

УДК 551.441.(571.65)

ТЕРМАЛЬНЫЙ МЕТАМОРФИЗМ Au–Ag-РУД МЕСТОРОЖДЕНИЯ НЯВЛЕНГА (СЕВЕРО-ВОСТОК РОССИИ)

© 2007 г. Н. Е. Савва, А. В. Волков, член-корреспондент РАН А. А. Сидоров

Поступило 25.10.2006 г.

Формирование ряда эпитермальных Au–Ag-месторождений Охотско-Чукотского вулканогенного пояса (ОЧВП) тесно связано с неоднократной активизацией гидротермальных систем в течение длительного времени – от поздней юры до палеогена. Руды многих месторождений (Дукат, Нявленга, Джульетта и др.), образование которых начиналось на ранних этапах вулканизма, были реювенированы в процессе плутоногенного магматизма, повлекшего за собой перераспределение минерального вещества. Формирование рудных тел, таким образом, происходило не в традиционном режиме гидротермального процесса со снижением температур от ранних к поздним стадиям, а в режиме – дальнейшего повышения температур минералообразования. Этот стиль развития минерализации на эпитермальных месторождениях был назван А.А. Сидоровым и В.И. Гончаровым [1] “прогрессивным”.

Месторождение Нявленга – типичный представитель вулканогенных месторождений с прогрессивным рудообразованием. Оно отличается от месторождения Дукат, расположенного в соседнем Ag–Sn-рудном районе, широким развитием Cu–Mo-минерализации.

Нявленгинское рудное поле (Северное Приохотье) приурочено к вулcano-купольной структуре, осложняющей центральную часть вулcano-тектонической депрессии, вытянутой в северо-восточном направлении, которая считается в ОЧВП одной из эталонных вулcanoструктур с интрузивным обрамлением [2]. В центральной части депрессия выполнена вулcanoгенными отложениями аскольдинского комплекса, а по периферии окружена кольцом гранитоидных интрузий нявленгинского и магаданского комплексов.

По Rb–Sr-изохронным датам, формирование аскольдинского комплекса 125 ± 1 млн. лет, нявленгинского комплекса 112 ± 2 млн. лет, магаданского комплекса 107 ± 3 млн. лет [3]. В позднем мелу–палеогене (68–59 млн. лет [3]) магматические образования и эпитермальные Au–Ag- жильные тела были прорваны дайками субщелочных базальтов.

Петрохимические диаграммы подчеркивают комагматичность вулканических и интрузивных пород в нявленгинской депрессии (рис. 1а), их известково-субщелочной характер (рис. 1б). Отчетливо выраженный тренд анализов (рис. 1б) показывает, что эти породы – производные одного магматического очага, последовательная активизация которого во времени отражала продолжающиеся тектонические подвижки по зоне субдукции.

Вулканогенные породы рудного поля претерпели интенсивные метасоматические преобразования, нивелирующие их первичные петрографические особенности. Общая площадь метасоматических изменений около 15 км^2 . Последовательность, а также их краткие характеристики приведены в табл. 1. Образование рудной минерализации по кислотно-основным и температурным характеристикам согласуются с метасоматическим процессом [4].

Геолого-структурные и минералого-геохимические особенности месторождения Нявленга достаточно детально рассмотрены в работах [5, 6]. Настоящее сообщение посвящено новым данным о термальном метаморфизме руд этого месторождения.

Внедрение штока субщелочных гранит-порфиров магаданского комплекса, вскрытых скважинами на глубине 100–150 м под рудными телами (р. т.) западного фланга месторождения (рис. 2), обеспечило устойчивое термальное поле, которое в свою очередь вызвало реювенацию гидротермально-метасоматической деятельности. Минерализация нового – второго – этапа рудообразования, резко отличается от предыдущего Au–Ag-эпитермального оруденения [7]. Она представлена – Ag–Cu–Mo-минеральным комплексом. Температуры метаморфизма руд, учитывая отсутствие флюидных включений в перекристаллизованном кварце,

*Северо-Восточный комплексный
научно-исследовательский институт
Дальневосточного отделения
Российской Академии наук, Магадан
Институт геологии рудных месторождений,
петрографии, минералогии и геохимии
Российской Академии наук, Москва*

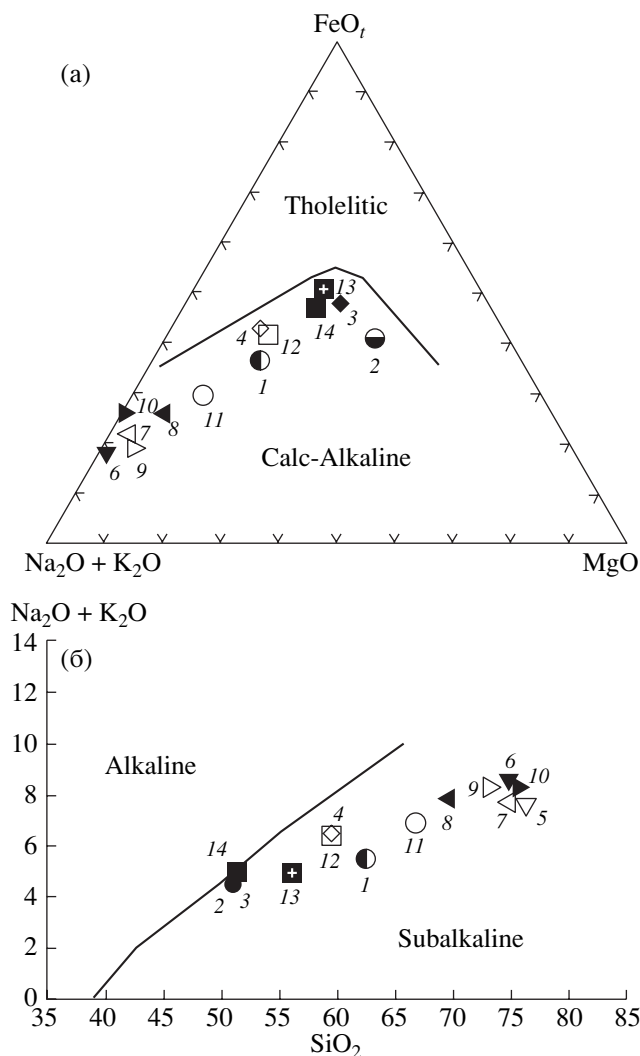


Рис. 1. Петрохимические диаграммы магматических пород Нявленгинской вулкано-тектонической депрессии (силикатные анализы из [2]). 1, 2 – нижняя толща: 1 – андезиты-дациты, 2 – базальт; 3, 4 – интрузии, комагматичные нижней толще: 3 – меладiorиты, 4 – диориты; 5 – субщелочные липариты средней толще; 6 – игнимбриты липаритов верхней толще; 7 – лейкократовые субщелочные биотитовые граниты массива Полиметаллического; 8 – автомагматические брекчии; 9 – субщелочные микропегматитовые граниты массива Ночного; 10 – щелочные микропегматитовые арфведсонит-эгириновые граниты Верхне-Буондинского массива; 11 – роговообманково-биотитовые гранодиориты массива Циркового, 12–14 – интрузии среднего и основного составов, прорывающие кислые эффузивы и граниты; 12 – диориты; 13 – габбро-диориты; 14 – габбро.

можно оценить по минералогическим термометрам. В халькопирите раннего этапа рудообразования выявлены звездчатые выделения сфалерита (своеобразные структуры распада твердого раствора). Гомогенизация последних, по данным Л.В. Фирсова [8], происходит постепенно в интервале температур 500–350°C. Кроме того, в сфалерите

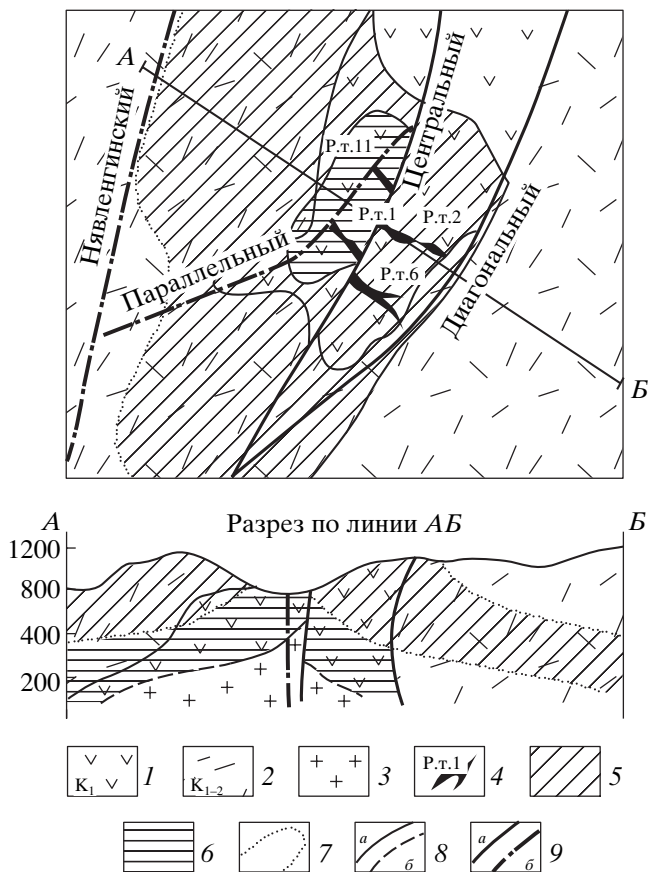


Рис. 2. Метасоматические ореолы месторождения Нявленга. 1 – андезиты; 2 – покровы риолитов, риодацитов и игнимбритов аналогичного состава; 3 – субщелочные граниты; 4 – рудные тела и их номера; 5, 6 – ореолы распространения термального метаморфизма: 5 – внешний (пирофиллит-хлоритовый и корунд-диаспоровый), 6 – внутренний (магнетит-гематит-эпидотовый с гранатом, актинолитом и волластонитом); 7 – контуры ореолов термального метаморфизма; 8 – геологические границы: а – достоверные, б – предполагаемые; 9 – разрывные нарушения: а – достоверные, б – предполагаемые.

раннего этапа проявлена эмульсионная вкрапленность халькопирита, пирротина, кубанита и маккиновита. По данным П. Рамдора [9], последние два минерала характерны для руд с очень высокой температурой рудообразования. По данным Шидловского и Оттемана [10], маккиновит обычно встречается в ассоциации “перекристаллизованных сульфидов”, сформировавшихся в процессе метаморфизма руд. Следовательно, температура при метаморфизме руд месторождения Нявленга могла превышать 500°C.

Ниже будут рассмотрены механизмы перераспределения вещества Au–Ag-руд месторождения Нявленга в связи с термальным метаморфизмом. Схематически они показаны на рис. 3.

Признаки твердофазной диффузии и. Первичные тонкодисперсные, Au–Ag-поли-

Таблица 1. Последовательность формирования и характеристика метасоматитов месторождения Нявленга

Фашии	Порода	Характеристика метасоматитов		
		основные минералы	элементы привноса	элементы выноса
Д о р у д н ы й э т а п (региональный)				
Зеленокаменная	Зеленокаменные породы	Альбит, тремолит, эпидот, хлорит	–	–
Эпидот-хлоритовая	Пропилиты	Эпидот, кальцит, хлорит, серицит, кварц, пирит	K, Pb, Ag, Rb, Zn, Ba, Sn, Mo, Cl	Na, Sr, Mg, Cr, Cu
Серицитовая	Вторичные кварциты	Кварц, серицит	Al ₂ O ₃ , Cr	Na, K, Pb, Sr
Пирофиллитовая	То же	Пирофиллит, корунд, парагонит, диккит, рутил, пирит, мусковит	Ni, H ₂ O	Ag, Pb, Zn, Cu, SiO ₂ , V, B
Р у д н ы й э т а п (вулканогенное рудообразование)				
Кварц-адуляр-серицитовая	Апопропилиты	Кварц, ортоклаз, серицит, хлорит, пирофиллит, кальцит	K, Rb, Ag, Pb, Zn, Ba	Cl, Mg, Cu, V, Ca, Co, Cr, Sn
Т е к т о н о - м а г м а т и ч е с к а я а к т и в и з а ц и я (внедрение гранитоидов)				
Термально-метаморфическая	Роговики	Ставролит, биотит, андалузит, кордиерит	Al ₂ O ₃ , Mg (K)	ОН, CO ₂ , F, Ca
В о з д е й с т в и е ф л ю и д а				
Альбит-амфибол-флюоритовая	Грейзеноиды	Флюорит, актинолит, тремолит, альбит, биотит	F, ОН (K)	K, Ca, Mg, Fe
Эпидот-везувиан-гранатовая	Скарноподобные породы	Эпидот, гранат (гроссуляр-андродит), везувиан, пироксен, шпинель, магнетит	Ca, Mg, Fe, Si (Al)	K, F, ОН, Na
Карбонат-хлорит-серицитовая	Березитированные породы	Серицит, карбонат, хлорит, кварц	ОН, CO ₂	
П о с т р у д н ы й э т а п				
Цеолит-карбонатная	Цеолитизированные, карбонатизированные породы	Цеолиты, карбонат, гипс	CO ₂ , H ₂ O, SO ₂	

сульфидные руды вулканогенно-гидротермально-го этапа образовались из коллоидных растворов, что подтверждается присутствием халцедона, колломорфных текстур и т.д. Реликты первичного субстрата отмечены на горизонте +950 м в р.т.2. При этом в тонких минеральных смесях происходит укрупнение фаз как результат слабой дифференциации, отражающей общую последовательность становления многих Au–Ag-месторождений.

Так, на верхних и средних горизонтах рудных тел, гипидиоморфные и аллотриоморфные выделения губчатого пирита первой продуктивной минеральной ассоциации содержат до 1.5 мас. % самородного Ag в форме субмикроскопических скоплений. В ходе метаморфизма последние укрупнились и очищались от серебра и других неструктурных примесей (Cu до 0.5 мас. %; As до 1.3 мас. %; Pb, Zn, Sb до 0.1 мас. %). Указанные элементы, мигрируя за пределы выделений пирита, формируют собственные минеральные виды, отлагающиеся вблизи его скоплений – халькопирит, сфалерит, галенит, акантит, самородное Ag и электрум.

Морфологически они представлены каплевидными включениями в пирите или вокруг него, а также каймами обрастания и интерстициальными выделениями в жильной матрице (рис. 4).

Следствием твердофазной диффузии является и перегруппировка эмульсионной вкрапленности халькопирита в сфалерите, если в неизменном сфалерите она располагается хаотично, а размерность ее сильно варьирует, то в скоплениях минерала, испытавших прогрев, халькопиритовая эмульсия укрупняется и концентрируется вдоль двойниковых швов, зон роста, катаклазированных участков. Содержание Cu в сфалерите, насыщенном тонкой эмульсией халькопирита, достигает 9.1 мас. %, а в метаморфизованном минерале падает до 0.1–0.3 мас. %.

Твердофазной диффузией объясняется и изменение концентраций в различных генерациях галенита. Если в незатронутых метаморфизмом парагенезисах содержание Ag в нем обычно колеблется от 1 до 3 мас. % (максимальное значение 5.2 мас. %), то после теплового воздействия в минерале проис-

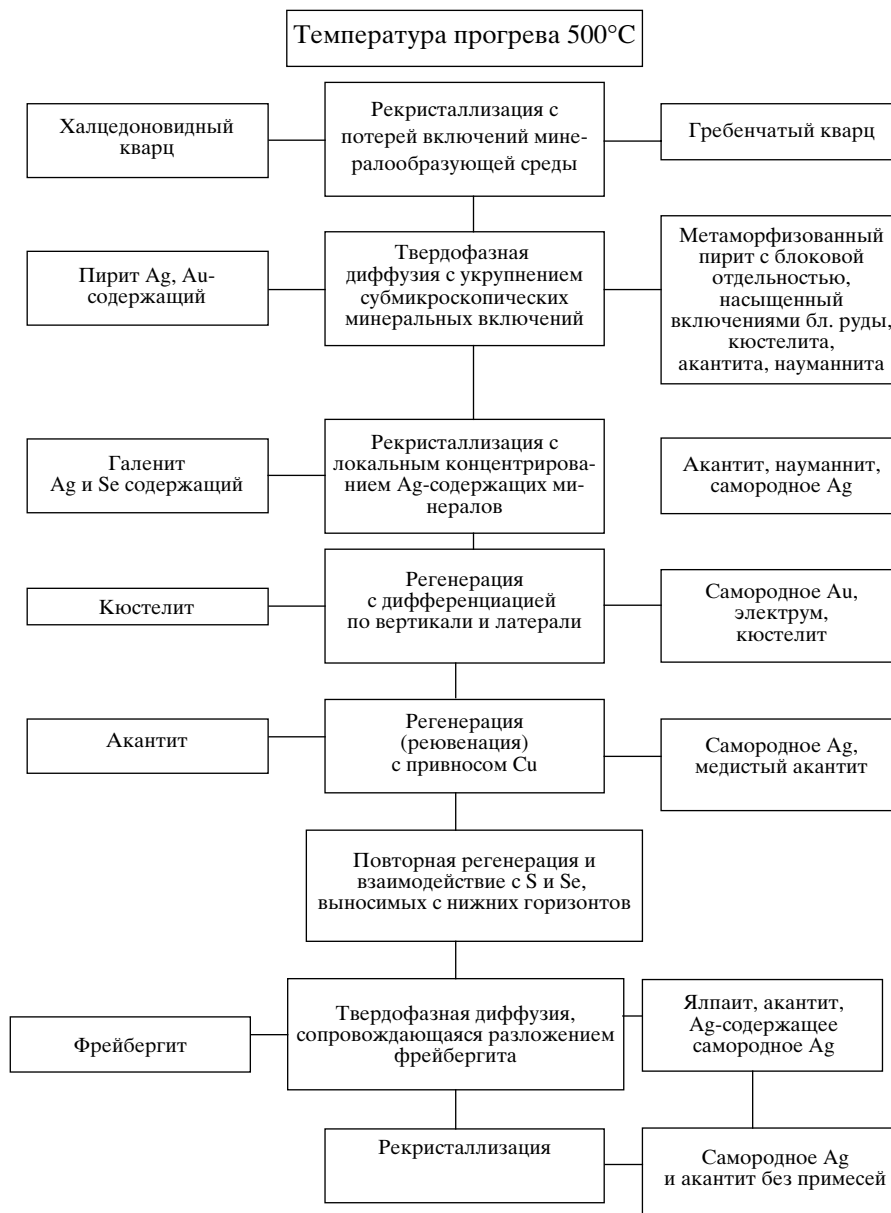


Рис. 3. Схема перераспределения минерального вещества на месторождении Нывленга при метаморфизме.

ходит рекристаллизация, вызывающая миграцию элементов-примесей к периферии кристаллов, а затем вдоль межзерновых границ за его пределы. В результате галенит становится практически стерильным в отношении Ag (максимально до 0.1 мас. %).

Природные Au–Ag-сплавы благодаря различным скоростям твердофазной диффузии Au и Ag сохраняют следы прогрева, выявляемые структурным травлением их выделений. Неоднородность теплового поля отражается в смене неяснозональных структур на яснозональные при переходе от верхних частей жильных зон к нижним, в появлении грануляции с изменением объема

Au–Ag-фаз на участках максимального прогрева, а также в резком повышении дисперсии величин пробыности. Этот вывод подтверждается результатами анализа бороздовых проб (данные Карамкенской ГРЭ), отобранных по уклону и рассечкам интенсивно метаморфизованного р.т.1. Здесь наиболее высокие концентрации Ag приурочены к зальбандам р.т., а Au – к центральным частям. Локальным рентгеноспектральным анализом в р.т.1 установлено присутствие практически чистого самородного Ag и электрума, в то время как в реликтах руд первого этапа преобладает кюстелит при незначительной роли самородного Ag.

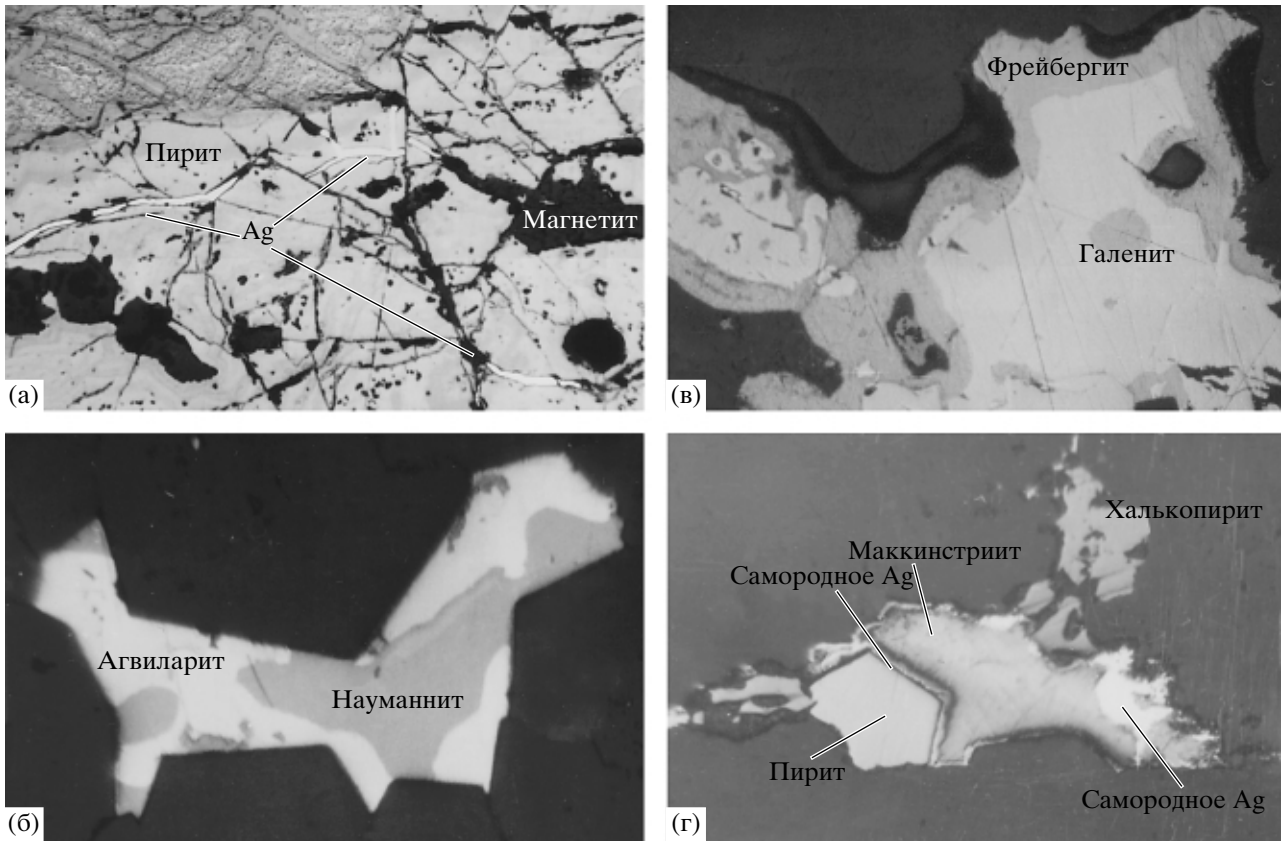


Рис. 4. Примеры реакционных взаимоотношений рудных минералов при термометаморфизме серебряносодержащих руд месторождения Нявленга. Аншлифы, 240×. а – развитие самородного серебра по трещинам катаклаза в пирите ранних генераций, замещение пирита магнетитом; б – интерстициальное выделение самородного серебра и науманнита. в – кайма фрейбергита вокруг обособления галенита; г – кайма самородного серебра вокруг обособления маккинстриита.

Химическое растворение, коррозия и переотложение. В отличие от месторождения Дукат на месторождении Нявленга при внедрении субщелочных гранитов не произошло смены плана тектонических деформаций. Поэтому перераспределение вещества внутри рудных тел носило в большей степени метасоматический характер, а коррозия и растворение минералов осуществлялись на фоне не только снижения температуры, но и изменения химических параметров.

Газово-жидкие перегретые растворы, обладающие высокой агрессивностью, создали на ранних стадиях второго этапа экстремальные, существенно окислительные условия в корневых частях р.т. 1, 2, 6, 11, что привело к разложению большей части сульфидных минералов. Здесь скопления и агрегаты пирита, характеризующиеся пористой текстурой, корродированы новообразованиями гематита и магнетита (рис. 4а) или полностью замещены ими. Отчетливо проявлено разложение поликомпонентного минерала – фрейбергита. В сканированных рудах постоянно отмечаются мельчайшие реликты блеклой руды, заклю-

ченной в массе метасоматического халькопирита и магнетита.

Смена окислительных условий восстановительными условиями привела к осаждению из раствора нового парагенезиса Ag–Cu-колчеданов – ялпайта, маккинстриита, штромейерита. Характерно общее снижение сульфидности в рудах: пирит практически отсутствует, уменьшается количество халькопирита, появляются борнит, халькозин, валлериит. Завершается этот процесс отложением в метасоматически проработанных зальбандах рудных тел самородного золота и Cu-акантита.

Взаимосвязь процессов, протекавших на разных гипсометрических уровнях термоколонны, хорошо прослеживается на примере поведения легкоподвижных компонентов Se, Sb и S. На верхних и средних горизонтах рудных тел повышенные содержания селена наблюдались в галените до 5.5 мас. %, стефаните до 10 мас. %, акантите до 6.3 мас. %, фрейбергите до 0.8 мас. %. S и Sb в большей мере характерны для Au–Ag-фаз (Sb до 3.6 мас. %, S до 1.9 мас. %, Se до 0.3 мас. %). Возникновение таких высоких концентраций связано

с вторичным обогащением верхних горизонтов этими элементами, мигрировавшими в конвективных потоках, направленных вверх от контакта с находящейся на глубине интрузией. Именно максимальное повышение температуры в корневых частях рудных тел привело к возгону Se, S, Sb в приповерхностные горизонты и возникновению в поздних парагенезисах минералов, образующих изоморфные ряды при участии S и Se (акантит–агвиларит, галенит–клаусталит).

Таким образом, на примере месторождения Нявленга показано, что при перераспределении минерального вещества руд, которое связано с термальным метаморфизмом, происходит его дифференциация. Последняя сопровождается, с одной стороны, увеличением спектра минеральных видов, с другой – локальным концентрированием металлов, которое можно рассматривать как процесс природного обогащения руд. В итоге этот процесс определяет минеральный тип месторождения. Для слабо дифференцированных Au–Ag–руд характерны фрейбергитовый и миаргиритовый минеральные типы; для умеренно дифференцированных – пираргиритовый, полибазитовый, стефанитовый; для высоко дифференцированных – серебро–акантитовый.

Выявленные на месторождении Нявленга соотношения Au–Ag–эпитермального и сопряженного с ним Cu–Mo–порфирирового типов оруденения указывают, вероятно, и на различные источники рудного вещества. Наличие Cu–Mo–порфирирового оруденения можно предполагать в щелочных гранитоидах основания купольной структуры. Совмещение эпитермального и порфирирового оруденения представляется типичным для рудных районов в ОЧВП.

На месторождении Нявленга термальным метаморфизмом привел к увеличению мощности рудных тел, к концентрации золота и серебра в рудных столбах, высвобождению серебра и золота из сульфидов, образованию электрума, укрупнению выделений самородных элементов и их сплавов, что, несомненно, способствовало повышению технологичности руд.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 04–05–64359) и проекта Программы ОНЗ РАН № 2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сидоров А.А., Гончаров В.И. // Геология руд. месторождений. 1979. Т. 21. № 3. С. 19–26.
2. Котляр И.Н. Золото–серебряная рудоносность вулканоструктур Охотско–Чукотского пояса. М.: Наука, 1986.
3. Котляр И.Н., Русакова Т.Б., Гагиева А.М. // Тихоокеан. геология. 2004. Т. 23. № 1. С. 3–19.
4. Волков А.В., Шишакова Л.Н., Демин А.Г. // ДАН. 1991. Т. 320. № 4. С. 934–940.
5. Демин А.Г. Рудные формации Северо–Востока СССР. Магадан: СВКНИИ ДВО АН СССР, 1990. С. 202–214.
6. Демин А.Г. // Колыма. 1992. № 4. С. 13–19.
7. Савва Н.Е., Петров С.Ф. В сб.: Минералогия и генетические особенности месторождений золота и серебра. Магадан: СВКНИ ДВО РАН, 1996. С. 7–25.
8. Фирсов Л.В. // ДАН. 1961. Т. 140. № 4. С. 941–944.
9. Рамдор П. Рудные минералы и их сростания. М.: Изд-во иностр. лит., 1962.
10. Schidlowski M., Ottemann J. // Amer. Miner. 1966. V. 51. № 9/10. P. 1535–1541.