

РАЗДЕЛ I ГЕОЛОГИЯ. СЕЙСМИКА. ГИС [GEOLOGY. SEISMOLOGY. GIS]

УДК: 549.452.3+549.452.4(571.52)
DOI: 10.24411/2658-4441-2022-2-6-11

Ч.О. КАДЫР-ООЛ

Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН (Кызыл, Россия)

ГЕОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РУДООБРАЗОВАНИЯ УЗУНОЙСКОГО МЕДНО- НИКЕЛЬ-КОБАЛЬТОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЦЕНТРАЛЬНАЯ ТУВА)

В процессе предварительных исследований сульфоарсенидно-сульфосольного медно-никель-кобальтового Узунуйского месторождения установлены минералогическо-геохимические особенности блёклых руд теннантит-тетраэдритового ряда и минеральные формы урановой и серебряной минерализации.

Ключевые слова: медно-кобальтовые месторождения, сульфоарсенидно-сульфосольное оруденение, генетические особенности, минералы, блёклые руды, самородное серебро, иодиды, Тува.

Рис. 4. Табл. 2. Библ. 8 назв. С. 6–11.

Ch.O. KADYR-OOL

Tuvinian Institute for Exploration of Natural Resources of SB RAS (Kyzyl, Russia)

GEOLOGICAL-GEOCHEMICAL FEATURES OF ORE FORMATION FOR THE UZUNOYSKY COPPER-NICKEL-COBALT DEPOSIT (CENTRAL TUVA)

Mineralogical-geochemical features of fahlores of the tennantite-tetrahedrite series and mineral forms of uranium and silver mineralization were determined in the process of preliminary studies of the sulfoarsenide-sulfosalt copper-nickel-cobalt deposit of the Uzunoysky deposit.

Keywords: copper-cobalt deposits, sulphoarsenide-sulfosalt mineralization, genetic features, minerals, fahlore, native silver, iodides, Tuva.

Figures 4. Tables 2. References 8. P. 6–11.

ВВЕДЕНИЕ. Исследования генезиса медно-никель-кобальтовых месторождений являются одним из фундаментальных направлений генетической минералогии. Комплексные Cu-Ni-Co (Bi-Ag-Au) гидротермальные месторождения, например, Бу Аззер (Марокко), Кобальт (Канада) и другие. Высокая ценность этих месторождений определяется их комплексностью и возможностью попутной добычи при их отработке не только меди, кобальта, никеля, но и нередко присутствующих в них в промышленных содержаниях попутных элементов — Bi, Ag и Au (Лебедев и др., 2019).

Изучение особенностей строения и минерального состава Узунуйского месторождения позволяет более глубоко и детально исследовать закономерности формирования и пространственного размещения оруденения и более надёжно оценивать его

перспективность. Актуальность исследования данного объекта определяется и тем, что его результаты могут стать веским аргументом и поводом для пересчёта запасов руды и оценки перспектив возобновления и продолжения отработки близлежащего Хову-Аксынского Ni-Co месторождения.

Месторождение находится в центральной части Республики Тыва, в 8 км от Северного участка Хову-Аксынского никель-кобальтового месторождения (рис. 1). Оно выявлено в 1948 г. Его перспективы связывают с изучением глубоких, более 100 м горизонтов, где ожидается увеличение содержания кобальта при возможной смене блёкловорудной ассоциации на арсенидную никель-кобальтовую. Прогнозные ресурсы кобальта до глубины 400 м по категории P₃ оцениваются в 8,1 тыс. т (Чучко и др., 1990 ф.).



Рисунок 1. Географическое положение Хову-Аксынского месторождения серебро-кобальтовых арсенидных руд (1) и Узунойского медно-никель-кобальтового сульфоарсенидно-сульфосольного месторождения (2)

Близлежащее известное месторождение арсенидных Ni-Co руд Хову-Аксы является типичным представителем пятиметалльной рудной формации. На данном месторождении выделяют несколько стадий минералообразования (Лебедев, 2017): ранняя арсенидная, главная арсенидная, поздняя арсенидная и постарсенидная — сульфидно-сульфоарсенидно-блёкловорудная. Сходство с Узунойским месторождением заключается в широком распространении силлообразных залежей габбро-диабазов, составом минеральных парагенезисов, хотя рудоносные жилы локализованы одинаково как у ховуаксынских, тяготея к разрывным нарушениям и контактам даек.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ. Месторождение приурочено к зоне Убсунур-Баянкольского разлома, по которому Западно-Таннуольский террейн (герциниды) сочленяется с Восточно-Таннуольским террейном (каледониды). В пределах рудного поля развиты две антиклинали и одна синклиналь: Узунойская антиклиналь — асимметричная гребневидная структура северо-восточного простирания — сложена серией мелких кулисных складок; Онкажинская антиклиналь, расположенная юго-восточнее Узунойской, имеет северо-западное простирание и коробчатый поперечный профиль; Красноцветная, почти изометричная, синклиналь.

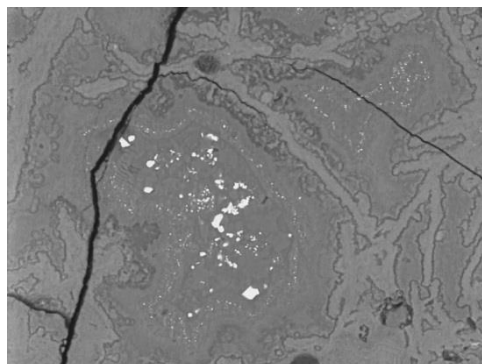
Узунойская антиклиналь отделена от остальных структур сбросо-сдвигом северо-восточного простирания с падением плоскости сместителя на юго-восток (Аверин и др., 1965 ф.) Складчатая структура рудного поля осложнена другими разрывными нарушениями, заложенными на разных этапах её формирования. Современная структура рудного поля сформировалась в результате длительных геологических процессов. Основные системы нарушений, контролирующие локализацию малых интрузий и оруденения, относятся к ранним этапам герцинской складчатости. Позднее тектоническая деятельность выразилась в неоднократном подновлении ранее заложенных

нарушений, что привело к совмещению в одних и тех же трещинных структурах различных серий дайковых пород, гидротермальных кремнисто-карбонатных, кварцево-баритовых, карбонатных жил и рудной минерализации (Лебедев, 2018).

РУДНЫЕ ТЕЛА И МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ РУД. Месторождение объединяет четыре рудных тела (рудных зон), залегающих в карбонатизированных и каолинизированных породах в зонах контактов даек торгалыгского (D_3-C_1) комплекса с эффузивами кендейской свиты (D_1kn) и нижнедевонских эффузивов с подстилающими их песчаниками хондергейской свиты (S_2chn). Протяжённость рудных тел (зон) достигает 900 м при мощностях от 0,2–0,3 м до 14 м. Руды вкрапленные и прожилково-вкрапленные, реже брекчиевидные и сплошные (сливные). Две последние разновидности образуют линзовидные участки мощностью от 0,2–0,5 м до первых метров и протяжённостью 30–150 м, окаймлённые зонами вкрапленных и прожилково-вкрапленных руд (Лебедев, 1998, 2017, 2018).

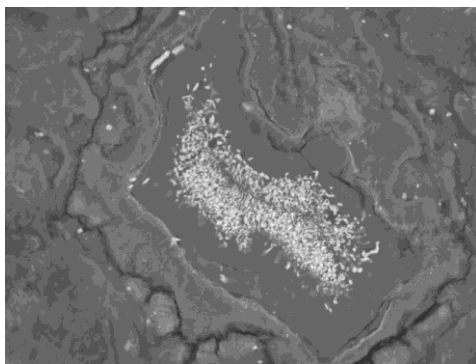
При исследовании были отобраны образцы брекчиевидных руд из естественных горных обнажений в пределах данного месторождения. Оптические исследования отобранных руд проведены на микроскопах Olympus BX41 и ПОЛАМ П–213М. Химический состав минералов определён методом сканирующей электронной микроскопии Hitachi TM–1000 с ЭДС QUANTAX XFlash (ТувИКОПР СО РАН, Кызыл, аналитик Е.Н. Тимошенко).

Установлено, что брекчиевидные руды представляют собой агрегат обломков каолинизированных и карбонатизированных базальтоидов, сцементированных сульфидной массой, составляющей 30–80%. В составе руд присутствуют Zn-теннантит, Fe-теннантит-тетраэдрит, Fe-тетраэдрит, кобальтин, арсенопирит, глаукоdot, герсдорфит, халькопирит, борнит, пирит, сафлорит, галенит, сфалерит, киноварь, самородное серебро, Hg-серебро, акантит Ag_2S , ялпаит Ag_3CuS_2 , самородный висмут, уранинит UO_2 и браннерит $(U, Th, Y)(Ti, Fe)_2O_6$ (рис. 2, 3). При этом герсдорфит, сафлорит и самородный висмут образуют тонкозернистую вкрапленность в теннантите.



TM-1000_24539 2020.03.11 15:33 L D7,0 x800 100 um
УЗ - 640

Рисунок 2. Формы выделения ялпаита Ag_3CuS_2 (светлое) в гипергенных минералах Cu и As (серое)



TM-1000_24548 2020.03.11 15:51 L D7,0 x2,5k 30 um
УЗ - 640

Рисунок 3. Формы выделения акантита Ag_2S (светлое) в гипергенных минералах Cu и As (серое)

Из вторичных рудных минералов присутствуют халькозин, ковеллин, малахит, азурит, эритрин, иодаргирит AgI и т. д. До глубины 200 м руды окислены с появлением асболана, эритрина, малахита и азурита.

Гипергенная иодидная минерализация представлена иодаргиритом, который отмечается только в окисленных рудах в ассоциации с вторичными минералами Cu. Из природных иодидов наиболее распространены иодаргирит AgI (гекс.), маршит CuI (куб.) и майерсит AgI (куб.). Изредка отмечается мошелит Hg_2I_2 (тетраг.). Маршит и майерсит образуют твёрдые растворы кубических иодидов прерывистого ряда.

Все природные иодиды образуются в условиях засушливого климата в зоне окисления Ag-, Hg-содержащих месторождений. Большинство из них впервые были определены в месторождении Брокен-Хилл (Австралия) (Лебедев, 1986, 1998).

Иодидаргирит является гексагональной модификацией AgI, имеющей структуру типа вюртцита. Минерал отмечается в гипергенных минералах Cu и As (Авруцкая и др., 2005). В рудах месторождения Узуной формы выделения иодаргирита весьма разнообразны, но в виде кристаллов он не обнаружен. Средний химический состав узунейского иодаргирита отвечает формуле $Ag_{0,97-1,02}I_{1,03}$ (рис. 4, табл. 1).

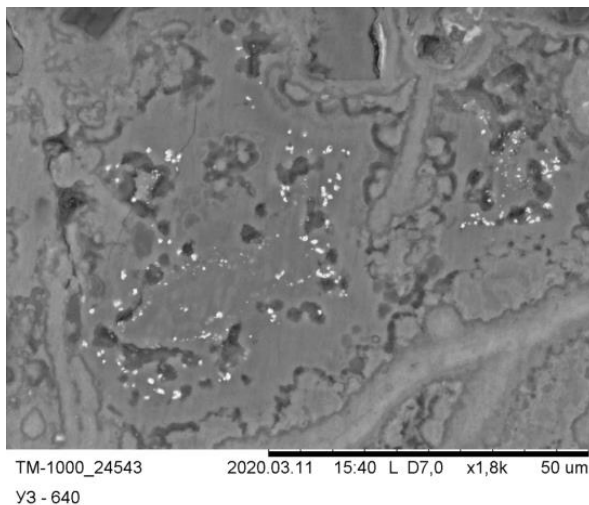


Рисунок 4. Формы выделения иодаргирита (светлое) в гипергенных минералах Cu и As (серое)

Таблица 1. Химический состав иодаргирита

Анализ	Элементы, мас. %		Сумма	Кристаллохим. формула
	Ag	I		
1	44,7	55,3	100	$Ag_{0,97}I_{1,03}$
2	44,83	54,84	99,67	$Ag_{1,02}I_{0,98}$
3	44,75	55,17	99,92	$Ag_{1,02}I_{0,98}$

Примечание. Состав минерала установлен на электронном микроскопе Hitachi TM-1000 в ТуВИКОПР СО РАН, аналитик Е.Н. Тимошенко.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. На месторождении Узуной представлена многостадийная сульфосольно-сульфидно-сульфосольная минерализация, которая локализована преимущественно в ветвящихся зонах трещиноватости, дробления и брекчирования вдоль контактов даек основного и среднего состава, затронутых гидротермальными изменениями предрудного этапа.

Важной составляющей работы является выявление минералого-геохимических, физико-химических условий образования руд Узунойского месторождения. Исследования позволили выявить наличие в узунейских рудах урановой минерализации, представленной браннеритом $(U, Th, Y)(Ti, Fe)_2O_6$ и уранинитом UO_2 , минералов серебра — самородное серебро, Hg-серебро, акантит Ag_2S и ялпайт Ag_3CuS_2 , а также иодаргирита AgI. Эти данные позволяют дополнить список характерных особенностей узунейских руд по сравнению с ховуаксынскими рудами, в т. ч. по составам минеральных парагенезисов (табл. 2) (Лебедев, 2018).

Таблица 2. Отличительные особенности гидротермальных кобальтовых месторождений Хову-Аксы и Узунной

Рудная формация	Минеральный состав	Связь с магматизмом	Околорудные изменения; отношение Co : Ni	РТVпараметры
Месторождение Хову-Аксы				
Никель-кобальтовая арсенидная (пятиэлементная) Ni-Co-As (\pm U-Ag)	Скуттерудит, шмальтин, хлоантит, раммельсбергит, никелин, саффлорит, леллингит (сульфиды железа и сульфосоли меди, серебра, сульфоарсениды кобальта, никеля и железа, самородные — серебро, золото, висмут и платиноиды, уранинит, галенит, сфалерит и др.)	Отдалённая парагенетическая с щелочно-базальтоидным магматизмом областей тектономагматической активизации; ассоциативная с посторогенным габброграносиенитовым субщелочным магматизмом	Аргиллизация, карбонатизация, березитизация; от 4 : 1 до 1 : 5	T = 40–200°C; P = 0,12–2 кбар; Σ NaCl, CaCl ₂ , MgCl ₂ (J, Br, NH ₄) = 20–45 вес. %
Месторождение Узунной				
Медно-кобальтовая сульфоарсенидно-блэкловорудная Cu-Co-As (\pm Sb-Ag)	Теннантит, тетраэдрит, халькопирит, борнит, пирит (герсдорфит, глаукодот, кобальтин, саффлорит, сульфиды свинца и цинка, минералы урана — браннерит, уранинит, минералы серебра — самородное серебро, Hg-серебро, акантит Ag ₂ S и ялпаит Ag ₃ CuS ₂ , а также минерал иодида — иодаргирит AgI)	Обладает сходными чертами магматизма и структурной позицией от Хову-Аксынского месторождения, но имеют разный состав минеральных парагенезисов, отсутствием в рудном поле гранитоидов, скарнов и скарноидов, особенностями предрудного метасоматоза и др.	Карбонатизация, окварцевание, аргиллизация, березитизация; от 10 : 1 до 1 : 4	T = 60–230°C; P = 0,12–0,3 кбар; Σ NaCl экв. (Br, NH ₄) = 18–30 вес. %

Автор выражает свою благодарность Р.В. Кужугету и А.А. Монгушу за консультации и помощь в проведении исследований, а также Е.Н. Тимошенко за помощь в аналитических исследованиях.

ЛИТЕРАТУРА

- Аверин О.К., Иванов Ю.Г. и др. Опытнo-методические геофизические работы на месторождении Хову-Аксы и Узунной: Промеж. отч. о работах Хову-Аксынской партии за 1965 г. – Кызыл, 1965. – Тыв. фил. ФБУ ТФГИ по СФО. – Инв. № 857.
- Авруцкая З.Ф., Манзырыкчы М.В., Тимошенко Е.Н., Манзырыкчы Х.Б. Распределение цветных металлов в шламах комбината «Тувакобальт» и возможность их обогащения // Состояние и освоение природных ресурсов Тувы и сопредельных регионов Центральной Азии. Геоэкология природной среды и общества: Науч. тр. ТувИКОПР СО РАН: Вып. 8. – Кызыл: ТувИКОПР СО РАН, 2005. – С. 142–146.
- Лебедев В.И. Рудноформационный анализ, условия образования и закономерности размещения кобальтовых месторождений Центральной Азии: Автореф. дис. ... докт. геол.-мин. наук. – Новосибирск: препринт ИГиГ СО АН СССР, 1986. – 35 с.
- Лебедев В.И. Рудномагматические системы эталонных арсенидно-кобальтовых месторождений / Отв. ред. докт. геол.-мин. наук А.А. Оболенский. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1998. – 136 с.

- Лебедев В.И. Возрождение кобальтового производства в Туве на базе освоения запасов Хову-Аксынского месторождения кобальтовых арсенидных руд и отходов их обогащения // Региональная экономика: технология, экономика, экология и инфраструктура: Материалы 2-й Международ. науч.-практ. конф. (18–20.10.2017, Кызыл) / Отв. ред. докт. экон. наук Г.Ф. Балакина. – Кызыл: ТувИКОПР СО РАН, 2017. – С. 192–199.
- Лебедев В.И. Полезные ископаемые Тувы и сопредельных территорий / Отв. ред.: докт. геол.-мин. наук А.С. Борисенко. – М.: Де'Либри, 2018. – 490 с.
- Лебедев В.И., Боровиков А.А., Гушчина Л.В., Шабалин С.И. Физико-химическое моделирование гидротермальных процессов рудообразования Ni-Co-As (\pm U-Ag), Co-S-As (\pm Au-W), Cu-Co-As (\pm Sb-Ag) месторождений // Геология рудных месторождений. – 2019. – Т. 61. – № 3. – С. 31–63.
- Чучко В.Н., Подкаменный А.А., Бухаров Н.С., Лебедев В.И., Меткин В.А., Кильчичаков К.М., Грецищев О.К., Анастасиев Н.С., Шибанов В.И. Геолого-экономическое районирование и оценка прогнозных ресурсов территории Тувы. АССР на важнейшие полезные ископаемые: Отч. тем. партии за 1988–1990 гг.: В 4 кн., 3 прил. – Кызыл, 1990. – Тыв. фил. ФБУ ТФГИ по СФО, Инв. № 2055.

REFERENCES

- Averin O.K., Ivanov Yu.G. et al. *Opytno-metodicheskiye geofizicheskiye raboty na mestorozhdenii Khovu-Aksy i Uzunoj* [Experimental and methodological geophysical work at the Khovu-Aksy and Uzuna field]: Interim report on the work of the Khovu-Aksyn party for 1965. Kyzyl, 1965, part II, Tyva branch of the Federal Budgetary Institution «Territorial Fund of Geological Information in the Siberian Federal District», inv. no. 857. (In Russ.)
- Avrutskaya Z.F., Manzyrykchy M.V., Timoshenko Ye.N., Manzyrykchy Kh.B. Raspredeleniye tsvetnykh metallov v shlamakh kombinata «Tuvakobal't» i vozmozhnost' ikh obogashcheniya [Distribution of non-ferrous metals in the sludge of the Tuvakobalt plant and the possibility of their enrichment]. Sostoyaniye i osvoyeniye prirodnikh resursov Tuvy i sopredel'nykh regionov Tsentral'noy Azii. Geoekologiya prirodnoy sredy i obshchestva [The State and exploration of natural resources of Tuva and adjacent regions of Central Asia. Geocology of environment and society]: is. 8. Kyzyl, TuvIENR SB RAS Publ., 2005, pp. 142–146. (In Russ.)
- Chuchko V.N., Podkamenny A.A., Bukharov N.S., Lebedev V.I., Metkin V.A., Kil'chichakov K.M., Grechishchev O.K., Anastasiyev N.S., Shibanov V.I. Geologo-ekonomicheskoye rayonirovaniye i otsenka prognoznykh resursov territorii Tuvinskoj ASSR na vazhneyshiyeh poleznyeh iskopayemyeh [Geological and economic zoning and assessment of the predicted resources of the territory of the Tuva ASSR for the most important minerals]: Report of the thematic party for 1988–1990, Kyzyl, 1990, Tyva branch of the Federal Budgetary Institution «Territorial Fund of Geological Information in the Siberian Federal District», inv. no. 2055. (In Russ.)
- Lebedev V.I. *Poleznyeh iskopayemyeh Tuvy i sopredel'nykh territoriy* [Minerals of Tuva and adjacent territories] / ed. by A.S. Borisenko. Moscow, De' Libri Publ., 2018, 490 p. (In Russ.)
- Lebedev V.I. *Rudnoformatsionnyy analiz, usloviya obrazovaniya i zakonmernosti razmeshcheniya kobal'tovykh mestorozhdeniy Tsenral'noy Azii* [Ore formational analysis, conditions of formation and patterns of placement of cobalt deposits in Central Asia]: Abstract of Dis. ... Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Kyzyl, 1986, 35 p. (In Russ.)
- Lebedev V.I. *Rudnomagmatischekiye sistemy etalonnykh arsenidno-kobal'tovykh mestorozhdeniy* [Ore-magmatic systems of reference arsenide-cobalt deposits] / ed. by A.A. Obolenskiy. Novosibirsk: SB RAS Publ., 1998, 136 p. (In Russ.)
- Lebedev V.I. Vozrozhdeniye kobal'tovogo proizvodstva v Tuvе na baze osvoyeniya zapasov Khovu-Aksynskogo mestorozhdeniya kobal'tovykh arsenidnykh rud i otkhodov ikh obogashcheniya [Revival of cobalt production in Tuva on the basis of the development of reserves of the Khovu-Aksynskoye deposit of cobalt arsenide ores and their enrichment waste]. *Regional'naya ekonomika: tekhnologii, ekonomika, ekologiya i infrastruktura = Regional economy: technologies, economy, ecology AND infrastructure*: Proceedings of the II International scientific and practical conference (18–20.10.2017). Kyzyl, TuvIENR SB RAS Publ., 2019, pp. 192–199. (In Russ.)
- Lebedev V.I., Borovikov A.A., Gushchina L.V., Shabalin S.I. Fiziko-khimicheskoye modelirovaniye gidrotermal'nykh protsessov rudoobrazovaniya Ni-Co-As (\pm U-Ag), Co-S-As (\pm Au-W), Cu-Co-As (\pm Sb-Ag) mestorozhdeniy [Physicochemical modeling of hydrothermal processes of ore formation of Ni-Co-As (\pm U-Ag), Co-S-As (\pm Au-W), Cu-Co-As (\pm Sb-Ag) deposits]. *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy = Geology of Ore Deposits*, 2019, vol. 61, no. 3, pp. 31–63. (In Russ.)