

СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ САМОРОДНОГО ЗОЛОТА СКАРНОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ РЯБИНОВОЕ (ХАБАРОВСКИЙ КРАЙ)

Рождествина В.И. (veronika@ascnet.ru)

Амурское отделение. Институт геологии и природопользования ДВО РАН

STRUCTURAL SINGULARITIES OF NATIVE GOLD OF SKARN DEPOSIT RJABINOVVOE (KHABAROVSK REGION)

Rozhdestvina V.I.

Amur branch. Institute of Geology and Nature Management, Far East Branch of RAS

Типоморфные особенности самородного золота из месторождений золото-скарнового типа изучены очень слабо. Интерес к изучению самородного золота из скарновых месторождений обусловлен тем, что оно образовалось, несомненно, в более высокотемпературных условиях, чем золото месторождений гидротермальной группы (Рожков, 1968; Вахрушев, 1972; Строна, 1978; Сафонов, 1997). В работе представлены результаты исследований высокопробного золота из скарнового месторождения Рябиновое (Хабаровский край), расположенного на юго-восточной окраине Алданского щита. Оно приурочено к небольшой интрузии монзонитоидов Кеткапского интрузивного комплекса раннего мела, прорывающего карбонатные породы тумулдурской и пестроцветной свит нижнего кембрия. Рудные тела локализованы среди скарнов, опоясывающих интрузию, и представляют собой линзообразные залежи. Они сложены тремолит-диопсидовыми и волластонит-диопсидовыми скарнами с вкрапленностью золота. Из рудных минералов, кроме золота, отмечаются в небольших количествах халькопирит, пирит и магнетит, а в зоне окисления - малахит и азурит. Золото находится в рудах преимущественно в самородном состоянии, в виде сростков с диопсидом, волластонитом и иногда с гранатом. Размеры его достигают в отдельных выборках миллиметров. Оно высокопробное, среди примесей отмечаются в незначительных количествах медь и цинк.

Практически все зерна самородного золота в изучаемой системе представляют собой сложные объекты, образованные по принципу последовательной агрегации сферических частиц и имеющих различную степень слияния и уплотнения. Наблюдаются как сравнительно рыхлые структуры с хорошо просматриваемыми границами слагающих частиц, так и зерна с выраженными гранями, ребрами и вершинами, а также значительное количество промежуточных форм. Особенно интересными являются зерна золота, имеющие грани, но внутренняя их структура остается нанопористой (рис. 1). То есть, являясь внешне кристаллами, реального упорядочения в частицах золота не происходит. Имея большое количество внутренних нанопор, золото аккумулирует энергию, последующая диссипация которой может реализовываться в различных формах. Кроме того, при изучении химического состава отмечаемое наличие элементов примесей не является однозначным фактом их вхождения в кристаллическую решетку самородного золота, так как они могут быть законсервированы в нанопорах, а использование механической полировки скрывает наличие данных субструктурных образований. Следует отметить, что при изучении полированных срезов не обнаружено ни одного зерна, которое бы характеризовалось отсутствием включений силикатных микрофаз, то есть, не зависимо от того

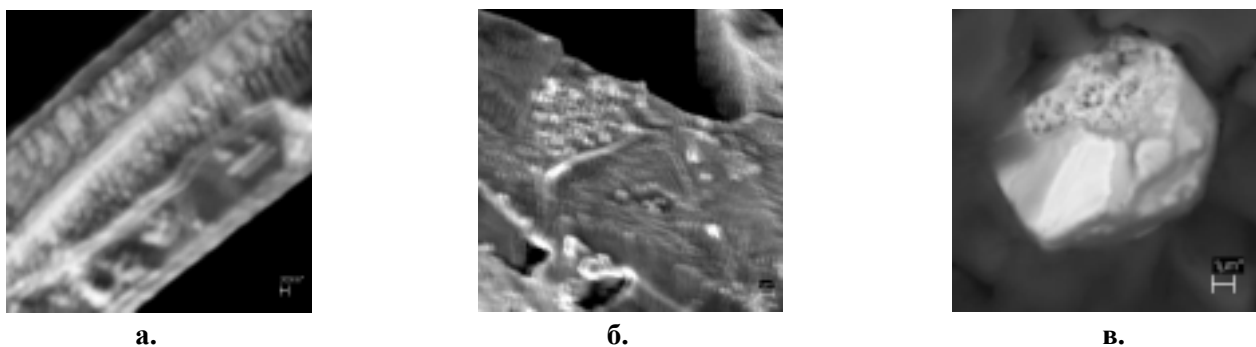
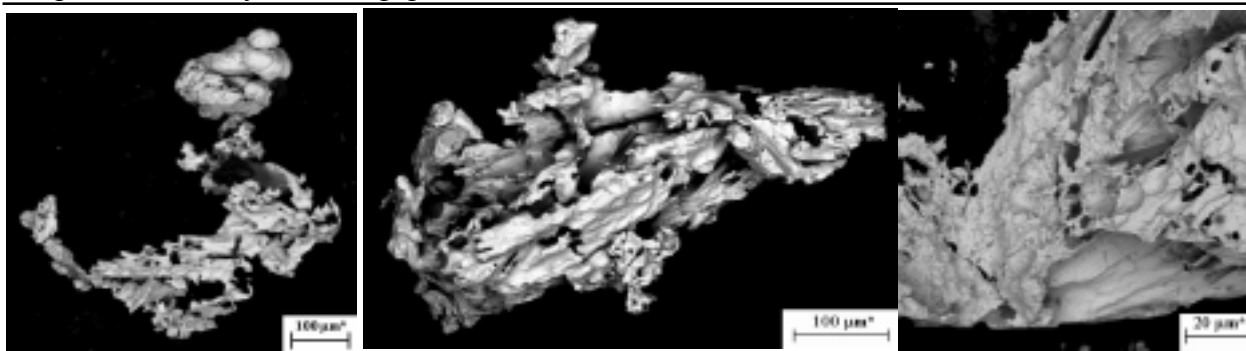
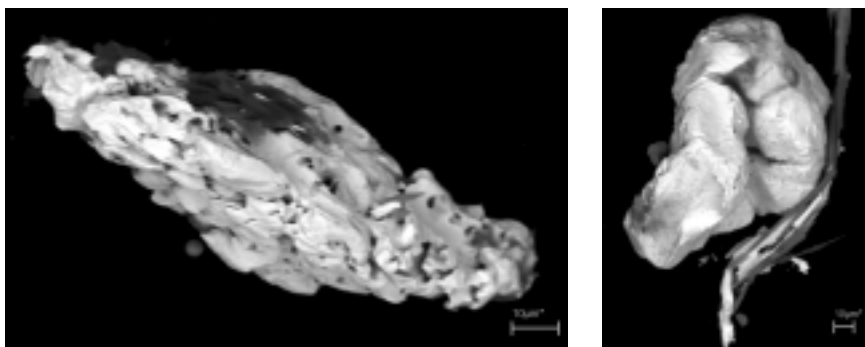


Рис. 1. Субструктура золота: глобулярная с элементами полигонизации (а), блочная с шагреновой поверхностью (б), внутренняя нанопористая структура кристаллов золота (в).



а.



б.

Рис. 2. Рыхлые ажурные (а) уплотненные с частичной перекристаллизацией зерна золота, извлеченного химическим растворением вмещающих карбонатных минералов.

Субструктура частиц, слагающих зерна, имеет различную степень уплотнения даже в пределах одного зерна. Центральная часть зерен более плотная, а с приближением к периферии структурная плотность частиц уменьшается, формируются губчатые структуры. Кроме того, имеются частицы с направленным уплотнением от одного края зерна к другому с появлением граней в более плотной части, на которых просматривается рисунок, составленный из слагающих их частиц. Анализ дебаеграмм, полученных от извлеченных из кальцита зерен золота, показал, что они имеют поликристаллическое строение. Параметры элементарной ячейки колеблются в пределах 4,076-4,078 Å, при среднем значении 4,0768(2) Å (табл. 1). Дифракционное уширение рефлексов, обусловленное уменьшением блоков когерентного рассеяния, начинается при размерах кристаллитов менее 10^3 Å. Линии на дебаеграммах от исследуемых образцов тонкие, четко выражены, с расщепленным дублетом (333, 511). Следовательно, размер кристаллитов исследуемых ажурных зерен золота составляет $\sim 10^4$ - 10^3 Å. Форма пиков близка к симметричной, линии с $(hkl)h=k$ аппроксимируются кривыми Лоренца.

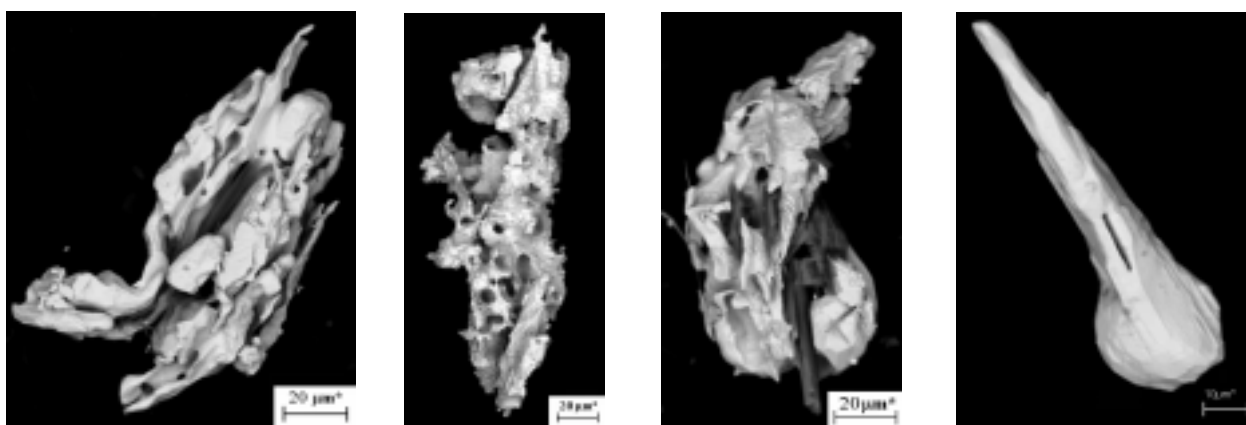


Рис. 3. Морфология и микроструктура самородного золота, извлеченного химическим растворением вмещающих минералов (приуроченного к границам сопряжения силикатной и карбонатной составляющих шлифа), с остатками нерастворенных силикатных минералов.

Структурные данные и расчет параметров ячейки самородного золота

№ п/п	Характеристика образца, и рентгенограмм	Параметр элементарной ячейки, a Å $\pm 0,0002$	Среднее отклонении рассчитанных межплоскостных расстояний от измеренных	Критерии достоверности по де Вольфу
1	Ажурные рыхлые структуры: линии на рентгенограммах тонкие, симметричные, хорошо разделенный дублет (511, 333)	4,0775	0,0016	51
2		4,0761	0,0021	34
3		4,0764	0,0023	25
4		4,0778	0,0017	48
5		4,0764	0,0003	74
6		4,0765	0,0005	59
7	Плотные структуры, с проявлением очертаний граней: линии на рентгенограммах тонкие, поверх отдельных отражений на малых углах (111), (200) проявляются более яркие рефлексы	4,0781	0,0016	43
8		4,0783	0,0003	98
9		4,0786	0,0006	70
10		4,0770	0,0001	265
11		4,0778	0,0005	271
12		4,0777	0,0001	316
13		4,0774	0,0017	100
14		4,0775	0,0004	71
15	Игольчатые, длинно-призматические частицы: линии тонкие, дублет расщеплен поверх отражения (111) короткие яркие рефлексы	4,0786	0,0002	110
16		4,0787	0,0005	74
17		4,0785	0,0003	78
18		4,0789	0,0011	51
19		4,0783	0,0010	54
20	Плотные структуры с выраженными гранями: на всех отражениях поверх тонких линий проявлены рефлексы, на малых углах – короткие, на больших – вытягиваются и размываются, дублет (333, 511) расщеплен	4,0783	0,0055	26
21		4,0784	0,0054	28
22		4,0791	0,0004	56
23		4,0799	0,0003	68
24		4,0801	0,0005	60
25		4,0782	0,0041	48
26		4,0781	0,0003	78

Рентгенограммы более плотных частично перекристаллизованных зерен самородного золота, извлеченных из карбонатных минералов, а также зерен, приуроченных к границам сопряжения силикатных и карбонатных минералов (рис. 3), характеризуются появлением ярких рефлексов поверх тонких линий в области малых углов (табл. 1). Появляется упорядочение по отдельным направлениям, преимущественным из которых является направление [111]. Зерна, представляющие собой агрегаты игольчатых кристаллитов (рис. 4), имеют сходную дифракционную картину, однако рефлексы поверх

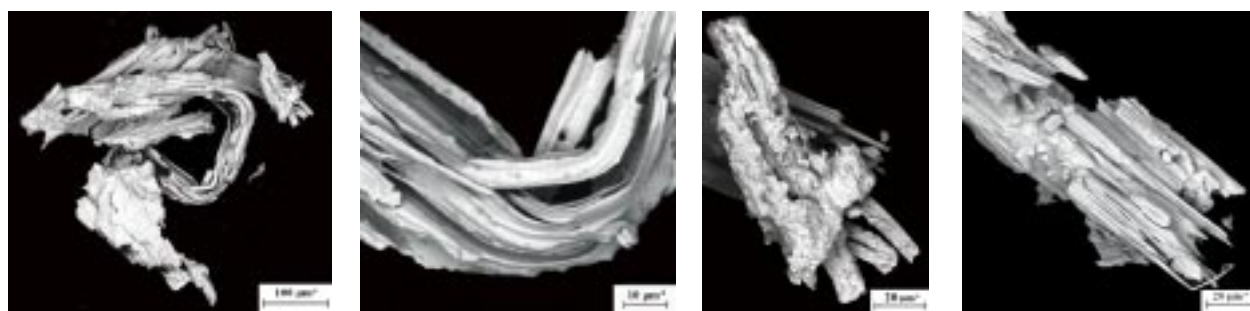


Рис. 4. Морфологические и микроструктурные особенности самородного золота, ассоциирующего с силикатной составляющей шлифа.

тонких линий выражены четче, по локальности приближаются к точечным. Отражения в области больших углов практически не размыты, дублет (333, 511) хорошо расщеплен. Параметры элементарной ячейки для частично перекристаллизованных зерен колеблются в пределах 4,077-4,0786 А, при среднем значении 4,0778(2) А, а для игольчатых агрегатов – параметры элементарной ячейки колеблется около 4,078 А при среднем значении 4,0786(2) А (табл. 1).

Зерна самородного золота, которые характеризуются наличием выраженных граней, имеют дифракционную картину, характеризующуюся одновременным присутствием на всех отражениях очень тонких линий, поверх которых проявляются более яркие рефлексы. В области малых углов рефлексы короткие, по локальности приближаются к точечным, с увеличением угла рефлексы удлиняются и постепенно размываются, дублет (333, 511) расщеплен, но несколько размыт за счет уширения линий. То есть, не смотря на эффекты упорядочения по всем направлениям, строение кристаллов не является идеальным, они представляют собой мозаичные кристаллы с различной степенью разориентации блоков когерентного рассеяния. Для зерен имеющих кристаллическую огранку среднее значение параметров решетки составляет 4,0789(2) А и колеблется в пределах 4,078-4,080 А (табл. 1).

Следует отметить, что прослеживается связь между параметрами элементарной ячейки и степенью упорядочения. Не смотря на то, что все золото, не зависимо от морфологии и степени упорядочения, относится к высокопробному, параметры его элементарной ячейки колеблются в пределах от 4,0761 до 4,0801 А. В то время как, для золота (99,9999%), полученного в производственном процессе (из расплавов), это значение составляет 4,0786 А. Поликристаллическое самородное золото, имеющее ажурную рыхлую структуру, характеризуется наименьшими значениями параметра решетки. А с процессами уплотнения и упорядочения наблюдается выраженное увеличение данного параметра. И для зерен, имеющих кристаллическую огранку, устанавливаются максимальные значения 4,0801 А. Параметр элементарной ячейки 4,0786 А, характеризующий золото (99,9999%), полученное из расплава, совпадает с параметрами ячейки для частично перекристаллизованных зерен и агрегатов игольчатых кристаллитов. Кроме того, дифракционная картина, характеризующаяся одновременным присутствием, как тонких сплошных линий, так и ярко выраженных рефлексов, характерна и для зерен, центральная часть которых имеет плотное строение, а с приближением к периферии наблюдается постепенное уменьшение плотности, выделение отдельных, разнонаправленных отростков, формирующих внешнюю границу зерна. То есть такие зерна имеют центральную кристаллическую зону и внешнюю поликристаллическую.

Таким образом, рассмотрение минеральных ассоциаций, особенностей структурной организации и контактных взаимодействий вмещающих минералов и самородного золота месторождения скарнового типа Рябиновое, позволяет сделать ряд важных генетических выводов. Во-первых, образование рудных тел связано с последовательными процессами термического и гидротермального метасоматоза вмещающих пород. Во-вторых, процессы химической и структурной трансформации минералов, давление высвобождающихся в химических реакциях газов, приводят к активным процессам перекристаллизации минералов. В результате трансформации первичных минералов и образования новых происходит высвобождение и оттеснение в структурно не плотные зоны золота, ранее находящегося в весьма рассеянном состоянии в виде атомов примеси, кластеров и наночастиц. Процесс распространяется на весь объем, в результате формируются зоны, в которые оттеснено вещество не участвующее в массовой кристаллизации основных доминирующих в системе минералов. В такие зоны оттесняется и золото, и газовая составляющая и другие компоненты. Вследствие чего зоны характеризуются относительно не плотным строением, с множеством пор и каверн. То есть максимальные концентрации золота приурочены к участкам перекристаллизованных скарнов, а также к зонам трещиноватости и дробления. В-третьих, зерна самородного золота образуются в процессе агрегации более мелких частиц, формируя сложные системы взаимного проникновения с вмещающими минералами. В результате значительное пространство занимает малым количеством вещества. Такая структура предполагает весьма развернутую поверхность с избыточной энергией, диссипация которой приводит к согласованному действию слагающих частиц, выражающемуся в упорядочении и перекристаллизации. В-четвертых, этот процесс осуществляется на всех масштабных уровнях, что отражается на одновременном присутствии частиц, находящихся на различных стадиях, и характеризующих то многообразие морфологических и структурных форм самородного золота. А относительно стабильные условия с очень медленным отводом тепла позволяют реализоваться гранным формам золота, которые наблюдаются крайне редко.

Список литературы

Рожков И.С. Генетические типы месторождений золота и их положение в геотектонических структурах // Геология и геофизика, 1968. № 7. С. 3-16.

Вахрушев В.А. Минералогия, геохимия и образование месторождений скарново-золоторудной формации. Новосибирск: Наука, 1972. 238 с.

Строна П.А. Главные типы золоторудных формаций // Записки Ленинградского горного института, 1978. Т. XXV. С. 10-22.

Сафонов Ю.Г. Гидротермальные золоторудные месторождения: распространение – геолого-генетические типы – продуктивность рудообразующих систем // Геология рудных месторождений. 1997. Т. 39. № 1. С. 25-40.

RMS DPI 2008-3-55-0

КОМБИНАТОРНО-ТОПОЛОГИЧЕСКИЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ЛОКАЛЬНОЙ КООРДИНАЦИИ**Смирнова Н.Л. (snl194@mail.ru)***Московское отделение. Московский государственный университет*

LOCAL COORDINATION STUDY BY COMBINATORY-TOPOLOGIC METHOD

Smirnova N.L.

Moscow branch. Moscow State University

Проблема организации комплексов, ассоциаций исследуется на протяжении сотен лет. В начале прошлого столетия (Богданов, 1989) показано, что организация разных систем аналогична. Цель данной работы подтвердить установленные ранее универсальные системные законы локальной организации упорядоченных и неупорядоченных полигональных разномасштабных поверхностей. Полигональные разбиения (тайлинги) поверхности были получены различными методами Виллардом, Войтеховским, Вороным (диаграммы), Грюнбаумом, Даамсом, Делоне, Дирихле, Кеплером, Лавесом, Смирновой, Уэллсом, Шефардом, Шубниковым, и многими другими на множествах точек (вершин), или сеток (графов).

Все полигональные поверхности состоят из вершин и n -гонов. Каждая центральная вершина (**В**) и n -гон (**Г**) имеют координационную сферу или корону из лигандов–вершин (**в**), лигандов n -гонов (**г**) или (**р**, если лиганды n -гоны сочленяются с центральным n -гоном ребрами). Центральные **В** или **Г** с примыкающими лигандами образуют ассоциации, которые могут быть представлены формулами. Каждая замкнутая корона состоит из последовательности лигандов. Число лигандов называется координационным числом (КЧ). Формула последовательности состоит из КЧ лигандов–вершин или из $KЧ=n$, если лиганды – n -гоны. Формулы последовательностей из КЧ или n обозначаем **Вв**, **Гв**, **Вг**, **Гр**. Формула **Вг** была предложена в 1855 году Шлефли (например, 33434 или $3_24_13_14_1$). Другие формулы были предложены нами. Кроме того, мы делим все полные формулы-ассоциации на три части $|abab|<2111>|3434|$. Третья часть в прямых скобках (**пч**) $|3434|$ состоит из последовательности не идентичных смежных символов. Введенная дополнительно нами первая часть в прямых скобках (**пб**) $|abab|$ состоит из букв, которые соответствуют символам-лигандам (числам) третьей части. Число букв последовательности называем ее длиной (**пд**) - 4. Вторая часть (**пк**) $<2111>$ состоит из последовательности коэффициентов-индексов при символах. Формула из **пб** и **пк** (**пбк**) – комбинированная - $|abab|<2111>$. Формула качественного состава последовательности состоит из разных лигандов-букв (**сб**) $|ab|$ или разных лигандов-чисел $|34|$ (**сч**, в частности **ВВ**, **ГВ**, **ВГ**, **ГР**). Формула количественного состава последовательности (**ск**) $\{32\}$ состоит из коэффициентов 3 и 2, где 3 – число лигандов (букв а или символов 3), а 2 – число лигандов (букв b или символов 4). КЧ