

Литература

- Берзин Н.А., Кунгурцев Л.В.* Геодинамическая интерпретация геологических комплексов Алтае-Саянской области // Геология и геофизика. 1996. Т. 37. № 1. С. 63–81.
- Кужугет Р.В., Анкушева Н.Н., Хертек А.К. и др.* Золото-молибден-медно-порфирировое месторождение Ак-Суг (Восточный Саян): благороднометалльная минерализация, РТ-параметры и состав рудоносного флюида // Геология рудных месторождений. 2023. Т. 65. № 7. С. 634–661.
- Berzina A.N., Berzina A.P., Gimon V.O.* Paleozoic-Mesozoic porphyry Cu(Mo) and Mo(Cu) deposits within the southern margin of the Siberian Craton: geochemistry, geochronology, and petrogenesis (a review) // Minerals. 2016. Vol. 6. Article 125.
- Hou Z., Zhang H., Pan X., Yang Z.* Porphyry Cu(-Mo-Au) deposits related to melting of thickened mafic lower crust – examples from the eastern Tethyan metallogenic domain // Ore Geology Reviews. 2011. Vol. 39. P. 21–45.
- Kuzhuget R.V., Ankusheva N.N., Hertek A.K. et al.* Precious-metal mineralization and formation conditions of the Biche-Kadyr-Oos epithermal Au-Ag ore occurrence (Eastern Sayan, Russia) // Minerals. 2023. Vol. 13. Article 1529.
- Pollard P.J., Pelenkova E., Mathur R.* Paragenesis and Re-Os molybdenite age of the Cambrian Ak-Sug porphyry Cu-Au-Mo deposit, Tyva Republic, Russian Federation // Economic Geology. 2017. Vol. 112. P. 1021–1028.
- Richards J.P.* Giant ore deposits formed by optimal alignments and combinations of geological processes // Nature Geoscience. 2013. Vol. 6. P. 911–916.
- Sillitoe R.H.* Porphyry copper systems // Economic Geology. 2010. Vol. 105. P. 3–41.

С.Ю. Степанов, Р.С. Паламарчук, А.В. Корнеев, М.А. Рассомахин
Южно-Уральский федеральный научный центр
минералогии и геоэкологии УрО РАН, г. Миасс, Россия
Stepanov-1@yandex.ru

Самородное золото в различных типах руд Ауэрбаховского рудного узла (Северный Урал)

S.Yu. Stepanov, R.S. Palamarchuk, A.V. Korneev, M.A. Rassomakhin
South Urals Federal Research Center of Mineralogy and
Geoecology UB RAS, Miass, Russia

Native gold in various ore types of the Auerbakhovsky ore district (North Urals)

Abstract. The work considers the main features of gold mineralization in skarn, medium-temperature berezites and listvenites, and low-temperature ore breccias. In all hydrothermal-metasomatic complexes of the Auerbakhovsky ore district, native gold is spatially and genetically associated with sulfides. In most ore assemblages, native gold locally forms large aggregates in vein and ore minerals. The varying chemical composition of native gold indicates a consistent trend of increasing gold potential with a decreasing temperature of the mineral-forming medium. The assemblage of features of gold mineralization indicates a high ore potential of the Auerbakhovsky ore district related to both the identification of new objects and the reassessment of previously known numerous copper and ferrous deposits.

На протяжении практически 250 лет Ауэрбаховский узел рассматривался как совокупность железорудных и меднорудных объектов. Представления о металлогеническом потенциале этого рудного таксона значительно изменились в связи с открытием в 1985 г. Воронцовского золоторудного месторождения [Черемисин, Злотник-Хоткевич, 1997]. Дальнейшие поисковые работы в пределах этого узла на протяжении практически тридцати лет не имели существенных результатов, но в итоге их планомерный и последовательный характер закономерно привел к открытию среднего по размеру золоторудного месторождения Пещерное [Несис и др., 2020] и ряда относительно небольших объектов, расположенных на небольшом удалении. В то же время, что золоторудная минерализация в Ауэрбаховском рудном узле ранее была известна в меднорудных скарнах [Мурзин, Сазонов, 1996], однако специфика распределения золота в скарнах не позволяла корректно оценить запасы металла. В связи с активным вовлечением в промышленную переработку крупных месторождений с низкими и убыточными содержаниями ценных компонентов, проблемы с однородностью распределения золота в скарнах могут уйти на второй план, а сами скарны, как железорудные, так и меднорудные в перспективе могут быть оценены как источники, в том числе и золота.

Цель исследования – охарактеризовать структурно-вещественные закономерности проявления самородного золота в различных типах руд в гидротермально-метасоматических образованиях Ауэрбаховского рудного узла. Для достижения цели предлагается рассмотреть рудные ассоциации от наиболее высокотемпературных скарнов к низкотемпературным золото-содержащим брекчиям с реальгар-аурипигментовым цементом.

При систематическом изучении скарновых минеральных ассоциаций [Мурзин, Сазонов, 1996] самородное золото установлено практически во всех их разновидностях. Несмотря на обилие описанных золотоносных парагенезисов в скарнах, по вещественному составу можно выделить две обобщенные минеральные ассоциации: золото-сульфидно-полиметаллическую, характерную для железоскарновых и железо-медноскарновых месторождений и обычно не образующую промышленно значимые концентрации золота, и золото-медно-сульфидную, где золото ассоциирует в первую очередь с халькопиритом (Северо-Песчанское месторождение, рудопроявление Дорожное).

В среднетемпературных метасоматитах месторождения Пещерное, по минеральному составу наиболее близких к березитам, самородное золото широко распространено и тяготеет к скоплениям сульфидов, макроскопически представленными пиритом и арсенопиритом. Выделяется три основных парагенезиса золота: ранний пирит-арсенопиритовый, с которым связано ограниченное количество золота; более поздний полиметаллический (галенит, сфалерит, халькопирит), с которым ассоциирует большая часть самородного золота; и наиболее поздний щелочно-карбонатный парагенезис, с минералами которого связаны крупные самородковые скопления золота.

Среди руд Воронцовского месторождения установлены золоторудные парагенезисы, отнесенные, в том числе, к скарнам или среднетемпературными метасоматитам березит-лиственитовой формации, но основной объем золоторудной минерализации связан с эксплозивными брекчиями [Степанов и др., 2017]. В обломках брекчий встречены измененные вулканогенно-осадочные и карбонатные породы, а в составе цемента преобладает реальгар и аурипигмент при значительном количестве барита. Именно в цементе совместно с многочисленными сульфосолями широко распространено самородное золото, которое образует агрегаты размером до 6. мм.

Для самородного золота всех типов гидротермально-метасоматических образований Ауэрбаховского рудного узла характерны обособленные индивиды и агрегаты размером от первых микрометров до нескольких десятков миллиметров (рис.). Процент «невидимого» золота в соответствии с классификацией, предложенной Г.А. Пальяновой [2020], в различных

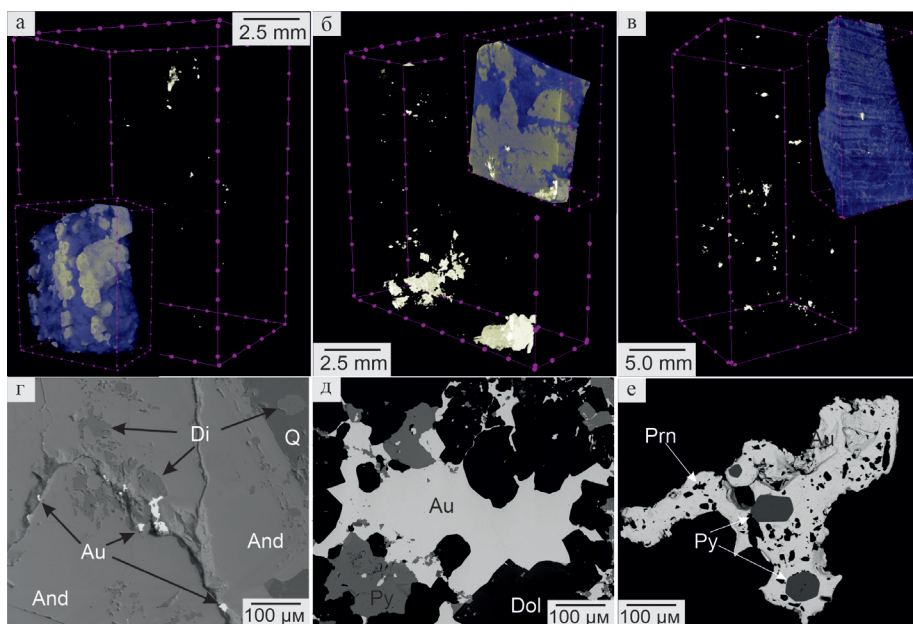


Рис. Морфологические особенности самородного золота из разных рудных парагенезисов: а, г – скарны рудопроявления Дорожное; б, г – березиты месторождения Пещерное; в, е – измененные туфопесчаники Воронцовского месторождения.

Di – диопсид, And – андрадит, Q – кварц, Dol – доломит, Py – пирит, Prn – пренит.

типах руд изменчив. Например, в скарнах рудопроявления Дорожное крупное гравитационно обогащенное золото составляет 85 %. В рудах месторождения Пещерное количество «невидимого» золота не превышает 10 %. В рудных брекчиях Воронцовского месторождения на «невидимое» золото приходится не более 20 % от всего объема золота в руде.

Практически во всех ассоциациях и парагенезисах самородное золото тесно сростается с большинством жильных и рудных минералов. Последние нередко формируют включения в индивидах золота. В скарнах рудопроявления Дорожное самородное золото сростается с гранатом и кальцитом, образуя поверхности совместного роста, и содержит многочисленные включения халькопирита. Многообразие последовательно накладывающихся парагенезисов в рудах месторождения Пещерное усложняет задачу установления генезиса самородного золота. В разных парагенезисах этот минерал может находиться в виде включений в ранних сульфидах (пирит и арсенопирит), совместно с минералами сульфидной полиметаллической ассоциации выполнять трещины в более ранних минералах или совместно с карбонатами выполнять полости в наиболее поздних силикатных агрегатах.

В рудных брекчиях Воронцовского месторождения при всем многообразии рудных минералов в цементе характер их генетических взаимоотношений позволяет говорить об одностадийном рудном процессе, в рамках которого совместно формировались практически все рудные минералы. В пользу этого свидетельствуют многочисленные сложные сростания самородного золота как с жильными минералами (барит, щелочной полевой шпат, кальцит, пренит), так и с рудными минералами (боскардинитом, рутьеритом, колорадоитом, парапиритом) [Kasatkin et al., 2021]. Установленные закономерности строения минеральных агрегатов в рудах позволили прийти к заключению, что золоторудная минерализация характерна практически для всех гидротермально-метасоматических образований Ауэрбаховского рудного узла. В одной рудной ассоциации самородное золото может быть развито в различных минеральных парагенезисах.

Химический состав самородного золота в скарнах отличается в разных парагенезисах. Например, в скарнах рудопроявления Дорожное золото преимущественно высокопробное, но некоторые его индивиды зональны с возрастанием содержаний Ag от центра к краю. Для скарнов установлено увеличение пробности золота от высокотемпературных к низкотемпературным минеральным парагенезисам. В отличие от скарнов, состав самородного золота в среднетемпературных метасоматитах березитовой формации месторождения Пещерное не зависит от морфологических типов минерала или рудных парагенезисов. Для золота характерны значительные примеси Ag (до 37 ат. %) и Cu (редко больше 1 ат. %). Самородное золото из цемента рудных брекчий Воронцовского месторождения характеризуется гомогенным внутренним строением [Stepanov et al., 2021]. По химическому составу оно подразделяется на высокопробное золото с содержанием Au от 95 до 100 мас. %, и серебросодержащее с содержанием Au от 80 до 95 мас. %. Повышенные содержания Ag в самородном золоте коррелируют с другими примесными компонентами, прежде всего, Hg. Максимальные содержания Hg в золоте достигают 1.85 мас. %, а примесь Cu наиболее характерна для высокопробного золота и может достигать 0.24 мас. %.

Проведенные исследования позволили прийти к заключению, что по мере эволюции рудообразующего процесса в структурно-вещественных комплексах Ауэрбаховского рудного узла от наиболее высокотемпературных железорудных скарнов к низкотемпературным парагенезисам в цементе рудных взрывчатых брекчий рудный потенциал минералообразующих систем существенно возрастает. Набор выявленных вещественных признаков золоторудной минерализации указывает на чрезвычайно высокий рудный потенциал на золото практически всех гидротермально-метасоматических образований, ставших неотъемлемой частью плутоногенно-гидротермальной системы, сформированной в связи с внедрением магматитов ауэрбаховского комплекса. Основные перспективы выявления новых золоторудных объектов в контурах изучаемого рудного района могут быть связаны как с обнаружением новых золоторудных месторождений различных генетических типов, локализованных в благоприятных структурных условиях, так и с переоценкой золоторудного потенциала уже известных медно-железорудных скарновых месторождений и рудопроявлений.

Литература

- Мурзин В.В., Сазонов В.Н. Минеральные ассоциации и условия образования сульфидных золотосодержащих руд Турьинско-Ауэрбаховского рудного поля (Урал). Екатеринбург: УрО РАН, 1996. 98 с.
- Несис В.Н., Мотов А.П., Бутняков А.В. Геохимические признаки и границы золоторудных полей района месторождений Горнячка, Пещерное, Северный Урал // Руды и металлы. 2020. № 1. С. 32–38.
- Пальянова Г.А. Минералы золота и серебра в сульфидных рудах // Геология рудных месторождений. 2020. № 5. С. 426–449.
- Степанов С.Ю., Шарпёнок Л.Н., Антонов А.В. Флюидо-взрывчатые брекчии Воронцовского золоторудного месторождения (Северный Урал) // Записки РМО. 2017б. 146 (1). С. 29–43.
- Черемисин А.А., Злотник-Хоткевич А.Г. Воронцовское золоторудное месторождение // Руды и металлы. 1997. № 1. С. 59–70.
- Kasatkin A.V., Stepanov S.Yu., Tsyganko M.V. et al. Mineralogy of the Vorontsovskoe gold deposit (Northern Urals) // Mineralogy (Russian). 2022. № 1.
- Stepanov S.Yu., Palamarchuk R.S., Varlamov D.A., et al. The Features of native gold in ore-bearing breccias with realgar-prpiment cement of the Vorontsovskoe deposit (Northern Urals, Russia) // Minerals. 2021. № 11. 541.