.%), что, по-видимому, является отражением общих тенденций в формировании различных типов наноиндивидов, а именно влиянием состава матрицы.

Фрактальные кристаллы ртутистого золота, представленные угловатыми скульптурными формами (рис. 3, а) [2, 5]. При детальном их изучении установлены следующие вариации состава: Au от 75–86 мас.%, Hg 19–20 мас.% и Ag 2,2 до 3,4 мас.%. Наличие пористой структуры амальгамы золота при отсутствии матрицы, вероятно, свидетельствует о том, что здесь кристаллизация благородного металла происходила из флюида (аэрозоля) существенно газового состава, вследствие чего кластеры захватывали свободное пространство [1, 4]. В целом характерной особенностью для фрактальных

кристаллов является наличие зон роста на их боковых гранях. Ширина зон роста варьируется от 70 до 600 нм. (рис. 3, б), что указывает на неравновесные условия в их образовании.

Полученные результаты исследований по морфологии выделения амальгам золота, по преобладанию округлых сфероидальных микрокристаллических агрегатов и зон роста на фрактальных кристаллах подтверждает сделанный нами ранее вывод, что их кристаллизация происходила в результате конденсации высокотемпературных углеродизированных металлоносных флюидов, которые могут возникнуть при агрегации замкнутых молекул, где все атомы находятся на сфероидальной поверхности. Такое формирование наноструктур обычно происходит, в неравновесных условиях, при газотранспортных реакциях. Косвенно это подтверждает и присутствие ртути в данной минеральной ассоциации (амальгамы золота), что по представлениям многих исследователей (Гореликова Н.В., и др., 1986) это указывает на глубинность флюидопотоков продуцирующих Au оруденение. Ранее Н.А. Озерова отмечала приуроченность Hg-содержащих флюидов к разрывным нарушениям планетарного масштаба, в которых, по ее мнению, ртуть ассоциируется с «мантийным» гелием [6].

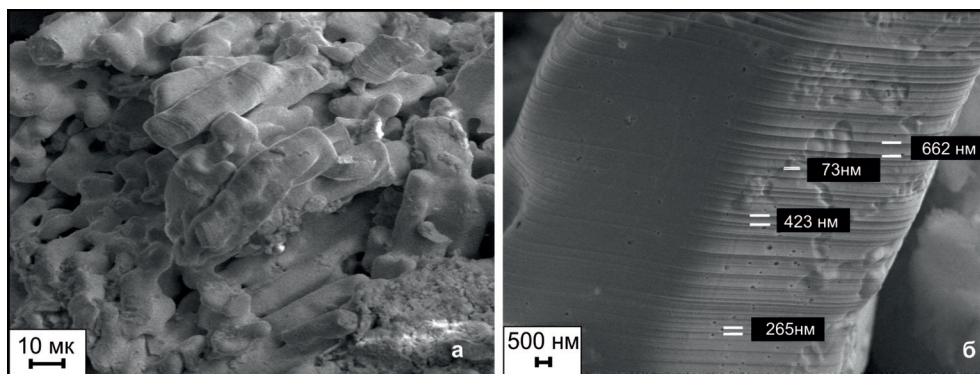


Рис. 3. Фракталлы ртутистого золота (а), слои роста микро-нанометровой ширины (б) с элементом микрористой текстуры

Полученные уникальные данные по морфологическим микро-наноразновидностям и минералого-геохимическому составу амальгам золота, позволяют по-новому взглянуть на генезис полезных ископаемых и могут стать предпосылками к возможной переоценке их промышленного потенциала.

Список литературы

1. Васильев В.И. Минералогия ртути. Ч.1 Самородные металлы и их твердые растворы, амальгамиды, арсениды, антимониды, теллуриды, селениды. Новосибирск: Изд-во: СО РАН «Гео». – 2004. – 150 с.
2. Медведев Е.И., Молчанов В.П. Амальгама золота и её минералы спутники (Дальний Восток, Приморье) // Фундаментальные исследования. – 2003. – №11. Ч 5. С. 958–963.
3. Медведев Е.И. Самородные металлы в углеродсодержащих породах Фадеевского рудно-россыпного узла // Молодой ученый. 2012. – Т. 1, № 11 (46). – С. 134–137.
4. Молчанов В.П., Моисеенков В.Г., Хомич В.Г. Минералы благородных металлов россыпей Фадеевского узла (Приморье) как индикаторы формационной принадлежности коренных источников // ДАН. – 2005. – Т. 402, № 5. – С. 661–664.
5. Наноминералогия. Ультра и микродисперсное состояние минерального вещества Под ред. Н.П.Юшкина, А.М. Асхабова, В.И. Ракина. СПб.: Наука, 2005. – 581 с.
6. Озерова Н.А. Ртуть и эндогенное рудообразование. М., Наука, 1986. – 155 с.
7. Ханчук А.И., Голозубов В.В., Бялобжевский С.Г. // Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России. Владивосток: Дальнаука, 2007. – Т. 1. – С. 93–225.

References

1. Vasilyev V.I. Mineralogy mercury. P.1 Native metals and their solid solutions, amalgamids, arsenides, antimonides, tellurides, selenides. (Novosibirsk: SB RAS «Geo». 2004.) [in Russian].
2. Medvedev E.I., Molchanov V.P. Natural gold amalgam and minerals satellites (Far East, Primorye), *Fundamental research*, 2013. no. 11 (part 5), pp. 958–963.
3. Medvedev E.I. Native metals in carbonaceous rocks Fadeevskogo ore-placer node *Journal of Young scientist*, 2012, Vol.1, no. 11(46), 134 p.
4. Molchanov V.P., Moiseenko V.G., Khomich V.G., *Dokl. Earth Sci.* 403 (5), 661–664 (2005) [*Dokl. Akad. Nauk* 402 (5), 661–664 (2005)].
5. Nanomineralogy. Ultra and Microdisperse State of Mineral Matter, Ed. by N.P. Yushkin, A.M. Askhabov, V.I. Rakin (Nauka, St. Petersburg, 2005) [in Russian].
6. Ozerova N. A., *Mercury and Endogenous Ore Formation* (Nauka, Moscow, 1986) [in Russian].
7. *Khanchuk A.I., Golozubov V.V., Byalobzhevskii S.G. V kn.: Geodinamika, magmatizm i metallogeniya Vostoka Rossii. Vladivostok: Dal'nauka, 2007. T. 1. pp. 93–225.*

Рецензенты:

Кемкин И.В., д.г.-м.н., профессор, заведующий лабораторией Стратиграфии, ДВГИ ДВО РАН, г. Владивосток;

Гвоздев В.И., д.г.-м.н., заведующий лабораторией Минерагении благородных районов, ДВГИ, г. Владивосток.

Работа поступила в редакцию 08.08.2014.