

Таким образом, наши исследования показывают, что значительная часть минералов Au и Ag присутствует не в самородной форме, а представлена ютенбогардитом, петровскаитом, акантитом, науманнитом, кервеллеитом и минералами пирсеит-полибазитового ряда. Установлено, что образование Au-Ag халькогенидов в рудах исследуемого месторождения происходило на поздних стадиях рудообразующего процесса из кислых растворов на фоне снижения температуры от 350 до 100 °С, уменьшения фугитивностей S ($\log fS_2$ от -2 до -23), Te ($\log fTe_2$ от -5 до -27) и Se ($\log fSe_2$ от -16.5 до -28), а также изменения окислительно-восстановительной обстановки минералообразования ($\log fO_2$ от < -23 до $\log fO_2 < -48$).

Авторы благодарны Ю. А. Калинину, Л. М. Житовой и Г. А. Пальяновой за предоставленные образцы и научное руководство работой, а также Н. С. Карманову за определение составов минералов. Исследование выполнено в рамках государственного задания (№№ 0330-2016-0001 и 0288-2017-0001) и комплексной программы фундаментальных научных исследований СО РАН II.1. № 303 ИМП СО РАН № 64 (0350-2018-0001).

Литература

- Волков А. В., Гончаров В. И., Сидоров А. А. Месторождения золота и серебра Чукотки. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2006. 221 с.
- Гаррелс Р. М., Крайст Ч. Л. Растворы, минералы, равновесия. М.: Мир, 1968.
- Константинов М. М. Золоторудные месторождения России. М.: Акварель, 2010. 349 с.
- Молошаг В. П. Использование состава минералов для оценки физико-химических условий образования колчеданных руд Урала // Литосфера. 2009. № 2. С. 28–40.
- Новоселов К. А., Котляров В. А., Белогуб Е. В. Сульфоселенид серебра из руд Валунистого золото-серебряного месторождения (Чукотка) // Записки РМО. 2009. № 6. С. 56–61.
- Barton P. B. Jr., Skinner B. J. Sulfide mineral stabilities // In: Barnes H.L. (ed.) Geochemistry of hydrothermal ore deposits. New York: John Wiley and Sons, 1979. P. 278–403.
- Scott S. D., Barnes H. L. Sphalerite geothermometry and geobarometry // Economic Geology. 1971. Vol. 66. P. 653–669.

А. В. Малютина

*Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск
almalut@mail.ru*

Минерализация Карлин типа ртутно-сурьмяного месторождения Чаувай (Южно-Ферганский ртутно-сурьмяный пояс, Киргизия) (научный руководитель к.г.-м.н. П. А. Неволько)

Южно-Ферганский ртутно-сурьмяный пояс расположен в Туркестано-Алайском секторе Южного Тянь-Шаня. В его пределах выявлены многочисленные месторождения ртути, сурьмы и, реже, золота. Наиболее изученными и освещенными в литературе являются Хайдарканское, Кадамджайское, Чаувайское, Бирксуское, Адыракоуское и другие рудные поля. Хайдаркан-Чаувайская рудная зона содержит комплексные ртутно-сурьмяные или монометалльные – сурьмяные и ртутные проявления и месторождения джаспероидного типа (Хайдарканское, Кадамджайское и Чаувайское).

Ранее в период интенсивного изучения и эксплуатации ртутно-сурьмяных месторождений неоднократно отмечалась повышенная золотоносность этих руд. Однако «упор» на главных компонентах руды, а также отсутствие моделей месторождений типа Карлин не позволили в полной мере оценить весь промышленный потенциал Южно-Ферганского пояса. Между тем, геологические изыскания в регионе, проводимые в течение последних десятилетий, выявили новые золоторудные объекты и обосновали их приуроченность к оруденению типа Карлин. Изученные нами Hg-Sb месторождения Чаувай и Кадамжай [Nevolko et al., 2019] расположены в центральной части пояса и, в совокупности с другими рудными объектами (Абшир, Хайдаркан), образуют крупную рудную провинцию. Южно-Ферганский пояс генетически связывается с Северо-Катранским региональным глубинным разломом, расположенным между южным окончанием Ферганской долины и подножием Алайского и Туркестанского хребтов [Nevolko et al., 2019]. Вмещающие породы на месторождениях представляют собой несортированные терригенные и карбонатно-терригенные отложения, часто тонко-ритмичные, обогащенные рассеянным углеродистым веществом.

Золоторудная минерализация на месторождении Чаувай имеет четко выраженный структурный контроль и приурочена к тектонической границе между турбидитами толубайской свиты и массивными известняками Алайского разреза. Вдоль тектонического контакта породы обоих блоков подвержены гидротермально-метасоматическим изменениям. На основе изучения вмещающих оруденение пород выделено три основных типа изменений, с которыми связана повышенная золотоносность – окварцевание, декарбонатизация и сульфидизация [Nevolko et al., 2019]. Содержание Au в рудах достигает 5 г/т, при этом «видимое» самородное золото не установлено. В геохимическом профиле оруденения также отмечаются As, Sb, Hg и Tl. Анализ геохимической специфики месторождения Чаувай показал, что повышенное содержание Au сопровождается комплексом элементов, типичных для месторождений Карлин типа (*Carlin-suite elements*) – As, Hg, Sb и Tl [Hofstra, Cline, 2000; Cline et al., 2005; Zhang et al., 2005; Peters et al., 2007].

Минеральный состав золотоносных руд на месторождении Чаувай сопоставим с таковым для типичных месторождений типа Карлин в Неваде и на юго-западе Китая [Hofstra, Cline, 2000; Cline et al., 2005; Zhang et al., 2005; Peters et al., 2007; Su et al., 2008; Large et al., 2011]. Главными минералами являются пирит, марказит, арсенипирит, реальгар и аурипигмент. Доминирующий пирит представлен двумя морфологическими разновидностями. Детальное изучение морфологии пирита по разрезу в совокупности с данными опробования может дать ценную информацию о последовательности формирования руд и позволит выявить минералогические критерии наличия повышенной золотоносности. Последний аспект приобретает особое значение, поскольку граница рудных тел на месторождениях типа Карлин определяется только по результатам опробования.

В основу работы положено описание аншлифов, изготовленных из керна скважин колонкового бурения 2017 г. на Опорном участке месторождения Чаувай, который условно разделен на два района: западный и восточный. Западный район изучался по образцам, изготовленным из керна скв. №№ 4 и 11, а восточный – из керна скв. №№ 2 и 3. Геологическая обстановка на западном и восточном участках сходная. При отборе проб и изготовлении препаратов для минералогического исследования были учтены как золотоносные интервалы, так и безрудные.

Главными минералами руд являются пирит и, в меньшей степени, арсенопирит. Пирит представлен 1) фрамбоидами и их агрегатами и 2) идиоморфными и субидиоморфными кристаллами размером 100–1000 мкм. Вторые нередко имеют зональное строение. Обе разновидности иногда встречаются совместно, а в некоторых случаях последовательно нарастают друг на друга. Примером служат зональные агрегаты с реликтами крупных фрамбоидов (?) в центре и оторочкой из мелких кристаллов. Фрамбоиды пирита распространены в верхней части разреза, где терригенные породы наименее преобразованы, а в областях их наибольшего скопления всегда присутствуют реликты органического вещества. Это дает основание полагать, что образование фрамбоидального пирита связано с жизнедеятельностью бактерий. Вниз по разрезу, где породы наиболее преобразованы, пирит представлен идиоморфными и субидиоморфными кристаллами, имеющими гидротермальное происхождение. Фрамбоиды чаще всего отсутствуют, что, возможно, связано с их перекристаллизацией.

Арсенопирит присутствует в виде мелких (до 30 мкм) кристаллов ромбического сечения, но чаще образует сростания с пиритом, в том числе, ориентированные вроски в кристаллах пирита.

Аурипигмент и реальгар – второстепенные минералы, образовавшиеся в результате гидротермально-метасоматического изменения пород. Они присутствуют в областях брекчирования и окварцевания вблизи контакта терригенного и карбонатного блоков. Встречаются в виде 1) вкрапленности в слоистых песчаниках и глинистых сланцах, где они замещают более ранние сульфиды железа, и 2) секущих жил и прожилков, часто цементирующих обломки терригенно-осадочных пород.

Марказит встречается редко и приурочен к гидротермально-измененным породам, часто ассоциируя с аурипигментом и реальгаром. Слагает удлиненные зерна и маломощные прожилки в брекчированных породах.

Промышленная золотая минерализация приурочена к области перехода от терригенных пород к карбонатным. Эта зона представляет собой плоскость надвига, в которой породы висячего и лежащего блоков гидротермально изменены и тектонически дислоцированы. Высокие содержания Au во всех случаях приурочены к зоне наиболее интенсивного брекчирования и проявления гидротермальной деятельности. Так, на участках, богатых золотом, наблюдаются многочисленные карбонатные прожилки и жилы с аурипигментом, реальгаром, иногда марказитом. Пирит здесь более крупный, замещается аурипигментом и реальгаром и часто ассоциирует с арсенопиритом.

В западной части Опорного участка между скв. №№ 4 и 11 условия залегания пород примерно одинаковы: зоны брекчирования и горизонты с аурипигментом и реальгаром выдержаны и находятся на одном уровне. В целом, эти скважины хорошо коррелируют по уровням золотоносной минерализации, которая находится в интервале 64–72 (80) м. К этому уровню приурочен главный контакт известняков с надвинутой на них терригенной толщей.

В восточной части Опорного участка разрезы по скважинам практически не коррелируют между собой. Например, в скв. № 3 полностью отсутствуют аурипигмент и реальгар, но в большом количестве содержится арсенопирит в отличие от соседней скв. № 2. Для восточной части характерна разветвленная система разломов, которая выражается в неоднородном проявлении многочисленных брекчированных зон. В керне наблюдается чередование катаклазированных и гидротермально минерализованных и практически неизмененных пород. Соответственно, содержание Au

также меняется скачкообразно. Вероятно, в восточной части Опорного участка на фоне главного разлома-надвига на разных уровнях проявлены более мелкие (оперяющие) разломы, по которым проходили гидротермальные растворы, при этом образовалась многоярусная система минерализованных горизонтов.

Поскольку зона тектонического контакта терригенной толщи и известняков представляет собой область пониженного давления, там циркулировали гидротермальные растворы, и происходило максимальное преобразование материала как автохтонного, так и аллохтонного блоков. Соответственно, основной закономерностью проявления того или иного морфологического типа пирита по вертикали является пространственное расположение зоны контакта, удаленность от нее вмещающих пород и, следовательно, степень их проработанности (измененности) гидротермальными растворами.

В верхней части разреза, в надконтактной области, присутствует как фрамбоидальный пирит, так и идиоморфный слабоизмененный пирит с преобладанием кубических кристаллов. Размер кристаллов варьирует от мелких (~100 мкм) до крупных (~900 мкм), но в большинстве случаев пирит мелкий и средний. Содержание арсенопирита скачкообразно: в одних горизонтах он присутствует в тех же количествах, что и пирит, а в других – отсутствует. В зоне контакта пирит укрупняется (до ~1 мм), но псевдоморфно замещается аурипигментом. Здесь наблюдается зональный пирит с реликтами крупных фрамбоидов (?) в центре и с каймой мелких зерен, нарастающих на более крупные индивиды. В конце интервала, т.е. в приконтактной области, размер кристаллов пирита уменьшается, увеличивается их сохранность и степень идиоморфизма.

Таким образом, руды месторождения Чаувай состоят из пирита, арсенопирита, марказита, аурипигмента и реальгара. Морфология пирита закономерно изменяется от фрамбоидов в верхней части разреза до кристаллического идиоморфного – в нижней. В зоне контакта пирит субидиоморфный и, как правило, чуть более крупный. Выдержанность горизонтов с арсенидной минерализацией по латерали проявлена лишь в разрезах близко расположенных скважин. В общем виде горизонты с арсенопиритовой, аурипигментовой и реальгаровой минерализацией не прослеживаются по простиранию структуры месторождения, и их распределение носит скорее узловой характер. Золотоносные интервалы характеризуются развитием идиоморфного и субидиоморфного пирита, нередко претерпевшего гидротермальные преобразования.

Работа выполнена по государственному заданию ИГМ СО РАН.

Литература

Cline J. S., Hofstra A. H., Muntean J. L., Tosdal R. M., Hickey K. A. Carlin-type gold deposits in Nevada: Critical geological characteristics and viable models // *Economic Geology*. 2005. Vol. 100. P. 451–484.

Hofstra A. H., Cline J. S. Characteristics and models for Carlin-type gold deposits // In: Hagemann S. G., Brown P. E. (eds.) *Reviews in Economic Geology*. 2000. Vol. 13. P. 163–214.

Large R. R., Bull S. W., Maslennikov V. V. A carbonaceous sedimentary source-rock model for Carlin-type and orogenic gold deposits // *Economic Geology*. 2011. Vol. 106 (3). P. 331–358.

Nevolko P. A., Hnylko O. M., Mokrushnikov V. P., Gibsher A. S., Redin Y. O., Zhimulev F. I., Drovzhak A. E., Svetlitskaya T. V., Fomynikh P. A., Karavashkin M. I. Geology and geochemistry of the Kadamzhai and Chauvai gold-antimony-mercury deposits: Implications for new province of Carlin-type gold deposits at the Southern Tien Shan (Kyrgyzstan) // *Ore Geology Reviews*. 2019. Vol. 105. P. 551–571.

Peters S. G., Huang J. Z., Li Z. P., Jing C. G. Sedimentary rock-hosted Au deposits of the Dian-Qian-Gui area, Guizhou, and Yunnan Provinces, and Guangxi District, China // *Ore Geology Reviews*. 2007. Vol. 31. P. 170–204.

Su W., Xia B., Zhang H., Zhang X., Hu R. Visible gold in arsenian pyrite at the Shuiyindong Carlin-type gold deposit, Guizhou, China: Implications for the environment and processes of ore formation // *Ore Geology Reviews*. 2008. Vol. 33. P. 667–679.

Zhang X. C., Hofstra A. H., Hu R.-Z., Emsbo P., Su W., Ridley W. I. Geochemistry and $\delta^{34}\text{S}$ of ores and ore stage iron sulfides in Carlin-type gold deposits, Dian-Qian-Gui area, China: Implications for ore genesis // In: Mao J. W., Bierlein F. P. (eds.) *Mineral Deposits Research: Meeting the Global Challenge*. Heidelberg: Springer-Verlag, 2005. Vol. 2. P. 1107–1110.