

## МИНЕРАЛЫ-СПУТНИКИ МИКРОСКОПИЧЕСКОГО И НАНОРАЗМЕРНОГО ЗОЛОТА МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПИОНЕР (ПРИАМУРЬЕ)

© 2014 Н.В. Моисеенко<sup>1</sup>, А.П. Сафронов<sup>2</sup>, Е.Н. Воропаева<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт геологии и природопользования ДВО РАН, г. Благовещенск

<sup>2</sup> Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, г. Владивосток

Поступила в редакцию 19.05.2014

Впервые получены данные по минералам-спутникам микроскопического и наноразмерного золота золоторудного месторождения Пионер. Основными минералами-спутниками золота являются кварц, адуляр, пирит, теллурид серебра (гессит), блеклые руды и сульфоантимониты. Для всех типов руд рост самородного золота происходит по единому механизму – от наночастиц, близких к сфероидальным, до образования пленок самородного золота.

Ключевые слова: самородное золото, месторождение, минералы-спутники, минеральная ассоциация, наноминералы

Наноразмерные частицы золота относятся к объектам с уникальными физико-химическими свойствами которые несут информацию о механизме образования минералов золота и расшифровке генезиса золоторудных месторождений. Полученные данные по наноразмерному золоту в рудах месторождения Пионер предполагают наличие наноразмерного дискретного золота в матрице сульфидов, кварца, полевых шпатов, сульфосолей и антимонитов. Установленный механизм образования самородного золота для руд месторождения Пионер вносит новую информацию в исследования природных нанокластеров, наночастиц и наноминералов.

**Цель работы:** изучение наноразмерного золота и минералов-спутников наноразмерного и микроскопического золота вулканогенных и вулканогенно-плутоногенных месторождений Дальнего Востока на золоторудном месторождении Пионер, расположенное в Амурской области.

Амурская область относится к территориям с повышенной золотоносностью [1]. Месторождение Пионер находится в Северобуреинской зоне Бурейской провинции Монголо-Охотского золотоносного пояса [2]. В геологическом плане месторождение располагается у северного окончания Мамынского террейна Амурского микроконтинента на границе восточного обрамления Гонжинского выступа с Ушумунским наложенным прогибом в зоне контакта раннемеловых гранитоидов с верхнеюрскими терригенными отложениями [3]. Образование месторождения связано с системой разломов северо-восточного и северо-западного

простираения, к ним приурочены и основные рудные зоны месторождения. По особенностям минерального состава руд месторождение относится к золото-полисульфидно-кварцевой формации [4].

Для исследований были отобраны технологические пробы руды весом от 25 до 50 кг, взятые из рудных зон: Южная, Промежуточная, Бахмут, Андреевская и Николаевская. Из концентратов проб извлекли самородное золото, сростки золота с другими минералами и минералы-спутники благородного металла, которые исследовались методами АСЭМ на ZEISS EVO-50 XVP с энергодисперсионным рентгеновским (ЭДР) спектрометром INCA Energy-350. Из образцов пробы были изготовлены полированные шлифы для изучения на электронном микроанализаторе JXA-8100 (JEOL, Япония).

**Обсуждение результатов.** По минералогическому и химическому анализам руды месторождения Пионер представлены кварцем – 30-80%, адуляром – 15-60%, карбонатами – 1-25%, слюдами – 3-5% и рудными минералами – 1-4%. Из рудных минералов в пробе доминирует пирит, на его долю приходится 90% всех рудных минералов, оставшиеся 10% представлены арсенопиритом, галенитом, халькопиритом, сфалеритом, антимонитом, блеклыми рудами, пирротинном, молибденитом, аргентитом, теллуридами золота и серебра, самородным золотом и другими редкими минералами. По данным атомно-абсорбционного анализа содержание золота в крупных усредненных пробах от 0,53 г/т. до 8,5 г/т, среднее – 2,1 г/т.

На месторождении выявлены несколько продуктивных стадий минерализации. Наиболее ранняя стадия, тяготеющая к медно-порфировому типу оруденения, представлена кварц-золото-молибденит-халькопиритовой минерализацией. Более поздняя золото-пирит-галенитовая ассоциация представлена пиритом, сфалеритом, халькопиритом галенитом, блеклыми рудами, гесситом и золотом. Самая поздняя из продуктивных стадий –

*Моисеенко Наталья Валентиновна, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник. E-mail: kaunatka@mail.ru*

*Сафронов Петр Петрович, кандидат физико-математических наук. E-mail: psafonov@mail.ru*

*Воропаева Елена Николаевна, научный сотрудник. E-mail: levorglav@mail.ru*

низкотемпературная золото-сульфосольно-антимонитовая образована антимонитом, сульфосолями Sb, As и Pb (буланжерит, джемсонит, бурнонит и т.д), арсенипитом, сурьмянистыми блеклыми рудами с серебром (тетраэдрит, фрейбергит), пиритом, галенитом, сфалеритом, теллуридами и сульфидами серебра (гессит, аргентит), теллуридами золота (петцит) и золотом.

Пириты являются преобладающими сульфидами и образуют зерна от нескольких микрометров до нескольких миллиметров. Для пиритов наиболее ранней стадия, тяготеющая к медно-порфировому типу оруденения, характерна примесь меди, особенно в зернах, где халькопирит образует каймы, или сростания с пиритом. Встречаются пириты с намечающейся зональностью из-за примеси мышьяка и пириты с микроскопическими и наноразмерными включениями теллуридов серебра. В этой ассоциации в сростках с пиритами встречаются блеклые руды преимущественно теннантитового состава. Более поздняя золото-пирит-галенитовая ассоциация характеризуется тесной ассоциацией пирита с галенитом, сфалеритом, халькопиритом, блеклыми рудами, теллуридами серебра и золотом. В самой поздней из продуктивных стадий пирит ассоциирует с антимонитом, сульфосолями Sb As и Pb (буланжерит, джемсонит, бурнонит и т.д), тетраэдритом, фрейбергитом, теллуридами и сульфидами серебра (гессит, аргентит) и золотом. В пиритах из антимонитовых жил характерна примесь мышьяка и сурьмы.

Сфалерит является характерным минералом для золото-пирит-галенитовой ассоциации. Образует сростки и каймы с пиритом, халькопиритом, галенитом, блеклыми рудами, гесситом и золотом. В поздней золото-сульфосольно-антимонитовой ассоциации присутствует с сульфосолями Sb, As и Pb (буланжерит, джемсонит, бурнонит и т.д), арсенипитом, сурьмянистыми блеклыми рудами с серебром (тетраэдрит, фрейбергит), пиритом, галенитом, сфалеритом, теллуридами и сульфидами серебра (гессит, аргентит) и золотом.

Галенит в наиболее ранней – кварц-золото-молибденит-халькопиритовой ассоциации находится в пиритах, арсенипитрах и кварце в виде микроскопических (1-10 мкм) и наноразмерных минеральных фаз, иногда содержащих примесь селена. В более поздней – золото-пирит-галенитовой ассоциации более крупные выделения галенита образуют сростки с пиритом, сфалеритом, халькопиритом, блеклыми рудами, гесситом и золотом.

Размер зерен блеклых руд колеблется от нескольких мкм до нескольких десятков мкм. Они образуют отдельные зерна, сростки между собой, с пиритом и халькопиритом. Для наиболее ранних стадий характерны блеклые руды теннантитового состава. Единичные зерна мышьяковистой блеклой руды (теннантита) встречаются в виде микроскопических включений (5-7 мкм) в пиритах. Количество сурьмы и серебра в блеклых рудах увеличивается к более поздним минеральным ассоциациям. В самой поздней – низкотемпературной золото-

сульфо-сульфо-антимонитовой стадии блеклые руды представлены в основном серебросодержащими тетраэдритами и даже фрейбергитами.

Среди песчаников и диорит-порфиринов в зоне Андреевской обнаружены образцы с жильным антимонитом. Антимонит встречается в рудных полях практически всех формаций, многие антимонит-кварцевые жилы секут золоторудные [5]. Для более поздней из продуктивных стадий – низкотемпературной золото-сульфо-сульфо-антимонитовой, антимонит – один из основных минералов. Он образует ассоциацию вместе с сульфосолями Sb, As и Pb, сульфидами, блеклыми рудами, теллуридами и золотом.

Теллуриды серебра. Золото и гессит как правило присутствуют там, где наблюдаются наиболее разнообразные минеральные фазы сульфидов. Рудные минералы в кварц-адуляровой матрице приурочены к зонам сростания кварца и адуляра. Гессит часто наблюдается на контакте пирита, сфалерита и блеклой руды и содержит примесь урана (до 4,73 вес.% U). Микро- и наноразмерные минералы гессита с нанофазами и нанопрожилками самородного золота присутствуют в виде включений в пирите или в виде самостоятельных зерен в кварц-адуляровой матрице.

Впервые было обнаружено наноразмерное медистое золото (10-30% меди) и наночастицы (200-300 нм) высокопробного самородного золота. Отдельные участки в зернах самородного золота образованы за счет чередования нанопленок золота и углерода. Наноразмерное золото часто образует сложные фазовые сростания с блеклыми рудами и сульфосолями, либо в виде микро- и нано-вкрапленности и прожилков, либо в виде нанопленок. В рудах золотоносного месторождения Пионер впервые установлено уникальное по своей морфологии и составу самородное золото, приуроченное к золото-сульфосольно-антимонитовой ассоциации. При исследованиях методом аналитической растровой электронной микроскопии многочисленных золотосодержащих минеральных зерен в ассоциации с сульфоантимонитом свинца были обнаружены выделения самородного золота необычных форм – пластинчатые, столбчатые, клиновидные и пленочно-плоскостные. Толщина этих форм составляет не более нескольких сотен нанометров. Само-родное золото и сульфоантимонит свинца образуют тесные прорастания друг в друге, что свидетельствует об их одновременном или близко одновременном отложении в рудоносной жиле. Состав самородного золота, который в среднем составляет 74,98 ат.% Au и 25,02 ат.% Ag отвечает стехиометрическому соединению Au<sub>3</sub>Ag. Минералообразование проходило, по-видимому, в относительно равновесных условиях при постоянной подпитке парагенетической системы (Au-Ag) – (Pb-Sb-S) рудными компонентами Au, Ag, Pb, а также Sb и S.

Методом аналитической сканирующей электронной микроскопии в рудах месторождения Пионер впервые в окисленных рудах в кварцевой матрице среди пленок оксидов и гидроксидов

железа по кристаллам кварца обнаружено наноразмерное самородное золото. Установлены два его типа: сфероидальное золото, размеры частиц которого варьируют в диапазоне 100-500 нм, и золото, невидимое под микроскопом, но хорошо регистрирующееся энергодисперсионным рентгеновским спектрометром. Размеры частиц «невидимого» золота, очевидно, не превышают нескольких нанометров, от силы – первых десятков нанометров. Как и в ранее изученном Покровском месторождении, очевидно, что «затравкой» для образования макроскопического золота в первичных рудах служили, прежде всего, минералы кварца, адуляра и пирита, содержащие наночастицы благородного металла [6]. В зоне окисления, в кварце и участках срастания кварца с адуляром, идет более поздний процесс замещения оксидами железа ранее образованных минералов. Оксиды железа в виде срастаний гётита и гидрогётита имеют игольчато-столбчатые, дендритовидные, натечные и пленочные формы в которых присутствуют сфероидальные наночастицы самородного золота, образующие гроздевидные срастания. В минералах окисленных руд дальнейшая агрегация частиц наноразмерного золота приводит к укрупнению и постепенному росту нанопленок золота, которые в дальнейшем образуют крупные пластинчатые индивиды. Золото является сквозным минералом на всех стадиях образования месторождения, но если

для эндогенных руд основными минералами-спутниками золота являются кварц, адуляр и сульфиды, то в зоне гипергенеза самородное золото, в том числе наноразмерное, ассоциируется с оксидами железа.

*Работа выполнена при финансовой поддержке конкурсных проектов: ДВО РАН № 12-III-A-08-182, РФФИ № 12-05-00738-а.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Радомский, С.М.* Благородные металлы в ландшафтах Амуро-Зейской равнины Приамурья / *С.М. Радомский, В.И. Радомская, Н.В. Моисеенко, В.Г. Моисеенко* // Доклады Академии наук. 2008. Т. 422, №5. С. 665-667.
2. *Моисеенко, В.Г.* Золоторудные месторождения Востока России / *В.Г. Моисеенко, Л.В. Эйриш.* – Владивосток: Дальнаука, 1996. 352 с.
3. *Парфенов, Л.М.* Проблемы тектоники Монголо-Охотского орогенного пояса / *Л.М. Парфенов, Л.И. Попеко, О. Томуртоого* // Тихоокеанская геология. 1999. №5. С. 324-328.
4. Золоторудные месторождения России // Ред. *М.М. Константинов.* – М.: Акварель, 2010. 349 с
5. *Петровская, Н.В.* Самородное золото. – М.: Наука, 1973. 344 с.
6. *Моисеенко, В.Г.* Наноразмерное золото в рудах Покровского месторождения / *В.Г. Моисеенко, Н.В. Моисеенко, П.П. Сафронов* // Доклады Академии наук. 2010. Т. 435, № 4. С. 527-530.

## MINERALS-COMPANIONS OF MICROSIZED AND NANOSIZED GOLD AT THE DEPOSIT PIONEER (AMUR REGION)

© 2014 N.V. Moiseenko<sup>1</sup>, P.P. Safronov<sup>2</sup>, E.N. Voropaeva<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Geology and Nature Management FEB RAS, Blagoveshchensk

<sup>2</sup> Far East Geological Institute FEB RAS, Vladivostok

For the first time it was obtained data on minerals-companions of microsized and nanosized gold at the Pioneer Gold Deposit. The main minerals-companions of gold are quartz, adular, pyrite, silver telluride (hessite), stibnite and sulphoantimonites. For all ore types the growth of free gold occurred on a single mechanism – from nanoparticles close to spheroidal one to formation the free gold membranes.

Key words: *free gold, deposit, minerals-companions, mineral association, nanominerals*

Ключевые слова: самородное золото, месторождение, минералы-спутники, минеральная ассоциация, наноминералы

*Nataliya Moiseenko, Candidate of Geology and Mineralogy,*

*Senior Research Fellow. E-mail: kaunamka@mail.ru*

*Petr Safriniv, Candidate of Physics and Mathematics. E-mail:*

*psafronov@mail.ru*

*Elena Voropaeva, Research Fellow. E-mail: levorglav@mail.ru*