

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ МЕДНОКОЛЧЕДАНЫХ РУД



Р. А. ЯГУДИН,  
зам. генерального  
директора по обогащению —  
начальник обогатительной  
фабрики



Ю. Р. ЯГУДИНА,  
начальник  
исследовательской  
лаборатории



Е. А. ЕМЕЛЬЯНЕНКО,  
доцент,  
канд. техн. наук

Приведены данные об особенностях минерального и вещественного состава медно-цинково-колчеданных руд Узельгинского и Молодежного месторождений, проанализированы основные факторы, снижающие показатели флотации. Рассмотрены возможные технологические решения по совершенствованию схемы флотации и результаты автоклавного нейтрального выщелачивания медных концентратов.

**Ключевые слова:** медно-цинковые руды, флотация, структуры, текстуры, сростки, тонкое взаимопрорастание, комплексное освоение месторождений, гидрометаллургия, автоклавное выщелачивание.

Несколько десятилетий назад технология обогащения медно-цинковых руд состояла в основном из последовательно включенных в технологическую цепочку рудоподготовительных и обогатительных процессов с получением в последней стадии товарных медных, цинковых и, частично, пиритных концентратов. В последнее время на фабрику поступают руды чрезвычайно сложного вещественного состава, и получение из них высококачественных концентратов при высоком извлечении металлов на современном уровне развития техники и технологии обогащения удается далеко не всегда. Коэффициент комплексности использования медно-цинкового сырья примерно на 20 % ниже, чем при переработке медных или свинцово-цинковых руд [1].

Целью работы является изучение вещественного состава и технологических свойств медноколчеданных руд различных типов, поступающих на Учалинскую обогатительную фабрику (УОФ).

Рудной базой УОФ являются медные и медно-цинковые руды Узельгинского месторождения, медно-цинковые руды Учалинского и Молодежного месторождений и, частично, руды Талганского, Западно-Озерного и Султановского месторождений. Принципиальная технологическая схема переработки медноколчеданных руд представлена на **рис. 1**.

Основные задачи при обогащении руд связаны с получением высококачественных медных и цинковых концентратов при высоком извлечении в них соответствующих металлов. Однако имеется ряд факторов, осложняющих эту задачу. Трудности обогащения Cu-Zn-руд, перерабатываемых на УОФ, обусловлены тем, что руды месторождений медно-цинково-колчеданной формации Южного Урала на различных участках одного и того же месторождения могут существенно различаться по вещественному составу и технологическим свойствам вследствие различия в генезисе и степени последующего их метаморфизма. Минеральный состав руд Учалинского, Молодежного и верхних рудных тел Сибайского и Узельгинского месторождений характеризуется как сфалерит-халькопирит-пиритовый, а нижних залежей рудных полей Сибайского и Узельгинского месторождений — как халькопирит-магнетит-пирротин-пиритовый [1, 2]. Руды представлены сложным комплексом сульфидов меди, цинка, железа и минералов вмещающих пород. Сульфиды меди в них представлены обычно халькопиритом, халькозином, ковеллином, борнитом, теннантитом и тетраэдритом; железа — пиритом, марказитом и пирротинном; цинка — сфалеритом, клеофаном, марматитом.

Еще одним из факторов, усложняющих обогащение Cu-Zn-руд, является сложное и довольно тесное взаимопрорастание части сульфидов (**рис. 1–3**), для раскрытия которых требуется очень тонкое измельчение. Многообразие медьсодержащих минералов, обладающих различной измельчаемостью, усложняет передел измельчения и классификации. При существующей технике измельчения часть потерь меди и цинка в хвостах и разноименных концентратах приходится на сростки, тогда как другая часть потерь обусловлена переизмельчением минералов. Недостаточная степень раскрытия сростков сульфидных минералов с одновременным переизмельчением определенной части минералов связана также с многосортностью и переменным составом смеси перерабатываемых руд.

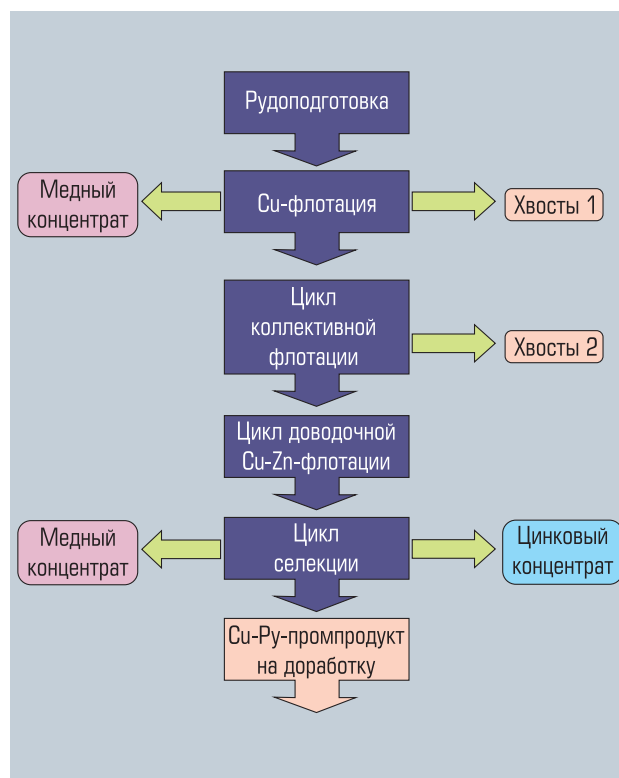
Кроме того, для поступающих на переработку руд характерна близость флотационных свойств сульфидов меди и активированных ионами меди сульфидов цинка. В обоих случаях на поверхности образуются медьсодержащие соединения собирателя. Избирательное разрушение и предотвращение образования таких соединений на сульфидах цинка в условиях селективной

флотации требует тщательной регулировки концентрации реагентов в пульпе.

Следует отметить также и неодинаковую флотируемость различных сульфидов меди и цинка. Вторичные сульфиды меди (ковеллин, борнит, халькозин), не затронутые процессами окисления, обладают более высокой флотационной способностью, чем халькопирит, который, в свою очередь, флотируется лучше, чем теннантит или тетраэдрит. Причиной неодинаковой флотируемости разных сульфидов меди являются различия в природе их поверхности, способности к окислению и в значениях необходимой концентрации собирателя при флотации. Так, одной из причин неодинаковой флотируемости разновидностей сфалерита (клеофана, марматита) является различное содержание в них изоморфной примеси железа. Так как сфалерит активируется не только при загрузке медного купороса, но и под действием катионов тяжелых металлов, находящихся в равновесии с продуктами окисления или растворения других сульфидов, то различная степень «природной» активации сульфидов цинка в различных участках одного и того же месторождения также может послужить причиной неодинаковой флотируемости сфалерита. Особенно сильная его активация наблюдается в присутствии вторичных сульфидов и окисленных минералов меди, что является основной причиной особых трудностей флотационного разделения сульфидов меди и цинка при переработке руд зоны вторичного обогащения. Легкая окисляемость вторичных сульфидов меди при этом и наличие растворимых минералов меди приводят к активации не только сульфидов цинка, но и сульфидов железа, что еще более осложняет селективную флотацию сульфидных минералов.

В настоящее время и в перспективе основную долю сырья, перерабатываемого на фабрике, составляют медно-цинково-колчеданные руды Узельгинского месторождения [1]. Они представляют собой плотные мелкозернистые массы сульфидов, обычно с незначительным присутствием нерудных минералов. Однако в отдельных участках рудных тел доля нерудных минералов возрастает до 30–50 %. Главными рудообразующими минералами являются пирит, пирротин, мельниквит, марказит, сфалерит, халькопирит и блеклые руды, второстепенными — арсенопирит, магнетит, гематит, галенит, борнит, халькозин и др. Нерудные представлены кварцем, слоистыми силикатами (преимущественно серицитом), калиевыми гидрослюдами, хлоритом, редко встречается карбонат.

Текстура Cu-Zn-руд массивная, полосчатая, слоистая, брекчиевидная, реже — колломорфная, структура тонко- и мелкозернистая, реже — колломорфная с весьма тонкими срастаниями рудных минералов, эмульсионная, петельчатая. В блеклых рудах месторождения, содержащих мышьяк и сурьму, выделяются два минеральных вида — теннантит с преобладанием мышьяка и тетраэдрит с преобладанием сурьмы. По содержанию доминирует теннантит ( $\text{Cu}_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$ ), содержащий в кристаллической решетке легкоокисляющуюся анионную группу  $[\text{AsS}_3]^{3-}$ . Теннантит окисляется с образованием ковеллина, малахита, азурита и гидроксидов железа. Он обладает низкой твердостью (3–4 по шкале Мооса) и повышенной хрупкостью, что обуславливает его легкое переизмельчение и ошламование. Тетраэдрит ( $\text{Cu}_2\text{Sb}_4\text{S}_{13}$ ), характери-



**Рис. 1. Принципиальная схема коллективно-селективной флотации медно-цинковых колчеданных руд (Py-пирит)**

зующийся отличной от теннантита флотируемостью, также влияет на показатели обогащения.

Руды Молодежного месторождения имеют сложный минеральный состав и в числе главных рудообразующих минералов представлены пиритом, халькопиритом, сфалеритом. К второстепенным относятся блеклые руды, борнит, ковеллин, халькозин, причем содержание вторичных сульфидов меди достигает 25 %.

Текстура руд массивная, полосчатая, слоистая, брекчиевидная, структура тонко- и мелкозернистая с весьма тонкими срастаниями рудных минералов.

Исследования показали, что в цикле селективности в связи с низкой скоростью флотации медных минералов потери меди в хвостах достигают 20 %.

С учетом отмеченных особенностей вещественного состава руд на УОФ в цикле селективности используют известь ( $\text{pH} \approx 12$ ). При такой щелочности сфалерит активируется и теряется цинк с медным концентратом. Ежегодные потери цинка на фабрике составляют примерно 15 тыс. т в год. Кроме того, соединения цинка, попавшие в медный концентрат, негативно влияют на протекание металлургического процесса получения меди.

Недостаточно высокие технологические показатели обогащения руд Учалинского района преодолеваются посредством разработки развитых технологических схем с использованием эффективных реагентных режимов.

В ходе исследования руд Узельгинского и Молодежного месторождений разработаны и опробованы следующие технологические решения.

С целью предотвращения ошламования медных минералов в цикле рудного измельчения введена межцикловая флотация (крупность питания  $\approx 55\%$  класса  $-74$  мкм). В концентрат межцикло-вой флотации выделяются в основном свободные зерна халькопирита и блеклых руд крупностью  $\sim 10$  мкм. Соотношение содержания халькопирита и теннантита в концентрате медной «головки» составляет 4:1, в медном концентрате оно выравнивается до 1:1.

С целью доизвлечения минералов меди и цинка из хвостов коллективной флотации проводится предварительная классификация продукта, после которой пески поступают на доизмельчение (до крупности 89,5% класса  $-0,074$  мм) и далее на дофлотацию меди и цинка. На медной руде Узельгинского месторождения при введении указанных операций получен медный концентрат, содержащий 21 % меди при извлечении 94,7 %. Дополнительное раскрытие сростков медных минералов привело к снижению потерь меди с хвостами коллективной флотации.

С целью дополнительного раскрытия сростков медных и цинковых минералов введено доизмельчение хвостов I коллективной флотации, в результате чего содержание класса  $-0,074$  мм в них увеличилось с 65,3 до 92,8 %, что способствовало снижению потерь меди и цинка с коллективными хвостами на 9,1 и на 0,7 % соответственно.

Вместе с тем в хвостах флотации остаются сростки сульфидов меди, цинка, железа, раскрытие которых возможно с помощью гидрометаллургического метода. В настоящее время с целью комплексной переработки медноколчеданных руд, опираясь на положительный опыт автоклавного выщелачивания медного концентрата [3], ведутся исследования по автоклавному выщелачиванию хвостов обогащения и медно-цинкового промпродукта.

Автоклавное выщелачивание (АВ) является одним из эффективных методов прямого вскрытия минералов, обеспечивающих высокое извлечение при переработке медно-цинкового сырья различного качества. Исследования способов АВ проводили на протяжении многих лет в ведущих научных институтах страны. Были исследованы различные процессы АВ медно-цинковых продуктов: содовое, аммиачное, серноокислотное, нейтральное и чановое кислотное выщелачивание бедных сульфидных продуктов.

Установлено [3], что наиболее эффективным является нейтральный способ АВ, позволяющий разделить медь и цинк при переработке сульфидных медно-цинковых полиметаллических концентратов в одном аппарате за один технологический процесс. Технология характеризуется малой материал- и энергоемкостью. Технология гидрометаллургической переработки разработана и предложена для конкретного типа сырья, так как существенно зависит от соотношения в нем содержания меди и цинка.

Применение флотационно-гидрометаллургической технологии позволит снизить потери меди, цинка, золота, серебра, уменьшить выбросы в окружающую среду вредных соединений мышьяка, сурьмы, серы и др. Ранее выполненные исследования многих институтов свидетельствуют о технико-экономической целесообразности разработанных комбинированных технологий.

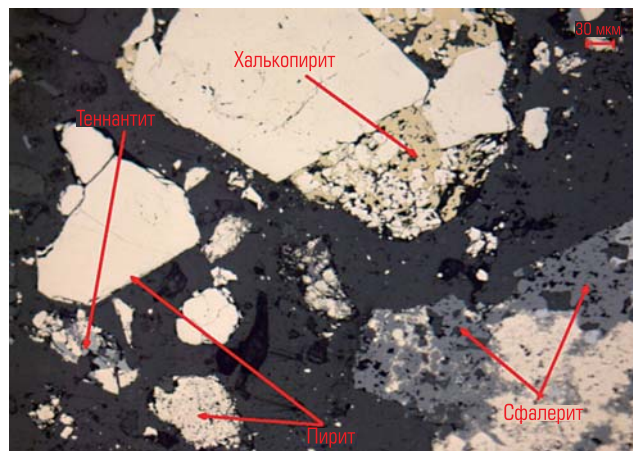


Рис. 2. Пирит в сростании с халькопиритом и сфалеритом

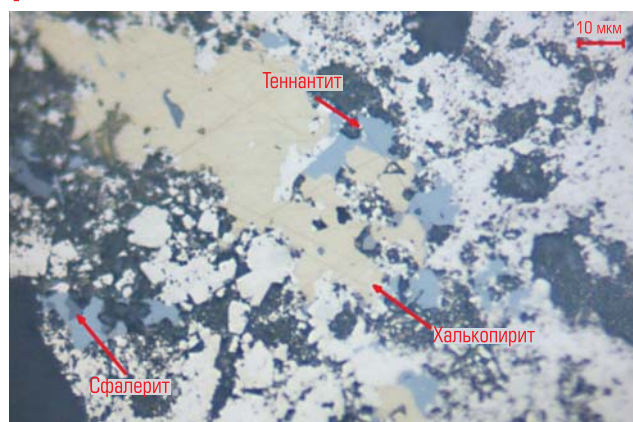


Рис. 3. Сросток халькопирита, теннантита с пиритом и сфалеритом

Изучение возможности эффективной доводки получаемых медных и цинковых концентратов с применением выщелачивания позволит глубже понять сущность комбинированных технологий как основу комплексного использования полезных ископаемых.

#### Библиографический список

1. Ягудин Р. А., Ягудина Ю. Р., Зимин А. В., Немчинова Л. А. Совершенствование технологии флотации руд на обогатительной фабрике ОАО «Учалинский ГОК» // Горный журнал. 2008. Специальный выпуск. С. 31–35.
2. Серавкин И. Б., Пирожок П. И., Скуратов В. Н. и др. Минеральные ресурсы Учалинского горно-обогатительного комбината. — Уфа : Башкирское книжное изд-во, 1994.
3. Зимин А. В., Гусар Л. С., Ягудин Р. А., Бодуэн А. Э. Опытные промышленные испытания технологии гидрометаллургического обесцинкования медного концентрата Учалинского ГОКА // Горный журнал. 2008. Специальный выпуск. С. 92–96. **ГЖ**

Ягудин Радик Аглямovich,  
e-mail: yagudin\_ra@ugok.ru  
Ягудина Юлия Радиковна,  
e-mail: yagudina52@mail.ru  
Емельяненко Елена Алексеевна,  
e-mail: emv31@mail.ru

## PROCESS SOLUTION IN PYRITE COPPER ORE PROCESSING

**Yagudin R. A.**<sup>1</sup>, Deputy Chief Concentration Officer – Head of Concentration Factory, e-mail: yagudin\_ra@ugok.ru

**Yagudina Yu. R.**<sup>1</sup>, Head of Research Laboratory

**Emelianenko E. A.**<sup>2</sup>, Assistant Professor, Candidate of Engineering Sciences

<sup>1</sup> Uchalinsky Mining and Processing Integrated Works JSC (Uchaly, Russia)

<sup>2</sup> Magnitogorsk State Technical University (Magnitogorsk, Russia)

A few decades ago, the copper-and-zinc ore concentration was a process flow of ore preparation and cleaning operations resulting in production of marketable copper, zinc and, partly, pyrite concentrates. Efficiency of mining and metallurgical technologies is governed by rational and multipurpose utilization of mineral resources and on scientific-and-technical approach to handling problems in integrated development and conservation of mineral wealth. As early as mine planning stage, all process characteristics and features of ore should be taken into account, for the first turn, the ore material constitution that complicates in the course of mineral extraction.

The aim of this research was to investigate the material constitution and process properties of pyrite copper ore treated at the Uchalinsky processing plant, and to study rational approaches to this ore dressing. The main goal of the ore dressing is production of high quality copper and zinc concentrates at high yield of the related commercial components. However the problem is complicated by some factors. The difficulties of concentration of pyrite copper ore at the Uchalinsky processing plant are conditioned by that the copper-zinc-pyrite ore occurring in the South Ural formations can greatly differ in the material constitution and process properties in different areas of the same deposit due to different genesis and degree of subsequent metamorphism and owing to intricate and tight intergrowth of sulphides unlocking of which requires very fine grinding; for another thing, the flotation properties of copper sulphides and zinc sulphides activated by copper ions are very close in the discussed ore.

Thus, the complex material constitution, fine intergrowth of sulphides and barren rock, high content of water-soluble copper, zinc and iron sulfates as well as development of colloform varieties prone to overgrinding characterize the ore as rebellious. In flotation the aggregates of copper, zinc and iron sulphides go to tailings, and unlocking of these aggregates requires hydrometallurgical methods. Currently, aimed at the integrated approach to pyrite copper ore processing based on the positive experience gained in steam-and-pressure leaching of copper concentrate, the investigations are carried out into the steam-and-pressure leaching of tailings and copper-and-zinc middlings.

**Key words:** copper-zinc ore, flotation, structures, textures, aggregates, fine intergrowth, integrated development of mineral deposits, hydrometallurgy, steam-and-pressure leaching.

### REFERENCES

1. Yagudin R. A., Yagudina Yu. R., Zimin A. V., Nemchinova L. A. *Gornyi Zhurnal – Mining Journal*, 2008, Special issue, pp. 31-35.
2. Seravkin I. B., Pirozhok P. I., Skuratov V. N. et al. *Mineralnye resursy Uchalinskogo gorno-obogatitel'nogo kombinata* (Mineral resources of Uchaly Mining and Metallurgical Combine). Ufa : Bashkortostan Book Publishing House, 1994.
3. Zimin A. V., Gusar L. S., Yagudin R. A., Boduen A. E. *Gornyi Zhurnal – Mining Journal*, 2008, Special issue, pp. 92–96.

УДК 622.1:528

**Е. В. БОБЫЛЕВА, И. Б. МОИСЕЕВ, А. Ш. МАННАНОВ, Д. Р. ХАРИСОВ** (ОАО «Учалинский ГОК»)

## НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ГЕОЛОГО-МАРКШЕЙДЕРСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА



**Е. В. БОБЫЛЕВА,**  
зам. главного  
маркшейдера



**И. Б. МОИСЕЕВ,**  
главный геолог



**А. Ш. МАННАНОВ,**  
зам. начальника  
производственно-технического  
отдела — главный горняк



**Д. Р. ХАРИСОВ,**  
маркшейдер подземных  
горных работ

Показаны начальные этапы технико-технологического перевооружения геологической, маркшейдерской и технической служб ОАО «Учалинский ГОК» в целях перехода на современные автоматизированные системы проектирования и геолого-маркшейдерского обслуживания горного производства на основе новейших мировых достижений в области IT-технологий, программных комплексов и аппаратурного оснащения. Наряду с примерами успешного решения этих задач отражены особенности и трудности создания и освоения новых автоматизированных систем «без отрыва от производства» на действующем много лет горнорудном предприятии.

**Ключевые слова:** горнорудное производство, геолого-маркшейдерское обеспечение, программные комплексы, аппаратура, IT-технологии, станции GPS, трехмерное моделирование, проектирование, измерения, информация в электронном виде, освоение, проблемы, задачи.

В ОАО «Учалинский ГОК» разрабатывают сложные по геологическому строению месторождения медных, цинковых колчедан-

ных руд открытым, подземным и комбинированным способами. При этом основные Учалинское и Узельгинское месторождения