

УДК 549+550.4:553.411(470.5)

DOI: 10.24930/1681-9004-2019-19-1-139-147

Тамуньерское месторождение золота на Северном Урале: физико-химические условия образования, источники рудного вещества и флюида, генезис

© 2019 г. Д. А. Замятина, В. В. Мурзин

*Институт геологии и геохимии УрО РАН, 620016, г. Екатеринбург, ул. Акад. Вонсовского, 15,
e-mail: d.zamyatina@gmail.ru*

Поступила в редакцию 22.06.2018 г., принята к печати 29.01.2019 г.

Объект исследований. В статье приведены результаты изучения минералов метасоматитов и руд Тамуньерского месторождения, которое располагается на Северном Урале в восточном борту Тагильской мегазоны в пределах Ауэрбаховского вулканоплутонического пояса. **Материалы и методы.** Исследовались образцы керна скважин. Комплекс методов изучения вещества включал в себя оптическую и электронную микроскопию, рентгеноспектральный микроанализ, а также методы минеральной геотермометрии, термобарогеохимии (микротермометрия, газовая хроматография, определение солевого состава флюидных включений в минералах) и изотопной геохимии (изотопы C, O, S, Sr, Pb). **Результаты.** На основе данных о геологическом строении Тамуньерского месторождения, минеральном составе метасоматитов и руд, флюидном режиме формирования, источниках рудного вещества и рудоносного флюида разработана генетическая модель его формирования. В предложенной модели магматогенный хлоридно-натриевый флюид, несущий рудные компоненты и S, отделяется от залегающей на глубине интрузии ауэрбаховского комплекса. Проникая к поверхности, он взаимодействует с породами вулканогенно-осадочной толщи и извлекает из них ряд компонентов, в том числе CO₂, S, Sr. **Выводы.** Несмотря на наличие в вулканогенно-осадочной толще сульфидной минерализации гидротермально-осадочного генезиса, наши данные позволяют отнести золото-сульфидные руды к магматогенно-гидротермальным образованиям. Оцененные P-T условия ($T = 100\text{--}370^\circ\text{C}$ и $P = 0.4\text{--}0.6$ кбар) и небольшая глубина формирования Тамуньерского месторождения позволяют соотнести его с субэпитемальным уровнем в модели порфирово-эпитемальной рудно-магматической системы.

Ключевые слова: порфирово-эпитеральные системы, золото-полиметаллические месторождения Урала, условия рудообразования

The Tamunier gold deposit in the Northern Ural: Physicochemical formative conditions, ore and fluid sources, genesis

Dariya A. Zamyatina, Valery V. Murzin

*A.N. Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry, Urals Branch of RAS, 15 Akad. Vonsovsky st.,
Ekaterinburg 620016, Russia, e-mail: d.zamyatina@gmail.ru*

Received 22.06.2018, accepted 29.01.2019

Research subject. This research study was aimed at investigating metasomatic minerals and ores in the Tamunier Deposit, which is located in the Northern Urals, at the Eastern side of the Tagil megazone within the Auerbach volcano-plutonic belt. **Materials and methods.** Well core samples were investigated using a complex of research methods, including optical and electron microscopy, X-ray spectral microanalysis, mineral geothermometry, thermobarogeochemistry (microthermometry, gas chromatography, determination of the salt composition of fluid inclusions in minerals) and isotope geochemistry (isotopes C, O, S, Sr, Pb). **Results.** A genetic model describing the formation of the Tamunier deposit was developed using the data obtained on its geological structure, mineral composition of metasomatites and ores, fluid formation mode, sources of ore matter and ore-bearing fluid. In the proposed model, the magmatogenic sodium chloride fluid carrying ore components and S is separated from the Auerbach complex at the depth of intrusion. Penetrating to the surface, this fluid interacts with the rocks of volcanic-sedimentary strata, thereby extracting a number of components, including CO₂, S and Sr. **Conclusion.** Despite the presence of sulphide mineralization of hydrothermal-sedimentary genesis in the volcanogenic-sedimentary rock mass, the data obtained has allowed us to refer the gold-sulphide ores under study to magmatogenic-hydrothermal formations. The estimated P-T conditions ($T = 100\text{--}370^\circ\text{C}$ and $P = 0.4\text{--}0.6$ kbar) and the shallow depth of the Tamunier field have shown its correspondence to the sub-epithermal level in the model of the porphyry-epithermal ore-magmatic system.

Для цитирования: Замятина Д.А., Мурзин В.В. (2019) Тамуньерское месторождение золота на Северном Урале: физико-химические условия образования, источники рудного вещества и флюида, генезис. *Литосфера*, **19**(1), 139–147. DOI: 10.24930/1681-9004-2019-19-1-139-147

For citation: Zamyatina D.A., Murzin V.V. (2019) The Tamunier gold deposit in the Northern Ural: Physicochemical formative conditions, ore and fluid sources, genesis. *Litosfera*, **19**(1), 139–147. DOI: 10.24930/1681-9004-2019-19-1-139-147

Keywords: *porphyry-epithermal systems, gold-polymetallic deposits of the Urals, ore formation conditions*

Acknowledgments

This research was carried out within framework of the theme No. AAAA-A18-118052590028-9 of Government Assignment for IGG UB RAS.

ВВЕДЕНИЕ

Тамуньерское месторождение располагается на Северном Урале в восточном борту Тагильской мегазоны в пределах Ауэрбаховского вулканоплутонического пояса (ВПП), протягивающегося на 2000 км от Среднего до Полярного Урала (рис. 1). Пояс сложен островодужными позднесилурийско-девонскими андезитоидными вулканогенно-осадочными, вулканогенными и

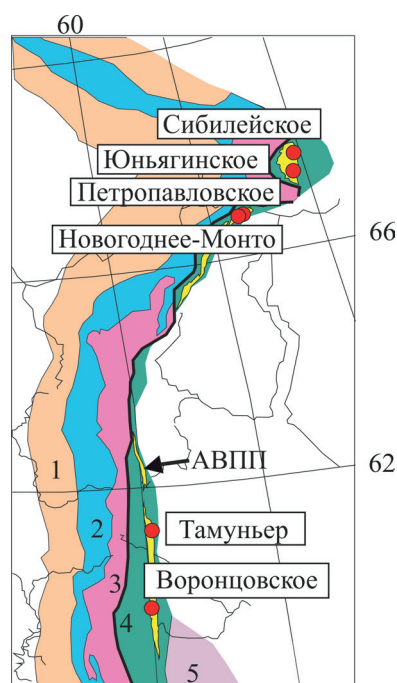


Рис. 1. Положение Ауэрбаховского вулканоплутонического пояса и основных золоторудных месторождений на схеме тектонической зональности Урала, по [Пучков, 2010].

1 – Предуральский передовой прогиб; 2 – Западно-Уральская мегазона; 3 – Центрально-Уральская мегазона; 4 – Тагил-Магнитогорская мегазона; 5 – Восточно-Уральская мегазона; АВПП – Ауэрбаховский вулканоплутонический пояс, по [Ожерельева и др., 2014].

Fig. 1. Position of the Auerbach volcano-plutonic belt and main gold-ore deposits on the chart of the Urals tectonic zonation, by [Puchkov, 2010].

1 – Preduralian foredeep trough; 2 – West-Uralian megazone; 3 – Central Uralian megazone; 4 – Tagil-Magnitogorsk megazone; 5 – East-Uralian megazone; ABPP – The Auerbach volcano-plutonic belt after [Ozherel'eva et al., 2014].

комагматичными им интрузивными формациями, с которыми генетически связаны Fe-Cu-скарновые, золото- и медно-порфировые и другие месторождения (Воронцовское, Новогоднее Монто, Петропавловское, Юньягинское, Сибилейское и др.) [Ожерельева и др., 2014]. По современным представлениям, этот пояс сформировался в режиме активной континентальной окраины в результате столкновения Тагильской островной дуги с Восточно-Уральским микроконтинентом [Язева и др., 1991].

Месторождения Ауэрбаховского ВПП образуют рудно-формационный ряд, связанный с различными периодами становления вулканоплутонической рудоносной структуры – от начала зарождения крупного островного вулкана до его разрушения и внедрения в разрушенную кальдеру полифазной интрузии габбро-диорит-плагиогранитовой формации [Сазонов, 1991]. Месторождения Cu-Mo(Au)-порфировые, скарновые, эпитеpmальные и другие, генетически связанные с формированием вулканических построек, рассматриваются в мировой литературе в составе порфирово-эпитеpmальных рудно-магматических систем [White, Hedenquist, 1995; Sillitoe, 1993; и др.]. Образование порфировых систем, как правило, происходит по вертикальной оси жерлового аппарата. Повсеместно наблюдается тесная приуроченность рудной минерализации к малым телам порфировых пород. На многих месторождениях оруденение приурочено к зонам интенсивной трещиноватости, формирующимся в пределах экзоконтактов порфировых штоков [Дьяконов и др., 2011].

Взгляды на возможную генетическую связь золоторудных и золотосодержащих месторождений Среднего и Северного Урала со становлением медно-порфировой рудно-магматической системы высказывались в ряде работ [Минина, 1994; Грабежев и др., 2014].

К настоящему времени сформированы модельные представления для ряда золоторудных месторождений, связанных со становлением Ауэрбаховского ВПП, в частности для Воронцовского [Мурзин и др., 2010; Murzin et al., 2017; Викентьев и др., 2016] и Петропавловского [Иванова, 2016; Викентьев и др., 2017] месторождений. Собранные нами и имеющиеся в литературе обширные сведения о геологическом строении Тамуньерского месторождения, минеральном составе метасоматитов и руд, флюидном режиме формирования, источниках рудного вещества и рудоносного флюида [Замятина и

др., 2014, 2015; Замятина, Мурзин, 2018] позволили предположить генетическую модель его формирования, ставшую целью данного исследования.

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ТАМУНЬЕРСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

Геологическая позиция. Тамуньерское месторождение входит в состав Турьинской структурной зоны. Для нее характерно чередование брахисинклинальных и брахиантиклинальных структур, к одной из которых – Тамуньерской (Бурмантовской) брахиантиклинали – приурочено месторождение. В геологическом строении месторождения доминируют раннедевонские вулканогенно-осадочные образования Краснотурьинской свиты (D_1kr) (рис. 2). Ядро Тамуньерской брахиантиклинали составляют ритмично слоистые, рассланцованные туфопесчаники, туфоалевролиты с прослоями известняков, туфогравелиты, туфоконгломераты (известковистые флишoids), андезитовые порфириды и их туфы, субвулканические тела дацитов, риолитов и риодацитов. Краевые части брахиантиклинали сложены базальтами, их туфами, лавобрекчиями, туфоконгломерато-брекчиями, в подчиненном количестве встречаются туфопесчаники, туфогравелиты и рифогенные известняки. По петрохимическому составу породы относятся к нормальному и умереннощелочному ряду. В пределах Тамуньерской брахиантиклинали расположен палеовулканический центр.

Золото-сульфидное оруденение локализовано в северном экзоконтакте небольшого тела кварцевых диоритов ауэрбаховского комплекса [Ковригина и др., 2007]. Наиболее распространенными на месторождении являются субвулканические тела и малые интрузии, которые отнесены к тамуньерской толще нижнего девона. В его состав входят риолиты, риодациты, дациты и андезидациты первой фазы и порфириды основного состава и мелкозернистые, обычно подщелоченные долериты второй фазы. По результатам интерпретации геофизических данных (сейсмо- и гравиразведка) в северной части Тамуньерской структуры на глубинах порядка 1 км предполагается наличие мощных интрузий. Кроме того, при поисковых работах одна из скважин в пределах месторождения подсекла порфировидные кварцевые диориты на глубине 280 м. Предполагается, что они являются апофизом глубокозалегающего интрузива, относимого к ауэрбаховскому комплексу.

Метасоматические изменения и стадийность оруденения. Нашими исследованиями [Замятина и др., 2014] установлено, что метасоматиты представлены пропилитами, березит-лиственитами и на завершении процесса, преимущественно по зонам тектонических нарушений, в березитах-лиственитах развиваются минералы аргиллизитов.

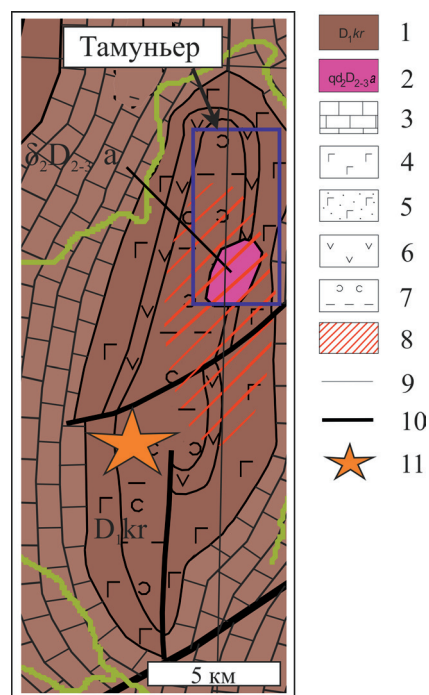


Рис. 2. Положение Тамуньерского месторождения в структуре Тамуньерской брахиантиклинали по [Князева, 1966; Ковригина и др., 2005].

1 – краснотурьинская свита – базальты, трахибазальты, андезиты, андезидациты, их туфы, туфопесчаники, туфоконгломераты, туффиты, известняки (до 2600 м); 2 – Ауэрбаховский комплекс габбродиорит-гранитовый, вторая фаза – кварцевые диориты; 3 – известняки; 4 – базальты, преимущественно лавы; 5 – базальты, андезиты и их туфы; 6 – порфириды андезидацитовые и их туфы; 7 – туфы базальтового и андезитового состава, песчаники, известково-глинистые сланцы, туффиты; 8 – метасоматически измененные породы; 9 – геологические границы; 10 – разрывные нарушения; 11 – палеовулканический центр.

Fig. 2. Tamunier deposit position in the Tamunier brachianticline structure after [Knyazeva, 1966; Kovrigina et al, 2005]

1 – Krasnoturinsk Formation – basalts, trachybasalts, andesites, andesidacites, their tuffs, tuff sandstones, tuff-conglomerates, tuffites, limestone (up to 2600 m); 2 – Auerbach gabbrodiorite-granite complex, the second phase – quartz diorites; 3 – limestone; 4 – basalts, mainly lava; 5 – basalts, andesites and their tuffs; 6 – andesite-dacite porphyrites and their tuffs; 7 – basalt and andesitic tuffs, sandstones, lime-shale, tuffites; 8 – metasomatically altered rocks; 9 – geological boundaries; 10 – faults; 11 – paleovolcanic center.

Оруденение представлено вкрапленностью пирита I стадии и полисульфидной минерализацией II и III стадий, сопряженных с процессом березитизации-лиственитизации (рис. 3б). Продукты II и III стадий представлены вкрапленностью сульфидов (пирита, сфалерита, галенита, блеклых руд, халькопирита, энаргита) и золота. Состав блеклых руд изменяется от теннантита (II стадия) к теннантит-тетраэдриту

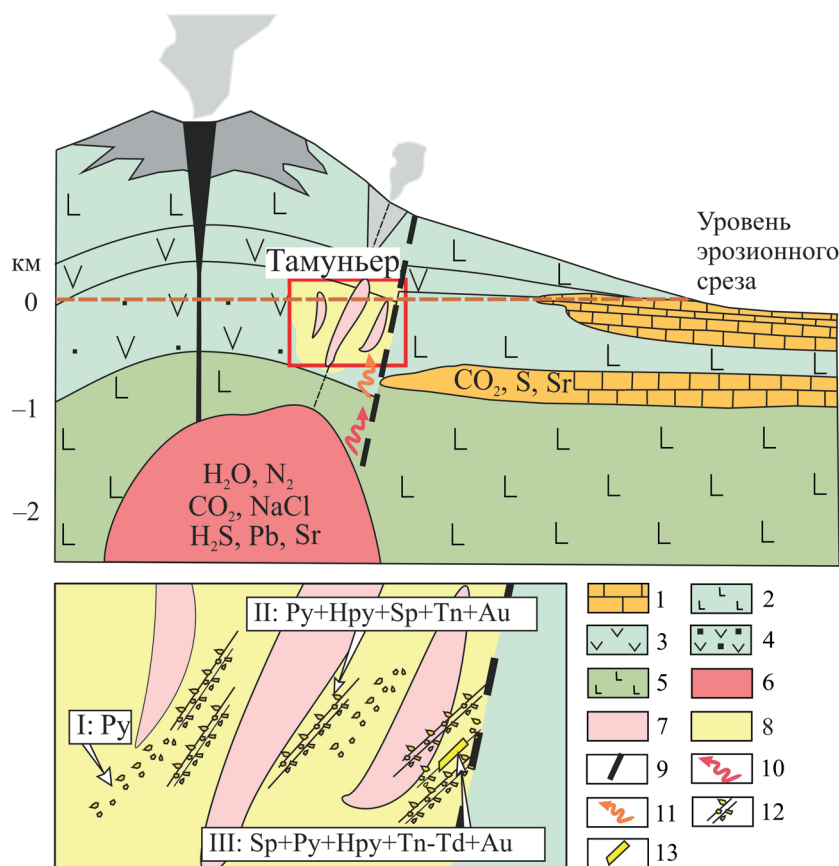


Рис. 3. Модель формирования Тамуньерского месторождения (а), стadiйность и физико-химические условия рудообразования в березитах-лиственитах (б).

а. 1 – известняки (D_2); 2 – порфириды базальтовые и их туфы (D_1); 3 – порфириды андезито-дацитовые и их туфы (D_1); 4 – туфы базальтового и андезитового состава, песчаники, известково-глинистые сланцы, туффиты (D_1); 5 – вулканогенные комплексы основания Ауэрбахского вулканоплутонического пояса ($O-S_1$); 6 – интрузии габбро-диорит-гранитов ауэрбахского комплекса; 7 – субвулканические тела порфировых дацитов (D_1); 8 – метасоматические изменения березит-лиственитовой формации; 9 – тектонические нарушения; 10, 11 – рудоносный флюид (10 – исходный магматический, 11 – магматический после взаимодействия с вулканогенно-осадочными породами); 12, 13 – сульфидные зоны (12 – прожилково-вкрапленные, 13 – массивные).

б. I, II, III – рудные стadiи. Py – пирит, Hpy – халькопирит, Sp – сфалерит, Tn – теннантит, Tn-Td – теннантит-тетраэдрит, Au – золото.

Fig. 3. Model of the Tamunier deposit formation (a), stageness and physical-chemical conditions of ore-formation in beresites-listvenites (b).

а. 1 – limestones (D_2); 2 – basalt porphyrities and their tuffs (D_1); 3 – andesite-dacite porphyrities and their tuffs (D_1); 4 – tuffs of basalt and andesite composition, sandstones, calcareous-clay schists, tuffites (D_1); 5 – volcanogenic complexes of the Auerbach VPB basement ($O-S_1$); 6 – intrusins of the Auerbach complex gabbro-diorite-granites; 7 – subvolcanic bodies of porphyry dacites (D_1); 8 – metasomatic changes of beresite-listvenite formation; 9 – tectonic dislocations; 10, 11 – ore-bearing fluide: 10 – initial magmatic, 11 – magmatic after interaction with volcanogenic sedimentary rocks; 12, 13 – sulfide zones: 12 – vein-impregnated, 13 – massive.

б. I, II, III – ore stages. Py – pyrite, Hpy – chalcopyrite, Sp – sphalerite, Tn – tennantite, Tn-Td – tennantite-tetrahedrite, Au – gold.

(III стadiя). Состав золота изменяется от самородного золота (II стadiя) к низкопробному ртутистому электруму (III стadiя). На завершении II стadiи проявлены кварцевые, кварц-карбонатные и кварц-карбонат-сульфатные (барит, целестин) прожилки с редкими сульфидами.

Условия образования. Температурные условия формирования руд, определенные с помощью

минералов-геотермометров, а также по газово-жидким включениям, составляют 370–100°C, давление 0.6–0.4 кбар [Замятина и др., 2014]. Фугитивность серы f_{S_2} раствора понижалась от 10^{-9} бар при 260°C (стadiя II) до 10^{-15} – 10^{-20} бар при 180–110°C (стadiя III). Рудообразование происходило из кислого раствора ($pH < 5$) и фугитивности кислорода от 10^{-37} до 10^{-42} бар, соответствующей

промежуточным показателям окислительно-восстановительных условий гидротермального сульфидного рудообразования. Состав флюида, по данным изучения флюидных включений, описывается солевой системой $\text{NaCl} \pm (\text{CaCl}, \text{MgCl})$. Газовая компонента флюида представлена CO_2 и небольшим количеством N_2 . В процессе эволюции флюид изменялся от умеренно-соленого к низко-соленому (от 8.7 до 3.6 мас. % экв. NaCl). Изначально хлоридно-натриевый флюид при остывании становился гидрокарбонатным.

Изотопный состав пород и компонентов флюида. Данные по изотопному составу минералов метасоматитов и руд Тамуньерского золото-сульфидного месторождения приведены в работе [Замятина, Мурзин, 2018]. Рассчитанный для Тамуньерского месторождения изотопный состав углерода и кислорода углекислоты флюида в равновесии с карбонатом [Zheng, 1999], ($\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2} = -1.1$ – -1.8% и $\delta^{18}\text{O}_{\text{CO}_2} = 23.2$ – 26.1%), в полной мере соответствует изотопному составу известняков морского происхождения ($\delta^{13}\text{C} = 0$ – 5% и $\delta^{18}\text{O} = 20$ – 30%). Аналогичные расчеты изотопного состава кислорода воды в равновесии с карбонатом и кварцем [Zheng, 1993] ($\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} = 5.1$ – 10.5%), напротив, сходны с составом воды глубинного магматического резервуара ($\delta^{18}\text{O} = 6$ – 10%). Вариации значений $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ карбоната метасоматитов и прожилков – от 0.70331 до 0.70538, что близко к мантийному источнику с некоторым вкладом коровой составляющей.

Диапазон $\delta^{34}\text{S}$ сульфидов березитизированных вулканогенно-осадочных пород и руд от -7.5 до 12% . Пирит из березита характеризуется диапазоном $\delta^{34}\text{S}$ от -7.2 до 2.4% . Наиболее изменчив $\delta^{34}\text{S}$ пирита из прожилков различного состава: из кварц-карбонатного и кальцит-баритового прожилков он облегчен ($\delta^{34}\text{S} = -4.4$ и -7.5%), а из кварцевого прожилка, напротив, сильно утяжелен ($\delta^{34}\text{S} = 12\%$) относительно магматического резервуара. Расчетный изотопный состав серы H_2S флюида, по [Ohmoto, Rye, 1979], в равновесии с пиритом из березита при 250°C ($\delta^{34}\text{S}_{\text{H}_2\text{S}} = 0.9$... -8.7%) или близок к магматическому резервуару, или отклоняется от него в отрицательную область, по-видимому, за счет вовлечения биогенной осадочной серы, заключенной в породах.

Отложение пирита в прожилках происходило при окислении магматического сероводорода до серы в сульфатной форме, о чем свидетельствует появление в прожилках барита и целестина. Фракционирование серы между сульфатными и сульфидными минералами ведет к образованию сульфатов с тяжелой серой и сульфидов – с легкой. Так, в одном из образцов $\delta^{34}\text{S}$ барита составило 16.2 , а пирита -7.5% . Данное равновесие отвечает температуре около 250°C , определенной по изотопному пирит-баритовому геотермометру. Утяжеленный изотопный состав серы пирита квар-

цевого прожилка ($\delta^{34}\text{S} = 12\%$) может быть объяснен смешением мантийной и сульфатной серы вмещающих вулканогенно-осадочных пород.

Соотношение изотопов свинца в галените Тамуньерского месторождения варьирует в пределах: $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 17.668$ – 17.743 , $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.473$ – 15.499 и $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 37.442$ – 37.547 , что, по модели Доу-Зартмана, близко к мантийному источнику.

Данные по изотопному составу C , O , S , Sr , Pb минералов метасоматитов и руд указывают на смешанный мантийно-коревой источник компонентов рудоносного флюида. Формирование рудообразующего флюида соответствует модели взаимодействия и изотопного уравнивания глубинного магматогенного флюида с карбонатами морского происхождения при соотношении вода/порода около 1, а также вовлечения серы вулканогенно-осадочных пород [Замятина, Мурзин, 2018].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящее время высказаны представления о гидротермально-осадочном генезисе изученного месторождения и его принадлежности к семейству колчеданных [Ожерельева и др., 2014]. Основанием для такого заключения послужило пространственное совмещение ореола золота с участками послойной стратиформной сульфидизации, а также эксплозивных брекчий, ассоциирующих с субвулканическими телами дацитовых порфириров. Между тем в данном исследовании нами выявлены признаки, позволяющие высказать также точку зрения о магматогенно-гидротермальном генезисе золотого оруденения на месторождении, возможно, при частичном вовлечении в процесс гидротермально-осадочных сульфидов. К этим признакам относятся, прежде всего, приуроченность богатых руд к линейным тектонически ослабленным зонам и березит-лиственитовый тип сорудных метасоматитов, которые не характерны для руд колчеданного семейства.

Предлагаемая нами модель формирования Тамуньерского месторождения состоит в следующем.

Становление вулканоплутонического пояса началось в раннем девоне, когда проявляется активный вулканизм с накоплением отложений андезитобазальтовой формации участками со стратиформной сульфидной минерализацией. Затем произошло внедрение в вулканогенно-осадочную толщу интрузии, вероятно относящейся к Ауэрбаховскому комплексу. Внедрение интрузии сопровождалось тектоническими деформациями и проникновением глубинного флюида в вулканогенно-осадочные породы вдоль разломов.

Исходный глубинный магматогенный флюид имел хлоридно-натриевый состав, относительно невысокую соленость (от 8.7 до 3.6 мас. % экв. NaCl) и содержал компоненты с мантийными изо-

Таблица 1. Сравнительная характеристика Тамуньерского золото-полиметаллического месторождения с золото-порфировым Петропавловским месторождением и эпитермальными месторождениями**Table 1.** A comparative characteristic of the Tamunier gold-polymetallic deposit with the gold-porphyry Petropavlovsk deposit and with epithermal deposits

Параметр	Тамуньерское месторождение	Петропавловское золото-порфировое месторождение [Иванова, 2016]	Эпитермальные месторождения [Sillitoe, 1993; White, Hedenquist, 1995]	
			“High-sulfidation”	“Low-sulfidation”
Температура формирования, °С	100–370	130–500	50–300	
Глубина формирования, км	1–1.8	1.5–2	<1–1.5	
Метасоматические изменения	Березит-лиственитизация, аргиллизация, пропилитизация	Окварцевание, калишпатизация, биотитизация, эпидотизация, серицитизация, скарнирование	Окремнение, аргиллизация, пропилитизация	
Текстура руд	Прожилково-вкрапленная	Прожилково-вкрапленная	Заполнение открытых пространств, крустификация, колломорфная полосчатость, гребенчатая структура, брекчирование	
Главные рудные минералы	Пирит, сфалерит, галенит	Пирит, халькопирит, магнетит	Пирит, теннантит-тетраэдрит, энаргит-люционит	Пирит, сфалерит, галенит
Второстепенные рудные минералы	Халькопирит, теннантит, энаргит	Сфалерит, галенит	Халькопирит, ковеллин, сфалерит, галенит, электрум, самородное золото	Халькопирит, теннантит-тетраэдрит, арсенопирит
Редкие рудные минералы	Арсенопирит, фаматинит, теннантит-тетраэдрит, Си-пирсеит, гессит, самородное золото, ртутистый электрум	Теллуриды, золото	Стибнит, аурипигмент, реальгар, арсенопирит	Самородное золото, теллуриды-селениды, энаргит-люционит, реальгар, аурипигмент

топными метками – Sr, Pb, а также, вероятно, и основные рудные компоненты Fe, Cu и Au. Магматогенный флюид в процессе подъема к поверхности взаимодействовал с породами вулканогенно-осадочной толщи, извлекая из них петрогенные и рудные компоненты, в том числе CO₂ ($\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2} = -1.1 \dots +1.8\%$ и $\delta^{18}\text{O}_{\text{CO}_2} = 23.2-26.1\%$), S, Sr и Au. Формирование рудообразующего флюида соответствует модели взаимодействия и изотопного уравнивания глубинного магматогенного флюида с карбонатами морского происхождения при соотношении W/R около 1. В качестве зоны разгрузки выступили зоны расланцевания в вулканогенно-осадочных породах и их проницаемые контакты с субвулканическими телами. Здесь породы были подвергнуты метасоматическим изменениям березит-лиственитового типа, что привело к формированию пиритовых руд I стадии. Рядовые руды II стадии сформировались в зонах трещиноватости в вулканогенно-осадочных породах, а также вдоль контактов тел порфировых дацитов. Богатые рудные тела III стадии пространственно сопряжены с глубинным разломом и образовались благодаря продолжающемуся посту-

плению рудоносного флюида из магматического очага. При остывании растворов формировались ореолы с минеральными парагенезисами аргиллизитов. По данным газовой хроматографии, изначально хлоридно-натриевый флюид при остывании становился гидрокарбонатным.

Как было указано выше, ряд исследователей [Минина, 1994; Грабежев и др., 2014] связывают золотое оруденение в Ауэрбаховском ВПП со становлением протяженной по вертикали порфировой рудно-магматической системы. Данные для анализа рудно-магматического подхода применительно к изученному месторождению приведены в табл. 1. В ней Тамуньерское месторождение сопоставляется с месторождениями эпитермального уровня [Sillitoe, 2010] и Петропавловским золотопорфировым месторождением – представителем более глубокого уровня порфировой рудно-магматической системы в Ауэрбаховском ВПП на Полярном Урале [Иванова, 2016].

Тамуньерское месторождение формировалось при температурах 100–370°C, что немного превышает таковые для эпитермальных месторождений. Сорудными метасоматитами на нем являются

ся березиты-листвениты, и лишь в небольшой степени развиты аргиллизитовые парагенезисы минералов. Для эпитермальных месторождений, напротив, характерен аргиллизитовый тип метасоматоза. Кроме того, отсутствие текстур с заполнением открытых пространств, крустификацией и коллоидной полосчатостью, типичных для многих неглубоких эпитермальных систем, указывает на то, что рудообразующая система Таму́ньерского месторождения соответствует уровню, переходному от мезотермального к эпитермальному.

Наблюдается некоторое сходство минеральных парагенезисов руд и метасоматитов Таму́ньерского месторождения с парагенезисами в эпитермальных месторождениях высоко-сульфидизированного типа. Общей их чертой является наличие пиррофиллита, а также смена энаргита тетраэдрит-теннантитом, которая указывает на изменение масштаба сульфидизации и рН минерализующего флюида в течение жизни гидротермальной системы [Einaudi et al., 2003; Sillitoe, Hedenquist, 2003]. Золото может образоваться с ранним энаргитом, но большее его количество отлагается в парагенезисе с поздним теннантит-тетраэдритом и сфалеритом [Einaudi et al., 2003], что наблюдается на изученном нами месторождении.

Выявляются общие признаки Таму́ньерского и Петропавловского месторождений: формирование в островодужной обстановке, приуроченность к кольцевым структурам, а также прожилково-вкрапленные текстуры руд. Вместе с тем березит-лиственитовые низко- и среднетемпературные околорудные изменения пород Таму́ньерского месторождения контрастируют со средне- и высокотемпературными, на Петропавловском месторождении, включая биотитизацию, эпидотизацию и скарпирование

ВЫВОДЫ

Несмотря на наличие в вулканогенно-осадочной толще сульфидной минерализации гидротермально-осадочного генезиса, наши данные позволяют отнести золото-сульфидные руды к магматогенно-гидротермальным образованиям. В модели рудно-магматических систем Таму́ньерское месторождение находится на субэпитермальном уровне ($T = 100\text{--}370^\circ\text{C}$ и $P = 0.4\text{--}0.6$ кбар).

Работа выполнена в рамках темы
№ АААА-А18-118052590028-9 государственного
задания ИГГ УрО РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Викентьев И.В., Мансуров Р.Х., Иванова Ю.Н., Тюкова Е.Э., Соболев И.Д., Абрамов В.Д., Выхристенко Р.И., Хубанов В.Б., Трофимов А.П., Грознова Е.О., Двуреченская С.С., Кряжев С.Г. (2017) Золото-порфировое Петропавловское месторождение (Полярный Урал): геологическая позиция, минералогия и условия образования. *Геол. рудн. месторожд.*, **59**(6), 501-541.
- Викентьев И.В., Тюкова Е.Э., Мурзин В.В., Викентьева О.В., Павлов Л.Г. (2016) Воронцовское золоторудное месторождение. Геология, формы золота, генезис. Екатеринбург: Форт Диалог-Исеть, 206 с.
- Грабежев А.И., Ронкин Ю.Л., Пучков В.Н., Гердес А., Ровнушкин М.Ю. (2014) Краснотурьинское медно-скарновое рудное поле (Северный Урал): U-Pb возраст рудоконтролирующих диоритов и их место в схеме металлогении региона. *Докл. АН*, **456**(4), 443-443.
- Дьяконов В.В., Котельников А.Е., Котельников Е.Е. (2011) Золотопорфировое оруденение и его связь с палеовулканическими структурами. *Вестн. РУДН*, (1), 62-66.
- Замятина Д.А., Мурзин В.В. (2018) Источники вещества и рудоносного флюида при формировании Таму́ньерского золото-сульфидного месторождения, Северный Урал. *Докл. АН*, **478**(4), 456-458.
- Замятина Д.А., Мурзин В.В., Гараева А.А. (2015) Флюидный режим формирования Таму́ньерского золотосульфидного месторождения (Северный Урал). *Вестн. Ин-та геологии Коми НЦ УрО РАН*, **6**(246), 3-6.
- Замятина Д.А., Мурзин В.В., Молошаг В.П., Варламов Д.А., Замятин Д.А., Ким Л.П., Горева А.А., Викентьев И.В. (2014) Минералогия, геохимия и физико-химические условия формирования Таму́ньерского золоторудного месторождения, Северный Урал. *Литосфера*, (6), 102-117.
- Иванова Ю.Н. (2016) Условия локализации и минералого-геохимические особенности Петропавловского золото-порфирового месторождения (Полярный Урал). Дис. ... канд. геол.-мин. наук. М., 151 с.
- Князева Л.Н., Пояркова Н.В., Сюткина Р.А. (1962) Геологическая карта Урала, масштаб 1:200 000. Лист Р-41-XXV (Ивдель). Свердловск: Мин. геологии РСФСР, Уральское Геол. управление.
- Ковригина Е. К., Лебедева Е.А., Сай Т.С. и др. (2005) Государственная геологическая карта РФ масштаба 1: 1 000 000 (третье поколение), лист Р-41 Ивдель. СПб: ФГУП ВСЕГЕИ.
- Ковригина Е. К., Бладучан Ю.В., Волобуев Е.А. и др. (2007) Объяснительная записка к Государственной геологической карте РФ масштаба 1: 1 000 000 (третье поколение), лист Р-41 Ивдель. СПб: ФГУП ВСЕГЕИ.
- Минина О.В. (1994) Ауэрбаховская комплексная рудно-магматическая система на Среднем Урале. *Отчет. геология*, (7), 17-23.
- Мурзин В.В., Сазонов В.Н., Ронкин Ю.Л. (2010) Модель формирования Воронцовского золоторудного месторождения на Урале (карлинский тип): новые данные и проблемы. *Литосфера*, (6), 66-73.
- Ожерельева А.В., Арифулов Ч.Х., Арсентьева И.В. (2014) Золотоносность Ауэрбаховского пояса (Северный, Приполярный, Полярный Урал). *Отчет. геология*, (2), 4-19.
- Пучков В.Н. (2010) Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: ДизайнПолиграфСер-

- вис, 280 с.
- Сазонов В.Н. (1991) Эндогенное оруденение девонского андезитовидного вулcano-плутонического комплекса (Урал). Свердловск: УрО АН СССР, 184 с.
- Язева Р.Г., Пучков В.Н., Бочкарев В.В. (1991) Геодинамика и металлогения восточной палеоконтинентальной окраины и краевых вулcano-плутонических поясов Урала. *Геодинамика и металлогения Урала*. Свердловск: УрО АН СССР, 43-45.
- Einaudi M.T., Hedenquist J.W., Inan E.E. (2003). Sulfidation state of fluids in active and extinct hydrothermal systems: Transitions from porphyry to epithermal environments. *Spec. Publ.-Soc. Econ. Geol.*, (10), 285-314.
- Murzin V.V., Naumov E.A., Azovskova O.B., Varlamov D.A., Rovnushkin M.Yu., Pirajno F. (2017). The Vorontsovskoe Au-Hg-As ore deposit (Northern Urals, Russia): Geological setting, ore mineralogy, geochemistry, geochronology and genetic model. *Ore Geol. Rev.*, **85**, 271-298.
- Ohmoto H., Rye R.O. (1979) Isotopes of sulfur and carbon *Geochemistry of Hydrothermal Deposits*, 509-567.
- Sillitoe R.H. (1993) Epithermal models: genetic types, geometrical control and shallow features. *Miner. Dep. Model.: Geol. Assoc. Can. Spec. Pap.*, **40**, 403-417.
- Sillitoe R.H. (2010) Porphyry copper systems. *Econ. Geol.*, **105**(1), 3-41.
- Sillitoe R.H., Hedenquist J.W. (2003) Linkages between volcanotectonic settings, ore-fluid compositions, and epithermal precious metal deposits. *Spec. Publ.-Soc. Econ. Geol.*, (10), 315-343.
- White N.C., Hedenquist J.W. (1995) Epithermal gold deposits: styles, characteristics and exploration. *SEG Newslett.*, **23**(1), 9-13.
- Zheng Y.F. (1999) Oxygen isotope fractionation in carbonate and sulfate minerals *Geochem. J.*, **33**, 109-126.
- Kovrigina E.K., Braduchan Yu.V., Volobuev E.A. et al. (2007) Ob'yasnitel'naya zapiska k Gosudarstvennoi geologicheskoi karte RF masshtaba 1:1 000 000 (tret'e pokolenie) [Explanatory note to the State Geological Map of the Russian Federation scale 1:1 000 000 (third generation)] Sheet P-41-XXV (*Ivdel*). St.Petersburg, VSEGEI Publ., (In Russian)
- Kovrigina E.K., Lebedeva E.A., Sai T.S. et al. (2005) *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta RF masshtaba 1:1 000 000* (tret'e pokolenie) [State Geological Map of the Russian Federation scale 1:1 000 000 (third generation)] Sheet P-41 (*Ivdel*). St.Petersburg, VSEGEI Publ., (In Russian)
- Minina O.V. (1994) Auerbach complex ore-magmatic system in the Middle Urals. *Otech. Geol.*, (7), 17-23. (In Russian)
- Murzin V.V., Sazonov V.N., Ronkin Yu. L. (2010) Model of formation of the Vorontsov gold deposit in the Urals (Karlin type): new data and problems. *Litosfera*, (6), 66-73. (In Russian)
- Murzin V.V., Naumov E.A., Azovskova O.B., Varlamov D.A., Rovnushkin M.Yu., Pirajno F. (2017). The Vorontsovskoe Au-Hg-As ore deposit (Northern Urals, Russia): Geological setting, ore mineralogy, geochemistry, geochronology and genetic model. *Ore Geol. Rev.*, **85**, 271-298.
- Puchkov V.N. (2010) *Geologiya Urala i Priural'ya* (aktual'nye voprosy stratigrafii, tektoniki, geodinamiki i metallogenii) [Geology of the Urals and the Suburalian areas (actual issues of stratigraphy, tectonics, geodynamics and metallogeny)]. Ufa, DizainPoligrafServis Publ., 280 p. (In Russian)
- Ohmoto H., Rye R.O. (1979). Isotopes of sulfur and carbon *Geochemistry of Hydrothermal Deposits*, 509-567.
- Ozherel'eva A.V., Arifulov Ch.H. Arsent'eva I.V. (2014) Gold content of Auerbachovo volcanoplutonic belt (Northern, Subpolar, Polar Urals). *Otech. Geol.*, (2), 4-19. (In Russian)
- Sazonov V.N. (1991) *Endogennoe orudnenie devonskogo andezitoidnogo vulkano-plitonicheskogo kompleksa (Ural)* [Endogenous mineralization of the Devonian andesitoid volcano-plutonic complex (Urals)]. UrO AN SSSR, 184 p. (In Russian)
- Sillitoe R.H. (1993) Epithermal models: genetic types, geometrical controls and shallow features. *Miner. Dep. Model.: Geol. Assoc. Can. Spec. Pap.*, **40**, 403-417.
- Sillitoe R.H. (2010) Porphyry copper systems. *Econ. Geol.*, **105**(1), 3-41.
- Sillitoe R.H., Hedenquist J.W. (2003) Linkages between volcanotectonic settings, ore-fluid compositions, and epithermal precious metal deposits. *Spec. Publ.-Soc. Econ. Geol.*, (10), 315-343.
- Vikent'ev I.V., Tyukova E.E., Murzin V.V., Vikent'eva O.V., Pavlov L.G. (2016) *Vorontsovskoe zolotorudnoe mestorozhdenie. Geologiya, formy zolota, genezis* [Vorontsovsk gold deposit. Geology, gold modes, genesis]. Ekaterinburg: Fort Dialog-Iset Publ., 206 p. (In Russian)
- Vikent'ev I.V., Mansurov R.H., Ivanova Yu.N. et al. (2017) Gold-porphyry Petropavlovskoye ore deposit (the Polar Urals): geological position, mineralogy and conditions of formation. *Geol. Rudn. Mestorozhd.*, **59**(6), 501-541 (In Russian).
- White N.C., Hedenquist J.W. (1995) Epithermal gold deposits: styles, characteristics and exploration. *SEG News-*

REFERENCES

- lett., **23**(1), 9-13.
- Yazeva R.G., Puchkov V.N., Bochkarev V.V. (1991) Geodynamics and metallogeny of the eastern paleocontinental margin and marginal volcanic-plutonic belts of the Urals. *Geodinamika i metallogeniya Urala*. Sverdlovsk: UrO AN SSSR, 43-45. (In Russian)
- Zamyatina D.A., Murzin V.V. (2018) Sources of matter and ore-producing fluid of the Tamunier gold-sulfide deposit (the Northern Urals): isotope results. *Dokl. Akad. Nauk*, **478**(4), 456-458. (In Russian)
- Zamyatina D.A., Murzin V.V., Garaeva A.A. (2015) Fluid condition of formation of Tamunier gold-sulfide deposit, the Northern Ural. *Vestn. Inst. Geol. Komi NTs UrO RAN*, **6**(246), 3-6. (In Russian)
- Zamyatina D.A., Murzin V.V., Moloshag V.P., Varlamov D.A., Zamyatin D.A., Kim L.P., Goreva A.A., Vikent'ev I.V. (2014) Mineralogy, geochemistry and physical-chemical conditions of formation of ores and metasomatites of the Tamyniersky gold-sulphide deposit, the Northern Urals. *Litosfera*, (6), 102-117. (In Russian)
- Zheng Y.F. (1999) Oxygen isotope fractionation in carbonate and sulfate minerals *Geochem. J.*, **33**, 109-126.