

## ТИПИЗАЦИЯ НАНОФОРМ ЗОЛОТА В ГЕОГЕННОМ И ТЕХНОГЕННОМ МИНЕРАЛЬНОМ СЫРЬЕ

**Воробьев А.Е.<sup>1</sup>, Ибрагимов Р.<sup>1</sup>, Шамшиев О.Ш.<sup>2</sup>, Маралбаев А.О.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

<sup>2</sup>Кызылкийский институт природопользования и геотехнологии, Кызыл-Кыя

<sup>3</sup>ИГД и ГТ Бишкек, Кыргызстан, [eakr.info@gmail.com](mailto:eakr.info@gmail.com)

**Аннотация:** В статье рассматриваются невидимые, тонкодисперсионные типы золота и их типизация.

**Ключевые слова:** структурно-вещественный комплекс, агрегаты наночастиц золота

## TYPIZATION OF GOLD NANOFORM IN GEOGENOUS AND TECHNOGENIC MINERAL RAW MATERIALS

**Vorobyov A.E.<sup>1</sup>, Ibragimov R.1, Shamshiev O.SH.<sup>2</sup>, Maralbaev A.O.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Kvzvylkiv Institute of Nature Manaaement and Geotechnoloav. Kvzvyl-Kva

<sup>3</sup>IGDiGT them. Acad. U. Asanalieva KSTU named after I. Razzakov, Bishkek, Kyrgyzstan

**Abstract:** This article "Typification of the nanoforms of gold in geological and technogenic raw materials" describes invisible. fine arained tvpes of aold and their tvpification.

**Key words:** structural-material complex, aggregates of gold nanoparticles

Вопросами золотоносности структурно-вещественных комплексов слагающих земную кору занимались многие исследователи мира. В середине 80-годов прошлого столетия, когда были выявлены крупнейшие месторождения золота в углеродистых и углеродосодержащих комплексах Мира, в том числе Евразии (Урал, Сибирь, Ц. Азия), внимание на его исследования уделялось еще больше. В этот период были выявлены крупнейшие золоторудные регионы Мурунтау в Узбекистане, Кумтор в Кыргызстане, Бакырчик в Казахстане и группа месторождений, Рудного Алтая. В кыргызском Тянь-Шане данные образования получили широкое распространение и охватывали широкий возрастной диапазон от криптозоя до фанерозоя.

Всестороннее исследование данных комплексов свидетельствовали о повышенных количествах в них невидимого золота иногда до 40г/т (м.р. Турук). Главной особенностью являлось определение его агрегатного состояния, о существовании связи видимого золота с определенными минералами. Отсутствие видимого золота, а так же корреляции его с другими минералами в то же время прямая корреляция с органическим веществом позволяло предполагать о металлоорганической форме нахождения. С другой стороны слабое развитие микро оборудования по исследованию нано форм золота усугубляло вышеуказанные проблемы. При этом на гипотетическом уровне рассматривались возможное распространение других его форм. К настоящему времени экспериментально (инструментальными методами) установлено, что доля самородного (крупного, видимого) золота в рудах различных золоторудных месторождений редко превышает 30%, а его основную часть (рис. 38) представляет так называемое (ионное и кластерное) золото.

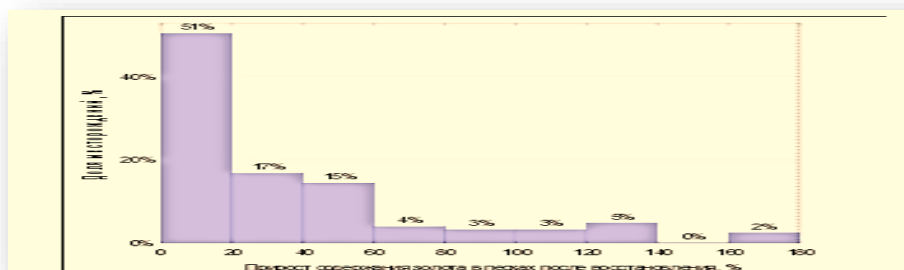


Рис. 38. Прирост объема россыпного золота при учете его наноформ [Усманова Н.Ф.]

В частности, значительное количество наноразмерного золота оказалось сконцентрировано в железо- и свинецсодержащих минералах аллювиальных и техногенных россыпей. Здесь (наряду с традиционными минералами-концентраторами золота) были выявлены и довольно необычные минералы, содержащие золото наноразмерного уровня: рутил, монацит и галенит. К тому же, в тонкодисперсной массе, покрывающей значительную часть поверхности обычных (видимых) золотин, были обнаружены многочисленные выделения новообразованного золота, размером от 3 мкм до 100-150 нм.

Это новообразованное (вторичное) золото приурочено преимущественно к различным углублениям, имеющимся на поверхности частиц «старого» (первичного) золота [Осовецкий Б.М., Баранников]. Наиболее распространенным типом таких выделений являются округлые наноразмерные агрегаты (50-100 нм), состоящие в свою очередь из более мелких, размером 10-20 нм, довольно прочно сцементированных между собой (рис. 39).

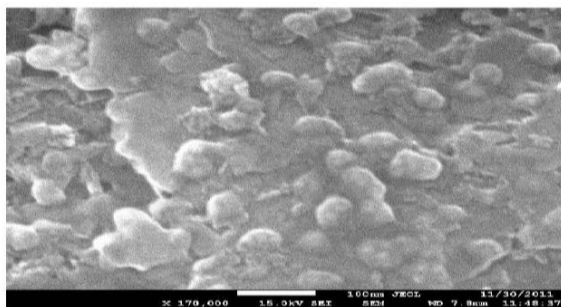


Рис.39. Агрегаты наночастиц золота на поверхности его более крупн. частиц [Осовецкий Б., Баранников]

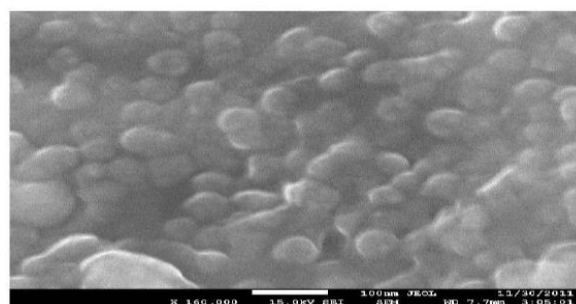


Рис.40. Участок поверхности с плотным расположением наночастиц золота [Осовецкий Б., Баранников]

С течением времени, близко расположенные агрегаты вторичного золота объединяются (под действием цементации и т.п. процессов) друг с другом в довольно сложные по форме агломераты (рис. 40), размеры которых нередко превышают 100 нм.

Анализ электронных фотографий показывает, что подобные агрегаты наночастиц золота могут образовывать даже несколько слоев, располагающихся друг над другом.

Необходимо отметить, что в большинстве более крупных агрегатов (300-200 нм) слагающие их наночастицы золота (рис. 41) также имеют относительно крупные размеры (обычно 50-70 нм) [Осовецкий Б.М., Баранников].

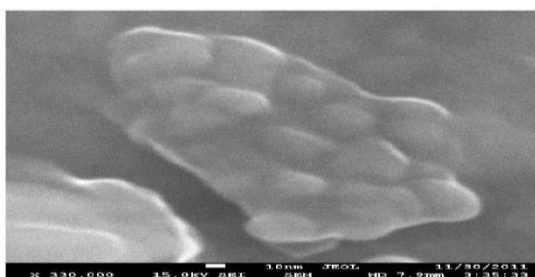


Рис. 41. Один из крупных агрегатов наночастиц золота [Осовецкий Б.М., Баранников]



Рис. 42. Структура наиболее мелких агрегатов [Осовецкий Б.М., Баранников]

В некоторых рудах плотность расположения в агрегате наночастиц вторичного золота (рис. 42) относительно небольшая, отчего они часто даже не соприкасаются друг с другом.

Чаще всего наночастицы первичного золота приурочены к агрегатам слюдяных минералов, несколько реже встречаются в основной слабо дифференцированной тонкодисперсной массе и в скоплениях гидроксидов железа.

Судя по яркости видимых на электронных фотографиях наночастиц золота, одни из них находятся непосредственно на поверхности вмещающих минералов и поэтому выглядят как яркие белые точки, а другие же - внутри этих минералов и представлены в виде менее ярких (слегка размытых) белых точек.

Необходимо отметить, что покрытие золотин наноразмерной «шубой» явление не уникальное. Так, в россыпи Естошор (расположенной в северной части хребта Манитаньрд

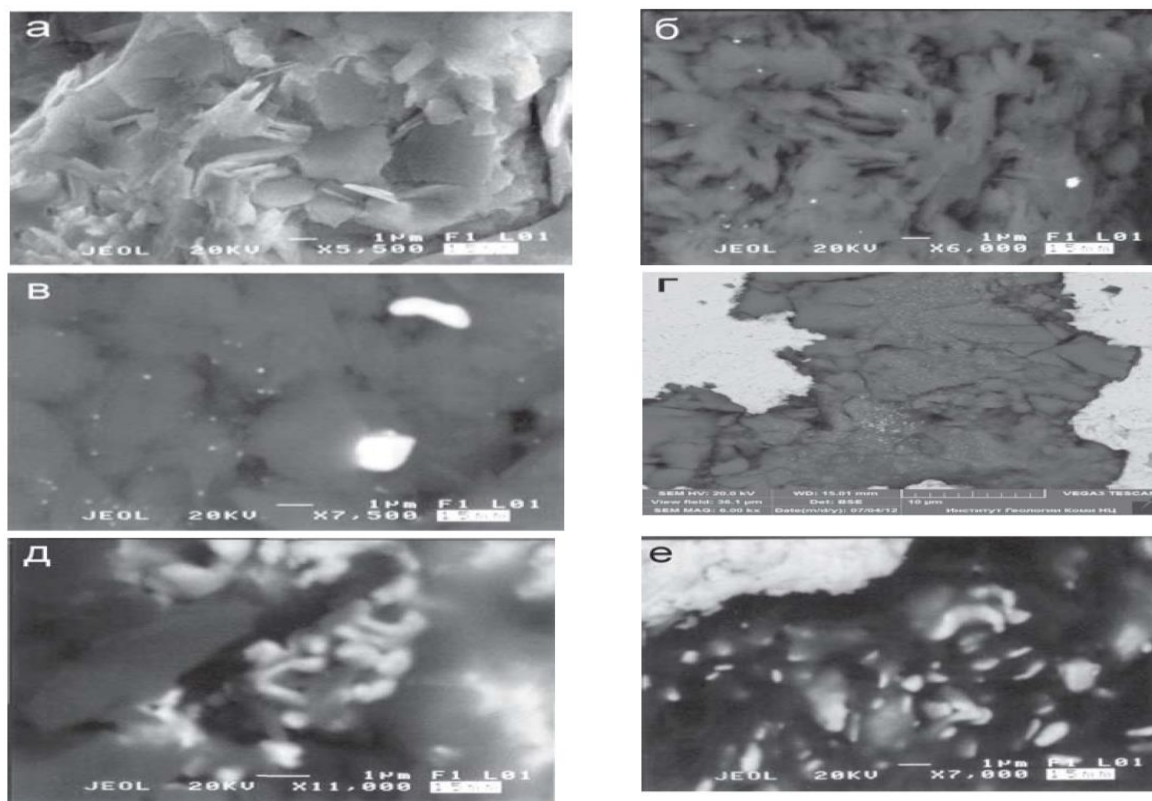


Рис. 43. Тонкодисперсные минералы на поверхности золотин [Майорова]:

а, б - слюды и гиллослюды; в - гиллосилы железа; г-е - тонкодисперсная окисльно-алюмосиликатная масса (темное); б-е-наночастицы золота (белое). Золотины из россыпей п. Кыввож (а-в). р.ч. Ветвистый (д), р.ч. Кыяншор (е). РЭМ-изображения во вторичных (а, г) и упругоотраженных (б, в, д, е) электронах.

на Полярном Урале, Россия) часть золотин разной степени окатанности также оказалась покрыта тонкодисперсной силикатной массой, содержащей густую вкрапленность нановыделений золота (100-400 нм) типа «звездного неба» (см. рис. 43, г).

Нановыделения золота в агрегатах высокодисперсных минералов, покрывающих поверхность кластогенных золотин, были установлены и в аллювии р.ч. Ветвистый и Кыяншор на Приполярном Урале (Россия) [Майорова]. Здесь наночастицы золота (см. рис. 43, д) оказались приуроченными к тонкодисперсной массе алюмосиликатов.

Тем не менее, имеющиеся в составе золотосодержащих руд различные многообразные наноформы золота еще довольно слабо изучены [Сазонов А.М., Звягина]. Причина этого несоответствия – отсутствие ранее должной инструментальной базы, не позволяющей выявить в рудах кластерное золото нанометровой размерности.

И только после открытия на севере штата Невада (США) месторождений золота в массивах частично метаморфизованных осадочных карбонатно-алюмосиликатных пород, с концентрированием его как в различных сульфидах, так и в углистом веществе (так называемый карлинский тип), с преобладающим размером выделений золота менее 5 мкм, стало очевидным, что изучение многообразных наноформ его нахождения в рудах должно быть проведено более детально и на принципиально новой инструментальной аналитической базе [Шумилова].

Так, характерной особенностью руд карлинского и аналогичных типов является частое наличие «невидимого» золота [Шумилова]. При этом невидимые наноформы золота обычно концентрируются в арсенопирите, пирите, пирротине и различных оксидах металлов (хромите, кварце и магнетите) и в меньшей степени – в карбонатах, силикатах и органическом веществе [Сазонов А.М., Звягина].

На основе полученных результатов натурных и экспериментальных исследований золотосодержащих руд многих месторождений была разработана концепция «естественных нанотехнологий», т.е. природных физико-химических процессов, происходящих в литосфере в областях нанометровых размеров, которые приводят к формированию минеральных наноструктур, наноансамблей и нанопарагенезисов с аномальными физико-механическими свойствами.

В частности, необходимо отметить, что с течением времени в процессе гипергенеза в россыпях обычно происходит разрушение золотосодержащих минералов с неизбежным высвобождением нанозолота (сначала «нового», а затем и «старого»), с последующими его миграцией, переотложением и агрегированием.

Так, Н.В.Петровская, рассматривая особенности распределения тонкодисперсного (0,5-10 мкм) золота, пришла к довольно важному выводу: «Частицы тонкодисперсного золота распространены значительно более широко, чем видимые золотины. Они присутствуют во всех рудных месторождениях не только золота, но и многих других металлов, где видимое золото не встречается, а также рассеяны в больших массах гидротермально измененных пород».

Кроме этого исследования посредством электронно-зондового микроанализатора убого-сульфидных золото-кварцевых и других руд позволили выявить, что так называемые «редкие», «второстепенные» и «малораспространенные» теллуриды, селениды, сульфосоли и т.д. имеют довольно широкое распространение в литосфере в виде различных многочисленных нановключений, образующих закономерные наноансамбли с определенными соединениями золота.

Формирование основных морфологических типов нанозолота обычно объясняют, исходя из известных механизмов кристаллизации вещества из промежуточного (кватеронного) его состояния.

В результате чего они могут иметь форму различных дендритов, колец, конусов, многогранников, сфер, стержней, чешуек и т.д., а также множества комбинаций из этих довольно простых форм и фрактальных агрегатов.

В частности, в тонкодисперсных рудах золоторудных месторождений Бакырчинского рудного района (Казахстан) были встречены нанотрубки (как полые, так и заполненные), сферические и ограненные наноструктуры, однослойные и многослойные, уплотненные и плотные (непрозрачные). При этом, округлые или сферические наноструктуры, заполненные металлом – обычно непрозрачные, а заполненные наночастицами арсенидов, сульфидов, сульфосолей, карбидов и оксидов – полупрозрачные или практически полностью прозрачные [Марченко].

Подобные нанотрубки были встречены как в нанослоях золотоносных сульфидов (арсенопиритов и пиритов), так и в среде твердого углеродистого вещества (шунгита), находящегося в тесной парагенной ассоциации с сульфидами [Марченко].

Необходимо отметить, что наноструктурированные образования золота (включающие наноформные минералы) на месторождениях Васильевское и Кварцитовые Горки (Казахстан), в значительной степени отличаются от имеющихся наноструктур Бакырчинского района [Марченко]. В частности, было установлено, что на месторождении Кварцитовые Горки более развиты фуллереноподобные структуры, отличающиеся меньшей размерностью и ограненностью, а также существенно большей плотностью.

К тому же зачастую здесь встречаются скопления очень мелких фуллереноподобных наноструктур золота, как правило, стянутые и объединенные между собой в дендриды. В результате нанотрубки золоторудного месторождения Васильевское часто образуют плотные дендритоидные срастания, плавно переходящие в различные пленкоподобные образования.

Кроме этого, образовавшиеся из природных металлоносных растворов (флюидов) наночастицы золота часто бывают и рентгеноаморфными [Сазонов А.М., Звягина].

В то же время самые маленькие наночастицы золота почти всегда имеют сферическую форму [Сазонов А.М., Звягина]. Так, сферические частицы золота со следами кристаллографических граней размером менее 1 мкм широко распространены в халцедоновидном кварце эпitherмальных золоторудных месторождений. Здесь скопления выделений микронного золота пигментируют скрытозернистые агрегаты кварца в желтый, бурый и коричневый цвета.

«Новое» золото также зачастую представлено одиночными округлыми наночастицами размером 50-100 нм, в которых в основном не наблюдается явно выраженного агрегатного строения (рис. 44 и 45). Для данного типа характерен сравнительно узкий диапазон размеров, с преобладанием индивидов крупностью 50-60 нм [Осовецкий Б.М., Баранников].

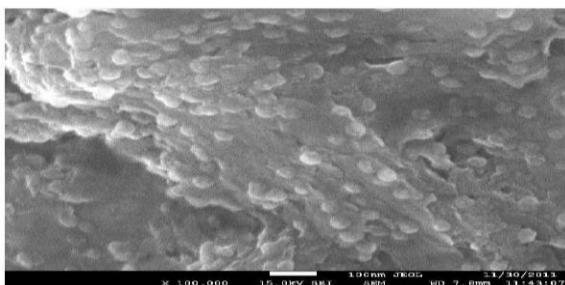


Рис.44. Скопления округлых наночастиц в неровностях поверхности золота [Осовецкий Б.Баранников]

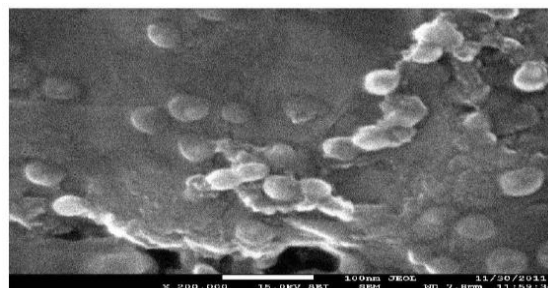


Рис.45. Участок поверхности с редкими наночастицами золота [Осовецкий Б.Баранников]

При этом наночастицы золота могут быть как изолированными, так и окруженными газообразной жидкой или твердой средой [Сазонов А.М., Звягина].

Однако, на многих снимках с увеличением свыше 300 тыс. раз отчетливо проявляются особенности внутреннего строения агрегатов «нового» (вторичного) золота разной крупности [Осовецкий Б.М., Баранников]. Эти сферические наночастицы золота (независимо от их размера) состоят из ядра и некоторой оболочки. Имеющаяся оболочка (поверхностный слой) защищает ядро от возможных внешних воздействий и существенно влияет на изменение исходных физико-механических свойств наночастиц золота [Сазонов А.М., Звягина].

Обычно, нанослой минералов представляет собой поверхностную неавтономную фазу, характеризующуюся существенной поглотительной способностью в отношении различных микроэлементов, чем объясняется довольно активная роль реальных кристаллов (арсенопирита и пирита) в пределах 100-300 нанометрового окисленного слоя [Марченко].

Это объясняется тем, что в поверхностном нанослое, как правило, сосредоточены основные дефекты минеральной структуры (искажения углов и длин связей, а также определенная нестехиометрия состава), а кроме этого и некоторые примеси (атомы, попадающие в минеральную матрицу из окружающей среды).

Кроме этого, нанозолоту принадлежит одно из первых мест по распространенности в виде различных дендритов, причем в этом случае господствующей формой является двумерная, в подавляющем своем большинстве - тонкопластинчатая (с соотношением наибольшего поперечника к его толщине близким к 10:1 и более).

Дальнейшие электронно-микроскопические исследования золотосодержащих руд выявили [Марченко]: самородные, овальные и изометричные (вытянутые по одной оси) золотины, развитые в углеродистом веществе в тесной ассоциации с платиноидами. Часто такие зерна золота и платины состоят из тончайших наноразмерных микроглобул.

Было установлено, что в подобном рудном шлихе преобладает 3 вида золота: тончайшее пылевидное золото; золото на периферии разложившихся сульфидов, микронное; золото в пленке битума (черное золото).

Детальное изучение ртутистого золота на площади Фадеевского рудно-россыпного узла (Россия) из ранее неизвестной Au-Hg-Pt-S ассоциации позволило выявить 3 морфологических типа и дополнительно еще один тип был выделен на других золотосодержащих месторождениях: примазки на ильменитах; наноспираль; сфероидальные образования; фрактальные кристаллы.

Непосредственное наноминералогическое инструментальное изучение ртутистого золота («примазок» на ильменитах и «фрактальных» кристаллов) было выполнено с применением современной приборной базы [Медведев]:

- методов электронной сканирующей (EVO-50) и атомно-силовой (Solver) микроскопии, оснащенных энерго-дисперсионными спектрометрами JVCA Energy;
- локального микроспектрального анализа (JEOL 8100).

В частности, на пленках, покрывающих кристаллы ильменита наблюдались следующие морфологические типы нанобособлений: трубки, спирали и сфероиды.

В результате проведенных на золотосодержащих месторождениях инструментальных исследований было выявлено несколько типов рудных наночастиц золота.

Первый тип – трубчатые формы – получил наиболее широкое развитие в природных золотосодержащих рудах. Длина таких трубок варьирует от 4-10 мкм, при внешнем диаметре до 0,3-1,0 мкм.

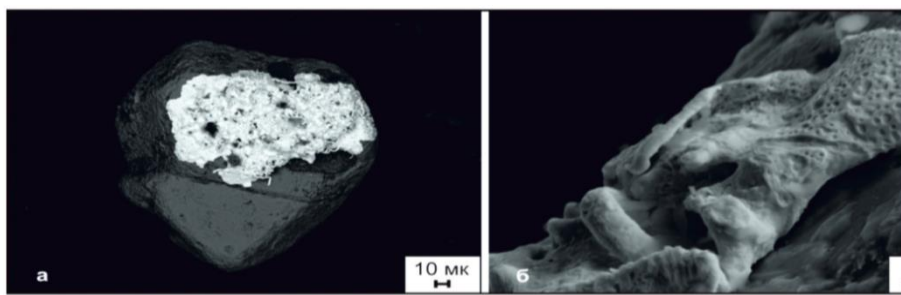


Рис. 46. Кристалл ильменита с ртутистым золотом на его поверхности (а) и увеличенный фрагмент ртутистого золота пленочного типа (б) [Медведев]

Толщина стенок таких нонотрубчатых образований колеблется от 100 до 500 нм. Главным компонентом таких нанотрубок является Au (80–95 мас. %), в несколько меньших (0-6 мас. %) количествах присутствует Hg. Экспериментально была выявлена четкая тенденция в распределении этих элементов в пределах нанотрубок, с увеличением содержания золота от их основания к краю.

Кроме этого, было установлено, что набор основных примесей такой же, как и у нанопленок [Медведев]: C, O, N, Ti и Fe (0,4–1,9 мас. %), несколько реже Al, Rb и Br (до 2 мас. %). Довольно примечателен и факт снижения содержаний Ti и Fe в нанотрубках по мере их удаления от минеральной матрицы – ильменита ( $\text{FeTiO}_3$ ), что, вероятно, можно объяснить особенностями их сингенетического происхождения. Кроме того, в нанотрубках часто наблюдается обратная зависимость между содержаниями N и O.

Второй тип – наноспираль – был обнаружен на участках поверхности пленок с подавляющей (~95 мас. %) концентрацией золота, где из других примесей присутствует только C. Их образование, вероятно, следует увязывать с процессом геликоизации нанотрубок (формирование микроскопических спиралей), берущим свое начало из имеющегося строения атомов [Медведев]. Длина спирализующихся наночастиц составляет 3-4 мкм, при их диаметре 500-600 нм и толщине стенок менее 100 нм.

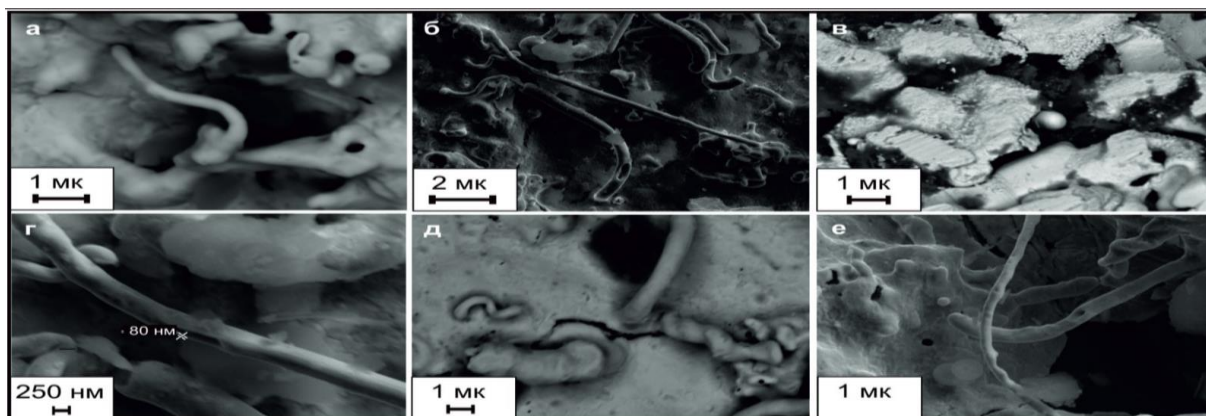


Рис. 47. Нанообособления золота [Медведев]: а – трубки; б, д – спирали; в, е – сфероиды; г – увеличенный фрагмент спирали, (с толщиной стенки 80 нм). Изображение в обратно отраженных электронах

Эволюция изменения химического состава наноспиралей (в направлении от их основания к краю) оказалась прямо противоположна основным тенденциям изменения химизма нанотрубок [Медведев]: в них весьма явно снижаются концентрации Au и растут содержания Fe, Hg и Ti. Кроме этого, прослеживается вынос этих элементов из золотой пленки. Возможно, это явление в числе прочих (наличие винтовых осей в кристаллизующемся веществе, а также некоторых структурных дефектов и т.д.) также послужило причиной закручивания нанотрубок в спирали.

Третий тип наноиндивидов – сфероиды – вполне соответствуют первоначальной форме нанокристаллов (фуллеренов), с диаметром менее 100 нм (см. рис. 47в,е). Их элементный химический состав такой же, как и спиралей, что свидетельствует об общности механизмов образования. Отличие заключается в обеднении (до 60-65 мас.%) сфероидов золотом и обогащении (O-13 мас.%, C-7 мас.%, Si-3,2 мас.%) примесями некоторых элементов, что, по-видимому, является отражением наиболее общих тенденций в формировании различных

типов наноиндивидов, а именно – влияния химического состава исходной минеральной матрицы. Кроме этого довольно часто третий тип является некоторой разновидностью амальгам золота, представленных в виде шаровидных обособлений, покрытых глеродсодержащей оболочкой («шубой») темно-серого цвета (рис. 48).

При этом золотые частицы, не покрытые никакой оболочкой, довольно хорошо окатаны, в отличие от покрытых разнообразными пленками («шубой»), которые обладают различными гранями и т.д. [Медведев Е.И., Молчанов].

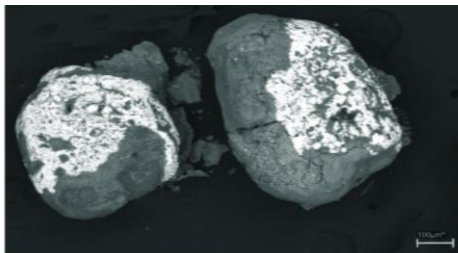


Рис. 48. Частицы амальгамы золота (белое) в углеродсодержащей оболочке (серое)

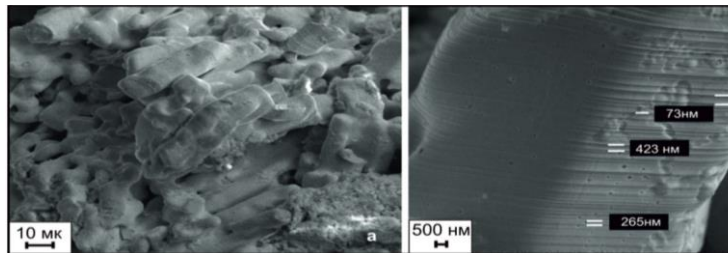


Рис. 49. Фракталы ртутистого золота (а), слои роста нанометровой ширины (б) с элементом микропористой текстуры [Медведев]

Возможно, это связано с их перемещением в водных потоках внутри «прочных контейнеров», в качестве которых выступала углеродсодержащая оболочка. Проведенные инструментальные исследования показали, что поверхность многих золотин покрыта микропленкой (толщиной 0,5–1 мкм) следующего состава [Медведев Е.И., Молчанов]: О-53 мас.%, Мп-23 мас. %, Fe-15 мас.%, Si и Al-8 мас.%, Cl, K и Ca-до 1 мас.%. Четвертый тип наночастиц золота является собой фрактальные кристаллы ртутистого золота, которые представлены разнообразными угловатыми скульптурными формами (рис. 49, а).

При их детальном изучении были установлены следующие вариации состава [Медведев]: Au – 75–86 мас. %, Hg – 19–20 мас. % и Ag – от 2,2 до 3,4 мас. %.

В целом, характерной особенностью фрактальных кристаллов золота является наличие различного вида зон роста на их боковых гранях [Медведев]. Грани таких нанокристаллов обычно энергетически неравномерны, что обуславливает широкое в концентрациях осаждаемого золота. Ширина таких зон роста варьируется от 70 до 600 нм (см. рис. 49, б), что указывает на неравновесные условия их образования.

На снимке увеличенного фрагмента зерна аурамальгамы золота хорошо видна рыхлая разветвленная структура, обусловленная расположением разноориентированных микроразмерных кристаллических фракталов.

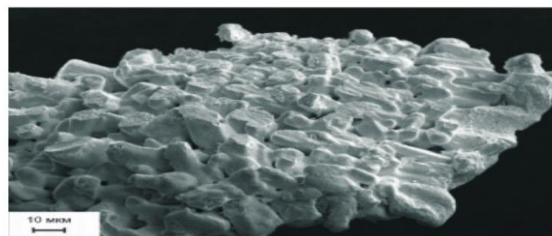
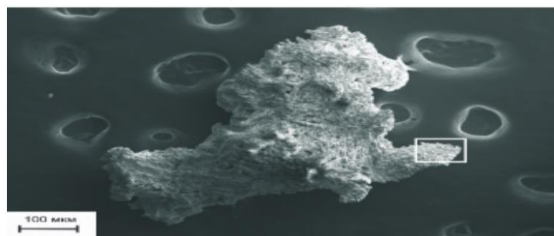


Рис. 50. Скульптурный ансамбль (а) микрорешетчатых природной амальгамы и его увеличенный фрагмент (б) с элементом микропористой текстур [Медведев Е.И., Молчанов]

Еще один значимый морфологический тип представлен удлиненными (до 600 нм в длину и 200 нм в ширину) выделениями слоистого вторичного золота, внутри и на поверхности которых присутствуют отдельные наночастицы золота разной формы [Осовецкий Б.М., Баранников]. Часто эти выделения налегают друг на друга, образуя многоярусные «постройки», что указывает на одновременность их образования (рис. 51).

Кроме этого, инструментальными методами анализа было установлено, что с уменьшением содержания серы концентрация золота в пирите существенно возрастает, что позволило предположить наличие в пирите изоструктурных соединений золота (типа  $\text{AuS}_2$  или  $\text{Au}_2\text{S}$ ) [Сазонов А.М., Звягина].

В ходе экспериментальных и натурных исследований также было установлено, что при уменьшении размера кристаллов природного пирита в них значительно возрастает

концентрация Au, Ag, As, Te и Se, также увеличивается степень возможной растворимости пирита, блеклых руд и халькопирита, а кроме этого – существенно меняется их изначальная минеральная структура и т.д.

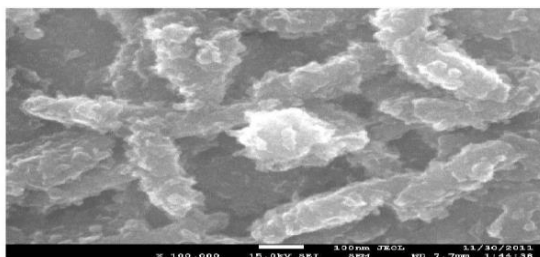


Рис.51.Сложные выделения «нового» золота удлиненной формы [Осовецкий Б., Баранников]

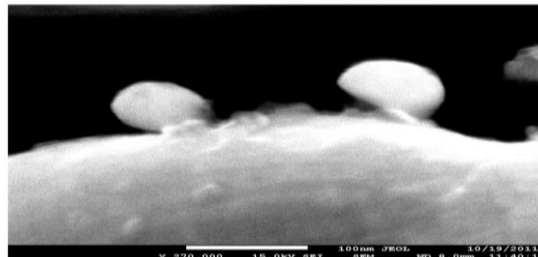


Рис.52.Одиночные наночастицы золота размером 70нм на стенке трещины на поверхности россыпных золтин [Осовецкий]

К числу важнейших факторов, определяющих наноминеральную форму отложения золота, безусловно, относится его сорбция и адсорбция, которые в значительной степени зависят от значения удельной поверхности наночастиц. В результате этого явления тонкозернистые агрегаты обладают более большей сорбционной емкостью, чем крупнозернистые, что в итоге сказывается на параметрах их золотоносности [Конеев].

В частности, с коллоидами оказалось связанным образование значительного количества наноминералов в золотосодержащих рудах, представляющих собой золото-кремнеземные смеси, скрытокристаллические агрегаты халцедоновидного кварца, насыщенных коллоидным золотом, тонкодисперсными сульфидами, теллуридами и т.д. [Конеев]. Особенно выразительны оказались колломорфно-полосчатые, фестончатые и кокардовые текстуры золотосодержащих руд с обогащенными нанозолотом участками месторождения Кочбулак (Узбекистан).

Сорбированные на поверхности минералов наночастицы золота в последующем сами становятся центрами кристаллизации и осаждения металлов из металлоносных растворов (флюидов), а различные поверхности на минералах - свежие сколы, трещины (рис. 52) и другие разнообразные дефекты (в силу своей высокой физико-химической активности) также способствуют последующему эффективному осаждению наночастиц золота.

В результате проявления этих процессов наночастицы золота в литосфере оказываются обычно приуроченными к трещиноватым участкам в агрегатах ранних сульфидов, кварцев и карбонатов, а также к границам зерен и мозаичных блоков, дислокационным и структурным каналам (шириной от 2Е до 20 мкм). В частности, значительными осадителями нанозолота могут также служить различные участки сколов зерен деформированного кварца.

Кроме этого, существенная роль в образовании промышленных скоплений нанозолота принадлежит и электрохимическим процессам, проявляющимся в зависимости от реальной величины электродного потенциала «минералов-осадителей», в порядке понижения которого различные сульфиды образуют следующий ряд: пирит – халькопирит - блеклые руды – арсенопирит – пирротин – галенит.

С помощью специально разработанных инструментальных методов неразрушающего анализа руд и минералов было установлено, что в золотосульфидных рудах преобладают коллоидная, ионная и гидрооксидная формы золота, а самородная - в подавляющем большинстве представлена тонкодисперсной разновидностью.

Кроме непосредственно золотых руд золото было выявлено и в других минеральных образованиях. Так, при анализе наноснимков самых обычных, распространённых в литосфере, графитовых руд сотрудники нескольких научных учреждений Дальневосточного отделения РАН (Дальневосточного геологического института, Института химии, Института тектоники и геофизики и Института горного дела) выявили в них золото, серебро и платиноиды (платина, палладий, иридий, осмий и прочие) [Нам нано золото]. Причём в неизвестной до сих пор форме металлоорганических нанокластеров в составе графита, когда мельчайшие частички золота оказываются обернуты графитовым «коконом».

Ранее, при традиционном химическом анализе графитовых руд в них обнаруживали только 0,021–3,57 г/т золота, поэтому извлекать из них золото считалось нерентабельным

[Нам нано золото]. В последующем, с помощью ионной масс-спектрометрии удалось обнаружить, что концентрация золота и платиноидов в графитовых рудах гораздо больше. Так, в изученных на новейших приборах пробах природного графита содержание золота достигала 17,8 г/т – это уровень руд довольно богатых золотых месторождений. Подобная разница отражает существенные потери благородных металлов при термоокислительном разложении графитсодержащих проб в результате эмиссии летучих металлоорганических соединений.

Однако, имеется серьезная и нерешенная проблема с технологией промышленного извлечения благородных металлов из графитов [Нам нано золото]. Ведь их **наноформы** являются практически единым целым с графитовым «коконом», а, следовательно, традиционные способы обогащения руды (от гравитации, как в случае с самородным золотом, до химического метода добычи золота из сульфидных соединений) малоэффективны.

Кроме графитовых руд золото сконцентрировано и в различных природных углях.

Характер связи содержания золота в углях, торфах и их золах свидетельствует о преимущественно органической форме нахождения Au. При этом для углей могут быть выделены 2 типа носителя золота (органическое и минеральное вещество), при преобладании его связи с органическим веществом.

В процессе изучения распределения золота при сжигании углей в топках ТЭЦ (куда уголь поступает в виде пыли) было установлено, что оно значительной частью переходит в смывную воду, которая используется для транспорта золы от котельных установок до золоотвала [Кузьминых]. Анализ проб этих вод (отобранных в различных местах золоотвала и в различное время года) показывает присутствие в них золота, с концентрацией от 20 до 100 мг золота на 1 м<sup>3</sup> воды [Кузьминых].

Наиболее достоверным объяснением наличия в смывной воде золота может быть предположение, что при температуре в топках до 2000 °С и в условиях вихревого потока газов, угольной пыли и сажи происходит высвобождение наночастиц золота, которые обладают аномальной подвижностью и могут переходить в водную фазу при смыве золы.

Необходимо отметить, что золото, имеющее размеры частиц менее 20 мкм, пластинчатую (фото 16) или игольчатую форму, обычно не поддается извлечению всеми существующими технологиями обогащения [Лазерная агломерация].

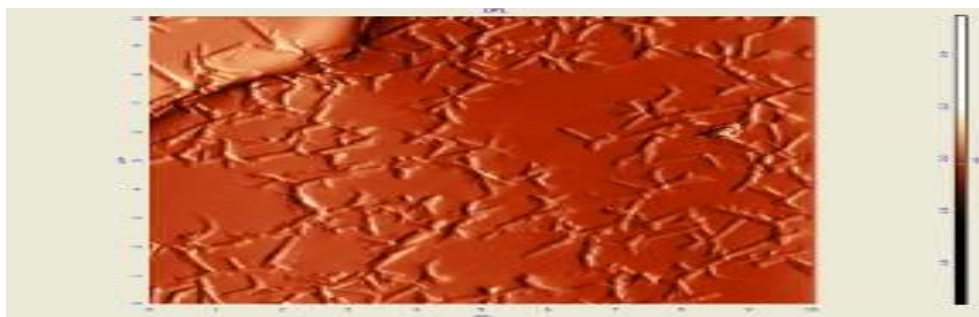


Фото. 16. Атомно-силовое изображение поверхности агломерированного золота [Лазерная агломерация]

Особенностью пластинчатого нанозолота является его весьма высокая плавучесть (плавучее золото, вследствие своей тонкочешуйчатой формы, может удерживаться на поверхности воды силой поверхностного натяжения), в результате чего значительная часть золота таких классов не извлекается современными технологиями обогащения из россыпей [Лазерная агломерация]. При этом от 25 до 40 % тонкого плавучего золота уходит в «хвосты» обогащения.

Как показали инструментальные исследования плавучего золота методом атомно-силовой микроскопии его поверхность имеет кластеритовое строение [Хабилов], т.е. состоит из кластеров сферической и эллипсоидальной формы (размером от 50 до 152 нм), что служит основной причиной несмачиваемости золотин.

Кроме указанных причин, трудности технологического обогащения нанозолота зачастую объясняются кристаллографическими особенностями, изоморфностью минералов и вторичной минерализацией, а также невозможностью существующими способами эффективно раскрыть сростки вмещающих нанозолото минералов [Лазерная агломерация].

## Использованная литература

1. Асаналиев У. Типы концентрации свинца, цинка и меди в осадочных вулканогенно-осадочных формациях. – Фрунзе, 1979. с 6-43.
2. Воробьев А.Е., Гладуш А.Д. Геохимия золота. Ресурсы и технологии России. – М.: Изд-во РУДН, 2000. – 431 с.
3. Конеев Р.И. Наноминералогия золота эпитеpмальных месторождений Чаткало-Кураминского региона (Узбекистан). Санкт-Петербург. DELTA. 2006. 220 с.
4. Кузнецова И.В. Геология, тонкодисперсное и наноразмерное золото в минералах россыпей Нижнеселемджинского золотоносного узла // Дисс. на соиск. уч. ст. к.г.м.н. 2011. 151 с.
5. Кузьминых В.М. и др. Образование дисперсных и наноминеральных форм золота и возможность их извлечения из технологических растворов // Прогрессивные методы обогащения и комплексной переработки природного и техногенного минерального сырья: Мат. Межд. совещания (16-19 сентября 2014 г.) Казахстанская национальная академия естественных наук, Национальный научно-технологический холдинг АО «Центр наук о Земле, металлургии и обогащения». – Алматы, ТОО «Арко»; 2014. – С. 144-146.
6. Лазерная агломерация ультрадисперсного и коллоидно-ионного золота // <http://edu.znate.ru/docs/62/index-470466.html?page=8>.
7. Майорова Т.П., Устюгова К.С., и др. Наноразмерное золото в зоне гипергенеза // Вестник Института геологии Коми научного центра Уральского отд. РАН(Сыктывкар). N10 (214). 2012. С. 35-38. ISSN: 2221-1381
8. Марченко Л.Г. Генезис и минеральные ассоциации золота и платиноидов в месторождениях «черносланцевой» типа Казахстана // Автореф. дисс. на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук. Санкт-Петербург. – 2011. 50 с.
9. Марченко Л.Г. Микро- и наноминералогия золота и платиноидов в черных сланцах. Алматы: Интерпресс-Казахстан, 2010. 146 с.
10. Медведев Е.И., Молчанов В.П. Амальгама золота и её минералы спутники (Дальний Восток, Приморье) // Фундаментальные исследования. № 11-5. 2013. С. 958-963.
11. Медведев Е.И., Молчанов В.П., Ивин В.В. Микро- и наноразмерные формы природного ртутного золота Фадеевского рудно-россыпного узла (Приморье) // Фундаментальные исследования. № 9-8. 2014. С. 1765-1768.
12. Нам нано золото: российские учёные открыли новый вид месторождений золота // <http://www.nanonewsnet.ru/articles/2011/nasha-versiya-nam-nano-zoloto>.
13. Осовецкий Б.М. О методике изучения нанозолота // Современные проблемы науки и образования №6. 2012. С. 628.
14. Осовецкий Б.М., Баранников А.Г. «Новое» нанозолото Чернореченской россыпи // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского. № 15. 2012. С. 36-42.
15. Сазонов А.М., Звягина Е.А. и др. Ассоциации микро- и наноразмерных обособлений благороднометалльного комплекса в рудах // Жур. Сибирск. фед. ун-та. Серия: Техника и технологии. Т. 1. № 1. 2008. С. 17-32.
16. Турдукеев И., Шамшиев О. и др. Продуктивные металлоносные и потенциально рудоносные формации стратиформных толщ Туркистан-Алая. В сб. Вопросы Рудообразования Тянь-Шаня Фрунзе 1980г. с 89-113.
17. Усманова Н.Ф. и др. Методы повышения эффективности разработки гипергенных месторождений с мелким и тонким золотом // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). № 5. 2007. С. 389-396.
18. Хабиров В.В. и др. Прогрессивные технологии добычи и переработки золотосодержащего сырья / Под ред. акад. Н.П. Лаверова. – М.: Недра, 1994. – 272 с.
19. Шумилова Л.В. Причины технологической упорности золотосодержащих руд с нановключениями металла при цианировании // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). № 4. 2009. С. 220-223.
20. Шамшиев О., Маралбаев А. Благородные металлы в черных сланцах. ст Наука и техника №3-4 2000г. Ферганский политехнический институт. С 99-103.
21. Шамшиев О. Маралбаев А. Поисково-прогнозные критерии и перспективы благороднометалльной рудоносности герцинит туркестано-алая (Южный Тянь-Шань). – Фергана; “Наука и техника”, – №1. 2001. – С. 78-82.