

Баланс форм благородных металлов на золоторудном месторождении Покровское (Верхнее Приамурье)

Для благородных металлов (Ru, Rh, Pd, Ag, Os, Ir, Pt, Au) и их минералов в рудах Покровского золоторудного месторождения Верхнего Приамурья был определён баланс форм нахождения. Согласно гранулометрическому распределению минералов самородного золота средневзвешенное значение крупности выделений равно 4 мкм. В формах распределений минералов по химическим соединениям установлены следующие виды связей: а) металлические – 40-95 %; б) ковалентные – 4-55 %; в) координационные донорно-акцепторные – 0,8-8 %. Было установлено, что подгруппа лёгких благородных металлов (Ru, Rh, Pd, Ag) более склонна к процессам окисления, рассеивания и миграции, а подгруппа тяжёлых благородных металлов (Os, Ir, Pt, Au) – к процессам восстановления, пересаживания и концентрирования. Таким образом, валовые концентрации благородных металлов не могут однозначно описывать их геохимического поведения в природных системах.

Ключевые слова: геохимия, термодинамика, благородные металлы, распределение, формы, баланс.

Введение

Покровское золоторудное месторождение расположено в пределах Монголо-Охотского золотоносного пояса Приамурской рудной провинции в восточном обрамлении Гонжинского выступа метаморфических пород докембрия Буреинского террейна на юго-восточном фланге Сергеевского гранитоидного массива. Руды Покровского месторождения относятся к убогосульфидной формации золото-пиритового минерального типа и характеризуются средним содержанием золота 7-8 г/т, серебра 6-11 г/т (Моисеенко, Эйриш, 1996; Моисеенко и др., 2004). Для месторождения выявлена попутная минерализация элементами группы платины в интервалах 0.01-1 г/т (Моисеенко и др., 2004; Мельников и др., 2007). Геолого-структурная схема Покровского месторождения по А.И. Деметтиенко приведена на рис. 1 в соответствии с данными (Мельников, Степанов, 2013).

Прогресс технологий по добыче, переработке и использованию стратегического сырья – благородных металлов (БМ), невозможен без комплексных исследований их свойств в различных природных и физико-химических системах, которые принято оценивать в основном общими (валовыми) концентрациями металлов без учёта их форм состояния. Поэтому представляется необходимым дополнительное изучение распределения БМ по видам химических связей между атомами в соединениях на основе классификации предложенной Некрасовым И.Я. (Некрасов, 1991). Для минералов золота Некрасовым И.Я. были выделены группы природных соединений со следующими типами химических связей БМ: а) металлические связи $Me-Me$ (где Me здесь и далее атом БМ); б) ковалентные связи БМ с арсенидами и халькогенидами $Me-(As; O; S; Se; Te)-$; в) координационные донорно-акцепторные связи в комплексных соединениях БМ $[Me^{n+}L_m]$, где n^+ – заряд центрального атома, L – лиганд, m – координационное число.

Следует отметить, что метастабильные формы БМ с ковалентными арсенидно-халькогенидными связями могут претерпевать химические превращения при смене окислительно-восстановительных условий во вмещающей среде и при разрушении минералов пополняют как груп-

пы подвижных соединений с донорно-акцепторными связями, постоянно расходуясь в процессе миграции, так и группы неподвижных минеральных форм с металлическими связями, образуя фазы «новых» металлов и плёнок на них. Для золота многими исследователями (М.Н.Альбов, Ю.П. Ивенсен, Г. Шнейдерхен и др.) были открыты и описаны случаи: а) укрупнения выделений минералов *самородного золота*, б) образования фаз высокопробного *самородного золота*, в) плёнок высокопробного золота на минералах БМ, вплоть до сообщений о восстановлении рудоносности на отработанных месторождениях (Моисеенко, Эйриш, 1996).

Целью работы являлось установление распределения группы благородных металлов (Ru, Rh, Pd, Ag, Os, Ir, Pt, Au) по крупности выделений и формам химических связей в минералах на Покровском золоторудном месторождении Верхнего Приамурья.

Теоретический анализ

С точки зрения термодинамики Приамурье представляет собой открытую систему, находящуюся в стационарном состоянии, для которой характерна сезонность в проявлении термодинамических параметров, обусловленных сменой времён года и соответствующих скоростей притока вещества и энергии. Термодинамические расчёты показали преимущественную энергетическую выгодность самородного минерального состояния БМ в природных геохимических системах, по сравнению со всеми прочими (Новгородова, 1983). *Самородное золото* это природный минерал, представляющий твёрдый раствор золота и серебра, смещающихся в широком интервале концентраций и при значении пробы золота менее (300‰), серебро образует самостоятельную фазу. Состав *самородного золота* зависит от типа и глубины формирования месторождения, а также от геохимической специфики региона. Кристаллы золота в основном мелкие (0,001-1 мм), разнообразной формы. Не менее 80% кристаллов двойникованы и часто они полисинтетические (Петровская, 1973).

Для реализации поставленной цели необходимо решить следующие задачи: 1) определить гранулометрический состав выделений минералов *самородного золота*,

2) установить распределение БМ по формам для видов химических связей между атомами в соединениях.

Методика

Пробы рудного материала отбирались на Покровском месторождении в соответствии с методическими указаниями, разработанными ЦНИГРИ для физико-химических исследований золоторудных месторождений. Далее пробы измельчались, усреднялись, квартовались.

Для установления размеров минералов БМ была предложена последовательная мокрая классификация активированной перемешиванием пульпы, предварительно измельченной руды, на стеклянных кварцевых фильтрах с диаметрами пор 10 мкм и бумажном фильтре «синяя лента» с диаметром пор 1 мкм под форвакуумным разрежением. Твёрдые остатки, полученные на фильтрах >10 мкм; 1-10 мкм; <1 мкм, образовавшиеся после упаривания фильтра, далее анализировались на золото (Радомский, Радомская, 2013а; 2013б).

Формы химических связей БМ в руде определяли методом последовательного выщелачивания различными по силе реагентами из одной навески. Были выделены 2 последовательные вытяжки соединений БМ: 1) фракция, содержащая соединения БМ с координационными связями и 2) фракция, содержащая соединения БМ с ковалентными связями. Массовую долю БМ в металлической форме

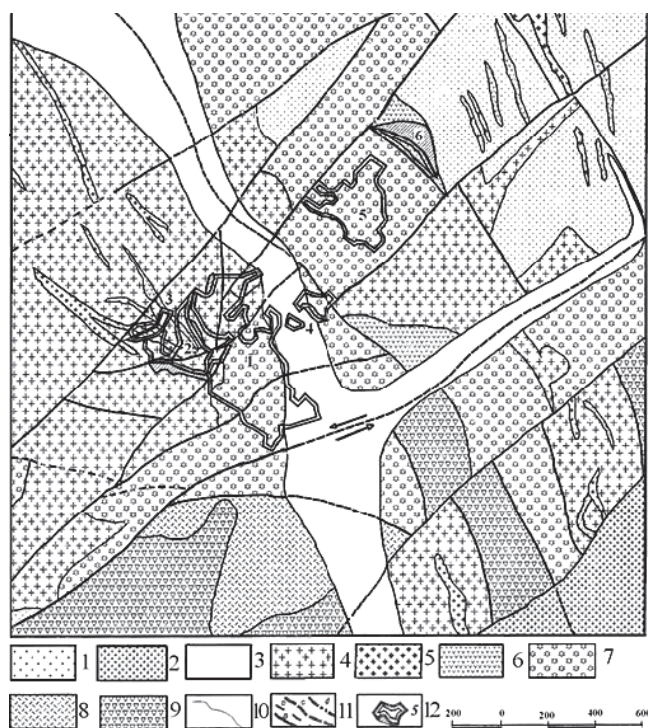


Рис.1. Геолого-структурная схема Покровского золоторудного месторождения по (А.И. Демитиенко, 1997). 1 – юрские терригенные породы; 2 – неоген-четвертичные отложения; 3 – современные аллювиальные отложения; 4 – меловые интрузии гранитов; 5 – юрско-меловые и меловые дайки гранит-порфиров; 6 – субвулканический силл и дайки дацитов и риолитов; 7 – туфы и лавы дацитов и риолитов; 8 – экструзия риодацитов; 9 – брекчии; 10 – геологические границы; 11 – разрывные нарушения; 12 – проекции рудных тел (1 – Главное, 2 – Зейское, 3 – Новое, 4 – Озёрное, 5 – Молодёжное, 6 – Восточное) и выходы рудоносных кварцевых жил на поверхность (защтриховано).

Крупность фракции, мкм	Количество Au во фракции, %	Интервал содержаний Au во фракции (минимальный-максимальный), %
>10	12.9	6.9-18.7
1-10	85.3	78.6-93.0
<1	1.8	0.1-2.7

Табл. 1. Гранулометрический состав минералов самородного золота Покровского месторождения во фракциях (мкм) и соответствующие интервалы распределений золота (%).

рассчитывали по разности между валовым содержанием и суммарным содержанием в выделенных фракциях 1 и 2. Валовые концентрации представляют собой сумму концентраций (С) БМ в следующих формах нахождения: $C_{\text{валовое}}(\text{БМ}) = C(\text{Me-Me}) + C(\text{Me-(As; O; S; Se; Te)-}) + C([\text{Me}^{n+}\text{L}_m])$. Концентрации БМ с координационными связями $C([\text{Me}^{n+}\text{L}_m])$ было предложено определять после 3-6 часовой обработки руды раствором 1М HCl при нормальных условиях, контакте с атмосферой и перемешивании. В таком растворе создаётся окислительно-восстановительный потенциал $E^{\circ} = +1,23 \text{ В}$, обладающий потенциальной энергией активации процесса растворения 120 кДж/моль (Радомский, Радомская, 2014). Концентрации форм БМ с ковалентными связями $C(\text{Me-(As; O; S; Se; Te)-})$ определялись после кипячения в растворе 3М HCl и последующего фильтрования горячего раствора через фильтры «синяя лента». На фильтре остаются формы с металлическими связями между атомами БМ, которые устойчивы к таким «мягким» окислительным условиям (Радомский и др., 2009; Радомский, Радомская, 2014). Вследствие ограниченной растворимости солей серебра в разбавленных растворах HCl, сначала приливали расчётное количество концентрированной (12М HCl), а затем после перемешивания, разбавляли раствор в 4 раза дистиллированной водой до требуемой концентрации (3М HCl).

Валовые содержания золота и серебра определялись после отжига проб при 600 °С в течение 1,5 часа и вскрытия аналитической навески раствором смеси кислот HCl и HNO₃ в отношении 3:1, с последующим экстракционным атомно-абсорбционным определением золота в растворе 0,05 дибутилсульфида в метилбензоле и иодидных комплексов серебра в растворе 3-метилбутанола-1 в вариантах определений: а) атомизации в пламени горелки и б) электротермической атомизации в углеродной печи (Радомский и др., 2008; 2009; Радомский, Радомская, 2011; 2014).

Валовые содержания металлов группы платины определялись после отжига проб при 600 °С в течение 1,5 часов и последующем пробирном концентрировании БМ сульфидом никеля (II) при сплавлении в течение 25 минут при 1000 °С, далее королёк штейна отделяли от шлака, измельчали до размеров <100 мкм и растворяли при нагревании под крышками в течение 3 часов в разбавленном растворе 1:1 концентрированной HCl. Образовавшийся осадок, содержащий БМ, отделяли на фильтре «синяя лента», сушили, озонили и сплавливали с пероксидом натрия, в течение 5-7 минут при 750 °С. Плав растворяли в горячей воде и переводили в мерную колбу 25 см³, откуда отбирали аликвоты на определения БМ. Анализы выполняли: а) атомно-абсорбционным методом с электротермической атомизацией экстрактов БМ представляющих собой смесь 0,025М растворов 1,4-алкиланилина и ди-2-этилгексилди-

№	Элемент	Валовое содержание, ppm	Форма, % от валового		
			Me–Me	Me–(As; O; S; Se; Te)–	[Me ⁿ⁺ L _m]
1	Ag	8.50	44.0	55.0	1.0
2	Au	7.50	95.0	4.0	1.0
3	Pt	0.550	87.5	11.7	0.8
4	Ru	0.026	70	22	8
5	Pd	0.019	40	45	5
6	Os	0.015	82	17	1
7	Rh	0.005	65	30	5
8	Ir	0.003	70	24	6

Табл. 2. Распределения благородных металлов по формам химических связей (%) на Покровском золоторудном месторождении. Примечание: Me – (Ru, Rh, Pd, Ag, Os, Ir, Pt, Au). n⁺ – заряд центрального атома, L – лиганд, t – координационное число.

тиофосфорной кислоты в метилбензоле, б) электрохимическим методом анализа (инверсионной вольтамперометрией на анализаторе ТА-4), в) фотометрическими, каталитическими и химическими методами (Радомский и др., 2008; 2009; Радомский, Радомская, 2011).

Экспериментальная часть

Данные по гранулометрическому распределению минералов золота были получены для трёх усреднённых выборок рудного материала, состоящего из смеси проб 5 рудных тел (Главного, Нового, Зейского, Молодёжного, Озёрного) и проанализированных в пятикратной повторности (Табл. 1).

Данные распределений БМ по видам химических связей в 25 составных образцах руд Покровского месторождения, характеризующих 3 усреднённые выборки рудного материала из 7 рудных тел (Главного, Нового, Зейского, Молодёжного, Озёрного, Восточного и Западного), представлены в табл. 2.

Результаты и их обсуждение

Полученные значения гранулометрического состава выделений минералов *самородного золота* согласуются с ранее полученными данными других исследователей, в которых на долю крупного золота >80 мкм приходится 3% частиц, а основная часть относится к классу мелкого золота <80 мкм, на её долю приходится 95%, и к классу ультрамикродисперсных выделений <1 мкм относится 2% частиц. По другим данным, полученным электронно-физическими методами, средневзвешенный размер выделений *самородного золота* руд Покровского месторождения равен 6,7 мкм, тогда как средние размеры выделений минералов *самородного золота* сульфидных рудопоявлений в различных месторождениях земного шара составляют 1-2 мкм. Полученное нами средневзвешенное значение выделений *самородного золота*, равное 4 мкм, количественно находится в интервале размерности 1-10 мкм, при более мелкой разбивке интервала по классам крупности подробно описанным (Радомский, Радомская, 2013а; 2013б) и равноудалено от оценок литературных источников (Моисеенко, Эйриш, 1996).

На месторождении выявлены минералы платиноидов класса крупности 0,001-3,0 мм *сперрилит* (PtAs₂), *иридосмины* (Ir-Os), при доминирующем проявлении *самородной платины*. Возраст платиновой минерализации оце-

нивается Re/Os методом в 620 ± 30 млн. лет, в то время как возраст более молодой золотосеребряной минерализации 120 ± 30 млн лет и они не коррелируют друг с другом (Моисеенко и др., 2004; Радомский, Радомская, 2013в).

Морфология золотин Покровского рудного поля самая разнообразная. Золото образует самостоятельные выделения в *кварце* в зонах микробрекций на границах с обломками минералов и пород, в редких случаях в *пирите* по трещинам. Форма их губчатая, чешуйчатая, пластинчатая, в виде проволочек.

Рудная минерализация БМ представлена в основном минералами *самородного золота*, состоящими из механической смеси металлических форм золота и серебра в нулевой степени окисления Au⁰ и Ag⁰ в широком интервале концентраций с характерным для Покровского месторождения средним значением пробы золота 670-720 ‰. К аксессуарным минералам относятся *калаверит* Au₂Te₂, *ильванит* (Au,Ag)Te, *креннерит* (Au,Ag)Te₂, *петцит* Ag₃AuTe₂, *гессит* Ag₂Te и др., в гораздо меньшей степени селениды, а также различные сульфиды, сульфосоли (Радомский, Радомская, 2013в). Химический состав минералов БМ определяет формы нахождения и особенности технологической схемы разработки месторождения.

Наиболее подвижной и проявляющей миграционную активность является форма комплексных соединений БМ (Табл. 2). Согласно таблице 2, интервал содержания БМ в виде подвижных комплексных соединений со степенью окисления +1 (это Ag, Au) составляет 1%; со степенью окисления +2 (Pd, Os, Pt) – 0,8-5%; а для устойчивых степеней окисления +3 (Ru, Rh, Ir), +4 (Pd, Ir), +6 (Ru) интервал вариаций – 5-8% от значений валовых концентраций. Комплексные формы увеличивают время существования ионов БМ и стабилизируют их химическими связями, образованными с неорганическими и органическими лигандами. Максимальная устойчивость характерна для комплексных соединений с органическими лигандами. В качестве комплексообразователей в природных водах могут быть неорганические ионы [OH]⁻, [F]⁻, [Cl]⁻, [Br]⁻, [I]⁻, [SH]⁻, [S]²⁻, [S₂O₃]²⁻, [SO₃]²⁻, [SO₄]²⁻, [H₃O]⁺, которые при взаимодействии с ионами БМ образуют термодинамически выгодные устойчивые соединения. Основные ионы в поверхностных водах, дренирующих месторождение, имеют следующие средние концентрации (ppm): 140 [HCO₃]⁻; 7 [Ca]²⁺; 20 [Cl]⁻; 12 [SO₄]²⁻; 0,7 [Br]⁻; 1,0 [I]⁻; 10,0 [O₂]⁰, 0,1 [O₃]⁰ (Радомский, Радомская, 2014). Комплексные формы БМ удерживаются в рудном поле месторождения силами физической (0-5 кДж/моль) и химической (15-100 кДж/моль) природы на активированных центрах адсорбции природных минералов при соотношениях 80% и 20%, соответственно. Физически адсорбированные группы атомов БМ энергетически не закреплены на центрах адсорбции, подвержены перемещениям и участвуют в процессах многочисленных переотложений при воздействии энтропийного фактора (Радомский, Радомская, 2014). Источником образования комплексной формы БМ является метастабильная форма ковалентных связей арсенидов и халькогенидов БМ, обладающая повышенной химической активностью по сравнению с инертной самородной металлической формой БМ.

Форма арсенидов и халькогенидов БМ имеет в химических соединениях молекулярные кристаллические ре-

шётки, в которых формальный электрический заряд атомов отличен от нуля (Радомский, Радомская, 2013а; Радомский, Радомская, 2014). Эти молекулы являются метастабильными, вследствие чего сложенные из них минералы претерпевают химические превращения и разрушаются, а освобожденные ионы БМ мигрируют во вмещающей среде. Интервал количественных значений вариаций содержаний БМ для этой формы (Табл. 2), изменяется от 4% для наименее реакционноспособного золота, имеющего максимальный окислительно-восстановительный потенциал ($E^{\circ}_{(Au^{+}/Au)} = +1,68 \text{ В}$), до наиболее химически активных рутения 45% ($E^{\circ}_{(Ru^{++}/Ru)} = +0,45 \text{ В}$) и серебра 55% ($E^{\circ}_{(Ag^{+}/Ag)} = +0,80 \text{ В}$). Руды Покровского месторождения относятся к убогосульфидной приповерхностной формации золотопиритового минерального типа с концентрацией сульфида 0,5% (Петровская, 1973; Моисеенко, Эйриш, 1996). Руды залегают в зонах восстановления и окисления, где в восстановительных условиях существуют молекулярные минералы арсенидов, теллуридов, селенидов и сульфидов, а в окислительных условиях эти минеральные формы превращаются в различные оксидные соединения. Поднятые к поверхности золотосодержащие горные породы постоянно подвержены воздействию разрушающих факторов – энергетическому воздействию воды, ветра, давления, температуры и их резких градиентов. Окисление минералов БМ в зоне гипергенеза осуществляется кислородом воздуха в мягких условиях, приближающихся к термодинамически стандартным. Взаимодействие окружающей среды с минералами БМ осуществляется по границе раздела фаз на поверхности их зёрен и заключается в окислительной деструкции частиц. Атомы БМ, находящиеся на поверхности, обладают избытком потенциальной энергии и повышенной реакционной способностью по сравнению с атомами, расположенными внутри объёма кристаллической решётки. Поверхность индивидуальных минералов *самородного золота* закрыта 1-3 защитными оксидными слоями Au_2O_3 и имеет толщину порядка 1,2 нм. Крайний слой имеет степени окисления для атомов золота Au^{+3} и серебра Ag^{+1} , а внутренние – Au^{+1} и Ag^{+1} . Двойной электрический защитный слой оксида золота граничит со средой, имеющей контакт с атмосферным кислородом, а его толщина пропорциональна активности кислорода. Массовая доля ионного золота в виде оксида Au_2O_3 , сосредоточенного на поверхности *самородного золота*, для первичных руд составляет 0,9%, а для окисленных руд зоны окисления – 2,8% (Радомский, Радомская, 2013а; 2013в).

Формы минералов БМ, характеризующиеся металлическими связями устойчивы, химически инертны и проявляют тенденцию к накоплению. Их количество составляет 70-95 % от валового (Табл. 2) и характерно для подгруппы тяжёлых БМ (Os, Ir, Pt, Au), которые обладают более высокими значениями стандартных окислительно-восстановительных потенциалов E° и поэтому химически стабильны. Подгруппа лёгких БМ (Ru, Rh, Pd, Ag) химически более реакционноспособна, и для них доля соединений с формами металлических связей уменьшается до значений 40-70 % (Табл. 2). Новые металлические связи БМ образуются из кислородных химических соединений при реакциях диспропорционирования, вследствие более выгод-

ного термодинамически самородного металлического состояния (Новгородова, 1983). Поэтому все реальные процессы в открытой стационарной системе протекают в направлении уменьшения возникающих градиентов при преобладающих скоростях протекания восстановительных процессов.

Заключение

Более крупные значения размеров выделений БМ обусловлены температурным режимом формирования месторождения, которое образовалось благодаря Покровскому палеовулкану, обеспечившему пролонгированное воздействие разогретых концентрированных золотосодержащих флюидов на стадии минералообразования. Современные условия гипергенеза также способствовали процессу укрупнения минералов. Влияние этих факторов и привело к результирующему двукратному превышению средних размеров выделений минералов *самородного золота* на Покровском месторождении при сравнении с однотипными сульфидными месторождениями. По температурному фактору также разделены платиновая и золото-серебряная минерализации во времени и пространстве, что привело к отсутствию корреляции в группе БМ. Платиновая минерализация сосредоточилась в более древних массивах рудовмещающих пород, а золотосеребряная минерализация развивалась в более молодых породах по тектоническим разломам и трещинам в процессе раскристиаллизации.

Предложенное разделение природных минералов БМ, основанное на критерии химических связей атомов в них, позволяет оценить количество долей БМ, находящихся в метастабильной форме, испытывающей химические превращения и являющейся источником увеличения концентраций как для форм с самородной металлической минерализацией в процессах укрупнения и минерального концентрирования, так и для восполнения убыли в комплексных формах в процессах миграции и рассеивания в окружающей среде.

Вывод

Таким образом, валовые концентрации не могут полностью описывать геохимическое поведение БМ в природной среде. Такими характеристиками обладает деление, основанное на оценке форм характерных химических связей в минералах БМ: с металлическими связями 40-95 %, с ковалентными связями 4-55 %, с координационными донорно-акцепторными связями 0,8-8 %, отражающих свойства реальных физико-химических систем.

Работа выполнена при поддержке гранта ДВО РАН № 15-1-2-094.

Литература

Мельников А.В., Радомский С.М., Моисеенко В.Г., Мельников В.Д. Новые сведения по платиноносности гидротермалитовых формаций Верхнего Приамурья. Доклады Академии наук. 2007. Т. 417. № 2. С. 236-238.

Мельников А.В., Степанов В.А. Рудно-россыпные узлы южной части Приамурской золотоносной провинции. Благовещенск: АмГУ. 2013. 222 с.

Моисеенко В.Г., Эйриш Л.В. Золоторудные месторождения Востока России. Владивосток: Дальнаука. 1996. 352 с.

Моисеенко В.Г., Степанов В.А., Эйриш А.В., Мельников А.В. Платиноносность Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука. 2004. 176 с.

Некрасов И.Я. Геохимия, минералогия и генезис золоторудных месторождений. М: Наука. 1991. 302 с.

Новгородова М.И. Самородные металлы в гидротермальных рудах. М: Наука. 1993. 287 с.

Петровская Н.В. Самородное золото. М: Наука. 1973. 347 с.

Радомский С.М., Радомская В.И., Моисеенко Н.В., Моисеенко В.Г. Благородные металлы в ландшафтах Амуро-Зейской равнины Приамурья. Доклады Академии наук. 2008. Т. 422. №5. С. 665-667.

Радомский С.М., Радомская В.И., Моисеенко Н.В., Моисеенко В.Г. Наночастицы благородных металлов в торфе Верхнего и Среднего Приамурья. Доклады Академии наук. 2009. Т. 426. № 2. С. 232-234.

Радомская В.И., Радомский С.М. Окисленная форма золота на Покровском золоторудном месторождении Приамурья. Учёные записки Казанск. гос. универ. Серия: Естественные науки. 2011. Т. 153. № 1. С. 225-229.

Радомский С.М., Радомская В.И. Параметры процесса минералообразования золота на Покровском золоторудном месторождении Приамурья. Естественные и технические науки. 2011. № 1. С. 129-132.

Радомский С.М., Радомская В.И. Классификация выделений минералов самородного золота Покровского золоторудного мес-

торожения Приамурья. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2013. № 6. С. 88-92. (а)

Радомский С.М., Радомская В.И. Минералообразование благородных металлов на Покровском золоторудном месторождении Приамурья. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2013. № 2. С. 42-45. (б)

Радомский С.М., Радомская В.И. Соотношение ионных и металллических форм благородных металлов на золотосеребряном месторождении Покровское (Верхнее Приамурье). Горный информационно-аналитический бюллетень. 2013. № 1. С. 128-134. (в)

Радомский С.М., Радомская В.И. Подвижные формы благородных металлов в рыхлых отложениях Покровского золоторудного месторождения (Верхнее Приамурье). Горный информационно-аналитический бюллетень. 2014. № 1. С. 354-360.

Сведения об авторах

Радомский Сергей Михайлович – канд. геол.-мин. наук, в.н.с. лаборатории рудогенеза Института геологии и природопользования ДВО РАН

Валентина Ивановна Радомская – канд. хим. наук, в.н.с. лаборатории биогеохимии Института геологии и природопользования ДВО РАН

675000, Амурская обл., г. Благовещенск, Релочный пер., 1. Тел: (416-2) 53-35-65, 53-16-57

Balance of Noble Metals' Forms in Pokrovka's Gold Layer (Upper Amur Region)

S.M. Radomskii, V.I. Radomskaya

Institute of Geology and Environmental Management, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Science, Blagoveschensk, Russia
e-mail: rsm@ascnet.ru; radomskaya@ascnet.ru

Abstract. For the noble metals (Ru, Rh, Pd, Ag, Os, Ir, Pt, Au) and their minerals in the ores of Pokrovka's gold-ore layer from Upper Amur Region balance of presence forms was determined. According to the particle-size distribution of virgin gold minerals the weighted mean value of coarseness isolations is equal to 4 micron. In forms of minerals' distributions by chemical connections the following types of linking were established: a) metallic – 40-95%; b) covalent – 4-55%; c) coordination donor-acceptor – 0.8-8%. It was established, that the subgroup of light noble metals (Ru, Rh, Pd, Ag) is more inclined to the oxidation processes, scattering and migration, and the subgroup of heavy noble metals (Os, Ir, Pt, Au) – to the processes of reduction, reprecipitation and concentration. Thus, the gross concentrations of noble metals cannot unambiguously describe their geochemical behavior in the natural systems.

Key words: geochemistry, thermodynamics, noble metals, distribution, forms, balance.

References

Mel'nikov A.V., Radomskii S.M., Moiseenko V.G., Mel'nikov V.D. Novye svedeniya po platinonosnosti gidrotermalitovykh formatsiy Verkhnego Priamur'ya [New data on the platinum-bearing capacity of hidrothermalite formations of the Upper Amur region]. Doklady Akademii nauk [Proc. of the Academy of Sciences]. 2007. V.417. №2. Pp. 236-238.

Mel'nikov A.V., Stepanov V.A. Rudno-rossypnye uzly yuzhnoy chasti Priamurskoy zolotonosnoy provintsii [Ore-placer sites of south part of the Amur gold province]. Blagoveschensk: «AmGU» Publ. 2013. 222 p.

Moiseenko V.G., Eyrish L.V. Zolotorudnye mestorozhdeniya Vostoka Rossii [Gold deposits of the East of Russia]. Iadivostok: «Dalnauka» Publ. 1996. 352 p.

Moiseenko V.G., Stepanov V.A., Eyrish A.V., Mel'nikov A.V. Platinonosnost' Dal'nego Vostoka [Platinum-bearing capacity of the Far East]. Vladivostok: «Dalnauka» Publ. 2004. 176 p.

Nekrasov I.Ya. Geokhimiya, mineralogiya i genезis zolotorudnykh mestorozhdeniy [Geochemistry, mineralogy and genesis of gold deposits]. Moscow: «Nauka» Publ. 1991. 302 p.

Novgorodova M.I. Samorodnye metally v gidrotermal'nykh rudakh [Native metals in hydrothermal ores]. Moscow: «Nauka» Publ. 1993. 287 p.

Petrovskaya N.V. Samorodnoe zoloto [Native gold]. Moscow: «Nauka» Publ. 1973. 347 p.

Radomskii S.M., Radomskaya V.I., Moiseenko N.V., Moiseenko V.G. Bлагородные металлы в ландшафтах Амуро-Зейской равнины Приамур'я [Noble metals in the landscapes of the Amur-Zeya plain of the Amur region]. Doklady Akademii nauk [Proc. of the Academy of Sciences]. 2008. V. 422. № 5. Pp. 665-667.

Radomskii S.M., Radomskaya V.I., Moiseenko N.V., Moiseenko V.G. Nanochastitsy blagorodnykh metallov v torfe Verkhnego i Srednego Priamur'ya [Nanoparticles of noble metals in peat of the Upper and Middle Amur region]. Doklady Akademii nauk [Proc. of the Academy of Sciences]. 2009. V. 426. № 2. Pp. 232-234.

Radomskaya V.I., Radomskii S.M. Okislennaya forma zolota na Pokrovskom zolotorudnom mestorozhdenii Priamur'ya [The oxidized form of gold at Pokrovsky gold mine of the Amur region]. Uchenye zapiski Kazanskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki. 2011. V.153. № 1. Pp. 225-229.

Radomskii S.M., Radomskaya V.I. Parametry protsessa mineraloobrazovaniya zolota na Pokrovskom zolotorudnom mestorozhdenii Priamur'ya [Parameters of gold mineralization at Pokrovsky gold mine of the Amur region]. Estestvennye i tekhnicheskie nauki [Natural and engineering sciences]. 2011. № 1. Pp. 129-132.

Окончание статьи С.М. Радомского, В.И. Радомской «Баланс форм благородных металлов на золоторудном месторождении Покровское (Верхнее Приамурье)»

Radomskii S.M., Radomskaya V.I. Klassifikatsiya vydeleniy mineralov samorodnogo zolota Pokrovskogo zolotorudnogo mestorozhdeniya Priamur'ya [Classification of mineral precipitates of native gold at the Pokrovsky gold deposit (Amur region)]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'* [Mining informational and analytical bulletin]. 2013. № 6. Pp. 88-92.

Radomskii S.M., Radomskaya V.I. Mineraloobrazovanie blagorodnykh metallov na Pokrovskom zolotorudnom mestorozhdenii Priamur'ya [Precious metals mineralization at the Pokrovsky gold mine (Amur region)]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'* [Mining informational and analytical bulletin]. 2013. № 2. Pp. 42-45.

Radomskii S.M., Radomskaya V.I. Sootnoshenie ionnykh i metallicheskikh form blagorodnykh metallov na zolotoserebryanom mestorozhdenii Pokrovskoe (Verkhnee Priamur'e) [The ratio of ionic and metal forms of noble metals at the Pokrovsky gold and silver deposit (Upper Amur region)]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'* [Mining informational and analytical bulletin]. 2013. № 1. Pp. 128-134.

Radomskii S.M., Radomskaya V.I. Podvizhnye formy

blagorodnykh metallov v rykhlykh otlozheniyakh Pokrovskogo zolotorudnogo mestorozhdeniya (Verkhnee Priamur'e) [Active forms of noble metals in unconsolidated sediments of the Pokrovsky gold deposit (Upper Amur region)]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'* [Mining informational and analytical bulletin]. 2014. № 1. Pp. 354-360.

Information about authors

Sergey M. Radomskii – PhD (Geol. and Min.), Leading Researcher of the Ore genesis Laboratory

Valentina I. Radomskaya – PhD (Chem.), Leading Researcher of the Biogeochemistry Laboratory

Institute of Geology and Environmental Management, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Science
675000, Amursky region, Blagoveschensk, Relochnyy per., 1. Phone: (416-2) 53-35-65, 53-16-57