

Оригинальная статья / Original article

УДК 550.423

<http://dx.doi.org/10.21285/2541-9455-2017-40-4-30-41>

ПЛАТИНОВАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ НА МАЛОМЫРСКОМ ЗОЛОТОРУДНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ ПРИАМУРЬЯ

© С.М. Радомский^а, В.И. Радомская^б

^{а,б}Институт геологии и природопользования ДВО РАН,
Российская Федерация, 67500, г. Благовещенск, пер. Рёлочный, 1.

РЕЗЮМЕ. Цель. В связи с начавшейся разработкой золоторудного месторождения Маломыр представляется актуальным оценить концентрации остальных благородных металлов (БМ) в образцах руд этого месторождения, произвести оценку концентраций группы платиновых металлов для использования возможностей комплексного извлечения полезных компонентов из минерального сырья (Ru, Rh, Pd, Ag, Os, Ir, Pt, Au). **Методы.** Атомная абсорбция, вольтамперометрия, фотоколориметрия, каталиметрия и методы химического анализа с использованием методик пробирного и экстракционного концентрирования при определении массовых долей БМ в рядовых геохимических пробах с погрешностью по правильности, точности и воспроизводимости результата $\leq 30\%$. **Результаты.** Были получены результаты содержания благородных металлов в рудах золоторудного месторождения. Установлено, что золотосеребряная минерализация относится к генерациям сульфидов средне- и низкотемпературной формации, тогда как платиновая минерализация была образована сульфидами высокотемпературных генераций. Отмечено отсутствие корреляций между указанными генерациями сульфидов. **Выводы.** Проявлениям золоторудной минерализации (2,88 ppm) сопутствуют концентрации серебра (0,92 ppm) и платиновой минерализации в концентрациях менее 1 ppm.

Ключевые слова: геохимия, золото, серебро, металлы группы платины, распределение, Маломырское золоторудное месторождение, Приамурье.

Формат цитирования: Радомский С.М., Радомская В.И. Платиновая минерализация на Маломырском золоторудном месторождении Приамурья // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых. 2017. Т. 40. № 4. С. 30–41. DOI: 10.21285/2541-9455-2017-40-4-30-41

PLATINUM MINERALIZATION OF MALOMYR GOLD-ORE DEPOSIT IN AMUR REGION

S.M. Radomskii, V.I. Radomskaya

Institute of Geology and Nature Management FEB RAS,
1 Relochy per., Blagoveshchensk 675000, Russian Federation

ABSTRACT. Purpose. The beginning development of the Malomyr gold deposit makes relevant the evaluation of the concentration of other noble metals (NM) in the ore samples from this deposit. The main purpose of the study is assessment of the concentrations of platinum metals in order to perform the complex extraction of useful components (Ru, Rh, Pd, Ag, Os, Ir, Pt, Au) from the mineral raw material. The **Methods** used in the study include atomic absorption, voltammetry, photocolorimetry, catalysis and chemical analysis methods, using the techniques of assay and extraction concentration when determining the mass fraction of NM in standard geochemical samples with the

^аРадомский Сергей Михайлович, кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник лаборатории рудогенеза, e-mail: rsm@ascnet.ru

Sergei M. Radomskii, Candidate of Geology and Mineralogy, Researcher of the Ore Genesis Laboratory, e-mail: rsm@ascnet.ru

^бРадомская Валентина Ивановна, кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории биогеохимии, e-mail: radomskaya@ascnet.ru

Valentina I. Radomskaya, Candidate of Chemistry, Leading Researcher of the Biogeochemistry Laboratory, e-mail: radomskaya@ascnet.ru

error for correctness, accuracy and reproducibility of results $\leq 30\%$. **Results.** The results on the content of noble metals in the ores of the gold deposit have been obtained. It has been found that the gold-silver mineralization relates to sulfide generations of medium and low temperature formations, whereas platinum mineralization was formed by the sulfides of high-temperature generations. It is specified that there are no correlations between these generations of sulfides. **Conclusions.** Manifestations of gold mineralization (2.88 ppm) are accompanied by silver concentrations (0.92 ppm) and platinum mineralization with the concentration less than 1 ppm.

Keywords: geochemistry, gold, silver, platinum group metals, distribution, Malomyr gold-ore deposit, Amur region

For citation: Radomskii S.M., Radomskaya V.I. Platinum mineralization of Malomyr gold-ore deposit in Amur region. Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences of the Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Exploration and Development of Mineral Deposits, 2017, vol. 40, no. 4, pp. 30–41. (In Russian). DOI: 10.21285/2541-9455-2017-40-4-30-41

Введение

Амурская область является одним из старейших золотодобывающих регионов России, где добыча золота осуществлялась традиционными способами с середины XIX в. [1]. Основные золотороссыпные площади располагаются в пределах орогенных областей, а также вдоль периферии Амуро-Зейской равнины, охватывая разновысотные ландшафты [2]. На рисунке приведена геологическая схема золоторудной провинции по данным В.А. Степанова [3].

С XXI в. регион находится в группе лидеров среди золотодобывающих субъектов Российской Федерации. В 2011 г. в разработку запустили Маломирское золоторудное месторождение. В целях комплексного использования руд месторождения представляется актуальным провести дополнительное исследование на содержание всей группы благородных металлов (БМ), в которой кроме золота находятся серебро и металлы группы платины (МГП). Серебро входит в состав минералов самородного золота, и часто их минерализацию рассматривают совместно [4], тогда как минерализация МГП менее изучена.

Самородные состояния так же характерны для МГП, как и для золота, но менее распространены в природной

среде [5]. В Амурской области месторождения золота, золотоносные и платиноносные площади обособлены в 46 золотоносных и 7 потенциально платиноносных рудно-россыпных узлах, занимающих 45 % территории региона, где отмечались случаи попутного извлечения выделений минералов группы платины размером до 3 мм [2]. Поэтому представляется актуальным выполнить разведку и полное изучение всей группы БМ для вводимых в эксплуатацию золоторудных месторождений.

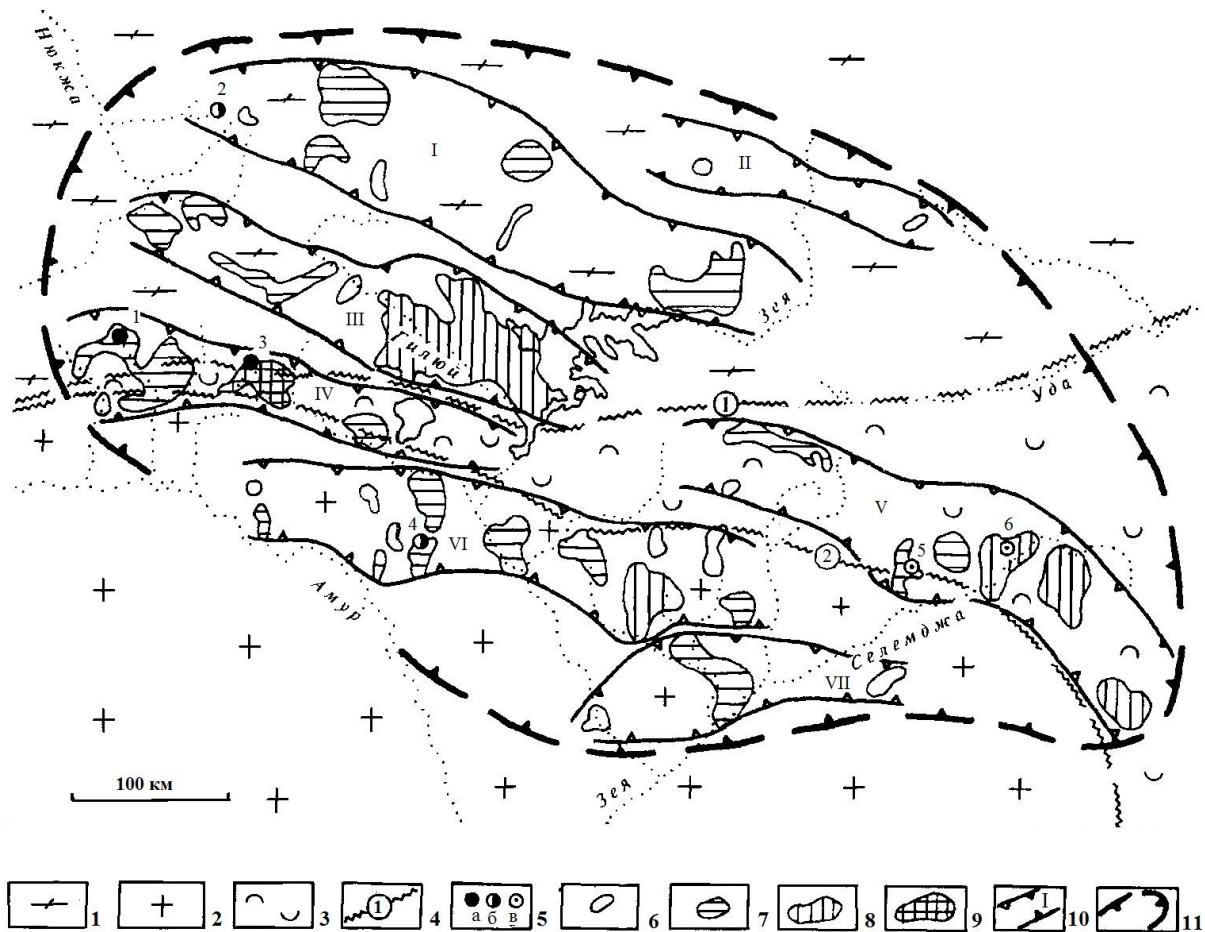
Целью работы являлось дополнительное изучение платиновой минерализации на разрабатываемом Маломирском золоторудном месторождении для оценки возможности комплексного извлечения всей группы БМ.

Материалы и методы исследования

В работе были использованы усредненные, отквартованные и сокращенные пробы следующих видовых характерных типов 27 рудных и 9 вскрышных пород с четырех участков рудного поля Маломирского золоторудного месторождения. Анализ группы БМ (Ru, Rh, Pd, Ag, Os, Ir, Pt, Au) проводился в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52599-2006¹. Количественное определение содержания золота и серебра проведено после отжига проб при 650 °С в течение

¹ ГОСТ Р 52599-2006. Драгоценные металлы и их сплавы. Общие требования к методам анализа. М.: Стандартинформ, 2007. 10 с. / GOST R 52599-

2006. Precious metals and their alloys. General requirements for the analysis methods. Moscow: Standartinform Publ., 2007. 10 p.



Приамурская золотоносная провинция (по В.А. Степанову, 2000):

1 – Становая складчато-блоковая система; 2 – Буреинский срединный массив; 3 – Амуро-Охотская геосинклинально-складчатая система; 4 – границы геоблоков, представленные глубинными разломами: Монголо-Охотским (1) и Южно-Тукурингерским (2); 5 – месторождения золота: плутоногенного (а), вулканогенного (б) и плутоногенно-метаморфогенного (в) классов (арабские цифры на схеме: 1 – Березитовое, 2 – Бамское, 3 – Кировское, 4 – Покровское, 5 – Маломырское, 6 – Токурское); 6–9 золотороссыпные узлы, содержащие россыпи с суммой добытого и разведанного золота, т: 6 – 0,1–0,9; 7 – 1–9; 8 – 10–90; 9 – более 100; 10 – границы металлогенических зон (римские цифры: I – Северо-Становая, II – Чапско-Майская, III – Джелтулакская, IV – Янкан-Тукурингерская, V – Джагды-Селемджинская, VI – Северо-Буреинская, VII – Чагоян-Быссинская); 11 – контур провинции

Priamur gold-bearing province (according to V.A. Stepanov, 2000):

1 – Stanovaya fold-block system; 2 – Bureinsky middle massif; 3 – Amur-Okhotsk geosynclinal-fold system; 4 – boundaries of geoblocks represented by deep faults: Mongol-Okhotsk (1) and South Tukuringra (2); 5 – gold deposits: plutogenic (a), volcanogenic (b) and plutogenic-metamorphogenic (c) classes (arable figures on the diagram: 1 – Berezitovoe, 2 – Bamskoe, 3 – Kirovskoe, 4 – Pokrovskoe, 5 – Malomyrskoe, 6 – Tokurskoye); 6–9 gold fields containing placers with the amount of mined and explored gold (in tons): 6 – 0.1–0.9; 7 – 1–9; 8 – 10–90; 9 – > 100; 10 – boundaries of metallogenic zones (Roman figures: I – North-Stanovaya, II – Chapsko-Mayskaya, III – Dzheltulakskaya, IV – Yankan-Tukuringrskaya, V – Jagdy-Selemdzhinskaya, VI – North-Bureinskaya, VII – Chagoyan-Bissinskaya); 11 – province outline

1,5 ч и вскрытия навески (5–10 г) раствором смеси кислот HCl и HNO₃ в отношении 3:1 с последующим экстракционным атомно-абсорбционным определением

золота в растворе 0,05М дибутилсульфида в метилбензоле и иодидных комплексов серебра в растворе 3-метилбутанола-1 [6].

Анализ МГП осуществлялся по ГОСТ Р 55558-2015² со следующими внесенными допустимыми дополнениями и изменениями. Методика определения металлов группы платины заключалась в концентрировании элементов из навески 10 г путем предварительного сплавления на никелевый штейн с последующим его растворением в соляной кислоте, разбавленной дистиллированной водой в отношении 1:1 и отделением нерастворимого остатка элементов группы платины, затем сплавлением нерастворимого остатка с пероксидом натрия и получением водного исходного раствора платиноидов. Из него отбирались аликвоты на дальнейшие раздельные определения металлов: переводе в 0,1М уксуснокислый раствор осмия и в 2-3М HCl раствор остальных металлов. Содержание рутения, осмия и иридия определяли кинетическим, каталитическим и фотоколориметрическими методами соответственно. Вторичное концентрирование платины, палладия, родия проводили методом экстракции смесью 0,025М растворов ди-2-этилгексилдифосфорной кислоты и орто-алкиланилина в метилбензоле из солянокислого раствора [7]. Анализы выполняли на атомно-абсорбционных спектрофотометрах Hitachi 180-50 и SOLAAR M-6 в вариантах пламенной и электротермической атомизаций.

БМ в природной среде распределены крайне неравномерно, и поэтому при исследовании их роли и поведения в геохимических процессах необходимо надежно определять следовые количества, что задается условиями использования представительной навески для применяемых методов [8] и использованием накопленного опыта в современных

эффективных схемах анализов, связанных с предварительной подготовкой, отделением от матрицы и концентрированием, что позволяет избавиться от матричного эффекта и значительно повысить соотношение сигнал/шум [9, 10].

Пробы рудного материала отбирались в соответствии с методическими указаниями, разработанными ЦНИГРИ для физико-химических исследований золоторудных месторождений. Аналитические определения выполнялись по III категории точности количественного анализа для исследования рядовых геохимических проб, допущенных отраслевыми методиками при исследованиях пород, руд, концентратов, хвостов обогащения. Общая метрологическая характеристика метода – суммарная погрешность по правильности, точности и воспроизводимости $\leq 30\%$. Из них правильность методики, определенная по отклонению характеристик государственных стандартных образцов состава (ГСО) $\leq 15\%$; точность (погрешность измерения прибора) $\leq 1\%$; воспроизводимость метода (случайная погрешность) $\leq 7\%$; погрешность устранения мешающих влияний окислительным обжигом $\leq 5\%$. При анализе образцы должны быть очищены от влияния мешающих и загрязняющих веществ по требованиям нормативных документов. Анализу БМ мешают органический углерод (С) и сера (S), влияние которых устраняется принудительным окислительным обжигом при 650 °С, в течение 1,5 ч. Для контроля полученных аналитических результатов в работе были использованы следующие ГСО: концентрат никелевый КН-1 № 1702-86 (перечень аттестованных компонентов и их содержание, г/т: Ru – 0,34; Rh – 0,98; Pd – 30,0; Ag

² ГОСТ Р 55558-2015. Руда сульфидная медно-никелевая. Масс-спектрометрический метод определения содержания платины, палладия, родия, рутения, иридия и золота с предварительным коллективированием на никелевый штейн. М.: Стандартинформ, 2015. 36 с. / GOST R 55558-

2015. Copper-nickel sulfide ore. Mass spectrometric method for determining the content of platinum, palladium, rhodium, ruthenium, iridium and gold with preliminary nickel matte smelting. Moscow: Standartinform Publ., 2015. 36 p.

– 23,4; Os – 0,06; Ir – 0,11; Pt – 8,6; Au – 0,84), использовавшийся при контроле анализа рудных пород месторождения, и хвосты обогащения ХО-1 ГСО № 1703-86 (перечень аттестованных компонентов и их содержание, г/т: Ru – 0,029; Rh – 0,096; Pd – 0,84; Ag – 0,58; Os – 0,011; Ir – 0,010; Pt – 0,43; Au – 0,07), использовавшийся при контроле аналитических определений во вскрышных породах [7].

Основным аналитическим способом определения массовых долей БМ был вариант электротермической атомизации в графитовой печи атомно-абсорбционного метода анализа с чувствительностью определений 0,1–100 мг/т. При концентрациях БМ > 100 мг/т использовался способ атомизации в пламени горелки атомно-абсорбционного метода анализа с использованием кратных разбавлений. Работа атомно-абсорбционного метода анализа контролировалась на внутрिलाбораторном уровне инверсионным вольтамперометрическим методом анализа с чувствительностью определений БМ 0,001 мг/т и достигнутой аппаратной чувствительностью примененной методики > 0,1 мг/т при навеске образца 1 г [11].

Результаты и обсуждение

Маломырское золоторудное месторождение было открыто в 1970 г. и изучалось многими исследователями [1]. Расположено в южных отрогах Селемджинского хребта и охватывает левобережье р. Нижняя Стойба с бассейнами рч. Сухоныр и Маломыр. Географически находится на северо-востоке Амурской области, в Селемджинском районе, в 80 км к западу от районного центра пос. Экимчан. Ближайший населенный пункт – с. Стойба – располагается в 40 км к югу от месторождения. В орографическом отношении рассматриваемая площадь представляет собой часть среднерасчлененного низкогорья, приуроченного к южным отрогам Селемджинского хребта. Абсолютные отметки водоразделов

достигают 800 м, а днища долин – 500 м при крутизне склонов 15–20°. По климатическим условиям месторождение находится в зоне проявлений массивно-островного и прерывистого распространения многолетней мерзлоты. Климат района резко континентальный при отрицательной среднегодовой температуре минус 5,7 °С. Осадков – 697 мм, большая их часть – 587 мм – приходится на теплый период (май – сентябрь). Растительность территории сформировалась на буротаежных холодных, длительно промерзающих почвах. Вскрышные породы Маломырского золоторудного месторождения имеют мощность 5–10 м, характеризуются залесенными (лиственница, береза) склонами долин и замаренными (покров мохово-кустарниковый) днищами долин [1–3].

Концентрации БМ во вскрышных породах месторождения представлены в таблице и превышают аналогичные показатели для природных компонентов ландшафтов [12–14]. Превышения для кларков БМ составляют сотни раз, за исключением серебра, для которого аналогичные превышения составляют несколько десятков раз вследствие его малой региональной распространенности в биогеохимических провинциях Приамурья [13], что обусловлено минерагенической особенностью территории Амурской области [1–3]. По указанным превышениям концентраций золота и серебра было замечено и впоследствии разведано и открыто это месторождение. Накопление БМ осуществляется за счет работы сил испарения влаги при восходящей миграции, вследствие чего повышается их содержание в поверхностных слоях почв, в результате над выходами рудных тел концентрации ионов достигают средних значений, характерных для руд месторождения, и уменьшаются от центра к периферии, образуя литохимические и гидрохимические ореолы рассеивания. Концентрации ионных форм БМ в

Валовые концентрации благородных металлов в руде и во вскрышных породах на Маломырском золоторудном месторождении*
Gross concentrations of precious metals in the ore and overburden of the Malomyr gold-ore deposit*

Элемент / Element	Рудные породы, 27 проб / Ore rocks, 27 samples	Вскрышные породы, 9 проб / Overburden, 9 samples	Кларк в земной коре [14] / Percentage abundance in the earth crust [14]
Ru	<u>0,140–0,192</u> 0,17	<u>0,001–0,040</u> 0,021	0,0001
Rh	<u>0,032–0,055</u> 0,044	<u>0,009–0,015</u> 0,012	0,00006
Pd	<u>0,360–0,680</u> 0,52	<u>0,022–0,046</u> 0,039	0,0004
Ag	<u>0,60–1,25</u> 0,92	<u>0,18–0,34</u> 0,26	0,07
Os	<u>0,017–0,028</u> 0,023	<u>0,018–0,042</u> 0,030	0,00005
Ir	<u>0,004–0,006</u> 0,005	<u>0,022–0,034</u> 0,028	0,00005
Pt	<u>0,54–0,96</u> 0,75	<u>0,24–0,48</u> 0,36	0,0004
Au	<u>0,90– 4,86</u> 2,88	<u>0,34–0,85</u> 0,55	0,0025

Примечание. *В числителе – интервал определяемых содержаний, в знаменателе – среднее значение, ppm.

Note. *Numerator indicates the interval of determined contents, denominator – the average value, ppm.

верхних горизонтах рыхлых отложений могут достигать средних значений по месторождению при незначительной мощности своих проявлений. Указанные соотношения справедливы как для естественных природных ландшафтов, так и для техногенно преобразованных и отработанных (например, Покровское месторождение Приамурья) [15].

Разработка Маломырского месторождения началась с 2011 г. на четырех участках: Кварцитовый, Центральный, Сухонырский, Ожидаемый, занимающих площадь 40 км². Рудные жилы сходятся в пучок в центральной части месторождения и имеют различные характеристики по падению и простираюнию. Месторождение сложено разнообразными сланцами среднекаменноугольного возраста с субсогласными телами плагиогранитов, прорванными дайками дацитов и андезитов

и относится к классу плутоногенно-метаморфогенных золоторудных месторождений, осложненных гидротермальными изменениями. Имеет длительную геологическую историю, начавшуюся в палеозойской эре, когда были образованы высокотемпературные плутоногенные генерации минералов, содержащих БМ. Дальнейшие преобразования происходили в мезозойскую и кайнозойскую эры, когда эти минералы претерпели воздействия метаморфизма и гидротермальных процессов.

На месторождении были выявлены первичные золотосульфидные и окисленные руды. По степени окисления железа большинство руд относится к типу первичных неокисленных руд. Для сульфидных месторождений граница между полем окислителей и полем восстановителей определяется фазовым анализом

при условии равенства концентраций минералов железа $[Fe]^{3+} = [Fe]^{2+}$, характеризующих равновесие $Fe^{3+} \leftrightarrow Fe^{2+}$.

Средний химический состав руды, %: SiO_2 – 65,83; Al_2O_3 – 11,85; TiO_2 – 0,67; MnO – 0,11; CaO – 1,87; MgO – 1,34; FeO – 3,07; Fe_2O_3 – 3,06; S – 1,39; CO_2 – 2,98; $S_{\text{органический}}$ – 0,20; P_2O_5 – 0,32; Na_2O – 1,27; K_2O – 4,48; сумма – 98,77 [16]. Значения массовых долей БМ, ppm, представлены в таблице. Гидротермальными процессами концентрации БМ на рудном поле были в значительной степени усреднены, а повышенные содержания фиксировались только в рудных жилах, достигая следующих максимальных значений, ppm: Ru – 1, Rh – 1, Pd – 6, Ag – 15, Os – 1, Ir – 1, Pt – 10, Au – 25, которые по отраслевым правилам обработки первичной геохимической информации в об-счет результатов, представленных в таблице, не попали (ГОСТ Р 52599-2006)³.

Основными породообразующими минералами в рудах являются кварц, слюдисто-гидросланцевые образования и полевой шпат. Рудообразующие компоненты представлены железом, серой и мышьяком. По массе преобладает железо. Рудные минеральные компоненты представлены сульфидами и гипергенными образованиями железа с массовой долей сульфидов 3,4–5,0 %, из них на пирит приходится 3/4 от общего количества. Руды месторождения имеют следующий средний минеральный состав, %: кварц – 39–44, полевой шпат (плаггиоклаз, калиевый полевой шпат) – 19–24 %, слюдисто-гидросланцевые (серицит, иллит) – 20–23, пирит – 2–4, арсенопирит – 1,2, карбонаты – 8–12, углистое вещество – 1–1,5. Важной особенностью руд является присутствие углистого вещества, что позволяет отнести породы к классу черносланцевых [16].

Сульфиды месторождения образуют следующие генерации: пирит I, II, III и арсенопирит I и II генераций, которые характеризуют стадии формирования месторождения и отличаются друг от друга составом и проявляемыми свойствами. На месторождении выделяют раннюю стадию (высокотемпературная марказит-пиритовая), содержащую сульфиды никеля, кобальта, железа и сложенную пиритом I генерации. Продуктивная стадия (среднетемпературная сфалерит-арсенопирит-пиритовая) представлена пиритом II генерации и арсенопиритом I генерации. Поздняя пострудная стадия (низкотемпературная арсенопирит-пиритовая), содержащая сульфиды серебра, сульфоарсениды, сульфосоли, представлена пиритом III генерации и арсенопиритом II генерации [17].

Указанным генерациям сульфидов на месторождении по геохимическим условиям соответствуют две ассоциации БМ – высокотемпературная и низкотемпературная. Высокотемпературная ассоциация БМ образована при температурах, превышающих 1000 °С в сверхкритических пересыщенных парах серы. В нее входят высокопробное золото и минералы МГП, в основном сульфиды. МГП входят в VIII группу периодической системы химических элементов Д.И. Менделеева наряду с Ni , Co , Fe и являются их полными химическими гомологами, способными замещать указанные элементы в образуемых ими химических соединениях и минералах [18]. При истощении серосодержащих флюидов в условиях высоких температур образуются минералы изоферроплатиновой группы и самородные металлы. Низкотемпературная ассоциация БМ образована при температурах менее 500 °С флюидами, содержащими жидкую серу. Это обычные

³ ГОСТ Р 52599-2006. Драгоценные металлы и их сплавы. Общие требования к методам анализа. М.: Стандартинформ, 2007. 10 с. / GOST R 52599-

2006. Precious metals and their alloys. General requirements for the analysis methods. Moscow: Standartinform Publ., 2007. 10 p.

условия для протекания гидротермальных процессов, при которых образуются продуктивные золоторудные ассоциации [18, 19]. Низкотемпературная ассоциация БМ содержит выделения низкопробного золота и характеризуется низкими концентрациями платиноидов, характерных в целом для гидротермальных месторождений (например, Покровское месторождение Приамурья вулканогенного класса) [19]. Между высокотемпературной и низкотемпературной ассоциациями БМ Маломырского золоторудного месторождения отсутствуют корреляционные связи. Так в рудах, имеющих максимальные концентрации золота и серебра, концентрации платиноидов минимальны, и наоборот, в тех рудах, где отмечены повышенные концентрации МГП, наблюдаются минимальные содержания золота и серебра.

Главный нерудный минерал на месторождении – кварц, с которым ассоциировано до 80 % выделений самородного золота, а главные рудные минералы – пирит и арсенопирит, с которыми связано 15–20 % выделений самородного золота. Самородное золото находится в кварце на стыках зерен минералов и в ассоциациях с пиритом и арсенопиритом. Видимого золота на месторождении нет, большинство зерен золота имеет размер менее 0,05 мм, а половина относится к классу 0,02 мм. Золото в основном комковидное, реже пластинчатое, друзовое, дендритовидное, ажурное. Самородное золото состоит из двух формаций: низкопробной тускло-желтой с пробой 720 и высокопробной золотисто-желтой с пробой 880 [1, 16]. Усредненные концентрации золота в руде на Маломырском месторождении относятся к рудным значениям, составляют 2,88 ppm и превышают более чем в 1000 раз кларк концентраций золота в земной коре [14] (см. таблицу).

Платиновая минерализация по аналогии с процессом рудообразования массива Кондёр имеет высокотемператур-

ную природу, фракционируется из сульфидной магмы с последующим обогащением БМ при гидротермальных перераспределениях, происходящих под воздействием большого числа факторов [20]. В выделениях минералов группы платины дунитовых руд Урала около половины зерен МГП находится в мелких и тонких классах крупности (< 80 мкм). Они характеризуются различной морфологией. Наиболее крупные индивиды имеют неправильную форму и часто находятся в сростании с оливином или хромшпинелидами, а значительная часть мелких зерен имеет кристаллическую форму с преобладанием кубической огранки. Максимальная крупность зерен не превышает 400 мкм, а средний размер зерен в выборках варьирует от 60 до 98 мкм [21]. Платиновая минерализация Маломырского золоторудного месторождения характеризуется преимущественно двумя ассоциациями: сперрилитовой и рутениридосминовой, представленными минералами – сперрилитом, самородной платиной, изоферроплатиной, иридосминами, осмииридами, рутениридосминами, а также лауритом, эрлихманитом, реже другими сульфидами и сульфоарсенидами [2]. Выделения минералов группы платины являются сопутствующими для золоторудных и проявляются в значениях нерудных концентраций < 1 ppm, достигая превышений относительно своих кларковых концентраций в земной коре в 100–1000 раз (см. таблицу).

В настоящее время горно-обогательное предприятие перерабатывает на месторождении окисленные кварцитовые руды, извлекая только золото, тогда как приемлемой технологии для отработки первичных руд и сопутствующих золоту Ag и МГП нет. Черные сланцы в будущем рассматриваются в качестве нового перспективного и нетрадиционного источника платинового сырья. Вместе с тем, как справедливо отмечают исследователи [22], степень их изученности фраг-

ментарна. В России имеются месторождения, также относящиеся к черносланцевому типу (месторождения Енисейского кряжа, Северного Забайкалья, (Сухой Лог)).

Выводы

1. На Маломырском золоторудном месторождении золоту (2,88 ppm) сопутствуют серебряная (0,92 ppm) и групповая платиновая минерализации в концен-

трациях менее 1 ppm (для более распространенных Pt – 0,75 ppm, Pd – 0,52 ppm).

2. Золотосеребряная минерализация связана с генерациями сульфидов средне- и низкотемпературной формаций, тогда как платиновая минерализация – с сульфидами высокотемпературных генераций, и они не коррелируют друг с другом.

Библиографический список

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

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

3. Степанов В.А. Геология золота, серебра и ртути. Ч. 2. Золото и ртуть Приамурской провинции. Владивосток: Дальнаука, 2000. 161 с.

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

5. Новгородова М.И. Самородные металлы в гидротермальных рудах. М.: Наука, 1983. 287 с.

6. Радомская В.И., Радомский С.М., Пискунов Ю.Г., Куимова Н.Г. Биогеохимия благородных металлов в водотоках бассейна реки Амур // Геозкология, инженерная геология, гидрогеология, геокириология. 2005. № 4. С. 317–322.

7. Радомский С.М., Радомская В.И. Благородные металлы рудного поля Албынского золоторудного месторождения Верхнего Приамурья // Георесурсы. 2017. Т. 19. № 2. С. 141–146. DOI: <http://doi.org/10.18599/grs.19.2.10>

8. Кубракова И.В., Никулин А.В., Кошечева И.Я., Тютюнник О.А. Платиновые металлы в окружающей среде: содержание, определение, поведение в природных системах // Химия в интересах устойчивого развития. 2012. Т. 20. № 6. С. 645–656.

9. Alsenz H., Zereini F., Wiseman C.L.S., Püttmann W. Analysis of palladium concentrations in airborne particulate matter with reductive co-precipitation, He collision gas, and ID-ICP-Q-MS // Analytical and Bioanalytical Chemistry. 2009. Vol. 395. № 6. P. 1919–1927.

10. Balcerzak M. Methods for the Determination of Platinum Group Elements in Environmental and Biological Materials // Critical reviews in analytical chemistry. 2011. Vol. 41. Iss. 3. P. 214–235.

11. Колпакова Н.А. Определение платиновых металлов в минеральном сырье методом инверсионной вольтамперометрии (обзор) // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2014. Т. 80. № 9. С. 5–13.

12. Войткевич Г.В., Кокин А.В., Мирошников А.Е., Прохоров В.Г. Справочник по геохимии М.: Недра, 1990. 480 с.

13. 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.

14. Wedepohl K.H. The composition of the continental crust // *Geochemica et Cosmochimica Acta*. 1995. V. 59. № 2. P. 1217–1232.

15. Радомский С.М., Радомская В.И. Соотношение ионных и металлических форм благородных металлов на золотосеребряном месторождении Покровское

(Верхнее Приамурье) // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2013. № 1. С. 128–134.

16. Эйриш Л.В. Металлогения золота Приамурья (Амурская область, Россия). Владивосток: Дальнаука, 2002. 194 с.

17. Ожогин Д.О. Минералогия золотосульфидных руд месторождения Маломир (Дальний Восток). Вестник института геологии Коми научного центра Уральского отделения РАН. 2016. № 1 (253). С. 11–17. DOI: 10.19110/2221-1381-2016-1-11-17.

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

19. Радомский С.М., Радомская В.И.

Минералообразование благородных металлов на Покровском золоторудном месторождении Приамурья // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2013. № 2. С. 42–45.

20. Налдретт А. Дж. Магматические сульфидные месторождения медно-никелевых и платинометалльных руд. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2003. 487 с.

21. Tolstykh N., Kozlov A., Telegin Yu. Platinum mineralization of the Svetly Bor and Nizhny Tagil intrusions, Ural Platinum Belt // Ore Geology Reviews. 2015. Vol. 67. № 5. P. 234–243.

22. Khanchuk A.I. Rasskazov I.Y., Aleksandrova T.N., Komarova V.S. Natural and technological typomorphic associations of trace elements in carbonaceous rocks of the Kimkan noble metal occurrence, Far East // Russian Journal of Pacific Geology. 2012. Vol. 6. № 5. P. 339–348.

References

1. Moiseenko V.G., Eirish L.V. *Zolotorydnye mestorozhdeniya vostoka Rossii* [Gold-ore deposits in the East of Russia]. Vladivostok: Dal'nauka Publ., 1996, 352 p.

2. Moiseenko V.G., Stepanov V.A., Eirish L.V., Melnikov A.V. *Platinonostnost' Dal'nego Vostoka* [Platinum Mineralization of the Far East]. Vladivostok: Dal'nauka Publ., 2004, 176 p.

3. Stepanov V.A. *Geologiya zolota, serebra i rtyti. Ch. 2. Zoloto i rtyt' Priamurskoy provintsii* [Geology of Gold, Silver and Mercury. Part 2. Gold and Mercury of the Priamurye Province]. Vladivostok: Dal'nauka Publ., 2000, 161 p.

4. Petrovskaya N.V. *Samorodnoe zoloto* [Free gold]. Moscow: Nauka Publ., 1973, 347 p.

5. Novgorodova M.I. *Samorodnye metally v gidrotermal'nykh rudakh* [Native metals in hydrothermal ores]. Moscow: Nauka Publ., 1983, 287 p.

6. Radomskaya V.I., Radomskii S.M., Piskunov Yu.G., Kuimova N.G. Biogeochemistry of noble metals in water streams of the Amur River Basin. *Geoekologiya, inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya* [Environmental Geoscience], 2005, no. 4, pp. 317–322. (In Russian).

7. Radomskii S.M., Radomskaya V.I. Noble metals of the Albynsky gold ore field in the Upper Amur River region. *Georesursy* [Georesources], 2017, vol. 19, no. 2, pp. 141–146. DOI: <http://doi.org/10.18599/grs.19.2.10>. (In Russian).

8. Kubrakova I.N., Nikulin A.V., Koshcheeva I.Ya., Tyutyunnikova O.A. Platinum Metals in the Environment: Content, Determination, Behaviour in Natural Systems. *Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya* [Chemistry for Sustainable Development], 2012, vol. 20, no. 6, pp. 645–656. (In Russian).

9. Alsenz H., Zereini F., Wiseman C.L.S., Püttmann W. Analysis of palladium

concentrations in airborne particulate matter with reductive co-precipitation, He collision gas, and ID-ICP-Q-MS. Analytical and Bio-analytical Chemistry, 2009, vol. 395, no. 6, pp. 1919–1927.

10. Balcerzak M. Methods for the Determination of Platinum Group Elements in Environmental and Biological Materials. Critical reviews in analytical chemistry, 2011, vol. 41, issue 3, pp. 214–235.

11. Kolpakova N.A. Stripping Voltammetry in Determination of Platinum Group Metals in Mineral Raw Materials (review). *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov* [Industrial laboratory. Diagnostics of materials], 2014, no. 9, vol. 80, pp. 5–13. (In Russian).

12. Voitkevich G.V., Kokin A.V., Miroshnikov A.E., Prokhorov V.G. *Spravochnik po geokhimii* [Handbook on Geochemistry]. Moscow: Nedra Publ., 1990, 480 p. (In Russian).

13. Radomskii S.M., Radomskaya V.I., Moiseenko N.V., Moiseenko V.G. Blagorodnye metally v landshaftakh Amuro-Zeyskoy ravniny Priamuriya. [Noble metals in landscapes of the Amur-Zeya plain in Primurye]. *Doklady akademii nauk* [Doklady Earth Sciences], 2008, vol. 423, no. 1, pp. 1250–1252. (In Russian).

14. Wedepohl K.H. The composition of the continental crust. *Geochemica et Cosmochimica Acta*, 1995, vol. 59, no. 2, pp. 1217–1232.

15. Radomskii S.M., Radomskaya V.I. The ratio of ionic and metal forms of noble metals in the gold and silver deposit Pokrovskoe (Upper Amur region). *Gornyj informatsionno-analiticheskiy bulletin'* [Mining Informational and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)], 2013, no. 1, pp. 128–134. (In Russian).

16. Eirish L.V. *Metallogeniya zolota Priamur'ya (Amurskaya oblast', Rossiya)*

[Metallogeny of the Priamur gold (Amur region, Russia)]. Vladivostok: Dal'nauka Publ., 2002, 194 p. (In Russian).

17. Ozhogin D.O. Mineralogy of Malomyr gold-sulphide deposit (Far East). *Vestnik instituta geologii Komi nauchnogo tsentra Ural'skogo otdeleniya RAN* [Vestnik of the Institute of Geology of the Komi Science Centre UB RAS], 2016, no. 1 (253), pp 11–17. DOI: 10.19110/2221-1381-2016-1-11-17. (In Russian).

18. Radomskii S.M., Radomskaya V.I. Gold mineralization parameters of Pokrovskoye gold-ore deposit in the Amur Region. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki* [Natural and Engineering Sciences], 2011, no. 1, pp. 129–132. (In Russian).

19. Radomskii S.M., Radomskaya V.I. Mineral formation of noble metals on Pokrovskiy the gold-ore layer of the Amur region. *Gornyj informatsionno-analiticheskiy bulletin'* [Mining Informational and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)], 2013, no. 2, pp. 42–45. (In Russian).

20. Naldrett A.Dj. *Magmaticheskie sul'fidnye medno-nikelevykh i platino-metal'nykh rud* [Magmatic and sulfide deposits of copper-nickel and platinum group metal ores]. Saint-Petersburg: Saint Petersburg State University Publ., 2003, 487 p.

21. Tolstykh N., Kozlov A., Telegin Yu. Platinum mineralization of the Svetly Bor and Nizhny Tagil intrusions, Ural Platinum Belt. *Ore Geology Reviews*, 2015, vol. 67, no. 5, pp. 234–243.

22. Khanchuk A.I. Rasskazov I.Y., Aleksandrova T.N., Komarova V.S. Natural and technological typomorphic associations of trace elements in carbonaceous rocks of the Kimkan noble metal occurrence, Far East. *Russian Journal of Pacific Geology*, 2012, vol. 6, no. 5, pp. 339–348.

Критерии авторства

Радомский С.М., Радомская В.И. написали статью, имеют равные авторские права и несут одинаковую ответственность за плагиат.

Authorship criteria

Radomsky S.M., Radomskaya V.I. have written the article, have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests

The authors declare that there is no conflict of interests regarding the publication of this article.

Статья поступила 22.11.2017 г.

The article was received 22 November 2017