

УДК 541.1

*В.И. Голик, Т.Т. Исмаилов, Е.Б. Дольников*

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ  
РУД В ПРОЦЕССЕ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ**

Семинар № 19

Для интерпретации результатов исследований процессов выщелачивания металлов из руд необходимо их описание методами математики. При математическом описании физико-химических процессов выщелачивания сульфидных руд рассматривается совокупность гетерогенных реакций.

Целевой функцией математической модели является максимум прибыли от снижения потерь полезных ингредиентов. Входящие в математическую модель данные определяются экспериментально с учетом извлечения полезных ингредиентов на всех этапах переработки.

Для управляемого выщелачивания необходимо, чтобы реагенты, переводили металлы в растворы и отдавали их в товарные осадки в установленные сроки, определенном месте количестве.

Комплекс физико-химических превращений представляет собой совокупность реакций внешне диффузионной, внутри диффузионной и химической кинетики.

Влияние факторов перехода металлов в растворы и в товарные осадки из растворов имитируется при лабораторном моделировании, которое состоит из этапов:

- описание процесса дифференциальными уравнениями неразрывности и диффузии с начальными и граничными условиями;
- анализ возможности решения полученной системы уравнений;
- решение упрощенной системы уравнений путем получения формул, связывающих целевые и технологические параметры;

- сопоставление теоретических и экспериментальных значений.

Для описания процесса выщелачивания пригодны модели линейного потока Веригина и Голубева - Кричевца. Их особенность - экспоненциальное приближение концентрации соли в растворе к концентрации насыщения с увеличением времени контакта фаз.

Для проверки корректности моделирования на стенде проведено опытное выщелачивание металлов из полиметаллических руд. Температуру в процессе эксперимента поддерживали в пределах 18÷20 °С, относительную влажность - в пределах 60÷70 %. Осадок раствора нейтрализовали содой с выделением осадков, содержащих металлы.

Выщелачивание проводили растворами хлористого натрия и серной кислоты; концентрация их изменялась от 10 до 250 и от 1 до 18,5 г/дм<sup>3</sup>, соответственно. Опыт продолжался 168 суток. За это время было извлечено 80,02 % Zn, 76,26 % Pb, 87,99 % Fe. В исследованных пределах выход металлов возрастает при увеличении удельного расхода растворов.

Зависимость извлечения цинка от удельного расхода растворов описывается уравнением

$$y = e^{-3.26x^{1.2}}, \quad (1)$$

где  $y$  - количество металлов, выносимых 1 дм<sup>3</sup> раствора в час;  $x$  - количество пропущенного раствора.

Коэффициент корреляции  $R = 0,956$ .

На интенсивность извлечения свинца и цинка влияет присутствие в растворах

поваренной соли, концентрация которой изменялась от 10 до 250 г/дм<sup>3</sup> при постоянной концентрации серной кислоты.

С увеличением количества хлористого натрия скорость перехода в раствор цинка снижается, а свинца – сначала увеличивается до 150 г/дм<sup>3</sup>, а затем уменьшается. Аналогичные зависимости были получены при выщелачивании свинца и цинка из руд Згидского и Какадур-Ханикомского месторождений, в которых содержание металлов было меньше, а соотношение между цинком и свинцом для первого месторождения было 1, для второго - 1,88. Это позволяет утверждать, что полученные зависимости закономерны для руд всех месторождений Садонского рудного узла.

Оптимальная концентрация хлористого натрия в растворе варьирует в пределах 20÷40 г/ дм<sup>3</sup>, так как отношение цинка к свинцу равно 4,7. При выщелачивании зафиксировано три характерных периода интенсивности перехода металлов в растворы.

В начальный период выщелачивания рудная частица реагирует с потоком реагента только поверхностной площадью на основе конвекционного обмена. Одновременно происходят и диффузионные явления, причем прямому конвективному массопереносу препятствует прочный труднорастворимый поверхностный слой.

Вследствие физико-химических процессов верхний слой рудных кусков разрушается, вскрывая дополнительные поверхности с новыми параметрами извлечения. В результате контакта на поверхности элементарного куска появляется слой новообразований.

$$\frac{\partial m}{\partial t} = k_c \cdot c_g \cdot s \cdot \frac{\varepsilon}{b}$$

где  $m$  - масса новообразованного вещества, кг;  $k_c$  - стехиометрический коэффициент;  $k_g$  - коэффициент внутренней диффузии;  $s$  - площадь поверхности минерального куска, м<sup>2</sup>;  $\rho_q$  - плотность орошения;  $\varepsilon$  - концентрация минерала, г/дм<sup>3</sup>;  $b$  - размер куска, см.

Передача реагирующего раствора через приграничный слой прекращается, а основную роль играют внутри - диффузионные процессы через слой новообразований, где  $\gamma$  - плотность вещества новообразования. Параметры извлечения в этой, заключительной стадии выщелачивания зависят от скорости и эффективности вскрытия новых реакционных площадей.

Скачкообразное увеличение потока в некоторых случаях является следствием перерывов в подаче растворов продолжительностью по 30 суток. В это время происходило выравнивание концентрации металлов в растворах и на поверхности минералов за счет внутренней диффузии.

Установленные закономерности являются очередным шагом в направлении конверсии традиционных технологий добычи металлов с извлечением на земную поверхность и пирометаллургическим переломом на технологии с выщелачиванием.

Сырьевой базой конверсии являются накопленные за 170 лет эксплуатации месторождения запасы потерянных по различным причинам руд, содержание металлов в которых нередко значительно превышает содержание в еще не подготовленных запасах..

### **Коротко об авторах**

Голик В.И., Дольников Е.Б. – Северо-Кавказский государственный технологический университет,  
Исмаилов Т.Т. – Московский государственный горный университет.