

М.Э. Денисов, Б.П. Руднев, Л.Н. Крылова, Ю.С. Кучмина
ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ МЕДНОЙ РУДЫ
УДОКАНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ
С ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ СЕРНОКИСЛОТНЫМ
ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕМ

Работы по изучению руд месторождения проводятся с 1960-х годов, однако, технологическая изученность месторождения недостаточна. Сложность состава руд месторождения, наличие значительного количества окисленных разностей без системного их распределения не позволяет производить селективную выемку руды по сортам и однозначно выбрать вариант технологии по их переработке. Предложен вариант с предварительной сернокислотной обработкой руды.

Ключевые слова: медные руды, выщелачивание, сернокислотная обработка, качество концентрата, потери меди.

По содержанию меди руды Удокана можно отнести к рудам среднего качества (1–2% Cu) с участками, имеющими как богатые (более 2% Cu), так и бедные (менее 1% Cu) руды.

Основная масса руд представлена на 87% кварцевидными песчаниками и довольно однообразна по составу пустой породы. Изменяется главным образом набор минералов меди, содержание и степень ее окисленности.

Характер минерализации по участкам месторождения свидетельствует о крайней неравномерности содержания и окисленности меди в толще оруденения.

По наличию минеральных форм выделяются в основном следующие природные типы руд:

- Халькозин-борнитовый – наиболее распространен, минерал халькозин встречается в виде вкрапленности в цементе песчаников, реже алевролитов, иногда совместно с борнитом. Форма выделений неправильная, по краям и трещинам развивается ковеллин, брошантит, реже малахит, ассоциирует с гидроокислами железа.

Борнит наряду с халькозином является одним из основных минералов месторождения, иногда в борните содержатся линзочки и пластинки халькопирита. По периферии борнит замещается халькозином, иногда ковеллином, которые в свою очередь замещаются брошантитом, малахитом, гидроокислами железа.

- Брошантит-малахитовый – представлен, в основном, брошантитом и малахитом. На отдельных участках отмечена хризоколла.

По степени окисленности медных минералов, от которой зависят показатели переработки, руды месторождения условно делятся на три технологических типа: сульфидные – с содержанием окисленной меди до 30%; смешанные – с содержанием окисленной меди от 30 до 70%; окисленные – с содержанием окисленной меди более 70%.

Неравномерная и размытая структура рудных полей по минералам меди не позволяет организовать выборку руды по отдельным технологическим сортам и требует при валовой добы-

че организации усреднения перед их переработкой.

Кроме меди, промышленное значение в рудах Удокана имеет серебро, содержание которого колеблется в широких пределах, составляя в среднем около 10 г/т. Извлечение серебра в концентрат при флотации близко к извлечению меди.

Вкрапленность большинства медных минералов, определяющая степень измельчения руды, находится в пределах от 0,8–0,5 до 0,02–0,01 мм. Помол руды до 65% класса минус 0,071 мм обеспечивает достаточно полное раскрытие и извлечение медных минералов в грубый концентрат и промпродукт, но требует доизмельчения последних до 90–95% класса минус 0,071 мм для раскрытия сложных сростков перед доводкой.

Из факторов вещественного состава руд, влияющих на технологические параметры, следует отметить наличие в руде кальцита (среднее содержание CaO около 2%), на растворение которого будет непродуктивно и безвозвратно расходоваться серная кислота при выщелачивании меди из руды.

Текстурно-структурные свойства и состав руды определяют высокую проводимость растворов: трещиноватость породы, жильный тип оруденения, развитие окисленных форм меди по трещинам.

Из-за высокого содержания кварца (65–70% SiO₂) руды абразивны и силикозоопасны. Крепость по шкале Протождяконова 12–16. Естественная влажность руды лежит в пределах 1–4%, вода находится в виде льда.

Резюмируя изложенное, можно констатировать, что при валовой выемке рудная шихта будет представлена смесью сульфидной смешанной и окисленной сортов руд. По своему минеральному, фазовому и химическому составу такая руда соответствует смешанному типу руды, содержащему пол-

ный набор медных сульфидных и окисленных минералов, имеющему степень окисленности около 60%.

Большинство окисленных медных минералов, включая хризоколлу, относится к легко растворимым в серной кислоте соединениям, не требующим специальных условий обработки (нагрев, длительное перемешивание).

Традиционная флотационная технология переработки руд с такой степенью окисленности позволяет достигнуть извлечения меди в медный концентрат на уровне 65–84% максимум.

Высокая степень окисленности руд месторождения однозначно предполагает комбинированную технологию их переработки с максимальным извлечением меди в товарную продукцию. Как показали исследования, выполненные НИТУ «МИСиС».

1) Основной причиной потерь меди при флотации смешанных медных руд является сложность выделения в концентрат труднообогатимых окисленных минералов меди, загрязнение поверхности сульфидов меди оксидами и гидрооксидами, снижающими флотирuemость минералов. При сернокислотной обработке удоканской руды, по данным минералогических исследований, растворяется большая часть оксидных минералов меди и частично вторичных сульфидов меди, уменьшается количество сростков сульфидов с оксидными минералами меди, поверхность сульфидных минералов очищается от корочек и налетов оксидных минералов меди, оксидов и гидрооксидов железа, в зернах сульфидов меди образуются многочисленные поры и пустоты, поверхность сульфидов меди увеличивается в 2,5 раза, в результате происходит раскрытие сульфидов меди, увеличивается активная флотационная поверхность сульфидов.

2) Сернокислотная обработка смешанной мелкодробленой медной руды (5÷3 мм) в течение 30–50 минут при-

водит к растворению 80–95% меди из окисленных минералов. В результате руда переходит в технологический сорт «сульфидная», для которой могут использоваться режимы обогащения сульфидной флотации [1]. После сернокислотной обработки материал имеет более равномерный состав с низким содержанием оксидных минералов меди, что позволяет стабилизировать режимы флотации, в частности, устранить сложности с регулировкой расхода сульфидизатора.

3) Изучение дифрактограмм, полученных на установке D8-ADVANCE фирмы Bruker (Германия) с глубиной облучения 10 нм, показало, что при сернокислотной обработке вторичные сульфиды меди как халькозин и дигенит окисляются до сульфатов меди (I) и элементарной серы, сульфаты двухвалентной меди растворяются в кислоте и не обнаруживаются на поверхности минералов.

На основании изучения поверхности минералов методом рентгенофотоспектроскопии (РФС) на электронном спектрометре PHI 5500 ESCA фирмы Perkin Elmer установлено, что в результате сернокислотной обработки изменяется состав поверхности природных вторичных сульфидов меди, влияющий на флотационное поведение минералов: содержание серы повышается в 1,44 раза, меди в 4 раза, содержание железа снижается в 1,6 раза и образуются малорастворимые сульфаты одновалентной меди. После сернокислотной обработки существенно изменяется соотношение фаз серы на поверхности вторичных сульфидов меди: возрастает в 2,4 раза доля элементарной серы с 10 до 24% от общей серы, доля сульфатной серы – с 14 до 25%, в результате содержание элементарной серы возрастает в 3,47 раз.

Таким образом, в результате сернокислотной обработки повышается естественная гидрофобность поверх-

ности сульфидов меди за счет увеличения содержания элементарной серы, являющейся гидрофобной, и общей серы на поверхности, повышения содержания меди и снижения содержания железа, повышения содержания фаз сульфатов металлов.

Анализ ИК-спектров, полученных на спектрофотометре «Спекорд», подтвердил, что в результате сернокислотной обработки поверхность вторичных сульфидов меди «очищается» от пленок оксидов и гидроксидов железа, минеральный состав поверхности изменяется и она гидрофобизируется [2].

4) Методом ИК-спектроскопии установлено, что сернокислотная обработка вторичных сульфидов меди изменяет характер сорбции ксантогената на поверхности минералов. Сорбция ксантогената снижается, характеристические частоты колебаний ксантогената на поверхности вторичных сульфидов меди сдвинуты от частоты исходного реагента, что свидетельствует о хемосорбции его на поверхности минералов, идентифицируется сорбция диксантогенида, полоса которого не сдвинута, что говорит о физической сорбции его на поверхности. Присутствие диксантогенида на поверхности сульфидов меди объясняется окислением ксантогената образованными на поверхности фазами, а также очищением и изменением заряда поверхности минералов. Известно, что сорбированный на поверхности минералов ксантогенат вместе с диксантогенидом повышает флотационную активность минералов.

Количественные показатели сорбции ксантогената на поверхности вторичных сульфидных минералов меди, изученные на спектрофотометре Shimadzu UV3100, показали снижение сорбции ксантогената после сернокислотной обработки, несмотря на очищение поверхности минералов и образование на них сульфид-сульфатных комплексов. Ксантогената на

поверхности минералов после серно-кислотной обработки сорбируется в $1,86 \div 2,58$ раз меньше, чем без применения обработки.

Из результатов исследований пенной флотации смешанной медной руды Удоканского месторождения и кека ее сернокислотной обработки следует, что обработка позволяет повысить кинетику флотационного обогащения по сравнению с использованием коллективной флотации, повысить извлечение меди в концентрат на $4-10\%$ до $92 \div 95\%$ в зависимости от содержания оксидных минералов, повысить качество концентрата и снизить потери меди с хвостами, снизить на порядок расход сернистого натрия, снизить расход собирателя, вспенивателя и отказаться от применения аполярного собирателя для флотации шламовой фракции. Данные результаты были подтверждены исследованием ОАО «Гипроцветмет» по флотации кеков кучного выщелачивания смешанных руд КОО «СП Эрдэнэт».

Технология, разработанная МИСиС, была заложена в ТЭР, выполненный Гипроцветметом.

Руда измельчается до крупности $5,0+0$ мм и направляется на серно-кислотное чановое выщелачивание, в результате которого окисленная медь переходит в раствор.

После фильтрации раствор направляется на экстракцию и после процесса экстракции на электроэкстракцию, в результате которой производится катодная медь. Отработанный электролит возвращается на выщелачивание руды.

Кек выщелачивания после фильтрации доизмельчается до крупности $65\% -0071$ и поступает на флотацию, результатом которой является медный концентрат. Хвосты флотации направляются в хвостохранилище.

Медный концентрат %: меди – $34,2$; серы – $12,8$; серебра – $702,0$ г/т; зо-

лота – $0,29$ г/т поступает на пирометаллургическое производство, где в результате переработки производится катодная медь. Серная кислота, получаемая в процессе пирометаллургического производства используется в процессе выщелачивания.

Предложенная технология переработки Удоканских руд позволяет максимально извлечь медь, серебро и золото из товарной руды и имеет следующие показатели:

- извлечение меди из окисленных минералов в руде составляет $94,1\%$;
- извлечение сульфидной меди из кеков выщелачивания в медный концентрат 90% ;
- сквозное извлечение меди в катодную и медный концентрат $90,0\%$;
- извлечение меди в катодную при переработке на пирометаллургическом производстве $98,2\%$;
- сквозное извлечение меди из руды в катодную медь $93,8\%$;
- исключается необходимость селективной добычи разных сортов руд.

Флотация кеков после сернокислотной обработки при $pH 4,0 \div 6,0$ с применением в качестве собирателя ксантогената калия с дитиофосфатом натрия позволяет получить медный концентрат с содержанием меди и при извлечении меди в концентрат не менее, чем в щелочной среде.

Сернокислотную обработку смешанной медной руды можно проводить при крупности $-5 \div 0,74$ мм, плотности пульпы Т:Ж = $1:1$, продолжительностью $0,5 \div 1,5$ ч. Расход свежей серной кислоты на обработку руды крупностью $-5-3$ мм составляет $6 \div 8$ кг/т (требуется уточнения), так как при использовании метода SX-EW в обменной реакции иона меди и экстрагента образуется кислота возвращаемая на выщелачивание с рафинатом экстракции. Расход кислоты на обработку при снижении крупности руды до $-0,74 \div 1$ мм возрастает, при этом

оказывает большее влияние на флотационную активность медных минералов, и соответственно извлечение меди при обогащении.

Таким образом, применение предварительной сернокислотной обработки перед флотационным обогащением в технологии переработки смешанных медных руд Удоканского месторожде-

ния имеет значительные технологические и экономические преимущества по сравнению с использованием коллективной и селективной флотации непосредственно руды: повышается извлечение меди в концентрат, снижается расход реагентов и продолжительность флотации, позволяет проводить сквозную добычу руды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Панин В.В., Воронин Д.Ю., Крылова Л.Н. Комбинированная схема переработки медных руд Удоканского месторождения / Материалы Международного совещания «Экологические проблемы и новые технологии комплексной переработки минерального

сырья» (Плаксинские чтения) 16–19 сентября 2002 г. – Чита, 2002. – С. 23–27.

2. Крылова Л.Н. Физико-химические основы комбинированной технологии переработки смешанных медных руд Удоканского месторождения. Автореф. канд. дисс. – М.: МИСиС, 2008. – 25 с. **VIAS**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Денисов Михаил Эдуардович¹ – зам. главного инженера,
Руднев Борис Петрович¹ – доктор технических наук, главный обогатитель,
Крылова Любовь Николаевна – кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник, НИТУ «МИСиС»,
Кучмина Юлия Сергеевна¹ – начальник отдела,
ОАО «Гипроцветмет».

UDC 622.722

PROCESSING TECHNOLOGY FOR UDOKAN COPPER ORE WITH SULFURIC-ACID PRE-LEACHING

Denisov M.E.¹, Deputy Chief Engineer,
Rudnev B.P.¹, Doctor of Technical Sciences, Chief Dresser,
Krylova L.N., Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher,
National University of Science and Technology «MISIS», 119049, Moscow, Russia,
Kuchmina Yu.S.¹, Head of Department,
¹ Giprocvetmet, Moscow, Russia.

Though appraisal performed regularly since the 1960s, the technological information on the deposit is still incomprehensive. The complex composition of ore and huge amount of oxidized non-orderly distributed varieties enable no selective extraction of ore grades or unambiguous decision on a processing technology. This article puts forward a technique with preliminary sulfuric-acid leaching of ore.

Key words: copper ore, leaching, sulfuric acid treatment, the quality of the concentrate, loss of copper.

REFERENCES

1. Panin V.V., Voronin D.Yu., Krylova L.N. *Materialy Mezhdunarodnogo soveshchaniya «Ekologicheskie problemy i novye tekhnologii kompleksnoy pererabotki mineral'nogo syr'ya» (Plaksinskie chteniya) 16–19 sentyabrya 2002 g.* (Proceedings of International Conference on Ecological Problems and New Technologies of Comprehensive Mineral Processing (Plaksin's Lectures) 16–19 September 2002), Chita, 2002, pp. 23–27.

2. Krylova L.N. *Fiziko-khimicheskie osnovy kombinirovannoy tekhnologii pererabotki smeshannykh mednykh rud Udokanskogo mestorozhdeniya* (Physicochemical basics of combination technology for processing of complex Udokan deposit ore), Candidate's thesis, Moscow, MISIS, 2008, 25 p.