

УДК 549

С. П. НАГАЕВА, О. П. МЕЗЕНЦЕВА (ЗАО «НПО «РИВС»)
В. В. КОЗОРЕЗ (ЗАО «НПО «РИВС», Уральское представительство)

МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕДНЫХ КОБАЛЬТСОДЕРЖАЩИХ РУД ДЕРГАМЫШСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ



С. П. НАГАЕВА,
минералог



О. П. МЕЗЕНЦЕВА,
минералог,
канд. геол.-минерал. наук



М. В. КОЗОРЕЗ,
минералог

Приведены результаты минералогических исследований медных колчеданных кобальтосодержащих руд Дергамышского месторождения. Проведено детальное изучение форм нахождения кобальта в руде с применением современных оптических систем и электронного микроскопа VEGA 3 LMU (TESCAN), оснащенного системой энергодисперсионного и волнодисперсионного микроанализа.

Ключевые слова: колчеданные медные кобальтосодержащие руды, формы нахождения кобальта, сульфоарсениды кобальта, кобальтоносный пирит.

Колчеданные месторождения являются важным источником медных и полиметаллических руд, некоторые из которых содержат промышленно значимое количество золота и серебра. Наблюдаемая тенденция истощения запасов крупных колчеданных месторождений обуславливает целесообразность разработки мелких объектов. К последним относится Дергамышское месторождение, особенностью руд которого является присутствие в них сульфоарсенидов и повышенные содержания кобальта. Месторождение расположено в 12 км к юго-западу от пос. Бурибай (Республика Башкортостан). Запасы месторождения по категориям $C_1 + C_2$ составляют: руды — 2 млн т; Cu — 26 тыс. т; Zn — 18; Co — 1,7 тыс. т; Au — 1,2 т; Ag — 3,8 т [1, 2].

Перед специалистами ЗАО «НПО «РИВС» была поставлена задача разработать технологию обогащения руд Дергамышского месторождения с получением медного и цинкового товарных концентратов, а также определить возможность получения товарного кобальтового концентрата.

После проведения лабораторных испытаний были разработаны технологические схемы обогащения руд исследуемых типов. Получение медного и цинкового концентратов проводилось в высокощелочной среде. В этих условиях потери кобальта в отвальных продуктах достигали 95 %.

Для определения возможности получения товарного кобальтового концентрата проведено детальное минералогическое изучение форм нахождения кобальта как в исходных материалах, так и в продуктах флотации.

Минералогические исследования проводили с применением современных оптических систем и электронного микроскопа VEGA 3 LMU (TESCAN), оснащенного аналитической системой микроанализа.

Химический состав проб руд Дергамышского месторождения, выполненный в ЗАО ПАЦ «Механобр инжиниринг аналит» (г. Санкт-Петербург), показал, что руда медного типа содержит, %: 1,53 Cu; 0,17 Zn; 0,14 Co; 0,011 Ni; 37,8 Fe_{общ}; 37,2 S_{общ}; 0,032 As; 0,032 Sb; 6,84 SiO₂; г/т: 0,65 Au; 1,98 Ag.

Руда медно-цинкового типа содержит, %: 1,37 Cu; 1,42 Zn; 0,15 Co; <0,005 Ni; 37,8 Fe_{общ}; 39,2 S_{общ}; 0,021 As; 0,0036 Sb; 5,2 SiO₂; г/т: 0,77 Au; 1,61 Ag.

По содержанию компонентов в рудах существенное различие отмечается только по цинку.

Фазовый анализ руд показал, что минералы меди находятся в основном в сульфидной форме: в медной руде доля первичной и вторичной меди — 93,5 % (отн.), в медно-цинковой — 94,1 % (отн.). Цинк в медно-цинковой руде в основном сульфидный — 73,4 % (отн.) и на 26,6 % (отн.) окисленный.

Фазовый состав соединений кобальта в исследуемых рудах отражен в **таблице**. Как видно, и в медной, и в медно-цинковой руде кобальт более чем на 96 % представлен сульфидной формой.

Руды Дергамышского месторождения подразделяют на сплошные и вкрапленные [3]. Основными структурами руд являются: идиоморфно- и гиподиоморфно-зернистая (обусловлена кристаллами пирита); аллотриоморфно-зернистая (характерна для боль-

Результаты фазового анализа

Тип руды	Массовая доля кобальта, %		
	Со общий	Со водорастворимый	Со сульфидный
Медная	0,135±0,015	0,0058±0,002	0,111±0,015
Медно-цинковая	0,166±0,02	0,0077±0,002	0,161±0,02

Примечание. Анализ выполнен в Испытательном аналитическом центре ООО «Институт Гипронибель».

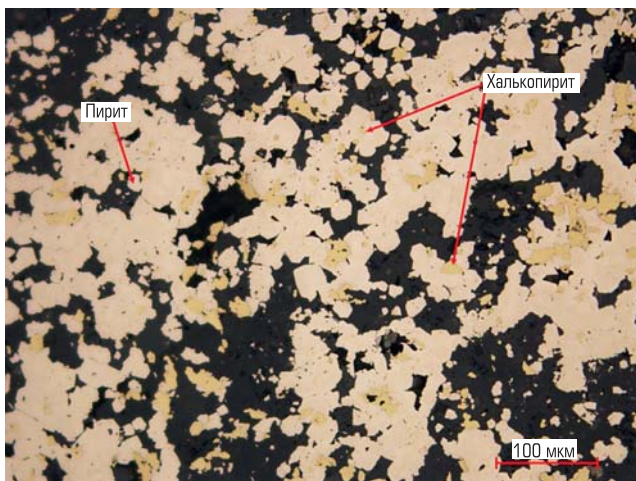


Рис. 1. Гипидиоморфно-зернистый пирит (светло-желтое) в ассоциации с халькопиритом (желтое) и нерудными минералами (серое). Отраженный свет, николи параллельны

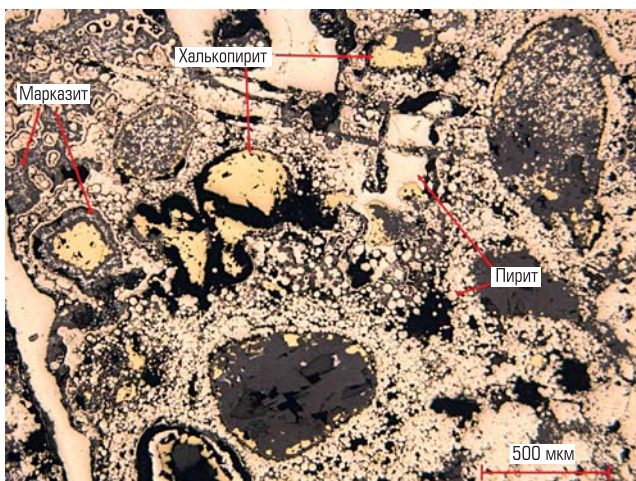


Рис. 2. Коллоидная структура кобальтово-медной руды. Отраженный свет, николи параллельны

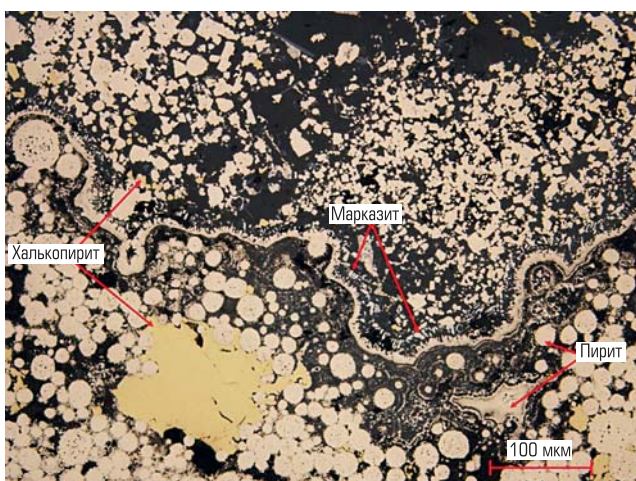


Рис. 3. Перлитовая (шариковая) структура пирита. Отраженный свет, николи параллельны

шинства минералов) (рис. 1); коллоидная (концентрически-зональная, перлитовая) (рис. 2, 3); коррозионная (разъедания, скелетная); распада твердых растворов (эмульсионная) пирит (марказит)-сфалерит, халькопирит-сфалерит) (рис. 4).

Под микроскопом наблюдались брекчиевидные, пятнистые, колломорфные и псаммито-псефитовые микротекстуры руд.

По вещественному составу исследованные пробы руд Дергамышского месторождения являются халькопирит-марказитовыми и халькопирит-пиритовыми. Основными рудными минералами являются пирит и марказит, второстепенные представлены халькопиритом, сфалеритом, магнетитом, пирротинном. Из редких минералов отмечаются кобальтин, ковеллин, борнит, самородное золото, ильменит. Нерудные минералы представлены серпентином, тальком, сидеритом, кварцем, а также хлоритом.

Пирит образует вкрапленники идиоморфной и гипидиоморфной формы (от единиц до десятков микрометров), сцементированные нерудными минералами и халькопиритом (в медно-цинковой руде и сфалеритом), составляет пирит-марказитовые агрегаты (до первых десятков миллиметров) либо в перлитовых и концентрически-зональных структурах образует сыпьевидные скопления шариков (размером до первых единиц микрометров) (см. рис. 3). Марказит, помимо присутствия в агрегатах с пиритом, образует концентрически-зональные минеральные обособления (от 0,5 до 2–5 мкм). Содержание пирита и марказита в медной руде составляет ~51 %, в медно-цинковой ~67 %.

Халькопирит в руде Дергамышского месторождения является второстепенным, но главным промышленно значимым минералом. Образует аллотриаморфно-зернистые включения в основной массе руды размером от единиц до первых сотен микрометров (см. рис. 1, 4). Халькопирит встречается также в виде эмульсии (от 0,1 до единиц микрометров) в сфалерите. Содержание халькопирита колеблется от 4 % в медно-цинковой руде до 4,5 % — в медной.

Сфалерит в значительных концентрациях (2,1 %) присутствует только в медно-цинковой руде, где образует агрегаты с пиритом размером до сотен микрометров (см. рис. 4), а также формирует обособленные вкрапленники с халькопиритом (десятки микрометров) в нерудной массе.

Пирротин встречается редко, наблюдается в виде небольших ксеноморфных включений (до 10 мкм) в пирите. Ковеллин и борнит отмечаются редко, развиваются по халькопириту.

В рудах присутствуют включения самородного золота в пирите и халькопирите. Размер золотин не превышает 1 мкм (см. рис. 4).

Формы нахождения кобальта. По результатам химического анализа содержание кобальта составляет 0,14 % в руде медно-го типа и 0,15 % — медно-цинкового.

При изучении полированных шлифов, изготовленных из штучных образцов, под оптическим микроскопом была выявлена только одна собственно минеральная форма кобальта — кобальтин (CoAsS). Он находится в виде скоплений мелких зерен в пирите, в нерудных минералах и в сростках с халькопиритом (рис. 5). Размер зерен кобальтина в таких скоплениях составляет 1–5 мкм.

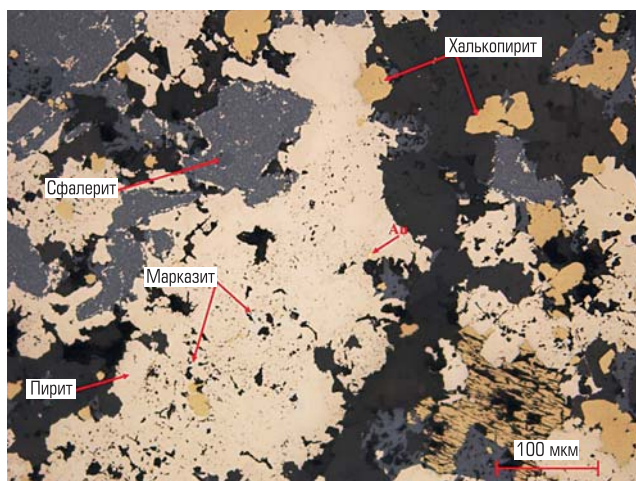


Рис. 4. Коррозионные структуры пирита и халькопирита; структура распада твердых растворов сфалерита в медно-цинковой руде. Отраженный свет, николи параллельны

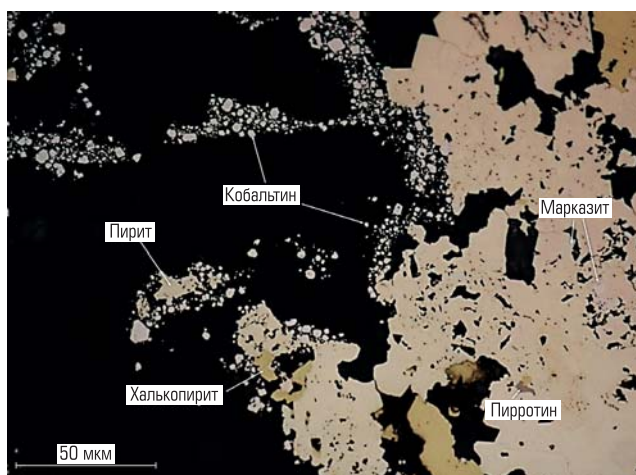


Рис. 5. Зерна кобальтина (белое) в нерудных минералах (темно-серое) и сростки кобальтина с пиритом и халькопиритом. Отраженный свет, николи параллельны

На рис. 6–7 представлены микрофотографии включений кобальтина, полученные при исследовании с помощью электронного микроскопа. Зерна кобальтина находятся в скоплениях в массе нерудных минералов и в сростках с пиритом, они, как правило, идиоморфной формы, пентагон-додекаэдрического габитуса. Размер зерен кобальтина в таких скоплениях составляет от десятых долей до 7–8 мкм. Совместно с кобальтином в этих скоплениях наблюдаются единичные зерна монацита $(\text{Ce,La})\text{PO}_4$. Кроме того, кобальтин повсеместно встречается в виде единичных зерен в пирите, при этом форма его проявлений — от идиоморфных зерен до ксеноморфных включений, а размеры — от 0,3 до 10 мкм (см. рис. 7).

Средний химический состав кобальтина следующий, %: 31,64 Co; 0,98 Ni; 2,37 Fe; 46,13 As; 18,71 S. В его составе отмечается постоянная примесь никеля, содержание которого ва-

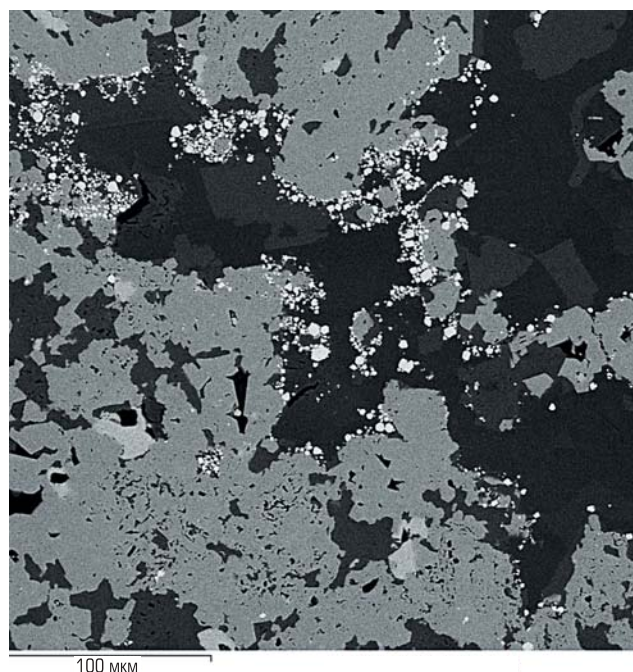


Рис. 6. Кобальтин (белое) в пиритной (серое) и нерудной (темно-серое) массе. Изображение в обратноотраженных электронах (BSE)

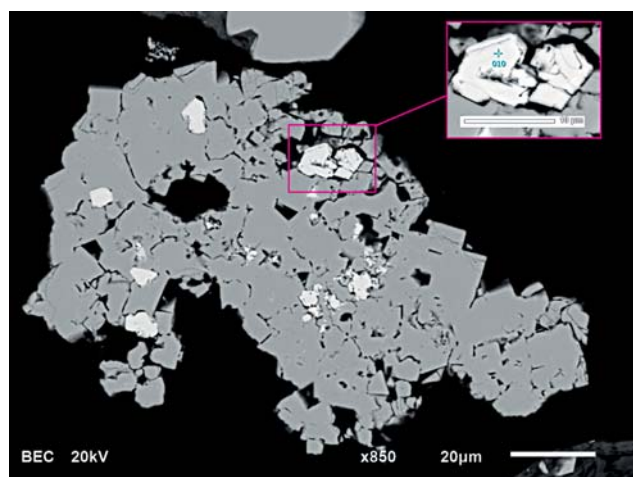


Рис. 7. Идиоморфные зерна кобальтина (белое) в пирите (серое). Изображение в BSE

рирует от 0,18 до 3,28 %. Вероятно, часть мелких ксеноморфных включений в пирите представляет собой полиморфную разновидность кобальтина — аллоклазит.

Содержание кобальтина в рудах Дергамышского месторождения составляет ~0,05 % (абс.), что соответствует 12–13 % (отн.) кобальта, находящегося в минеральной форме.

С целью определения других форм нахождения кобальта в рудах Дергамышского месторождения и анализа распределения кобальта в минералах исследования проводили при совместной работе энергодисперсионного и волнодисперсионного спектрометров.

В результате проведенной работы кобальт выявлен в качестве изоморфной примеси в пирите (марказите), его содержание

в них варьирует от 0,086 до 0,8 %. Измерения других минералов (халькопирита, сфалерита, нерудных минералов) показали отсутствие примеси кобальта в их составе.

Выводы

Минералогические исследования медной и медно-цинковой кобальтсодержащих руд Дергамышского месторождения выявили две формы нахождения кобальта — минеральную (сульфоарсениды кобальта) и изоморфную примесь в пирите. Кобальтин находится в виде микронных включений в пирите, а также образует скопления зерен размером не более 10 мкм в рудной массе. Содержание кобальтина в рудах составляет ~0,05 % (абс.), что соответствует 12–13 % (отн.) кобальта, находящегося в минеральной форме. Основной формой нахождения кобальта в рудах является его изоморфная примесь в пирите. Это объясняет низкое извлечение кобальта в продукты обогащения Дергамышского месторождения (~3,5 % в медный и 0,2 % в цинковый концентраты).

Низкое содержание собственных минералов кобальта в руде и присутствие кобальта в основном в виде изоморфной примеси в пирите исключают возможность получения товарного концентрата кобальта флотационным методом.

В настоящее время при проведении опытно-промышленной переработки медной кобальтсодержащей руды на Хайбуллинской обогатительной фабрике продолжают лабораторные исследова-

ния на хвостах обогащения с целью получения пиритного концентрата с его дальнейшей гидрометаллургической переработкой.

Библиографический список

1. Татарко Н. И., Ильичев Н. И., Караваев И. Н. и др. Проект на выполнение работ по объекту «Поиски медноколчеданных руд и медно-кобальт-колчеданных руд на Ивановско-Дергамышской площади» (Республика Башкортостан) на 2004–2006 гг. Уфа : Башкиргеология, 2004.
2. Мелекесцева И. Ю. Гетерогенные кобальт-медноколчеданные месторождения в ультрамафитах палево-островодужных структур. — М. : Ин-т минералогии УрО РАН, 2007. — 245 с.
3. Бучковский В. С. Сульфидное оруденение, связанное с ультраосновными интрузиями западного крыла Магнитогорского мегасинклинория на Южном Урале // Геология, минералогия и геохимия сульфидных месторождений Южного Урала. — Уфа : Ин-т геологии БФ АН СССР, 1970. С. 114–125. **ГЖ**

Нагаева Светлана Петровна,

e-mail: SPN@yandex.ru

Мезенцева Оксана Петровна,

e-mail: O_Mezentceva@rivs.ru

Козорез Мария Викторовна,

e-mail: ufa@rivs.ru

"GORNYY ZHURNAL"/"MINING JOURNAL", 2014, № 11, pp. 31–34

Title	Mineralogical researches of copper cobalt-containing ores of Dergamysh deposit
Author 1	Name & Surname: Nagaeva S. P.
	Company: RIVS Science and Production Association (Saint-Petersburg, Russia)
	Work Position: Mineralogist
	Contacts: e-mail: SPN@yandex.ru
Author 2	Name & Surname: Mezentseva O. P.
	Company: RIVS Science and Production Association (Saint-Petersburg, Russia)
	Work Position: Mineralogist
	Scientific Degree: Candidate of Geological and Mineralogical Sciences
Contacts: e-mail: O_Mezentceva@rivs.ru	
Author 3	Name & Surname: Kozorez M. V.
	Company: RIVS Science and Production Association (Urals Representative Office)
	Work Position: Mineralogist
	Contacts: e-mail: ufa@rivs.ru
Abstract	Presently it becomes topical to obtain high cobalt content products. One of the possible ways of more cobalt recovery is the development of new flow charts and reagent conditions for mineral flotation.
	This article reports the mineralogical research of copper–cobalt sulphide-bearing ore extracted from the Dergamysh deposit. Principal minerals (pyrite, chalcopyrite, sphalerite) and the most valued minerals (arsenical cobalt and gold) are characterized in detail. Cobalt occurrence forms are comprehensively studied using advanced optical systems and electron microscope VEGA 3 LMU (TESCAN) equipped with the system of the energy-dispersive and wave-dispersive analysis. The mineralogical research reveals two forms of cobalt occurrence in the studied ore—a mineral form (cobalt sulfo-arsenide) and an isomorphous form (foreign material in pyrite). The research has enabled explication of low cobalt recovery in flotation products (marketable copper and zinc concentrates) and identification of trends of further research toward cobalt-bearing pyrite production for hydrometallurgical treatment.
Thus, from the research evidence, it can be suggested that cobalt concentration in mineral dressing products mainly depends on pyrite content of these products. However, cobalt in the form of arsenical cobalt should not be neglected although it is extremely difficult to trace its splices with sulphides and nonmetals.	
Keywords	Copper–cobalt sulphide-bearing ore, cobalt occurrence forms, cobalt sulfo-arsenides, cobalt-bearing pyrite.
References	1. Tatarko N. I., Il'ichev N. I., Karavaev I. N. et al. Proekt na vypolnenie rabot po obektu «Poiski mednokolchედannykh rud i medno-kobalt-kolchედannykh rud na Ivanovsko-Dergamyshskoy ploshchadi» (Respublika Bashkortostan) na 2004–2006 gody (Operation project "Searches of copper-sulfur and copper-cobalt-sulfur ores at Ivanovka-Dergamysh ground" (Republic of Bashkortostan) for 2004-2006). Ufa : Bashkirgeologiya, 2004.
	2. Meleksetseva I. Yu. Geterogennye kobalt-mednokolchედannye mestorozhdeniya v ultramafitakh palevoostrovoduzhnykh struktur (Heterogeneous cobalt-copper-sulfur deposits in ultramafites of Palevo island-arc structures). Moscow : Institute of Mineralogy of Ural Department of Russian Academy of Sciences, 2007. 245 p.
	3. Buchkovskiy V. S. Sulfidnoe orudnenie, svyazannoe s ultrasnovnymi intruziyami zapadnogo kryla Magnitogorskogo megasinclinoriat na Yuzhnom Urale (Sulfide mineralization, connected with ultrabasic intrusions of western part of megasinclinorium at Southern Urals). Geologiya, mineralogiya i geokhimiya sulfidnykh mestorozhdeniy Yuzhnogo Urala (Geology, mineralogy and geochemistry of sulfide deposits of Southern Urals). Ufa : Institute of Geology of Bashkir Branch of USSR Academy of Sciences, 1970. pp. 114–125.