УДК 622.342

А.Е.ВОРОБЬЕВ

Российский университет дружбы народов, г.Москва

КОМПЛЕКСНОЕ ОСВОЕНИЕ РЕЗЕРВНЫХ И ЗАБАЛАНСОВЫХ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЙ СТРАТЕГИЧЕСКИ ВАЖНОГО МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ НА ОСНОВЕ ИХ ГЛУБОКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ МЕТОДАМИ ФИЗИЧЕСКИХ, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ И БИОХИМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Обоснованы критерии и предложена методика разработки экологически чистых технологий комплексного освоения убогих и забалансовых месторождений методами геотехнологии. Описаны принципы создания природоохранных технологий комплексного освоения месторождений стратегически важного минерального сырья на основе их глубокой переработки.

Criteria were proved and the technique of construction of principles of creation of non-polluting technologies of complex development poor and забалансовых deposits is developed by methods of geotechnology. The principles necessary for creation of nature protection technologies of complex development of deposits of strategically important mineral raw material on the basis of their deep processing are described.

Горная промышленность была и все еще остается высокоотходной отраслью. Данное обстоятельство обусловлено как существенным ухудшением горно-геологических условий большинства известных месторождений полезных ископаемых, так и определенной ограниченностью применяющихся технологий разработки и переработки полезного ископаемого. Вследствие отработки наиболее благоприятных для освоения месторождений содержание металлов в рудах неуклонно снижается. За последние 35 лет бортовое содержание железа в рудах снизилось в 2 раза, меди в 2,5, свинца в 4,5, а некоторых редких и благородных металлов в 6-8 раз. С этим связана необходимость извлечения и переработки все больших объемов георесурсов, что существенно ограничивает эффективность применения подземной или открытой разработки месторождений полезных ископаемых, а также классических способов обогащения извлекаемого из них минерального сырья.

Полному использованию всего извлекаемого из недр минерального сырья (полезных ископаемых и вмещающих пород) препятствует частая удаленность горных предприятий от центров проживания основной части населения России, где его отходы могли бы быть использованы в строительной индустрии. К тому же традиционные горные технологии добычи полезных ископаемых из литосферы и получения из них первичной продукции в настоящее время приблизились к пределу своего развития и

совершенствования при экстенсивном подходе к недропользованию.

Решение данной проблемы требует правильного выбора и применения основных принципов формирования эффективных горных технологий (см. таблицу), описываемых набором определенных критериев и коэффициентов. Как видно, оценку предлагаемой технологии необходимо проводить по нескольким критериям. Вместе с тем для определения оптимума может быть использован только один критерий, поскольку нельзя обеспечить одновременно, например, минимум затрат, максимум надежности, минимум потребляемой энергии и т.д. Какой-либо из критериев должен выступать в качестве характеристической меры (первичный критерий), а остальные (вторичные) служить в качестве ограничений оптимизации в соответствующих диапазонах изменения от минимального до максимально приемлемого значения.

Основные принципы формирования эффективных горных технологий

Принцип	Физический смысл принципа	Базовый критерий формирования технологии	Базовый коэффициент
Выбор процессов в зависимости от минерального сырья	Соответствие возможностей технологии характеристикам минерального сырья	Технологический	Использования оборудования
Комплексный подход к минеральному сырью	Использование всех полезных свойств минерального сырья	Технологический	Извлечения минерального сырья; комплексности переработки минерального сырья
Отходы одних переделов как сырье для других	Использование отходов в смежных отраслях	Экологический	Утилизации отходов; предельно допустимых выбросов
Мультипликативности	Использование определенных свойств сырья в нескольких направлениях	Экономический	Периода эксплуатации месторождения

На следующем этапе постановки задачи необходимо построить модель, которая описывает взаимосвязи между независимыми переменными и с помощью коэффициентов отражает их влияние на степень достижения цели, определяемой характеристическим критерием. Эти коэффициенты различным образом влияют на общий коэффициент комплексности использования минерального сырья, и оптимальное соотношение этих коэффициентов описывает семейство оптимальных решений для данного производства.

Под комплексностью следует понимать оптимальное соотношение экономических, экологических и технологических факторов производства по извлечению помимо основного полезного компонента (ПК), максимального количества дополнительных ПК и их дальнейшее использование.

Комплексность использования минерального сырья в итоге определяется совокупностью ряда критериев, которые образуют в некой области оптимальных значений объемную поверхность, которая содержит весь набор возможных вариантов решений. Решение для конкретного варианта находится посредством наложения ограничений на выбранные критерии и нахождения их оптимального значения в данной области.

Наиболее важной задачей технологии комплексного освоения минерального сырья является обязательное объединение различных принципов формирования эффективных горных технологий (см. таблицу) в один, предложенный А.Е.Воробьевым и получивший название принципа мультипликативности.

На основе такой идеологии нами была разработана безотходная (если не считать возникающие энергетические, шумовые и другие волны отходами) технология переработки золотосодержащего сырья. При использовании в его подготовке едкого калия создаются предпосылки одновременного

получения попутного товарного продукта в виде сульфата калия, являющегося дефицитным бесхлоридным удобрением.

Калий – элемент, без которого невозможно нормальное развитие растений. При недостатке калия в почве уменьшается их стойкость к заболеваниям. Несмотря на ряд достоинств, используемый для этих целей хлористый калий неблагоприятно влияет на некоторые культуры (картофель, виноград, цитрусовые, гречиха, табак, некоторые виды плодовых, цветы и др.) из-за наличия в нем хлора, которое отрицательно сказывается на качестве продукции.

Для этих культур наилучшим удобрением является сульфат калия. На основании многолетних широких исследований и практики применения удобрений определены прибавки урожая при внесении 1 кг питательного вещества (N, P_2O_5, K_2O) в удобрениях. Так при внесении 1 т K_2O при возделывании, например, картофеля прибавка урожая составляет 40-50 т. Окупаемость каждого рубля, затраченного на применение минеральных удобрений, составляет по картофелю более 5 руб.

В нашей технологии автоклавного окисления можно использовать щелочь низшего качества и соответственно более дешевую. Так, при использовании щелочи по цене 200 долларов за 1 т и ее удельном расходе с учетом регенерации 300 кг на 1 т концентрата, в себестоимости 1 г извлеченного золота (при содержании золота 60 г/т) затраты на щелочь составят 1,4 доллара.

Сульфат калия для сельского хозяйства по ТУ-6-12-14-74 должен содержать 46±1 % K_2O. Сульфат калия удобрительный I сорта должен содержать не менее 50 % K_2O. Для оценки качества утилизируемой соли сульфата калия в качестве щелочного раствора в процессе автоклавного окисления концентрата использовался едкий калий. Автоклавное выщелачивание проводилось в следующем режиме: давление 14 атм, удельный расход КОН 560 кг/т концентрата, температура 90 °С, продолжительность 20 ч, соотношение твердого к жидкому 1 : 5.

Полнота извлечения мышьяка достигала 93,75 %, серы – 96,86 %. Концентрация мышьяка в щелоке составила 5,55 г/л, K_2CO_3 – 28,95 %, КОН – следы. Осаждение мышьяка проводилось с использованием извести в стехиометрическом количестве на связывание мышьяка в арсенат кальция и перевода K_2CO_3 в $CaCO_3$. Известкование проведено в следующем режиме: давление 14 атм, температура 140 °С, продолжительность 2 ч. Пульпа после известкования была расфильтрована. Состав полученного фильтрата, г/л: As 0,008, КОН 29,4, K_2SO_3 2,07. Кек содержал 22,6 % As и 6 % калия. В данном режиме полнота осаждения As получена на уровне 99,85 %. После известковой обработки полученного фильтрата проведено последовательное высаливание сульфата калия упариванием. После упаривания сульфата в 2 раза концентрация КОН и K_2CO_3 в растворе составила 55,4 и 12,4 г/л соответственно. Кристаллы сульфата калия имели состав по калию в пересчете на K_2O 54 %, по содержанию мышьяка 0,0034 %. На этой операции из раствора выведено 78 % сульфата калия. При последующем упаривании сульфата до концентрации 85,7 г/л КОН и 28,9 г/л K_2CO_3 выпавшие кристаллы сульфата содержали 54 % K_2O и 0,0087 % As.

Таким образом, показана принципиальная возможность получения попутного продукта в виде утилизированного сульфата калия с содержанием K_2O, близким к его содержанию в чистом сульфате калия (54,06 %).