

В.И. ГОЛИК, д-р техн. наук, проф. Северо-Кавказский государственный технологический университет», В.И. КОМАЩЕНКО, д-р техн. наук, проф., Белгородский государственный национальный исследовательский университет, В.С. МОРКУН, д-р техн. наук, проф. Криворожский национальный университет

СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ ЭФФЕКТИВНОГО ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ МЕТАЛЛОВ

Приведены краткие сведения о теории выщелачивания металлов из руд. Охарактеризованы способы повышения активности минералов, в том числе механоактивацией. На примере промышленного использования технологий на предприятиях России и Казахстана систематизированы и приведены результаты вариантов технологий. Сделан вывод о технологической возможности и экологической целесообразности выщелачивания металлов с ликвидацией хранилищ на земной поверхности. Приведены краткие сведения о теории выщелачивания металлов из руд. Охарактеризованы способы повышения активности минералов, в том числе механоактивацией. Сформулировано направление экологизации горного производства путем минимизации объема извлекаемых из недр на земную поверхность минеральных ресурсов. Определено, что отходы добычи, обогащения и выщелачивания металлических руд могут быть использованы при управлении массивом с закладкой пустот твердеющими смесями, изготовленными из продуктов переработки хвостов обогащения и с использованием массивов из хвостов подземного выщелачивания металлов, которые под влияние химических процессов приобретают прочность. Сформулированы задачи развития механохимической технологии и указаны защищенные патентами направления решения проблемы.

Ключевые слова: железные руды, металлы, кристаллы, разрушение, обогащение, механоактивация, минеральное сырье, технология добычи, твердеющая закладка, прибыль, технология разработки, извлечение металлов, выщелачивающий раствор, дезинтеграция, механохимия.

Проблема и ее связь с научными и практическими заданиями. Основной задачей современной науки и практики становится не увеличение объемов добычи, а использование уже добытого и разведанного в недрах некондиционного для сегодняшних технологий минерального сырья. В идеале необходимы такие технологии, хвосты которых были бы пригодны к утилизации в смежных отраслях хозяйства, к примеру, в строительстве.

К таким технологиям относятся способы выщелачивания металлов с извлечением в раствор не только отдельных целевых, а всей гаммы содержащихся в руде металлов. Технологии с выщелачиванием становятся инструментом реализации пионерных ресурсо- и природосберегающих технологий [1].

Возможность уменьшения затрат предоставляют технологии с использованием продуктов утилизации хвостов обогащения и хвостов подземного выщелачивания руд. Непременным условием реализации этих возможностей становится извлечение металлов их некондиционного сырья до норм ПДК [2].

Анализ исследований и публикаций. При разработке месторождений полезных ископаемых эксплуатационные и капитальные затраты с понижением горных работ растут, а содержание полезных компонентов в извлекаемых балансовых запасах все менее обеспечивает рентабельную работу. В ряде случаев эффективной оказывается добыча металлов с применением специальных методов. Чаще всего это металлы: уран, медь, цинк и свинец.

Реагентом выщелачивания являются химические вещества и природные компоненты: вода, воздух и рудовмещающие породы.

Горно-химическая технология по сравнению с традиционными горными способами позволяет существенно сократить капитальные затраты, исключить из технологического процесса дорогостоящие и трудоемкие операции, уменьшить объем проходки горных выработок, улучшить технико-экономические показатели.

В отдельных случаях производительность труда рабочих по готовой продукции возрастает в 1,4-2,0 раза, а себестоимость 1 кг, например, урана снижается на 30-35 % в сравнении с себестоимостью добычи его традиционными технологиями.

Условием успешного протекания процесса выщелачивания при этом является наличие в растворе конкурирующих ионов, обладающих большим потенциалом, чем ионы извлекаемых металлов. При извлечении цветных металлов такими ионами являются ионы железа и водорода [2,4,5].

Перколяционное выщелачивание длится месяцы и даже годы. Наиболее успешно процесс идет, если материал при выщелачивании разрушается.

Кучное выщелачивание по сравнению с автоклавным и другими активными методами более экономично. Удельные затраты сокращаются в этом случае в 2-5 раз.

Естественная растворимость минералов используется для интенсивного выщелачивания одного из них и предотвращения извлечения в раствор другого.

Подземное выщелачивание урана из отбитых руд применяют на месторождениях, характеризующихся активной пористостью (менее 5%) и плохой фильтрационной способностью руд ($K_{\phi} < 0,1$ м/сут). При этом наиболее эффективна предварительная скважинная отбойка и magazинирование руд на месте залегания в условиях зажатой среды с применением короткозамедленного взрывания, когда при наложении волн сжатия и растяжения улучшается качество дробления руд. При выборе параметров буровзрывных работ и определении необходимой кусковатости отбитых руд учитывают их структуру и текстуру, характер распределения минерализации, степень трещиноватости массива и другие факторы [6].

Постановка задания. Проблема возвращения в производство потерянных руд весьма актуальна. Ее решение улучшает полноту использования недр, повышает эффективность затрат и снижает ущерб окружающей среде. Это особенно важно в современных условиях дефицита капитальных средств и других ресурсов. В связи с этим актуальными проблемами являются создание, внедрение и промышленное освоение добычи полезных ископаемых комбинированными технологиями выщелачивания на основе оптимизации комбинированной разработки балансовых запасов традиционной технологией добычи и переработки, а потерянных ранее и балансовых руд - с помощью подземного блокового выщелачивания.

При системе разработки с magazинированием руды и последующим выщелачиванием в камерах рудную залежь разделяют на эксплуатационные блоки, проходят подготовительные и нарезные выработки. Оформляют отрезную щель и плоское днище камеры.

Обустройство производится параллельными веерами скважин диаметром 50-85 мм из поэтажных выработок. Частичный (до 30%) самотечный выпуск осуществляют через выпускные выработки в нижней части блока.

После magazинирования руды монтируют оросительную систему, состоящую из комплекта труб, форсунок и скважин для подачи выщелачивающих растворов, а в нижней - оборудуют выработки для сбора продуктивных растворов. Подачу выщелачивающего раствора в камеры производят до момента достижения его кондиционной концентрации в продуктивном растворе [7].

Отличительной особенностью взрывной отбойки руд для выщелачивания является использование энергии взрыва на основе предельной энергоёмкости дробления горных пород. Повышенные затраты на бурение и взрывание компенсируются повышением извлечения металла из руд.

Изложение материала и результаты. Наиболее широко применяются схемы выщелачивания из проницаемых руд через скважины и с предварительным дроблением скальных руд взрывами с использованием горных выработок для подачи и отвода растворов (рис. 1).

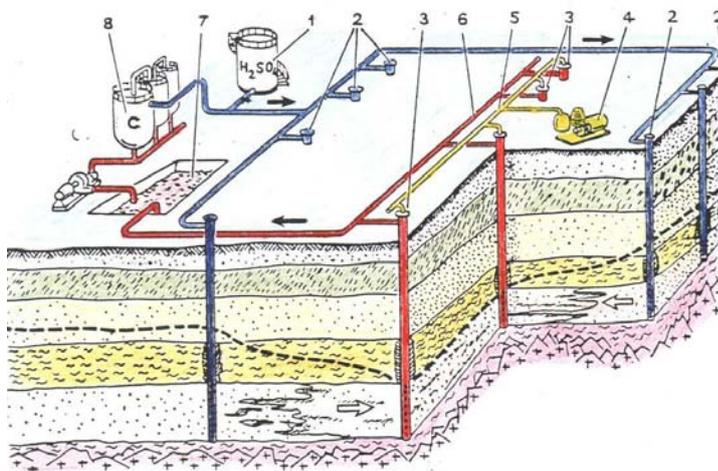


Рис. 1. Принципиальная схема подземного скважинного выщелачивания: 1 – узел приготовления раствора; 2 – скважины для подачи реагентов; 3 – скважины для откачки продуктивного раствора; 4 – компрессор; 5 – трубопровод сжатого воздуха для эрлифтов; 6 – трубопровод для продуктивного раствора; 7 – отстойник; 8 – узел переработки раствора

Этой технологией отработано урановое месторождение Украины «Девладово» (Днепропетровская область) и участки подземного выщелачивания урана «Братское» и «Сафоновское» (Николаевская область) [8].

По данной схеме месторождение вскрывается системой скважин, располагаемых рядами, многоугольниками, кольцами.

В скважины подают растворитель, который, фильтруясь по залежи, выщелачивает полезные компоненты и откачивается через другие скважины.

Преимущества способа ПВ включают в себя повышение эффективности использования недр за счет вовлечения в эксплуатацию рудной минерализации в зоне циркуляции растворов. С его помощью эксплуатируются весьма бедные месторождения.

Так, на руднике «Бык» (г. Лермонтов, Ставропольский край) с 1968 г. освоено подземное и кучное выщелачивание урана из забалансовых руд системой разработки этажным принудительным обрушением с отбойкой руды глубокими скважинами в условиях зажатой среды, магазинированием и выщелачиванием металла инфильтрационным потоком реагента.

При разработке урановых месторождений камерными системами с закладкой потери руды составляют 5 %, а в отдельных случаях и более.

Разубоживание находится на уровне 30-35 % с тенденцией к увеличению [9].

В качестве критерия оценки технических решений и определения параметров горного предприятия авторами используют величину дисконтированной прибыли, которая будет получена в течение расчетного периода за вычетом капитальных вложений на освоение новой технологии, поддержание его производственных мощностей с учетом процентной ставки за кредиты для выполнения капитальных работ и времени их выполнения.

Ценность металлов, извлекаемых из потерянных руд технологиями с участием выщелачивания, ден. ед./т

$$Ц_{Дт} = 0,01 \sum_{i=1}^n C_{ri} \varepsilon_{ri} \varepsilon_{zi} Ц_{mi} + \sum_{i=1}^{n_0} C_{\text{ори}} \varepsilon_{\text{ори}} \varepsilon_{\text{зби}} Ц_{\text{мби}},$$

где n и n_0 - число извлекаемых металлов; C_{ri} и $C_{\text{ори}}$ - содержание i -го металла, извлекаемого в раствор, %; ε_{ri} и $\varepsilon_{\text{ори}}$ - извлечение i -го металла в раствор, доли ед.; ε_{zi} и $\varepsilon_{\text{зби}}$ - извлечение i -го металла из раствора, доли ед.; $Ц_{mi}$ и $Ц_{\text{мби}}$ - цена i -го металла, извлекаемого из раствора, ден. ед./т.

Затраты на подготовку запасов к выщелачиванию, извлечение в раствор, транспортировку до завода и переработку на заводе, в расчете на 1 т разрабатываемых запасов методами выщелачивания, ден. ед./т

$$C_{ДГ} = C_{\text{под}} + C_{\text{выщ}} + K_p (C_{\text{тр}} + C_{\text{зс}}),$$

где $C_{\text{под}}$ - затраты на подготовку к выщелачиванию, ден. ед./т; $C_{\text{выщ}}$ - затраты на выщелачивание металлов из 1 т запасов, ден. ед./т; K_p - коэффициент выхода продукции при разработке 1 т запасов, доли ед.; $C_{\text{тр}}$ - затраты на транспортировку до завода, ден. ед./т; $C_{\text{зс}}$ - затраты на переработку на заводе, ден. ед./т.

Затраты на получение продукта добычи и переработки, ден. ед./м³

$$C = C_m + C_3 + C + C_m,$$

где C_m, C_3, C, C_m - соответственно, удельные затраты, ден. ед./м³, на материалы, энергию, заработную плату, транспорт.

Полная стоимость продукта

$$C = K_m \{C_{\text{д}} + [C_c + C_n (1 - K)]\} + K_3 \cdot C_3 + K_3 \cdot C + K_m \cdot C_m,$$

где K_m, K_3, K_3, K_m - коэффициенты затрат на материалы, энергию, заработную плату и транспорт, доли ед.

Применение технологий выщелачивания позволяет извлечь, из ранее потерянных запасов до 70-80 % металлов, обеспечивает дополнительный выпуск металлов на 25-30 % и повышает полноту использования недр до уровня, обусловленного современным состоянием науки и техники.

При отбойке горной массы скважинными зарядами в твердых горных породах с заданным качеством дробления и выходом негабарита не более 5 % коэффициент сближения, расстояние между скважинами и линия наименьшего сопротивления является функцией диаметра скважин.

Объем компенсационного пространства при подготовке руды к выщелачиванию составляет не менее 4-7% объема блока.

Обеспечение нормального процесса выщелачивания с достаточной полнотой извлечения, достигается при коэффициенте разрыхления 1,15-1,18.

Расположение компенсационной щели определяется из условий максимально допустимого расстояния от щели до последнего ряда взрывных скважин блока и принимается не более 25 м, а ширина компенсационной щели - не менее 5 м.

Лучшая полнота извлечения обеспечивается при дроблении руды до 150 мм [10].

Обоснование оптимальных технологий подземной разработки металлических руд осуществляется на основе системного анализа при рассмотрении во взаимосвязи всех этапов технологической схемы добычи и переработки, начиная от разведки запасов до реализации продукции, включая геотехнологические способы переработки потерянных руд с учетом возможного снижения воздействия горных работ на окружающую среду.

Выводы и рекомендации. 1. Перспективы развития горнодобывающих предприятий России во многом зависят от успеха реализации технологической диверсификации горного производства в форме конверсии технологий разработки месторождений и переходе от открытого способа на подземный.

2. Заслуживает внимания направление изготовление закладочных смесей с заменой дорогостоящего и дефицитного промышленных вяжущих и природных заполнителей техногенными компонентами после извлечения из них металлов.

3. Важным и перспективным направлением извлечения металлов из хвостов обогащения является механохимическая активация их в аппаратах, где выщелачивающий раствор запрессовывается в образующиеся трещины, и извлечение металлов происходит одновременно с разрушением кристаллов.

5. Важным направлением является создание и разработка современных комплексных безотходных замкнутых систем разработки месторождений при получения конечных продуктов переработки.

6. Комбинирование традиционных и инновационных технологий представляет собой новое направление охраны недр и природных систем при нарастающем воздействии горных работ на окружающую природную среду.

Список литературы

1. Голик В.И., Комащенко В.И., Леонов И.В. Горное дело и окружающая среда - М.: Академический проект. Культура, 2011.С.-235.
2. Комащенко В.И., Голик В.И., Дребенштедт К. Влияние деятельности геолого-разведочной и горнодобывающей промышленности на окружающую среду - М.: КДУ, 2010.С-556.
3. Молчанов В.И., Селезнева О.Г., Жирнов Б.Н. Активация минералов при измельчении. - М.: Недра, 1988 г.
4. Исмаилов Т.Т. Комащенко В.И., Голик В.И., Техногенное воздействие на природно-технические геосистемы. - М.: ГИАБ. 2009. №4. - С. 45-52.
5. Голик В.И., Комащенко В.И., Страданченко С.Г., Масленников С.А. Механо-химико-активационная технология извлечения металлов из скальных руд.- М.: ГИАБ. №9.2012.С. 14-20.
6. Комащенко В.И., Ерохин И.В. Техногенное воздействие процессов добычи и переработки руд на природно-технические геосистемы окружающей среды. Труды -V Международная научная конференция. «Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России и сопредельных странах», г. Белгород, 2013 года. - С. 73-78.
7. Ракишев Б.Р., Сиваракша Д.М., Молдабаев С.К., Шулаева Н.А. Стратегия снижения риска опасного загрязнения окружающей среды на открытых разработках // Горный журнал Казахстана, 2010. - № 6. – С. 36-
8. Голик В.И., Комащенко В.И., Заалишвили В.Б. Способ извлечения металлов из хвостов обогащения. Патент № 2011105254/02(007422) от 25 мая 2012.
9. Golik V.I., Komashchenko V.I., Rasorenov Y.I. Activation of Technogenic Resources in Disintegrators. DC 10.1007/978-3-319-02678-7_107, Springer International Publishing Switzerland, 2013.
10. Ляшенко В.И., Голик В.И. Природоохранные технологии подземной разработки урановых месторождений // Горный журнал. 2006. №2. С.89-92.

Рукопись поступила в редакцию 20.03.15