



Cu=0,21 %, Zn=0,65 %, S=29,5 %, Fe=25 %, SiO<sub>2</sub>=20 %. Проба представлена зернами и агрегатами нерудных минералов (85 %) и, преимущественно, мономинеральными зёрнами рудных минералов (15 %). Сфалерит и халькопирит находятся в виде тонких взаимных прорастаний и эмульсионных вкрапленников в зернах пирита. Отмечены единичные зерна сфалерита и халькопирита. Халькозин выполняет микротрещины в пирите и халькопирите. Нерудные минералы в основном представлены кварцем (65 %), хлоритом (30 %) и эпидотом (10 %), также встречаются зёрна серицита, кальцита, гипса.

Целью исследований по моделированию режимов выщелачивания в лабораторных условиях являлся поиск, разработка и испытание технологических режимов извлечения ценных компонентов из техногенных продуктов — текущих хвостов обогащения Учалинской обогатительной фабрики полученных при переработке Учалинской и Узельгинской медноколчеданной и медной руд, определение фильтрационных характеристик массива окомкованных хвостов.

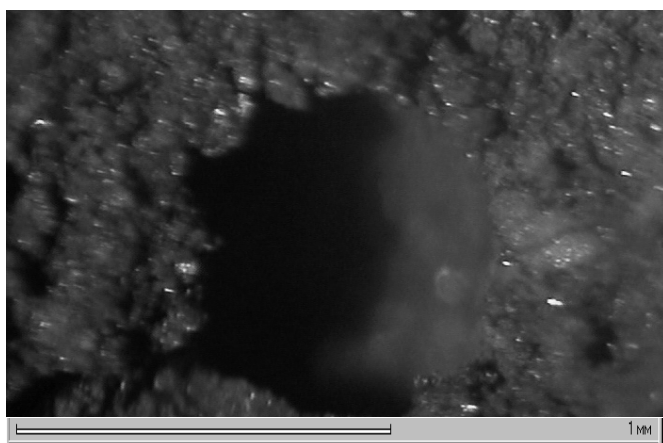
*Методика эксперимента.* Оценивались условия перколяционного выще-

лачивания окомкованных текущих хвостов в инфльтрационно-капиллярном режиме.

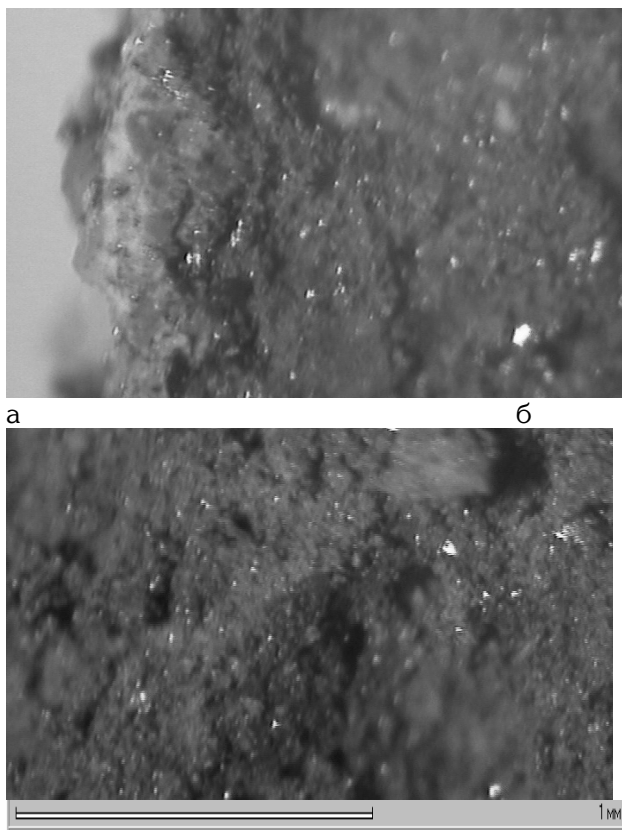
Крупность окатышей -20+5 мм. Для улучшения фильтрационных свойств опытного массива фракция -5мм+0 отсевались. Масса окатышей, составляла 17,6 кг. Высота массива в перколяторе 37 см. Окатыши имеют пористое строение. Максимальный размер пор достигает 1 мм (рис. 1), что значительно увеличивает площадь контакта сульфидных минералов с выщелачивающим агентом.

Опыты проводили в перколяторах в режиме КВ, т.е. путем подачи выщелачивающего раствора. Перколяционное выщелачивание имеет циклический характер. Каждый цикл включает в себя два этапа. Первый этап — закисление руды. Второй этап — рабочий режим. Общая продолжительность экспериментов составляла 19 - 20 суток. Перед выщелачиванием для заполнения пор, трещин и ускорения диффузии выщелачивающих растворов массив предварительно замачивали водой.

Закисление руды осуществлялось путем равномерного орошения рудного массива 20-% раствором серной кислоты в течение 9 дней. Отношение Ж:Т в циклах закисления составляло 0,3. Рабочий режим перколяционного выщелачивания, заключался в чередовании промывки массива окатышей и воздушной аэрации. Промывка массива осуществлялась 2-% раствором серной кислоты в течение 5 часов в непрерывном режиме. Отношение Ж:Т в циклах промывки составляло 2—2,5.



**Рис. 1.** Полая пора в основной массе окатыша



**Рис. 2. Сульфаты железа, меди и кальция на поверхности окатыша: а — вид с боку, б — вид сверху**

Плотность орошения массива окатышей не более  $10 \text{ л/м}^2$  в час.

Пробы продуктивных растворов ежедневно анализировали с определением содержания меди и цинка, а также рН и окислительно-восстановительного потенциала (ОВП). Заменяли объемы суточных проб. Эксперименты завершали, когда содержание меди и цинка в продуктивном растворе снижалось до  $0,03 \text{ мг/л}$ . Отработанные окатыши измельчали и определяли в них остаточное содержание меди и цинка. По результатам анализов рассчитывали извлечение меди и цинка в раствор.

*Результаты и их обсуждение.* Результаты опытов показывают, что

первый цикл закисления требует значительного расхода растворителя, что связано с деструкцией сульфидов, образованием сульфатов железа, меди, цинка и кальция и свободной серной кислоты.

Для второго цикла характерно образование сульфатов на поверхности окатышей, которые обволакивают окатыши, постепенно проникая во внутреннюю часть пор, что значительно снижает фильтрационные свойства массива окатышей (рис. 2).

Для второго цикла выщелачивания характерно развитие химической и механической кольтатации. Механическая кольтатация связана с незначительным разрушением окатышей и образованием мелкодисперсного материала в результате протекания химических реакций — растворения, окисления, гидролиза и других. Химическая кольтатация проявляется в виде

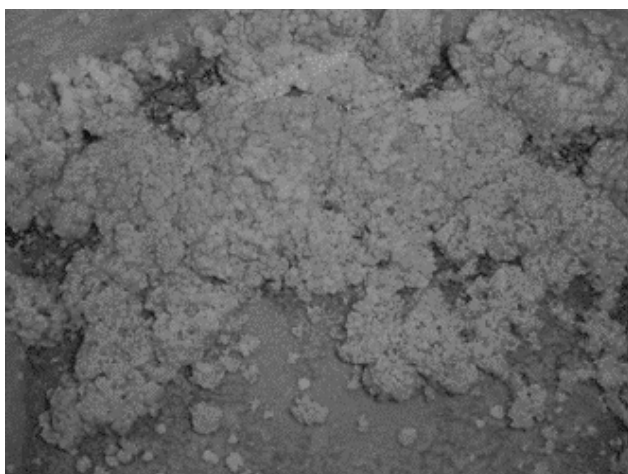
образования сульфатов железа в полостях пор и трещин окатышей в период аэрации, после стекания продуктивных растворов (рис. 3).

В ходе эксперимента произошла усадка массива на 5 % выщелачивания. За счет комплексной (механической, химической) кольтатации массива отмечена общая тенденция снижения фильтрационных свойств массива. Коэффициент фильтрации на конец эксперимента составлял  $10 \text{ м/сут}$ .

За счет процессов окисления, происходящих в массиве, регенерируется серная кислота, что повышает



**Рис. 3. Частичное выполнение поры сульфатами железа**



**Рис. 4. Образование сульфатов на поверхности окатышей во втором цикле выщелачивания**

кислотность раствора. Если значение рН выщелачивающего раствора в конце первого цикла закисления составлял 0,98, то после второго цикла закисления рН раствора понизился и составил 0,3.

Наличие свободного кислорода, сульфатов железа и серной кислоты приводит к росту окислительно-восстановительного потенциала до 0,41 В, что в свою очередь, интенсифицирует процесс серно-

кислотного выщелачивания цветных металлов из окатышей.

На первом этапе закисления богатые по меди и цинку продуктивные растворы: 0,26 г/дм<sup>3</sup> и 0,832 г/дм<sup>3</sup> соответственно.

В процессе промывки одновременно с выщелачиванием рудных минералов происходит растворение и вымывание корочек, налетов, примазок сульфатов минералов, образовавшихся на поверхности окатышей и в полостях пор и трещин, на стадии закисления (рис. 4).

После первого цикла выщелачивания в продуктивный раствор перешло 0,6195 г меди и 1,8967 г цинка. После второго цикла выщелачивания в раствор перешло 2,4747 г меди и 8,0909 г цинка.

Процент извлечения железа в раствор — незначительный, что является положительным фактором для переработки растворов. Наиболее высокое содержание железа в продуктивных растворах в первые 3 дня, что связано с активным растворением окисленных минеральных форм. В последующих циклах выщелачивания относительно невысокое содержание железа в растворе связано с окислением пирита.

Проведенными расчетами установлены хорошие показатели извлечения за весь срок эксперимента. Так, сум-

марное извлечение меди составило 3,4 %, цинка — 13,76 %, причем динамика процесса выщелачивания нарастающая.

Повышение уровня извлечения металлов в раствор возможно при модификации сернокислых растворов реагентами — интенсификаторами. С целью установления возможности ускорения процесса сернокислотного выщелачивания цветных металлов из хвостов обогащения руд медно-колчеданных месторождений был проведен комплекс исследований по подбору интенсифицирующих реагентов.

#### **Выводы**

1. Текущие хвосты обогащения колчеданных руд хвостохранилища Учалинского ГОКа относятся к группе техногенных песков, где преобладающим размером слагающих их частиц является класс крупности  $-0,25 + 0,044$  мм мм — 91 %. Коэффициент фильтрации хвостов составляет  $(1,57 \div 1,81) \cdot 10^{-6}$  м/сут, поэтому для проведения процесса выщелачивания данный материал требует окомкования.

2. Перед выщелачиванием для заполнения пор, трещин и ускорения массопереноса ценных компонентов массив окатышей предварительно

смачивается водой в фильтрационном режиме с частичным затоплением нижних слоев для более равномерного смачивания.

3. Выщелачивание цветных металлов из текущих хвостов обогащения колчеданных руд Учалинского месторождения следует производить сернокислыми растворами в режиме КВ при чередовании циклов: промывки, закисления, выстаивания (аэрации) и активного выщелачивания массива.

4. Концентрация серной кислоты в режиме закисления — 20 %, в рабочем режиме выщелачивания 2 %. Анализ результатов исследований свидетельствует о достаточно высоком уровне извлечения металлов в двух циклах выщелачивания с чередованием режимов закисления, активного выщелачивания и аэрации. Так, суммарное извлечение меди в течение 19 дней составило 3,4 %, цинка — 13,76 %, причем динамика процесса выщелачивания нарастающая. Повышение уровня извлечения металлов в раствор возможно при модификации сернокислых растворов реагентами — интенсификаторами (сульфатом трехвалентного железа и фульвокислотой — торфяной вытяжкой). **ИЛБ**

#### **КОРОТКО ОБ АВТОРАХ**

---

*Рыльникова М.В.* — ИПКОН РАН, info@ipkonran.ru

*Горбатова Е.А., Емельяненко Е.А.* — ГОУ ВПО «МГТУ им. Г.И.Носова» г. Магнитогорск, mgtu@magtu.ru

