

## ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ И ГЕНЕЗИС ЗОЛОТЫХ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЯ НАДЕЖДА, МАГАДАНСКАЯ ОБЛАСТЬ

А.Н.Глухов

ОАО «Полиметалл УК»,  
г. Магадан

Н.Е.Савва,  
Е.Е.Колова

ФГБУН Северо-Восточный комплексный  
научно-исследовательский институт  
им. Н.А.Шило ДВО РАН,  
г. Магадан

*Изучены минеральные ассоциации, самородное золото, физико-химические условия образования золотоносных руд лимонит-сульфидно-кварцевого состава, локализованных в пластообразных залежах деформированных протерозойских метапесчаников и метавулканитов Шаманихо-Столбовского рудно-россыпного района Приколымского террейна. Выявлено, что самородное золото ассоциирует с пиритом, содержащим повышенные концентрации Co, Ni, S, галенитом, минералами Te и Bi, а рудообразование происходило в одну стадию в закрытой системе на фоне регрессии температур от 340 до 146°C из среднеконцентрированных (до 9,5 мас. % экв. NaCl) углекислотно-водно-солевых растворов при давлениях ~1000 бар. Результаты исследований позволяют отнести месторождение к золото-редкометальной формации.*

*Ключевые слова: самородное золото, условия формирования руд, золото-редкометальная формация.*

Мезотермальным месторождениям золота Северо-Востока России посвящено значительное количество публикаций и огромное число производственных отчётов. Среди них, наряду с преобладающими работами описательного плана, есть и фундаментальные исследования, предлагающие различные концепции генезиса рудной минерализации, её взаимоотношений с магматизмом, метаморфизмом и места, которое она занимает в истории геодинамической эволюции северо-восточной окраины Северо-Азиатского кратона [5, 6]. Однако, сравнивая их с количеством печатных работ о мезотермальных месторождениях золота Аляски и Юкона, становится очевидным, что аналогичные объекты с противоположной окраины Северной Пацифики, на Северо-Востоке России, изучены, по крайней мере, недостаточно. Это заметно по эпitherмальным золото-серебряным месторождениям, число публикаций по которым за последние два десятилетия возросло в несколько

раз. В результате за двадцать лет на Северо-Востоке Азии вовлечено в промышленное освоение 12 золото-серебряных месторождений, одно золото-кварцевое и ни одного золото-редкометального.

Почти 90% мезотермальных месторождений золота Северо-Востока Азии, охарактеризованных в литературе, размещаются среди позднепалеозойских и мезозойских турбидитовых и шельфовых терригенных комплексов Верхоянского миогеосинклинального (складчатого-надвигового) пояса, Вилигинского, Куларо-Нерского и Чукотского террейнов [16], образуя Верхоянский, Северный и Яно-Колымский золото-кварцевые мегапояса [5]. Подобные объекты в пределах террейнов-отторженцев Северо-Азиатского кратона, а также фрагментов океанической коры единичны и исследованы в лучшем случае на уровне региональных работ. В связи с этим весьма актуально рассмотрение золото-рудного месторождения Надежда, вмещаемого

протерозойскими комплексами Приколымского террейна, расположенного в Среднеканском районе Магаданской области в 250 км к северу от пос. Сеймчан. Комплексом горно-буровых, геохимических и геофизических работ оно хорошо изучено с поверхности и на глубину и может считаться эталонным объектом для Приколымского террейна и, возможно, других террейнов пассивной окраины Северо-Азиатского кратона. Вместе с тем, это новый для Северо-Востока Азии золоторудный объект, сведения о вещественном составе руд и генезисе которого значимы как для расширения наших представлений о геологии мезотермального золотого оруденения в пределах древних консолидированных структур, так и дальнейшего развития геологоразведочных работ в регионе.

Геолого-структурные особенности месторождения, геохимическая зональность и закономерности распределения золота в рудных телах были охарактеризованы ранее [3, 4]. В настоящей работе приводятся результаты изучения самородного золота, минеральных ассоциаций руд, а также физико-химических условий их образования. Для исследования использованы материалы, отобранные одним из авторов при проведении на месторождении Надежда поисковых, оценочных и разведочных работ (2009–2011 гг.). Минеральный состав, текстурные, структурные особенности и минеральные парагенезисы изучались под оптическим микроскопом в отражённом и проходящем свете. Составы минеральных фаз определяли с помощью рентгеновских электронно-зондовых микроанализаторов Camebax (г. Магадан, СВКНИИ ДВО РАН, аналитик Е.М.Горячева) и QemScan на базе сканирующего электронного микроскопа EVO50 с системой рентгеновского энергодисперсионного микроанализа Quantax Esprit (аналитик Т.В.Субботникова). Статистические расчёты пробности самородного золота выполнены в программе GOLD (автор С.В.Прейс).

Микротермометрические исследования флюидных включений (ФВ) осуществлены с использованием измерительного комплекса на основе микротермокамеры THMSG-600 фирмы Linkam, микроскопа Motic, снабжённого длиннофокусным объективом 50× фирмы Olimpus, и видеокамеры Moticam solution 3 M.px в соответствии с имеющимися методиками [7, 9, 13]. Отнесение ФВ к генетическим типам проводилось с учётом

установленных критериев [7, 9, 13, 17]. Солевой состав и концентрацию растворов определяли методом криометрии согласно экспериментальным данным [2, 18]. Плотность флюида и давление рассчитывались с помощью программы FLINCOR [19] по системе П.Брауна и У.Лэмба [20]. КР-спектроскопия выполнена в ИГМ СО РАН при поддержке гранта РФФИ № 13-05-90703 на дисперсионном Раман-микроскопе Lab Ram HR в широком спектральном диапазоне 150–3800 см<sup>-1</sup>, с возбуждающей линией 514 нм He-Ne лазера и спектральной шириной щели 2 см<sup>-1</sup> (аналитик Е.Е.Колова). Разложение сложных контуров проведено с помощью программы Origin 7.5.

**Краткая геологическая характеристика района месторождения.** Россыпная золотоносность на междуречье Колыма – Шаманиха – Большая Столбовая выявлена в 1933 г. В.А.Цареградским и С.Д.Раковским; с 1961 г. ведётся добыча золота из россыпей. За это время добыто ~25 т металла. С учётом остаточных запасов общее количество золота в известных россыпях района оценивается в 50 т. Рудные концентрации золота впервые выявлены в 1936 г. Рудопоявление Надежда обнаружено в 1958 г. при проведении общих поисков м-ба 1:50 000. Поисковыми работами (1964–1975 гг.) выделены зоны окварцевания с содержаниями Au в штучных и бороздовых пробах до 2 г/т (в единичных пробах до 25 г/т). В 2007–2011 гг. в результате поисковых, оценочных и разведочных работ выявлены и геометризованы рудные тела, установлен геолого-промышленный тип оруденения и предварительно оценены запасы месторождения, соответствующие малому по масштабам месторождению с рудами среднего качества.

Месторождение Надежда находится на западном фланге Шаманихо-Столбовского рудно-россыпного района. В геотектоническом отношении район принадлежит к Приколымскому террейну пассивной континентальной окраины, сложенному терригенно-карбонатными и вулканогенными толщами, накопленными в интервале от раннего протерозоя до позднего мела [16]. Стратифицированные комплексы прорваны интрузиями гранитоидов, а также многочисленными дайками базитов. Геологическая структура района представляет собой пакет тектонических пластин с центриклинальным падением плоскостей надвигов.



В минерагеническом отношении Шаманихо-Столбовской рудно-россыпной район – составная часть синаккреционного Яно-Колымского мегапояса [5]. В его пределах золоторудные месторождения, рудопоявления и россыпи золота сгруппированы в два узла, пространственно контролируемые контурами слабо вскрытых эрозией гранитных интрузий эджекальского аляскит-гранитного комплекса [11, 12] с K-Ag датировками 133–153 млн лет [1].

Рудное поле месторождения Надежда (рис. 1) сложено карбонатными породами, филлитами, метавулканитами рифея и метапесчаниками венда, затронутыми динамометаморфизмом зеленосланцевой фации. Интрузивные образования – маломощные (до 1 м) дайки верхнемеловых долеритов. По геофизическим данным на глубине ~1 км располагается шток гранитоидов. В структурном отношении рудное поле – это пакет надвиговых чешуй, осложнённый поздними крутопадающими разломами [4]. Важную роль играют складки, образующие единый структурный парагенез с надвигами. Наиболее крупная складка – асимметричная антиклиналь северо-западного простирания. Рудные тела приурочены к замковым частям асимметричных антиклинальных складок, осложнённых надвигами, и представлены линзовидно-пластообразными залежами деформированных метапесчаников и метавулканитов, насыщенных прожилками лимонит-сульфидно-кварцевого состава. По вертикали они образуют эшелонированную систему, прослеженную до глубины 150 м от поверхности. Протяжённость рудных тел по простиранию до 400 м; вертикальные мощности варьируют от 0,5 до 15 м. Среднее содержание Au в руде 3–7 г/т. Геохимический спектр руд: Au-Pb-As-Cu-Zn-Co-Ag-Bi-Mo; состав продуктивной геохимической ассоциации руд: Au-Ag-As-Cu-Bi-Te. Рудные тела маркируются повышенными содержаниями элементов, г/т: As <1740, Bi <83, Te <51, Pb <5089. Рудное поле обладает зональностью – богатые руды с крупным высокопробным золотом сосредоточены на горизонтах с наибольшими гипсометрическими отметками, на глубоких горизонтах фельдшпатизированные породы содержат повышенные концентрации Mo, Co и W.

**Вещественный состав руд и минералогеохимическая зональность.** Текстуры руд месторождения Надежда не отличаются большим

разнообразием, что свойственно мезотермальным месторождениям. Наиболее распространены прожилковые (заполнение рудным веществом трещин катаклаза), гнездово-вкрапленные (выполнение рудным веществом интерстиций в кварце), полосчатые (заполнение кварцем и рудным веществом полос, параллельных сланцеватости вмещающих пород), в незначительном объёме встречаются брекчиевые текстуры, обусловленные катаклизмом и цементированием кварца и обломков пород пиритом, впоследствии полностью окисленным.

Рудовмещающие породы представляют собой рассланцованные тонкозернистые песчаники, сложенные главным образом кварцем, полевым шпатом, мусковитом. Породы тонко рассланцованы (слои 0,5–2,0 мм), имеют линзовидно-полосчатую структуру с образованием линз за счёт пережима слоёв. Сланцеватость подчёркивается пачками крупночешуйчатого мусковита, обтекающего линзы. К выделениям мусковита нередко приурочены тонкие чёрные плёнки углеродистого вещества, которые также маркируют полосчатость. Из аксессуарных минералов присутствуют апатит и циркон.

В околорудном пространстве вмещающие породы подверглись гидротермальным изменениям. Они выражены в окварцевании, образовании тонкочешуйчатого мусковита, слабо развитой калишпатизации и пелитизации альбита, а также турмалинизации. Тонкокристаллический светлоокрашенный турмалин (размер кристаллов не более 0,5 мм по удлинению) отмечается как по границам зёрен кластогенного метаморфизованного кварца, так и непосредственно в самих зёрнах. Количество новообразованных минералов достигает 3–5%.

**Жильно-метасоматические минералы.** Кварц составляет основную часть руд. Выделяются три его генерации: кварц-I – кластогенный аллотриоморфнозернистый, метаморфизованный с волнистым угасанием, размер зёрен 0,3–0,8 мм; кварц-II – жильный, гипидиоморфнозернистый без волнистого угасания, размер зёрен 0,5–2 мм; кварц-III – поздний, в секущих прожилках, мозаичного строения, мелкозернистый (0,1–0,3 мм), пересекает сланцеватость и кварц-I (табл. 1).

Полевой шпат участвует в сложении рудовмещающих песчаников. Чаще всего это альбит, который образует гранобластовый агрегат,

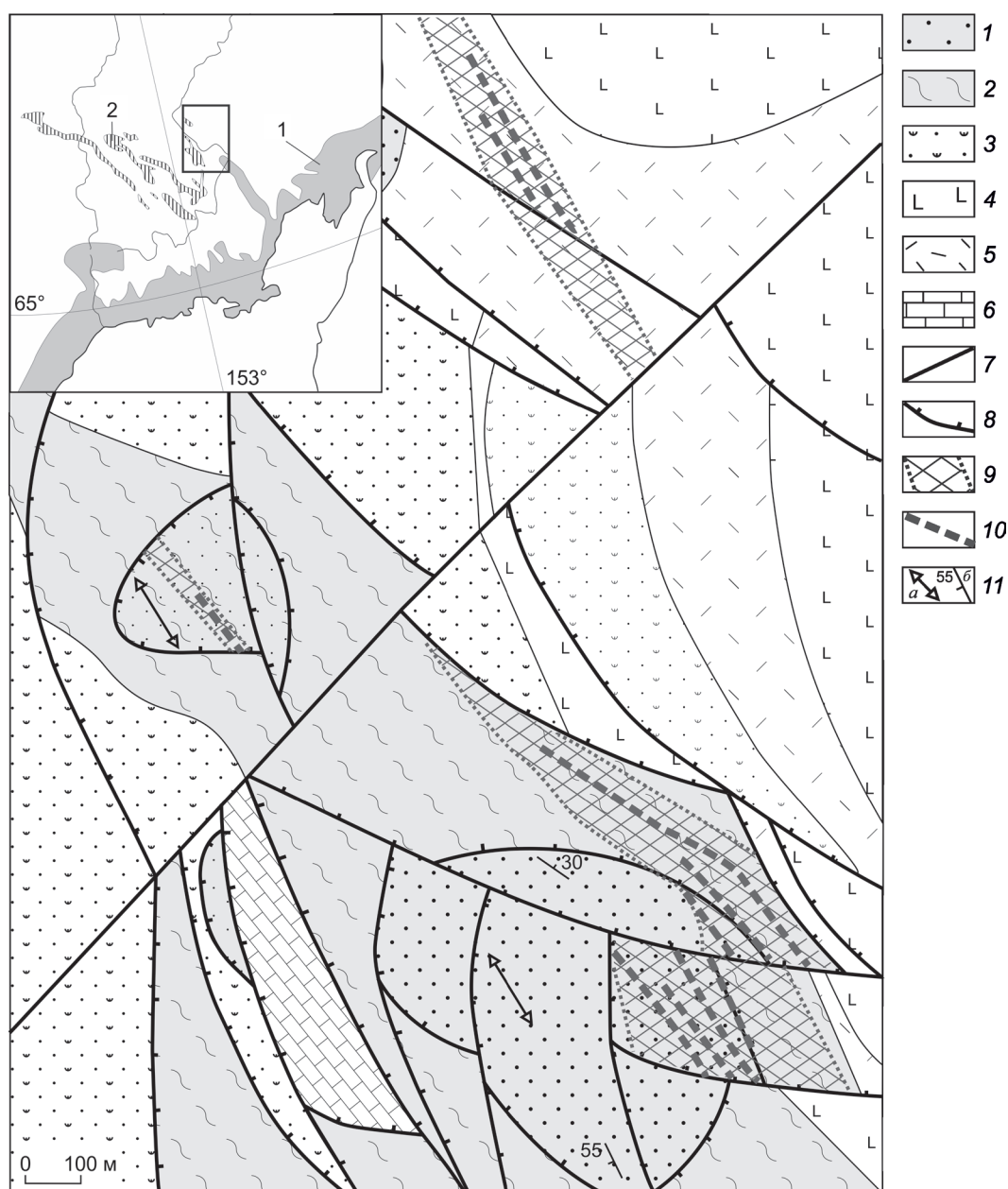


Рис. 1. Схематическая геологическая карта месторождения Надежда (А.Н.Глухов):

1 – песчаники, V; 2 – кварц-серицитовые сланцы, V; 3 – вулканомиктовые песчаники и туффы, RF<sub>3</sub>; 4 – метабазалты, RF<sub>2-3</sub>; 5 – метариолиты, RF<sub>2-3</sub>; 6 – мраморизованные известняки и доломиты, RF<sub>2</sub>; 7 – разломы; 8 – надвиги; 9 – зоны лимонит-сульфидно-кварцевого прожилкования; 10 – рудные тела; 11 – ориентировка шарниров складок (a), элементы залегания слоистости (б); на врезке: 1 – Охотско-Чукотская вулканогенная область, 2 – Уяндино-Ясачненский вулканогенный пояс

представленный таблитчатыми или округлыми зёрнами с зубчатыми ограничениями, редко проявленным двойникованием. Вторичные изменения не более 10% в виде тонкочешуйчатой гидрослюды и пелитоморфного агрегата.

Размер зёрен и агрегатов 0,2–1,0 мм. В жильном заполнении отмечаются редкие включения альбита таблитчатой формы с полисинтетическим двойникованием, размером до 0,7 мм без вторичных изменений.

# 1. Минеральный состав руд месторождения Надежда по степени распространённости

| Группы минералов                   | Главные                     | Второстепенные                          | Редко встречающиеся                                                            |
|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| Метаморфические и метасоматические | Кварц, мусковит, гидрослюда | Турмалин, рутил                         | Биотит, эпидот, хлорит, сфен, циркон                                           |
| Жильные                            | Кварц                       | Альбит, олигоклаз                       | Карбонат, цеолит?                                                              |
| Рудные                             | Пирит, гематит              | Самородное Au, галенит, теллуrowисмутит | Арсенопирит, сфалерит, халькопирит, пирротин, шеелит, петцит, гессит, козалин? |
| Гипергенные                        | Гётит, гидрогематит         | Теллураны, сульфаты Fe, лейкоксен       | Халькозин                                                                      |

Мусковит присутствует в рудовмещающих песчаниках. Крупночешуйчатый мусковит отлагается пачками, подчёркивая сланцеватость, по трещинам спайности в нём отмечаются плёнки чёрного непрозрачного предположительно углеродистого вещества. Он имеет метаморфогенный генезис. Тонкочешуйчатая слюда развита по полевым шпатам и имеет гидротермальный генезис.

Метасоматический турмалин распространён довольно широко. Имеет удлинённо-призматический габитус кристаллов, светлую слегка голубоватую окраску (без анализатора), плеохроирует до буроватого цвета и развит неравномерно по всей массе кварца, реже в межзерновом пространстве. Довольно редко образует сростки кристаллов. Размер по удлинению не более 0,1 мм.

Биотит образует редкие таблички размером 0,05–0,3 мм, имеет бурую окраску и хорошо заметный плеохроизм, частично замещается хлоритом.

Хлорит развит по биотиту, иногда наблюдается в массе породы (предположительно метаморфогенный). Образует чешуйчатые зёрна размером до 0,1×0,5 мм жёлто-зелёного цвета с резким плеохроизмом.

Эпидот представлен зёрнами округлых очертаний и очень редко сростками кристаллов (возможно, кластогенный). Обычно окрашен в слабо-зеленоватые цвета, плеохроирующие в жёлтых тонах. Для него характерны высокие цвета интерференции.

Сфен – редкие округлые изометрические или слабо удлинённые зёрна размером не бо-

лее 0,05 мм коричневого цвета, замещается лейкоксеном.

Циркон встречаются с виде редких розоватых, короткопризматических зёрен размером 0,09 мм по удлинению.

*Рудные эндогенные минералы* (см. табл. 1). Содержание рудных минералов, как правило, <1%, редко достигает 2%. Содержание вторичных минералов железа 1–2%.

Пирит широко распространён в рудах. Выделяются две его генерации. Пирит-I – идиоморфный, тонкокристаллический (0,1–0,2 мм), развит в метасоматически изменённых рассланцованных песчаниках (рис. 2). Содержит примеси Co, Ni, Sb (табл. 2). Поскольку микрозондовый анализ позволяет судить о микропримесях на качественном уровне, можно говорить лишь о более частой встречаемости примеси Co по сравнению с другими, что позволяет предположить контактово-метасоматическую природу пирита на месторождении Надежда [14]. Пирит-II образует скопления идиоморфных и гипидиоморфных кристаллов кубического, реже пентагон-додекаэдрического габитуса размерами от 0,1 до 1,5 мм. Минерал интенсивно окислен на 50–100%. Гидрооксиды, образовавшиеся по нему, часто содержат включения самородного золота.

Гематит, наряду с пиритом, широко распространён в рудах, его выделения приурочены к вмещающим оруденение метаморфизованным песчаникам. Минерал образует сноповидные агрегаты пластинчатых кристаллов, которые в срезе аншлифа имеют удлинённые очертания размером до 1,2 мм. В тесной ассоциации с ним

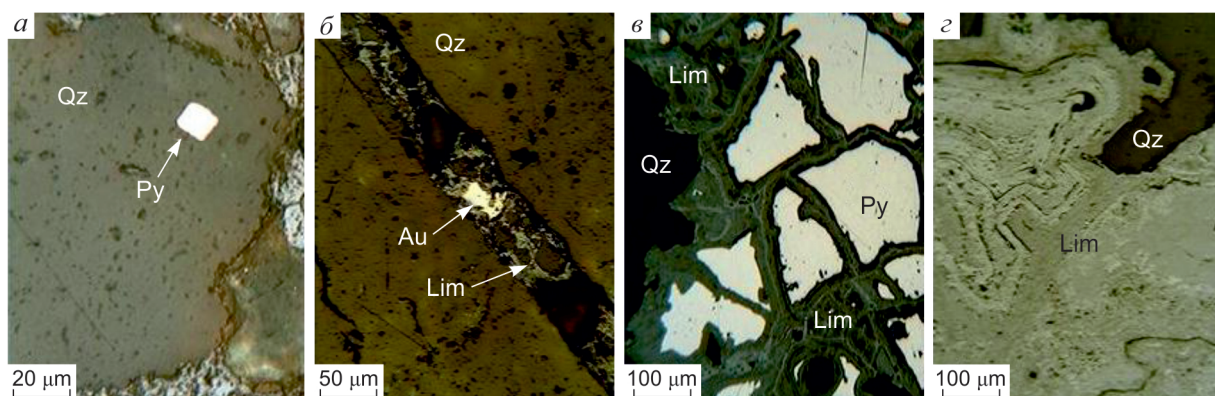


Рис. 2. Морфологические разновидности пирита в рудах месторождения Надежда:

а – идиоморфный кристалл неокисленного пирита-I, включённый в кластогенный кварц; б – прожилок в жильном кварце полностью окисленного пирита-II в сростании с самородным золотом; в – катаклазированный и окисленный пирит-II; з – псевдоморфоза лимонита по пириту-II

и в близкой ориентации находится рутил, что позволяет предполагать наличие изначально титаномагнетитового агрегата, замещённого гематитом и рутилом.

Теллуровисмутит отличается плохой сохранностью в рудах, и в кварце чаще фиксируются псевдоморфозы гипергенных теллуратов в сростании с самородным золотом (рис. 3). Размер выделений не более 0,7 мм. Следует отметить, что находясь в качестве включений в самородном золоте, теллуровисмутит полностью сохраняется и это позволило его проанализировать (см. табл. 2). Он встречается в виде включений в сростании с петцитом, гесситом, галенитом. Подобные включения довольно часто распространены и обнаружены также в делювиальном шлиховом ореоле, сопровождающем рудные тела на северном фланге рудного поля.

Арсенопирит – мало распространённый минерал. Образует редкие единичные включения удлинённо-призматических кристаллов в жильном кварце. Размер кристаллов по удлинению не превышает 100 мкм (см. рис. 3).

Галенит сохранился преимущественно в виде округлых и ксеноморфных включений, нередко с характерной ярко выраженной спайностью в самородном золоте (см. рис. 3).

Халькопирит – редко встречающийся минерал, наблюдается преимущественно в виде включений в пирите размером не более 50 мкм (см. рис. 3).

Пирротин не образует самостоятельных выделений, но постоянно присутствует в виде микровключений в пирите.

Сфалерит образует единичные ксеноморфные выделения размером до 0,5 мм в интерстициях кварца.

*Самородное золото.* Комплексное изучение самородного золота, его минеральных сростаний, состава, форм, размеров выделений и структуры в сочетании с геолого-структурными данными позволяет более надёжно определять формационный тип золоторудных месторождений, судить об их промышленной значимости [15]. Самородное золото месторождения Надежда отличается широкой дисперсией размеров выделений от 2,5 до 0,005 мм с преобладанием мелкого и тонкого; 55% золота имеет крупность <0,074 мм. Из этого класса 48% металла представлено частицами, крупность которых находится в диапазоне 15–25 мкм. Для изучения золото отпрепарировано от кварца плавиковой кислотой. Среди форм его выделений преобладают интерстициальные (рис. 4) – клиновидно-пластинчатые, комковидно-угловатые, комковидно-уплощённые с неровной ячеистой поверхностью, в отдельных случаях ажурные, встречаются также кристаллы и их сростки. Средняя пробность 916‰ (по 57 определениям) при стандартном отклонении, равном 37; максимум значений лежит в интервале 900–950‰ (рис. 5). Гистограмма пробности отражает од-



2. Химический состав основных рудных минералов месторождения Надежда по данным микрозондового анализа, мас. %

| Номера анализов            | Концентрация элементов |       |       |       |       |      | Сумма  |
|----------------------------|------------------------|-------|-------|-------|-------|------|--------|
| Пирит                      |                        |       |       |       |       |      |        |
|                            | Fe                     | S     | As    | Co    | Sb    | Ni   |        |
| 1                          | 47,81                  | 52,52 | н.о.  | н.о.  | н.о.  | н.о. | 100,33 |
| 2                          | 48,04                  | 52,25 | н.о.  | 0,1   | н.о.  | н.о. | 100,39 |
| 3                          | 47,57                  | 52,64 | н.о.  | 0,14  | 0,04  | н.о. | 100,39 |
| 4                          | 45,45                  | 53,83 | н.о.  | н.о.  | н.о.  | н.о. | 99,46  |
| 5                          | 45,78                  | 52,46 | н.о.  | 0,08  | 0,04  | 0,08 | 98,81  |
| 6                          | 45,24                  | 53,29 | н.о.  | 0,09  | н.о.  | 0,03 | 98,73  |
| Самородное золото          |                        |       |       |       |       |      |        |
|                            | Ag                     | Au    | Cu    | Hg    | Bi    | Te   | Сумма  |
| 1                          | 7,58                   | 93,13 | н.о.  | н.о.  | н.о.  | н.о. | 100,71 |
| 2                          | 8,42                   | 91,25 | н.о.  | н.о.  | н.о.  | н.о. | 99,67  |
| 3                          | 7,99                   | 92,31 | н.о.  | н.о.  | н.о.  | н.о. | 100,30 |
| 4                          | 7,91                   | 91,51 | н.о.  | н.о.  | н.о.  | н.о. | 99,42  |
| 5                          | 7,80                   | 93,39 | н.о.  | н.о.  | н.о.  | н.о. | 101,19 |
| 6                          | 7,79                   | 93,06 | н.о.  | н.о.  | н.о.  | н.о. | 100,86 |
| 7                          | 7,95                   | 93,28 | н.о.  | н.о.  | н.о.  | н.о. | 101,23 |
| 8                          | 2,81                   | 98,58 | -     | -     | -     | -    | 101,39 |
| 9                          | 3,71                   | 96,17 | -     | -     | -     | -    | 101,37 |
| 10                         | 3,54                   | 96,44 | -     | -     | -     | -    | 99,98  |
| 11                         | 2,85                   | 97,20 | -     | -     | -     | -    | 100,10 |
| 12                         | 16,90                  | 81,58 | -     | -     | -     | -    | 98,48  |
| 13                         | 9,68                   | 90,29 | -     | -     | -     | -    | 99,96  |
| 14                         | 10,06                  | 90,40 | -     | -     | -     | -    | 100,46 |
| Галенит                    |                        |       |       |       |       |      |        |
|                            | Pb                     | S     | Sb    | Bi    | Ag    |      | Сумма  |
| 1                          | 90,65                  | 9,36  | -     | -     | -     | -    | 100,01 |
| 2                          | 89,75                  | 9,28  | -     | -     | -     | -    | 99,03  |
| Теллуrowисмутит            |                        |       |       |       |       |      |        |
|                            | Te                     | Bi    | -     | -     | -     | -    | Сумма  |
| 1                          | 43,4                   | 54,98 | -     | -     | -     | -    | 98,38  |
| 2                          | 44,12                  | 55,89 | -     | -     | -     | -    | 100,01 |
| 3                          | 43,58                  | 53,71 |       |       |       |      | 97,30  |
| Петцит                     |                        |       |       |       |       |      |        |
|                            | Ag                     | Au    | Te    | -     | -     | -    | Сумма  |
| 1                          | 42,56                  | 24,15 | 33,26 | -     | -     | -    | 99,96  |
| 2                          | 39,43                  | 28,32 | 30,96 | -     | -     | -    | 98,71  |
| Гессит                     |                        |       |       |       |       |      |        |
| 1                          | 61,79                  | 5,94  | 33,56 | -     | -     | -    | 101,29 |
| 2                          | 61,66                  | 5,51  | 33,18 | -     | -     | -    | 100,35 |
| Нестехиометричный козалит? |                        |       |       |       |       |      |        |
|                            | Ag                     | S     | Cu    | Pb    | Bi    | -    | Сумма  |
| 1                          | н.о.                   | 10,62 | 9,30  | 36,02 | 44,07 | -    | 100,01 |
| 2                          | 6,76                   | 14,34 | 2,67  | 26,41 | 49,84 | -    | 99,22  |
| 3                          | 11,94                  | 8,22  | н.о.  | 25,39 | 54,44 | -    | 100,00 |

Примечание. «н.о.» – элемент не обнаружен, «-» – элемент не определялся.

номодальное распределение, характерное для среднеглубинных месторождений золото-кварцевой формации [15].

Микрозондовые анализы выполнены как для вскрытых, так и для невскрытых (см. рис. 4) частиц золота. В табл. 2 приведены данные для вскрытых золотин. На поверхности невскрытых золотин отмечаются частицы золота, покрытые тёмными плёнками высокопробного золота

(976–972‰) толщиной не более 3–5 мкм; точками на рис. 4 обозначены участки зондирования, включающие и анализ высокопробных плёнок.

Золото-пиритовая (золото-лимонитовая) минеральная ассоциация наиболее распространена. Значительно реже отмечаются сростания золота с кварцем и окисленным теллуrowисмутитом. Минералы теллура (теллуrowисмутит,

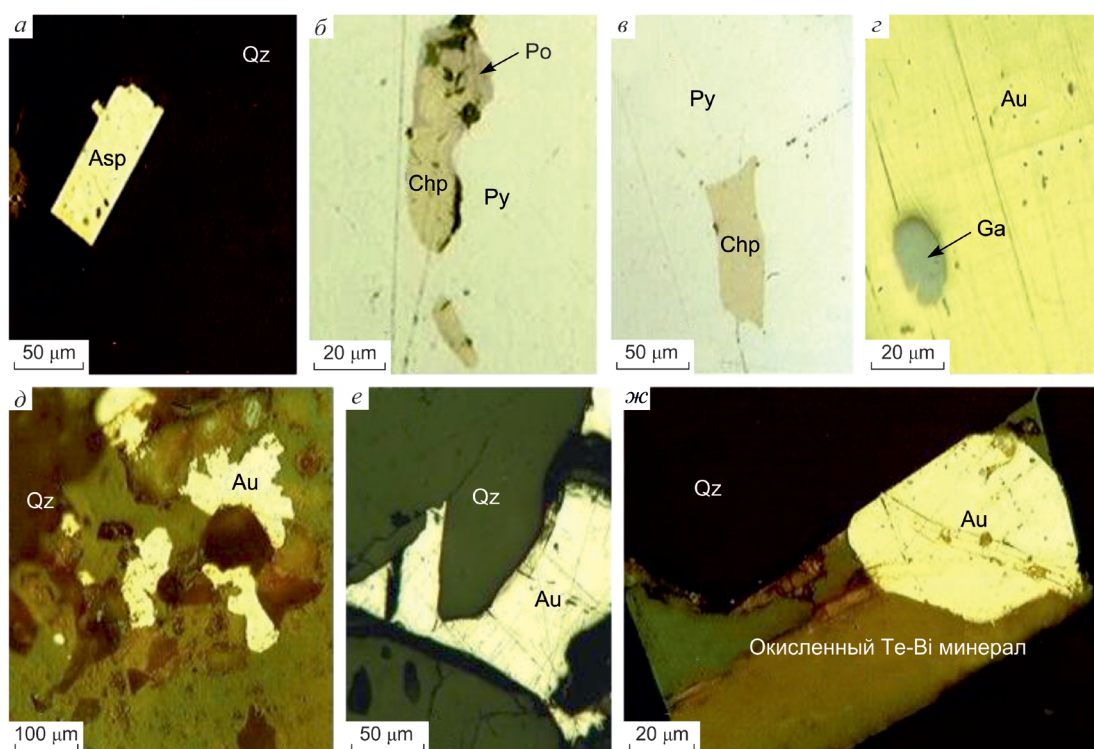


Рис. 3. Срастания рудных минералов:

*а* – идиоморфный кристалл арсенопирита в кварце-II; *б, в* – ксеноморфные включения пирротина и халькопирита в пирите; *г* – округлое включение галенита в самородном золоте; *д* – срастание самородного золота с лимонитом; *е* – интерстициальное выделение самородного золота в кварце; *ж* – срастание идиоморфного кристалла самородного золота с окисленным теллуридом висмута в интерстиции кварца

гессит, петцит), наряду с галенитом, часто образуют включения в самородном золоте.

Подводя итог изучения типоморфных особенностей самородного золота в рудах месторождения Надежда, можно отметить высокую пробность золота и низкую дисперсию (разброс значений от 834 до 976‰), что позволяет относить месторождение к классу среднеглубинных. Включения в золоте теллуридов висмута, его тесная ассоциация с этими минералами указывают на золото-редкометалльный тип минерализации.

**Минеральные ассоциации и последовательность минералообразования.** Минеральные срастания и относительно спокойная и стабильная обстановка отложения минералов, подтверждаемая текстурами руд, указывают на одностадийное последовательное отложение минералов на фоне плавного падения температуры и последовательного повышения парциального давления серы, а затем его снижения.

Метасоматические изменения вмещающих пород выразились в турмалинизации, серицитизации и окварцевании.

Рудоотложение проходило по следующей схеме: кварц → пирротин+халькопирит → пирит+арсенопирит → галенит+сфалерит → теллуридовисмутит+петцит+гессит → самородное золото. Таким образом, можно говорить об одностадийном рудообразовании, но благодаря тому, что рудные минералы выделялись в определённой последовательности, они занимали определённое пространственное положение в жилах и метасоматитах. Можно выделить следующие морфологические разновидности пространственного положения рудных минералов:

- прожилки (1–4 см) в рассланцованных песчаниках, согласно сланцеватости – кварц–пирит–самородное золото;
- прожилки (1–3 мм) в жильном кварце – пирит с небольшим количеством пирротина и халькопирита;

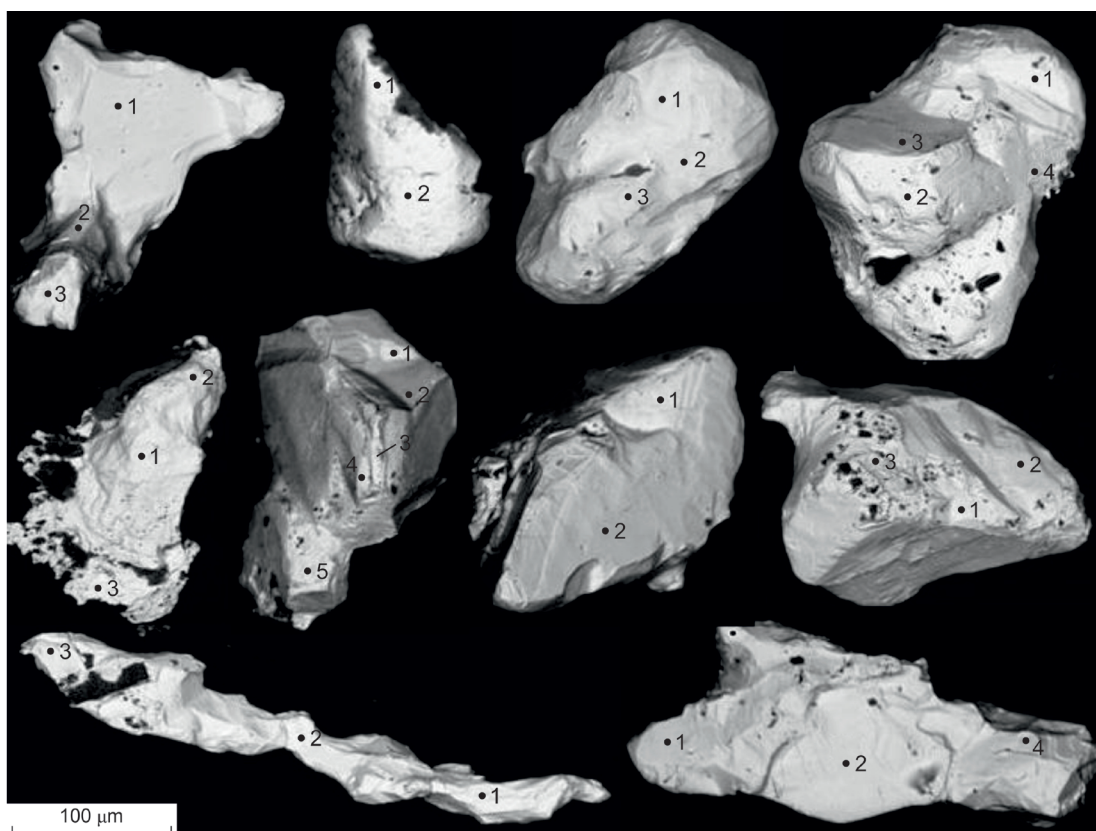


Рис. 4. Морфология частиц самородного золота; преимущественно интерстициальные выделения со ступенчатыми отпечатками матрицы; снято на приборе FemScan (СВКНИИ ДВО РАН, оператор Т.В.Субботникова)

- гнездовые скопления (1,0–1,5 см) в жильном кварце – пирит (окисленный) в сростании с самородным золотом различной размерности вплоть до относительно крупного (1–1,5 мм);
- интерстициальные вкрапленники (0,5–1,0 мм) в жильном кварце – галенит, сфалерит, теллуридовисмутит в сростании с самородным золотом.

Микровключения в самородном золоте рудных минералов (галенита и теллуридов Bi, Au, Ag) также говорят о непрерывности во времени их отложения.

**Результаты исследования флюидных включений.** Для термобарогеохимических исследований были отобраны три представительных образца рудного кварца, характеризующие рудные тела по простиранию и падению. При визуальном изучении кварца в условиях комнатной температуры идентифицированы два типа флюидных включений, отличающихся по фазовому составу: L-тип, газовой-жидкие; LC-тип, угле-

кислотно-водные с газовой фазой. Флюидные включения в кварце распределены неравномерно, в виде отдельных групп, локализованных нередко в центрах более крупных кристаллов; преимущественно обладают изометрическими, реже округлыми и неравновесными формами. Кримо- и термометрическими методами проанализированы 70 индивидуальных ФВ размером 3–30 мкм в диаметре (табл. 3).

Температурный диапазон гомогенизации ФВ охватывает интервал 336–146°C (см. табл. 3). Флюидные включения LC-типа полностью гомогенизируются при температурах 336–191°C, L-типа – 295–146°C. Измерение температур эвтектики ( $T_{эвт.} = -39...-18^\circ\text{C}$ ) выявило в растворах, заключённых в ФВ, хлориды и карбонаты Na, K, а также хлориды Fe и Mg. Концентрации растворов, оценённые по температурам плавления последнего кристаллика льда ( $T_{пл. льда}$ ), охватывают интервал от 4,9 до 9,5 мас. % экв. NaCl (см. табл. 3).

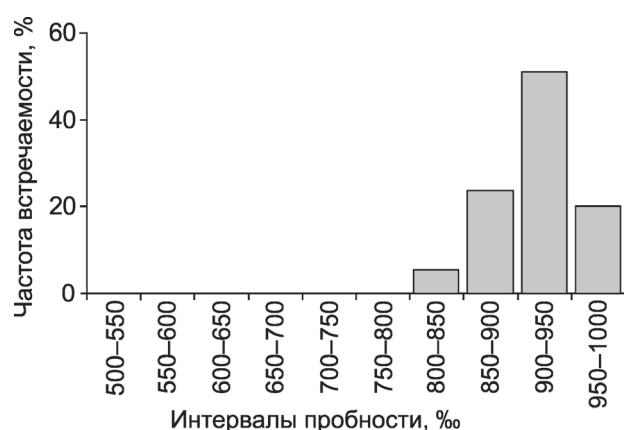


Рис. 5. Гистограмма пробности самородного золота

Углекислота, содержащаяся в ФВ LC-типа, гомогенизируется при температурах от 13,1 до 30,9°C в жидкость (L), при температурах от 26,7 до 30,2°C в газ (V) и имеет плотность от 0,3–0,84 г/см<sup>3</sup> (по термометрии) до 1,2 г/см<sup>3</sup> (по КР-спектроскопии) (табл. 4). Углекислота плавится в интервале температур от -61,3 до -57°C, что свидетельствует о наличии примеси низкокипящих газов. Это подтверждено КР-спектроскопией, в результате которой в составе углекислотных оболочек установлены примеси до 0,3% CH<sup>4</sup> и N<sup>2</sup> (см. табл. 4).

Как показывают крио- и термометрические исследования, процесс формирования рудных тел месторождения Надежда условно можно разделить на два периода. В ранний период

(340–240°) главенствующую роль играли угле-кисотно-водно-солевые растворы, что является, согласно [8], неблагоприятной обстановкой для осаждения Au. В последующий период (240–140°) рудообразования произошли стабилизация условий, уменьшение температуры и рост pH вследствие дегазации CO<sub>2</sub>, что способствовало осаждению Au из растворов.

Для руды и окорудных гидротермалитов месторождения Надежда характерно широкое развитие турмалина. Продуктивный парагенезис представлен минералами Te и Bi. В составе пирита-II, ассоциирующего с самородным золотом, установлены примеси Co, Sb, Ni [14, 15].

Самородное золото отличается высокой и средней пробностью, низкой дисперсией по пробности. Всё это дополняет ранее выдвинутые аргументы в пользу отнесения месторождения Надежда к среднеглубинному типу оруденения золото-редкометальной формации [3]. Это – важная роль Bi и Te в составе продуктивной геохимической ассоциации руд месторождения; контрастная зональность рудного поля; наличие в самородном золоте россыпи руч. Глухариный, коренным источником которого являются рудные тела месторождения, включений теллурувисмутита, волюнскита, петцита, гессита; пониженная естественная термолюминесценция золотоносного кварца месторождения, соответствующая температурам 240–270°C; повышенные концентрации Ag (0,9%) и Bi (2,9%) в галените. Ассоциирующая гранитоидная интрузия по геофизическим данным залегает на

### 3. Результаты термо- и криометрических исследований индивидуальных флюидных включений в кварце из руд месторождения Надежда

| Номера образцов | Типы ФВ | Количество ФВ | $T_{\text{гом.}}$ °C | $T_{\text{эвт.}}$ °C | $T_{\text{пл. льда}}$ °C | $T_{\text{пл. CO}_2}$ °C | $T_{\text{гом. CO}_2}$ °C | $T_{\text{пл. гт}}$ °C | С солей, мас. % экв. NaCl | Плотность CO <sub>2</sub> , г/см <sup>3</sup> |
|-----------------|---------|---------------|----------------------|----------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|------------------------|---------------------------|-----------------------------------------------|
| 1               | LC      | 12            | 336...200            | -                    | -3,1                     | -57,8...-56,7            | 26,7...30,2 (L)           | 6,3...6,6              | 6,9...6,4                 | 0,68...0,59                                   |
|                 | LC      | 5             | 313...191            | -38                  | -3                       | -57,7...-56,9            | 26,7...30,2 (V)           | 6,3                    | 6,9                       | 0,26...0,34                                   |
|                 | L       | 10            | 262...210            | -24,7...-17          | -4,7...-3,0              | -                        | -                         | -                      | 7,4...4,9                 | -                                             |
|                 | L       | 13            | 198...150            | -24,7...-16          | -5,6...-3,1              | -                        | -                         | -                      | 8,6...5,1                 | -                                             |
| 2               | LC      | 8             | 254...240            | -39                  | -                        | -61,3...-57              | 13,1...30,2 (L)           | 8,4                    | 3,2                       | 0,84...0,59                                   |
|                 | LC      | 3             | 156                  | -                    | -                        | -57                      | 27,0 (V)                  | -                      | -                         | 0,27                                          |
|                 | L       | 5             | 285...146            | -31,8...-19          | -5,7...-3,8              | -                        | -                         | -                      | 8,8...6,1                 | -                                             |
| 3               | LC      | 7             | 282...256            | -23                  | -                        | -61,3...-57,0            | 22,5...31,0 (L)           | 8,4                    | 3,2                       | 0,74...0,46                                   |
|                 | L       | 3             | 297...295            | -                    | -6,2...-4,6              | -                        | -                         | -                      | 9,4...7,3                 | -                                             |
|                 | L       | 5             | 270...178            | -23...-22            | -4,2...-3,1              | -                        | -                         | -                      | 6,7...5,1                 | -                                             |



#### 4. Компонентный состав газовых смесей во флюидных включениях по данным КР-микроспектроскопии

| Номера образцов / № ФВ | Компоненты                         | Δ между (s) CO <sub>2</sub> и (vs) CO <sub>2</sub> | Плотность CO <sub>2</sub> , г/см <sup>3</sup> | Площадь пика | σ 514,5 nm | ζ   | Соотношение установленных компонентов, % |
|------------------------|------------------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------|------------|-----|------------------------------------------|
| 1/1                    | <sup>12</sup> CO <sub>2</sub> (s)  | 104,02                                             | 0,53                                          | 1088,3       | 1          | 0,5 | 99,97                                    |
|                        | <sup>12</sup> CO <sub>2</sub> (vs) |                                                    |                                               | 2229,4       | 1,5        | 0,5 |                                          |
|                        | CH <sub>4</sub>                    |                                                    |                                               | 10,9         | 7,5        | 1   |                                          |
| 1/2                    | <sup>12</sup> CO <sub>2</sub> (s)  | 104,48                                             | 0,72                                          | 11 605,8     | 1          | 0,5 | 99,95                                    |
|                        | <sup>12</sup> CO <sub>2</sub> (vs) |                                                    |                                               | 24 494,8     | 1,5        | 0,5 |                                          |
|                        | CH <sub>4</sub>                    |                                                    |                                               | 204          | 7,5        | 1   |                                          |
| 1/3                    | <sup>12</sup> CO <sub>2</sub> (s)  | 103,94                                             | 0,52                                          | 2313         | 1          | 0,5 | 99,84                                    |
|                        | <sup>12</sup> CO <sub>2</sub> (vs) |                                                    |                                               | 8787,5       | 1,5        | 0,5 |                                          |
|                        | CH <sub>4</sub>                    |                                                    |                                               | 186          | 7,5        | 1   |                                          |
| 1/4                    | <sup>12</sup> CO <sub>2</sub> (s)  | 103,86                                             | 0,51                                          | 564,9        | 1          | 0,5 | 99,97                                    |
|                        | <sup>12</sup> CO <sub>2</sub> (vs) |                                                    |                                               | 602,3        | 1,5        | 0,5 |                                          |
|                        | CH <sub>4</sub>                    |                                                    |                                               | 3,6          | 7,5        | 1   |                                          |
| 2/1                    | <sup>12</sup> CO <sub>2</sub> (s)  | 106,25                                             | 1,2                                           | 1485,4       | 1          | 0,5 | 99,93                                    |
|                        | <sup>12</sup> CO <sub>2</sub> (vs) |                                                    |                                               | 2973,9       | 1,5        | 0,5 |                                          |
|                        | N <sub>2</sub>                     |                                                    |                                               | 5,44         | 1          | 1   |                                          |

Примечание. Расчёты мольной доли газовых компонентов проведены согласно [21], плотности CO<sub>2</sub> – [23]; «-» – расчёт не производился.

глубине 0,5–1 км. Рудообразование происходило в раннем мелу и было связано с коллизией Омогонского и Приколымского террейнов на рубеже юры и мела [3]. Следует также добавить, что по данным новейших исследований [22] различия между золото-кварцевой (orogenic gold) и золото-редкометальной (granitoid-related) формациями в пределах одного месторождения могут быть неявными по причине схожести составов руд, околорудных ореолов и флюидных включений. Ключевые критерии отличия золото-редкометального оруденения – наличие выраженной зональности в распределении рудных элементов и минералов и интенсивного температурного градиента в период рудообразования.

Термобарогеохимические исследования показали, что руды месторождения Надежда формировались на фоне регрессии температур от 340 до 146°C из среднеконцентрированных (3,0 до 9,5 мас. % экв. NaCl) углекислотно-водно-солевых растворов при давлениях порядка 1100–600 бар. Это позволяет отнести рудную систему месторождения к классу закрытых, образующихся без тектонической связи с поверхностью, где основная составляющая флюидного давления – давление газов [10]. В данном случае проявился процесс термостатирования [8]. Это хорошо согласуется с пологим залеганием рудных тел и вертикальной зональностью – следствием геологической структуры рудного поля, представляющей собой пакет надвиговых чешуй.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Акинин В.В., Котляр И.Н. «ГЕОХРОН» – компьютерная база данных изотопного датирования горных пород, минералов и руд Северо-Востока России // Магматизм и оруденение Северо-Востока России. Магадан, 1997. С. 313–318.
- Борисенко А.С. Изучение солевого состава газовой-жидких включений в минералах методом криометрии // Геология и геофизика. 1977. № 8. С. 16–27.
- Глухов А.Н. Геологическое строение и состав руд золоторудного месторождения Надежда // Отечественная геология. 2013. № 4. С. 7–17.
- Глухов А.Н., Гладков А.С., Кошкарёв Д.А., Лунина О.В. Тектонофизические критерии геодинамической эволюции Приколымского террейна (Северо-Восток России) // Геодинамика и тектонофизика. 2012. Т. 3. № 4. С. 361–375.
- Горячев Н.А. Геология мезозойских золото-кварцевых жильных поясов Северо-Востока Азии. – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1998.
- Горячев Н.А. Происхождение золото-кварцевых жильных поясов Северной Пацифики. – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2003.
- Ермаков Н.П., Долгов Ю.А. Термобарогеохимия. – М.: Недра, 1979.
- Летников Ф.А., Вилор Н.В. Золото в гидротермальном процессе. – М.: Недра, 1981.

9. Мельников Ф.П., Прокофьев В.Ю., Шатагин Н.Н. Термобарогеохимия. – М.: Акад. Проект, 2008.
10. Прокофьев В.Ю. Геохимические особенности рудообразующих флюидов гидротермальных месторождений золота различных генетических типов. – Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 2000.
11. Протопопов Р.И. Девонские и меловые гранитоиды Приколымского поднятия. – Якутск: Изд-во Академии наук Республики Саха (Якутия), 2010.
12. Протопопов Р.И. Меловые зональные гранитные массивы Приколымского поднятия // Магматические комплексы рудных районов Северо-Востока СССР и их крупномасштабное геологическое картирование. Магадан, 1991. С. 42–52.
13. Рёддер Э. Флюидные включения в минералах. Т. 1. – М.: Мир, 1987.
14. Типоморфизм минералов: Справочник / Под ред. Л.В.Чернышевой. – М.: Недра, 1989.
15. Типоморфизм самородного золота. Методические рекомендации для геологоразведочных работ / Под ред. А.И.Кривцова, С.С.Вартаняна. – М.: ЦНИГРИ, 2003.
16. Шпикерман В.И. Домеловая минерализация Северо-Востока Азии. – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1998.
17. Bodnar R.J. Reequilibration of fluid inclusions // Fluid inclusions: Analysis and interpretation. 2003. Vol. 32. P. 213–230.
18. Bodnar R.J., Vityk M.O. Interpretation of microthermometric data for H<sub>2</sub>O-NaCl fluid inclusions // Fluid inclusions in minerals: methods and application. Pontignano-Siena, 1994. P. 117–130.
19. Brown P.E. FLINCOR; a microcomputer program for the reduction and investigation of fluid-inclusion data // American Mineralogist. 1989. Vol. 74. №. 11–12. P. 1390–1393.
20. Brown P.E., Lamb W.M. P-V-T properties of fluids in the system H<sub>2</sub>O±CO<sub>2</sub>±NaCl: New graphical presentations and implications for fluid inclusion studies // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1989. Vol. 53. №. 6. P. 1209–1221.
21. Frezzotti M.L., Tecce F., Casagli A. Raman spectroscopy for fluid inclusion analysis // Journal of Geochemical Exploration. 2012. Vol. 112. P. 1–20.
22. Petrogenesis of Postcollisional Magmatism at Scheelite Dome, Yukon, Canada: Evidence for a Litospheric Mantle Source for Magmas Associated with Intrusion-Related Gold Systems / J.L.Mair, G.L.Farmer, D.I.Groves et al. // Economic Geology. 2011. Vol. 106. P. 451–480.
23. Rosso K.M., Bodnar R.J. Microthermometric and Raman spectroscopic detection limits of CO<sub>2</sub> in fluid inclusions and the Raman spectroscopic characterization of CO<sub>2</sub> // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1995. Vol. 59. №. 19. P. 3961–3975.

Глухов Антон Николаевич,

кандидат геолого-минералогических наук  
gluhov76@list.ru

Савва Наталья Евгеньевна,

доктор геолого-минералогических наук  
savva@neisri.ru

Колова Елена Евгеньевна,

кандидат геолого-минералогических наук  
kolova@neisri.ru

## ORE MINERALOGY AND GENESIS OF NADEZHDA GOLD DEPOSIT, MAGADAN REGION

A.N.Gluhov,  
N.E.Savva,  
E.E.Kolova

*Mineral associations, native gold, physical and chemical conditions of limonite ore gold-sulphide-quartz composition, localized in tabular deposits of deformed Proterozoic metasandstones and metavolcanites at Shamanikha-Stolbovskoy ore camp of the Kolyma Terrane were studied. It was defined that native gold containing pyrite is associated with elevated concentrations of Co, Ni, S, galena, Te and Bi minerals, while mineralization occurred during one stage in a closed system with temperatures regression varying between 340 and 146°C from brines with moderate salinity (up to 9,5 wt. % equiv. NaCl) of carbonic acid-water-salt solution at a pressure of about 1000 bar. These results allow to attribute this deposit to granitoid-related type.*

*Key words: native gold, ore formation conditions, gold/rare metal formation.*