

ГЕОЛОГИЯ GEOLOGY

УДК: 553.08

Альпиев² М. Е.,
главный инженер
Альпиев М. Е.,
башкы инженер
Alpiyev M.Y.,
chief engineer

Альпиев² Е.А.,
кандидат г.-м. н.,
Альпиев Е.А.,
геол.-минер. илимдеринин кандидаты,
Alpiyev E.A.,
cand. geol. -mineral. sciences

Пак¹ Н.Т.,
кандидат г.-м. н.
Пак Н.Т.,
геол.-минер. илим.канд.
Pak N.T.,
cand. geol. -mineral. sciences

¹*Институт геологии Национальной академии наук Кыргызской Республики*
Institute of Geology of the National Academy of Sciences KR

²*ОсОО «Kaz Minerals Bozymchak»*

**ОКИСЛЕННЫЙ ТИП МЕДНЫХ РУД
НА СКАРНОВОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ БОЗЫМЧАК (КЫРГЫЗСТАН)
БОЗЫМЧАК СКАРН КЕНИНДЕГИ ЖЕЗ РУДАЛАРЫНЫН
КЫЧКЫЛДАНГАН ТУРУ (КЫРГЫЗСТАН)**

**OXIDIZED TYPE OF COPPER ORES AT BOZYMCHAK SKARN DEPOSIT
(KYRGYZSTAN)**

Аннотация. На золото-медном скарновом месторождении Бозымчак основными типами руд являются скарновый и серпентинитовый, второстепенным типом руд является окисленный тип. Дается минеральный состав и описание окисленного типа руд. Приводятся некоторые результаты технологических исследований в сравнении с сульфидными рудами.

Аннотация. Бозымчак алтын-жез скарн кенинде рудалардын негизги түрлөрү - скарн жана серпентинит, рудалардын экинчи түрү - кычкылданган түрү. Кендердин кычкылданган түрүнүн минералдык курамы жана сүрөттөлүшү берилген. Технологиялык изилдөөлөрдүн кээ бир натыйжалары сульфид рудалары менен салыштырылат.

Abstract. At the gold-copper skarn deposit Bozymchak, the main types of ores are skarn and serpentinite, the secondary type of ores is the oxidized type. The mineral composition and description of the oxidized type is given. Some results of technological studies of oxidized ores are given in comparison with sulfide ores.

Ключевые слова: Тянь-Шань, скарн, серпентинит, медь, технология, концентрат, фазовый состав.

Негизги сөздөр: Тянь-Шань, скарн, серпентинит, жез, технология, концентрат, фазалык курамы.

Keywords: Tien-Shan, skarn, serpentinite, copper, concentrate, phase composition.

Скарновый тип месторождений в Чаткальской металлогенической области Срединного Тянь-Шаня встречается довольно часто – это Бозымчак, Куру-Тегерек, Кичисандык и др. [4]. Бозымчак является представителем комплексного золото-медного месторождения в скарнах, где кроме основных компонентов – золота и меди, значение имеет серебро, а в качестве примесей присутствуют молибден, теллур и др. [1, 10]. Комплексное извлечение при невысоких содержаниях золота, меди и серебра в рудах делает рентабельным разработку месторождения. Месторождение Бозымчак разрабатывается карьерным способом компанией ОсОО «KAZ Minerals Bozymchak». Ранее нами описывалась история открытия, геологическое строение, стадийность формирования месторождения Бозымчак, медная и серебряная минерализация [2, 7, 8, 9]. В данной статье рассматривается окисленный тип руд месторождения Бозымчак.

Геологическое строение месторождения

Месторождение Бозымчак находится в западной части Кыргызстана на юге Чаткальской металлогенической области

Срединного Тянь-Шаня. Оно приурочено к северному экзоконтакту интрузии Джалгыз-Урюкского массива с карбонатными породами девона и карбона. Здесь сформированы рудоносные скарны, повторяющие линию контакта. В пределах месторождения выделено 4 основных промышленных участка – Юго-Западный, Центральный, Восточный и Даван (рис. 1).

В восточной части месторождения развиты девонские отложения, сложенные песчаниками, известняками, доломитами. Отложения нижнего карбона развиты в средней и западной части месторождения и сложены карбонатными породами – известняками, доломитистыми известняками и доломитами. Среди карбонатных пород незначительно развиты в виде тонких прослоев и линз кремнистые образования. В целом, в восточной половине месторождения преобладают доломиты, а в западной части – известняки. К западу от месторождения имеются выходы андезитов, дацитов и их туфов минбулакской свиты среднего карбона.

Осадочные породы прорваны интрузивами Сандаш-Чаткальского комплекса (C_{2-3}), которые на месторождении Бозымчак представлены крупнозернистыми гранодиоритами третьей фазы этого ком-

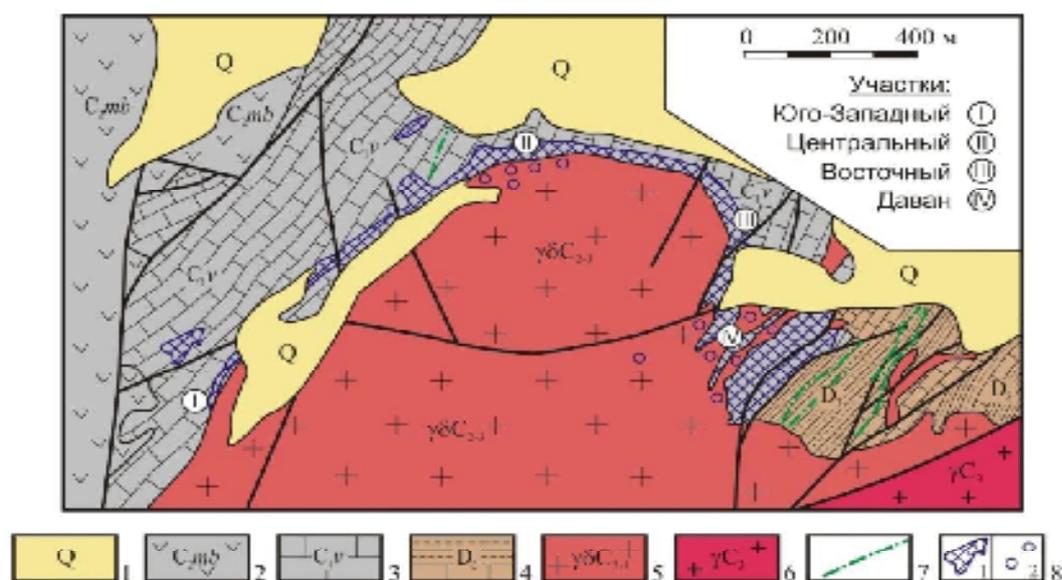


Рис. 1. Схематическая геологическая карта месторождения Бозымчак: 1 – четвертичные отложения; 2 – минбулакская свита, андезиты, дациты и их туфы; 3 – доломиты, известняки; 4 – песчаники, известняки, доломиты; 5 – гранодиориты; 6 – граниты; 7 – дайки порфиритов; 8 – скарны рудоносные (1), эндоскарны (2)

плекса. По новейшим данным возраст гранодиоритов по циркону составляет $303,8 \pm 1,5$ млн лет и $304,8 \pm 1,6$ млн лет [11]. Менее распространены средне- и мелкозернистые их разновидности. С гранитоидами Сандалаш-Чаткальского комплекса в рудном районе пространственно и парагенетически связаны проявления различных полезных ископаемых: меди, золота, висмута, полиметаллов, флюорита, гетита [5].

В экзоконтакте гранодиоритов в карбонатных породах образовались магнезиальные скарны магматического этапа. В постмагматический этап образовались известковистые скарны, преимущественно гранатового, пироксенового и волластонитового состава в разных количественных соотношениях. Скарновые тела имеют общую протяженность около 2 км, мощность 7-85 м, на глубину прослежены на 400 м. В плане они имеют дугообразную форму, залегание скарновых тел крутое, по отношению к контакту массива гранодиоритов могут находиться как в лежачем, так и в висячем боку.

На месторождении Бозымчак широко проявлены серпентиниты. Это связано с

большим развитием здесь доломитов, представляющих нижние части стратиграфического разреза. Серпентин развивается как по доломитам, так и по магнезиальным и преобразованным скарнам. Внешне это темно-зеленые, почти черные породы, сложенные волокнистым серпентином, иногда с примесью карбонатов и талька.

Рудные тела обычно имеют мощность 8-30 м. Рудные образования представлены интенсивно сульфидизированными метасоматитами, в первую очередь это скарны различного состава. Также золото-медное рудообразование находится в серпентинизированных породах и серпентинитах. Соответственно выделяются два основных сульфидных типа руд - скарновый и серпентинитовый. Основными рудными минералами месторождения являются халькопирит, борнит, халькозин, ковеллин, золото. Также на месторождении встречаются минералы серебра, галенит, молибденит, пирит, магнетит, пирротин и другие. В зоне окисления появляются малахит, азурит, гидроокислы железа и другие минералы. Содержание сульфидов в рудах неравномерное и колеблется от первых процентов до десятков процентов, иногда встречаются

штуфные образцы, содержащие сульфиды 50-70 %.

Окисленный тип руды на месторождении Бозымчак

Основным диагностическим критерием при определении сортности руды является содержание окисленных соединений меди. Медные руды в зависимости от относительного количества окисленных минералов подразделяются на следующие группы: сульфидные руды, если количество окисленной меди в руде составляет не более 10 %; смешанные руды содержат 10-50 % и окисленные – свыше 50 % окисленной меди. Для каждого конкретного месторождения эти

пределы могут меняться исходя из технологии переработки окисленных руд.

По сравнению со скарновым и серпентинитовым типами руд, окисленный тип руд на месторождении Бозымчак составляет незначительную часть, тем не менее, он присутствует. Визуально данный тип хорошо распознается за счет широкого развития гидроокислов железа буровато-ржавого и охристых цветов, и по продуктам окисления медных минералов – малахита, азурита, хризоколлы и др. имеющих зеленые, синеватые, голубоватые оттенки (рис. 2). Они формируются в результате разложения или преобразования гипогенных минералов меди.

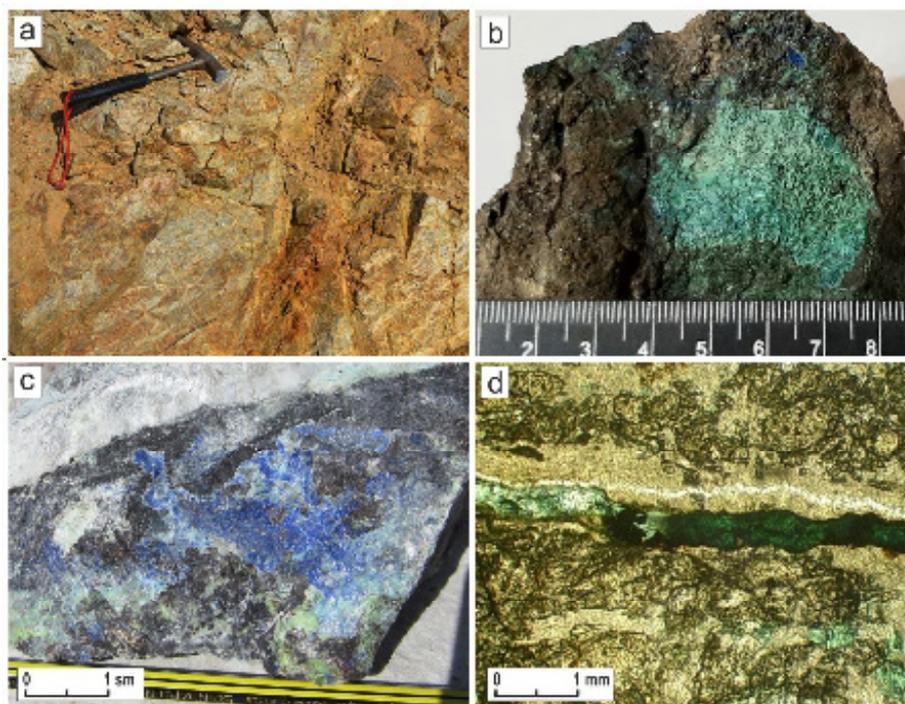


Рис. 2. Фото образцов: *a* - развитие гидроокислов железа в зоне окисления; *b* - корочка малахита (зеленое) в гранатовом скарне; *c* - развитие азурита (синее) в серпентините; *d* - малахитовый прожилок (зеленый). Шлиф, николи //.

Окисленный тип развивается по другим типам руд под влиянием экзогенных факторов в приповерхностной части рудных тел в зонах интенсивной трещиноватости и дробления пород. На месторождении Бозымчак пересеченный рельеф со средними по крутизне склонами не способствует образованию интенсивных и мощных зон окисления. Зона окисления отдельными «струями» в наиболее трещиноватых породах прослежена на глубину 50-60 м, редко она достигает 100 м.

Поскольку в окисленных рудах очень часто сохраняются реликты халькопирита, борнита, халькозина и др. медных минералов,

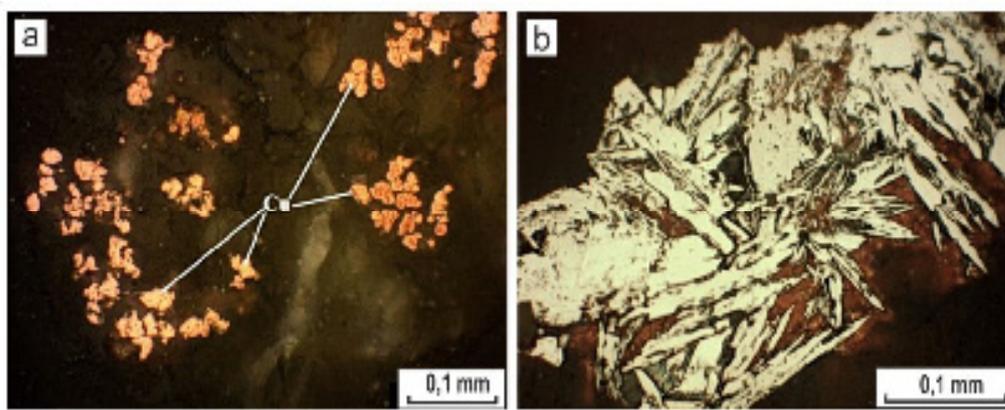
то можно сделать вывод, что интенсивность окисления была недостаточной сильной. И действительно фазовый анализ форм нахождения меди в окисленных рудах показал, что доля окисленной меди составляет немногим более 50 %.

При разложении или преобразовании первичных и вторичных минералов меди (халькопирита, борнита, халькозина и др.) под влиянием экзогенных факторов образуется группа минералов зоны окисления (табл. 1; рис. 3). Среди них наиболее распространены безводные карбонаты с дополнительными анионами (малахит и меньше азурит), менее распространены окислы, сульфаты меди и др.

Таблица 1 – Минералы меди, образующиеся в зоне окисления месторождения Бозымчак

Минерал	Формула	Кол-во меди, %
Малахит	$\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$	57,5
Азурит	$\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$	55,5
Тенорит	CuO	79,89
Куприт	Cu_2O	88,8
Самородная медь	Cu	97-100
Хризоколла	$(\text{Cu}, \text{Al})_2\text{H}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	37,9
Халькантит	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	25,5
Валлериит	$4(\text{Fe}, \text{Cu})\text{S} \cdot 3(\text{Mg}, \text{Al})(\text{OH})_2$	18-19

Гидроокислы железа наиболее распространенные минералы зоны окисления (рис. 3b), однако сами по себе они не являются источником полезных компонентов.



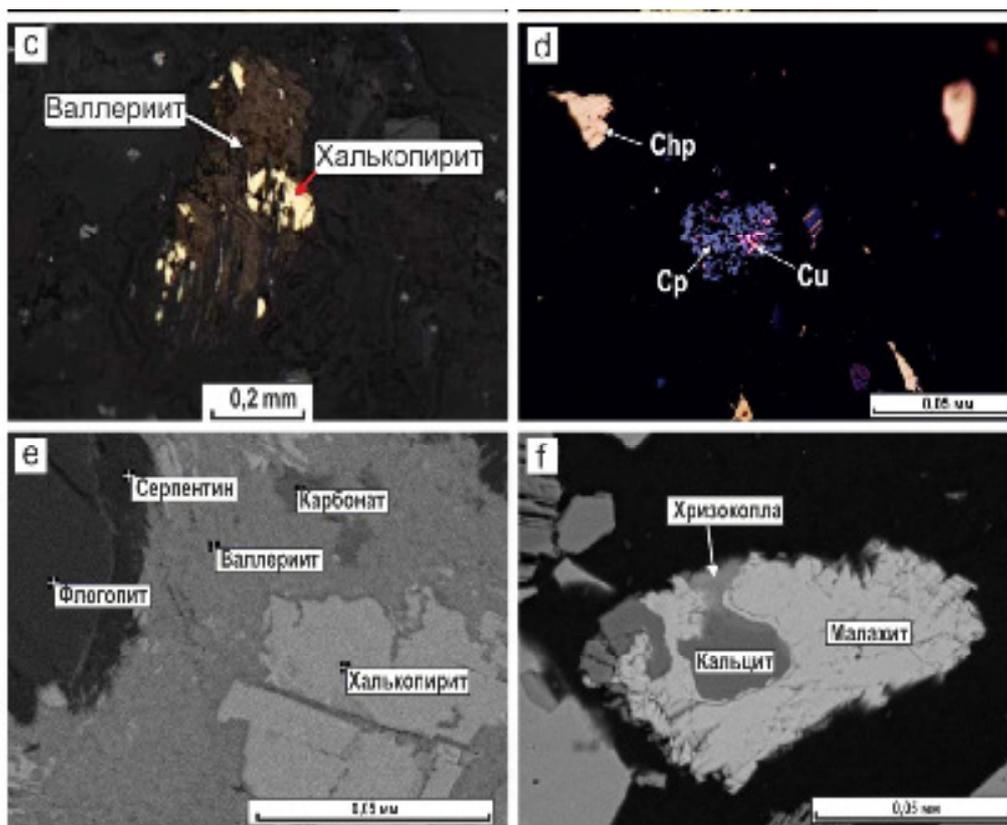


Рис. 3. Микрофотографии рудных минералов из зоны окисления в отраженном свете: *a* - вкрапленность самородной меди; *b* - пластинчатые выделения гематита в лимонитизированном агрегате; *c* – развитие валлериита по халькопириту; *d* – зерна халькопирита (*Chp*) и выделение самородной меди (*Cu*) в куприте (*Cp*), брикет из концентрата; *e, f* - микрофотографии в электронном микроскопе, BSE-изображение: *e* - замещение халькопирита валлериитом; *f* – зерно малахита в сростке с кальцитом и хризокolloй

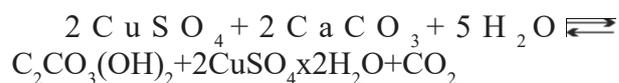
Гидроокислы железа наиболее распространенные минералы зоны окисления (рис. 3b), однако сами по себе они не являются источником полезных компонентов.

Борнит и халькопирит в зоне окисления находятся в виде реликтов, по которым развиваются как вторичные минералы меди ковеллин и халькозин, так и кислородные соединения – малахит, азурит, лимонит, иногда куприт и др.

Ковеллин образуется при окислении борнита, халькопирита, иногда он замещает халькозин.

Малахит на месторождении Бозымчак является типичным минералом зоны окисления, встречается в небольших количествах в виде налетов, примазок, небольших

скоплений, землистых масс с другими гипергенными минералами. Преимущественно малахит ассоциирует с гранатом и развивается в виде микропрожилков (рис. 2d) в гранатовой массе, нередко замещает вторичные рудные минералы меди (борнит). Обычными минералами спутниками являются азурит, хризокolla, гидроокислы железа. Малахит формируется при взаимодействии раствора сульфата меди, который образуется при окислении сульфидов, с карбонатом кальция по следующей формуле [3]:

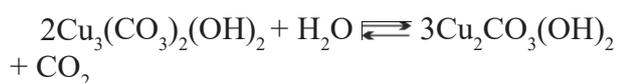


Если кальцит находится рядом (известняки, мрамор или жила), то и малахит образуется тут же, если рядом силикатная среда, то раствор уносится дальше, пока не встре-

тится карбонат, и малахит отлагается удаленно.

Ранее нами было отмечено, что малахит содержит серебросодержащие фазы [9].

Азурит также является типичным минералом зоны окисления на месторождении Бозымчак, но встречается в гораздо меньших количествах. Он также как и малахит образует корочки, налеты, примазки и является индикатором присутствия первичных и вторичных минералов меди. Азурит и малахит образуются в щелочной обстановке в присутствии карбонатов. Между собой они могут иметь взаимные переходы. Азурит переходит в малахит при условиях повышенной влажности. При более сухой обстановке при наличии достаточного количества углекислоты будут обратные переходы по формуле [3]:



Хризоколла менее распространена в изученных рудах. Встречается, в основном, в ассоциации с карбонатом и малахитом в виде выделений неправильной формы (рис. 3f) с размерами больше 300 мкм. Также она встречена в виде микропрожилков в породе (меньше 5 мкм).

Валлериит наблюдался в рудах серпентинитового типа. Этот минерал слагает тонкозернистые, чешуйчатые, пластинчатые агрегаты. Как правило, он развивается по халькопириту по краям (рис. 3e) или в центральной части зёрен (рис. 3c) и нередко содержит тонкие пластинки серпентина. Зачастую валлериит пронизывает карбонат-

ную породу, развиваясь по прожилкам, и содержит в себе включения тонкого халькопирита.

Куприт наблюдался в изготовленном брикете из флотационного концентрата. Он образуется в результате окисления халькозина и борнита. В зернах куприта встречаются единичные корольки самородной меди размерами 1-2 мкм (рис. 3d).

Медь самородная встречена в сростках с купритом, а также обнаружена в виде вкрапленности (рис. 3a) в нерудных минералах с лимонитовыми пленками, может сростаться с гематитом. Размер выделений меди варьирует от нескольких до 20 мкм.

Технологические особенности окисленных руд

Для сравнения окисленной руды с сульфидной рудой в скарнах были проведены минералого-технологические исследования лабораторных проб из данных типов руд. Химический анализ отдельных проб (табл. 2) показал небольшие различия в количестве полезных компонентов – меди, золота и серебра. Однако рассматриваемые руды существенно отличаются между собой по фазовому составу (табл. 3). В сульфидной руде гипогенные минералы меди составляют почти 98 %, а в окисленной руде - 42,3 %. Соответственно гипергенные минералы в окисленной руде составляют 57,7 %, а в сульфидной руде их практически нет (2,2 %). Таким образом, на примере этих проб можно видеть, что в гипергенную форму минералов меди в зонах окисления переходит чуть более половины гипогенных минералов меди.

**Таблица 2 – Содержание полезных компонентов
в окисленных и сульфидных рудах**

Наименование компонентов	Окисленная руда	Сульфидная руда в скарнах
Медь, %	1,04	0,89
Золото, г/т	1,4	1,52
Серебро, г/т	10,3	10,61

Технологические испытания по обогащению окисленных сортов руд методом флотации [6] позволили получить медный концентрат следующего состава (табл. 4).

Доля медных минералов в концентрате составила 56,89 %, остальная часть представлена минералами железа (пирит, гематит и др.) 10,5 % и нерудными минералами.

Таблица 3 – Результаты фазового анализа на медь окисленных и сульфидных руд [6]

Минералы	Руда окисленная		Сульфидная руда в скарнах	
	Сu, %	отн. %	Сu, %	отн. %
Минералы меди гипергенные: (окисленная фаза)				
- халькантит	0,06	5,8	-	-
- малахит, хризоколла, куприт, тенорит	0,54	51,9	0,02	2,2
Минералы меди гипогенные:				
- ковеллин, борнит, халькозин (вторичные)	0,26	25,0	0,55	61,8
- халькопирит (первичные)	0,18	17,3	0,32	36,0
Сумма	1,04	100	0,89	100

Таблица 4 – Минеральный состав медных концентратов из окисленной руды

Минерал меди	Сод-е минерала, %	Доля от суммы медных минералов, %	Сод-е меди в минерале, %	Доля × сод-е меди в минерале	Доля меди в концентрате, %
Халькантит	1,57	2,8	25,5	70	1,3
Ковеллин	1,5	2,6	66,46	175	3,3
Борнит	2,37	4,2	63,3	264	4,9
Халькозин	17,47	30,7	79,85	2452	45,6
Халькопирит	26,53	46,6	32,62	1521	28,3
Малахит	4,35	7,6	57,5	440	8,2
Куприт	1,64	2,9	88,8	256	4,8
Тенорит	1,46	2,6	79,89	205	3,8
Сумма	56,89	100		5383	100,0

Пересчеты, сделанные нами (табл. 4), показали, что в окисленных рудах основными поставщиками меди в концентрате явились халькозин и халькопирит (в сумме 73,9 %) с преобладанием халькозина. Хотя халькозина в концентрате оказалось в 1,5 раза меньше, чем халькопирита, но за счет того что в халькозине содержится меди в 2,4 раза больше, то доля халькозина в общем балансе меди оказалась в 1,6 раза выше, чем халькопирита. Также заметную роль в общем балансе меди играет малахит – 8,2 %. Доля остальных минералов составляет первые проценты. В рудах окисленного типа преобладают гипергенные минералы меди (табл. 3), однако в концентрате, полученном методом флотации, основным источником меди являются халькозин и халькопирит, которые в окисленных рудах находились в виде реликтов, т.е. минералы зоны окисления плохо поддаются флотации, и их доля в концентрате составляет только около четверти (26,1 %). Т. о. флотация меди из окисленных руд имеет более упорный характер в сравнении с сульфидной рудой в скарнах. Так испытания показали, что разница в эффективности составляет 4-10 раз.

Литература

1. *Альпиев Е.А.* Исследования вещественного состава руд Бозымчакского золотомедного месторождения как важные технолого-минералогические критерии для прогнозирования однотипных скарновых объектов в пределах Чаткальской металлогенической области // Горно-геологический журнал. – Житикара, – 2010. № 3-4 (23-24). С.34-44.
2. *Альпиев М.Е., Пак Н.Т.* Медная минерализация месторождения Бозымчак (Кыргызстан) // Геология и охрана недр. – 2022. № 3 (14). С.30-38.
3. *Годовиков А.А.* Минералогия, – М., Недра, –1975. –520 с.
4. *Дженчураева Р.Д.* Скарны Срединного Тянь-Шаня. № 3. Фрунзе, Илим, – 1983, – 308 с.
5. *Дженчураева Р.Д., Пак Н.Т., Никоноров В.В., Ивлева Е.А.* Золоторудные месторождения Кыргызстана. Бишкек, – 2020. – 294 с.
6. *Иванов Г.И., Каменова Е.В. и др.* Проведение исследований по обогащению окисленных сортов руд месторождения Бозымчак. Усть-Каменогорск, – 2015. –137 с.
7. *Ивлева Е.А., Пак Н.Т., Альпиев Е.А.* Региональные предпосылки размещения золото-медного оруденения в Гава-Сумсарском рудном районе. // Изв. НАН КР, – 2019, № 3. –113-120.

Заключение

Рудные минералы зоны окисления представлены в основном малахитом, азуритом и гидроокислами железа, реже хризоколлой, купритом, теноритом, валлериитом, самородной медью, халькантитом. Они развиваются по минералам меди - халькопириту, борниту, халькозину, ковеллину и др., реликты которых составляют заметную часть руд в зоне окисления. Это говорит о недостаточной интенсивности процессов окисления, и поэтому, в зоне окисления не происходит заметного обогащения руд золотом, медью и серебром.

Технологическое обогащение окисленных руд происходит с большим расходом реагентов до 4-10 раз.

Таким образом окисленный тип руд является самостоятельным, его нужно складировать и обогащать отдельно от сульфидной руды, можно соединять с ожелезненным типом (аналогичным с окисленным).

8. Пак Н.Т., Ивлева Е.А., Альпиев Е.А., Альпиев М.Е.. Модель формирования золото-медного скарнового месторождения Бозымчак (Кыргызстан) // Проблемы геологии и расширение минерально-сырьевой базы стран Евразии / Материалы международной научной конференции 28-29 ноября, – Алматы, – 2019. С. 201-209.
9. Пак Н.Т., Альпиев М.Е., Альпиев Е.А. Серебряная минерализация на скарновом месторождении Бозымчак (Кыргызстан) // Вестник КРСУ. – 2022. Т.22. № 12. С.173-181.
10. Сатыкеев Д.С. Скарны месторождения Бозымчак и особенности распределения в них золота. Дисс. на соис. уч. степ. канд. г.-мин. наук. – Фрунзе. – 1968. – 235 с.
11. Bo Zu, Reimar Seltmann, Chunji Xue, et al. Multiple episodes of Late Paleozoic Cu-Au mineralization in the Chatkal-Kurama terrane: New constraints from the Kuru-Tegerek and Bozymchak skarn deposits, Kyrgyzstan // Ore Geology Reviews. Volume 113, October 2019. – 103077.