



Электронная версия доступна на сайте
[www.fmm.ru/Новые данные о минералах](http://www.fmm.ru/Новые_данные_о_минералах)

Минералогический музей
 имени А.Е. Ферсмана РАН

Новые данные о минералах, том 56, вып. 4 (2022), 110–113

НДМ

Псевдоморфозы галенита и висмута по козалиту в вулканогенно-плутоногенном месторождении золота Дарасун в Восточном Забайкалье

Спиридонов Э.М., Кривицкая Н.Н., Кочетова К.Н.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, геологический факультет, ernstspiridon@gmail.com

Позднеорогенное вулканогенно-плутоногенное месторождение Дарасун содержит обильную Au-Bi-минерализацию. Карбонат-кварц-сульфидные жилы западного участка Дарасуна окружены ореолами ливенитов. Их золотые руды содержат пирротин, арсенопирит, халькопирит, кубанит, пирит, висмутин, галеновисмутит, гнезда самородного висмута и икунолита; более поздние образования – сульфосоли Pb-Bi, преимущественно козалит $Pb_2(Bi,Sb)_2S_3$, и самородное золото. В отдельных участках жил Пирротиновая и Электрические на горизонтах шахтных выработок – 310 м и –335 м руды брекчированы и в них часть пирротина и кубанита замещена гематитом и магнетитом. На тех же горизонтах в отдельных участках жил Электрические 4 и 5 нами установлены частичные и полные псевдоморфозы галенита и висмута по брекчированному козалиту. Очевидно, то и другое – результат эндогенного окисления сульфидов с выносом серы. Вероятная реакция псевдоморфного замещения козалита: $Pb_2Bi_2S_5 + 3O_2 \rightarrow 2PbS + 2Bi + 3SO_2 \uparrow$. По-видимому, чередование процессов минералообразования при низкой и при высокой фугитивности кислорода при высокой и при низкой активности сульфидной серы характерно для вулканогенно-плутоногенных гидротермальных месторождений золота.

Ключевые слова: псевдоморфозы галенита и висмута по брекчированному козалиту, эндогенное окисление, вулканогенно-плутоногенное месторождение золота Дарасун.

Введение

Одно из крупнейших в Забайкалье месторождение золота Дарасун со сложной историей формирования и разнообразием рудных и жильных минералов изучается около столетия (Болдырев и др., 1936; Крейтер, 1940; Зенков, 1946; Филимонова, 1964; Сахарова, 1972; Тимофеевский, 1972; Ляхов, Дмитриев, 1975; Зорина, 1987; Чвилёва и др., 1988; Прокофьев, Зорина, 1996; Спиридонов и др., 2008, 2022; Чернышов и др., 2014 и др.). Тем не менее оно исследовано недостаточно. Наша статья содержит результаты изучения руд западного участка месторождения, содержащих псевдоморфозы галенита с включениями самородного висмута по козалиту.

Материалы и методы исследования

Изучены богатые руды западного участка месторождения Дарасун, собранные в шахтных выработках М.С. Сахаровой, Н.Н. Кривицкой, В.Г. Демидовым. Методы изучения руд стандартные. Химический состав минералов определен с помощью аналитического комплекса с комбинированной системой микроанализа на базе СЭМ Jeol JSM-6480 LV в лаборатории локальных методов исследований кафедры петрологии геологического факультета МГУ, аналитик-исследователь Н.Н. Коротаяева; ею же получены электронные фотографии.

Месторождение Дарасун

Месторождение Дарасун расположено в Вос-

точном Забайкалье, в зоне влияния глубинного Монголо-Охотского разлома, разделяющего герциниды и мезозоиды, в мезозоидах в узле пересечения Дарасуно-Восходнинского и Балейско-Дарасунского разломов (Тимофеевский, 1972; Зорина, 1987). Месторождение Дарасун – голотип позднеорогенной гидротермальной вулканогенно-плутоногенной березит-лиственитовой золото-сульфидно-кварцевой формации (Спиридонов и др., 2008) – парагенетически связано с амуджиканским вулканоплутоническим комплексом. Рудоносный амуджиканский комплекс позднеюрского возраста представлен малыми интрузивами кварцевых монзонитов и сиенито-диоритов, граносиенитов, дайками гранитоид- и монзонит-порфиров, микромонзонитов, субвулканическими телами, покровами и трубками взрыва латитов, риолитов и трахириолитов (Тимофеевский, 1972; Зорина, 1987; Спиридонов и др., 2022). Рудные тела слагают минеральные агрегаты трех рудно-метасоматических формаций: 1) кварц-турмалиновой, 2) березит-лиственитовой золото-сульфидно-кварцевой (средне- и низкотемпературные карбонат-сульфидно-кварцевые жилы выполнения с Au-Ag-As-Cu-Sb-Pb-Bi-Te-минерализацией), 3) послезолоторудной низкотемпературной сурьмяной (джаспероидной) (Крейтер, 1940; Зенков, 1946; Филимонова, 1964; Сахарова, 1972; Тимофеевский, 1972; Ляхов, Дмитриев, 1975; Зорина, 1987; Прокофьев, Зорина, 1996; Спиридонов и др., 2022). Золоторудная формация возникла при участии растворов с соленостью 3–10 мас.% экв. NaCl при 370–320–190 °C (Ляхов, Дмитриев, 1975; Прокофьев, Зорина, 1996). Березиты и листвениты и ранняя кварц-сульфидная ассоциация с сидеритом, анкеритом, доломитом, пиритом или пирротином, арсенопиритом возникли при 370–320 °C; кварц-карбонат-сульфидная ассоциация (пирит или пирротин, арсенопирит, железистый сфалерит, халькопирит, кубанит, галенит) – при ~280–220 °C; бурнонит, теннантит, тетраэдрит – при ~240–230–210 °C; сульфосоли Pb-Bi – при ~225–210 °C, продуктивная ассоциация – теллуриды Bi и самородное золото – при ~230–190 °C (Ляхов, Дмитриев, 1975; Прокофьев, Зорина, 1996).

Карбонатные кварц-сульфидные рудные жилы восточного и центрального участков месторождения Дарасун размещены в основном среди калийных гранитоидов и мигматитов, окружены ореолами березитов, основные сульфиды в них – пирит и арсенопирит, масса сфалерита, галенита, халькопирита, бурнонита, теннантита, тетраэдрита, сложных сульфидов Bi-Pb (Филимонова, 1964; Сахарова, 1972; Тимофеевский, 1972). Карбонат-кварц-сульфидные рудные жилы западного участка размещены в основном среди габброидов с включениями гипербазитов, окружены орео-

лами лиственитов, возникли при пониженной aS_2 ; ведущие сульфиды в них – пирит, пирротин, халькопирит, кубанит и арсенопирит, минералы висмута – висмутин и галеновисмутит, местами самородный висмут и икунолит Bi_4S_3 , сложных сульфидов Bi-Pb немного; это более поздние образования, преимущественно козалит $Pb_2(Bi,Sb)_2S_3$, и высокопробное самородное золото.

Козалит – один из наиболее распространенных минералов висмута гидротермальных месторождений, для него крайне характерно существенное изоморфное замещение висмута сурьмой, в меньшей степени замещение свинца медью и серебром (Болдырев и др., 1936; Чвилёва и др., 1988). Эти особенности присущи и козалиту дарасунских руд (табл. 1).

Псевдоморфозы галенита и самородного висмута по козалиту в дарасунских рудах

В отдельных участках жил Пирротиновая и Электрические на горизонтах шахтных выработок –310 м и –335 м руды брекчированы и в них часть пирротина и кубанита замещена гематитом и магнетитом, т.е. произошло эндогенное окисление сульфидов с выносом серы. На тех же горизонтах в отдельных участках жил Электрические 4 и 5 нами установлены частичные и полные псевдоморфозы галенита и висмута по брекчированному козалиту (рис. 1).

Состав галенита – продукта замещения козалита, мас.%: Pb 85.49, Bi 0.93, Ag 0.25, S 13.41, сумма 100.08 %; Sb, Se не обнаружены; формула минерала $(Pb_{0.98}Bi_{0.01}Ag_{0.01})_{1.00}S_{1.00}$. Самородный висмут – продукт замещения козалита – содержит от 0.31 до 0.84, в среднем 0.43 мас.% Sb ($n = 7$). Как видно, продукт деструкции козалита – самородный висмут – гораздо беднее сурьмой, чем козалит. Валовый состав агрегата галенита и самородного висмута, заместившего козалит, мас.% ($n=3$): Pb 45.10, Ag 0.24, Bi 46.88, Sb 0.40, S 7.05, сумма 99.67 %, что близко составу козалита по соотношению свинца и висмута и отвечает формуле $Pb_{1.97}Ag_{0.02}Bi_{2.03}Sb_{0.03}S_{1.99}$.

Таким образом, образование псевдоморфоз галенита с включениями самородного висмута по козалиту – результат эндогенного окисления козалита с выносом серы. Вероятная реакция псевдоморфного замещения козалита: $Pb_2Bi_2S_5 + 3O_2 \rightarrow 2PbS + 2Bi + 3SO_2 \uparrow$.

По-видимому, чередование процессов минералообразования при низкой и при высокой фугитивности кислорода, при высокой и при низкой активности сульфидной серы характерно для вулканогенно-плутоногенных гидротермальных месторождений золота.

Таблица 1. Химический состав дарасунского козалита $Pb_2(Bi,Sb)_2S_5$

Компо- ненты	Мас.%			Компо- ненты	Число атомов в формуле		
	1	2	3		1	2	3
Pb	39.90	40.60	38.61	Pb	1.79	1.80	1.78
Ag	1.25	1.28	1.41	Ag	0.11	0.11	0.12
Cu	0.40	0.35	0.31	Cu	0.06	0.05	0.04
Bi	35.89	34.52	34.89	Bi	1.59	1.51	1.59
Sb	5.58	5.72	5.61	Sb	0.42	0.43	0.44
As	нпо	0.72	нпо	As	–	0.09	–
S	16.92	17.52	17.40	S	5.03	5.01	5.03
Сумма	97.97	100.92	100.71	Сумма		9	

Примечание. нпо – содержание ниже предела обнаружения.

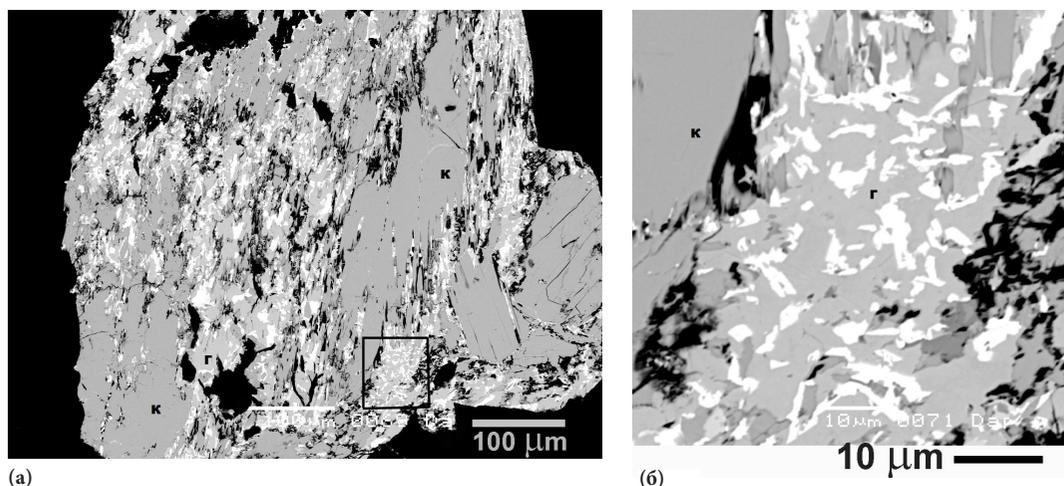


Рис. 1. Шахта Западная, гор. –335 м, жила Электрическая 4: а – общий вид брекчированного козалита (к), частично замещенного сростаниями галенита (г) и самородного висмута (белый); б – увеличенный фрагмент – псевдоморфоза галенита с вросками самородного висмута по брекчированному козалиту, слева – незамещенный козалит. Изображения в отраженных электронах.

Благодарности

Работа выполнена по плану научно-исследовательских работ кафедры минералогии МГУ с использованием оборудования, приобретенного по программе развития Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова. Авторы благодарны Н.Н. Коротяевой за высокое качество фотографий и анализов.

Список литературы:

Болдырев А.К., Бетехтин А.Г., Годлевский М.Н., Григорьев Д.П., Киселёв А.И., Левицкий О.Д., Разумовский Н.К., Смирнов А.А., Соболев В.С., Успенский Н.М., Черных В.В., Шафрановский И.И. Курс минералогии. М.-Л.: ОНТИ. 1936. 1156 с.

Зенков Д.А. Рудничная геология на Дарасунском золото-мышьяковом месторождении / Рудничная геология. Госгеолиздат. 1946. С. 112–134.

Зорина Л.Д. Рудно-магматические системы Забайкалья с латитовым магматизмом. В кн.: Современные проблемы теоретической и прикладной геохимии. Новосибирск: Наука. 1987. С. 93–100.

Крейтер В.М. Поиски и разведка полезных ископаемых. М.-Л.: Госгеолиздат. 1940. 790 с.

Ляхов Ю.В., Дмитриев Л.К. Физико-химические условия минералообразования на Дарасунском месторождении золота (Восточное Забайкалье) по включениям в минералах. Части 1 и 2 // Минералогический сборник Львовского университета. 1975. № 29. Вып. 3. С. 48–56. Вып. 4. С. 17–22.

Прокофьев В.Ю., Зорина Л.Д. Флюидный режим Дарасунской рудно-магматической системы (Восточное Забайкалье) по данным исследования флюидных включений // Геология и геофизика. 1996. Т. 37. № 5. С. 50–61.

Сахарова М.С. Стадийность процессов рудообразования и вопрос зональности на Дарасунском золоторудном месторождении. В книге: Рудообразование и его связь с магматизмом. М.: Наука. 1972. С. 213–222.

Спиридонов Э.М., Брызгалов И.А., Кривицкая Н.Н., Назьмова Г.Н., Ряховская С.К., Филимонов С.В. Минеральные ассоциации гидротермальных плутоногенных, вулканогенно-плутоногенных, вулканогенных, телетермальных месторождений золота. В кн.: Золото северного обрамления Пацифика. Магадан: 2008. С. 155–158.

Спиридонов Э.М., Кривицкая Н.Н., Кочетова К.Н., Брызгалов И.А., Коротаева Н.Н. Мальдонит Au_2Bi и продукты его замещения – беспримесное золото, джонасонит $AuBi_3S_4$, висмутистый аурустибит $Au(Sb,Bi)_2$ в золотых рудах месторождения Дарасун в мезозоидах Восточного Забайкалья // Записки Российского минералогического общества. 2022. Ч. 151. Вып. 2. С. 1–22.

Тимофеевский Д.А. Геология и минералогия Дарасунского золоторудного региона. М.: Недра. 1972. 260 с.

Филимонова А.А. Описание Дарасунского месторождения. В кн.: Структурно-текстурные особенности эндогенных руд. М.: Недра. 1964. С. 419–437.

Чвилёва Т.Н., Безмертная М.С., Спиридонов Э.М., Агроскин А.С., Папаян Г.В., Виноградова Р.А., Лебедева С.И., Завьялов Е.Н., Филимонова А.А., Петров В.К., Раутиан Л.П., Свейникова О.Л. Справочник-определитель рудных минералов в отраженном свете. М.: Недра. 1988. 505 с.

Чернышов И.В., Прокофьев В.Ю., Бортников Н.С., Чугаев А.В., Гольцман Ю.В., Лебедев В.А., Ларионова О.О., Зорина Л.Д. Возраст гранодиорит-порфиров и березитов Дарасунского золоторудного поля (Восточное Забайкалье, Россия) // Геология рудных месторождений. 2014. Т. 56. № 1. С. 3–18.