

УДК 622.822:622.271

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЗОЛОТОДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ НА ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ РЕГИОНОВ И ПУТИ ЕЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

Канд. техн. наук А. Б. Бегалинов

*Предложен комплекс мер позволяющих оптимизировать размеры используемых земельных угодий и существенно уменьшить техногенную нагрузку на окружающую среду от воздействия отвалов вскрышных пород и рудных материалов в горнодобывающей промышленности.*

В настоящее время в золотодобывающей и смежных отраслях сложилась крайне тяжелая ситуация, а способы добычи и переработки сырья не соответствуют современным техническим, экономическим и экологическим требованиям.

Добыча золотосодержащих руд в Казахстане ведется примерно в соотношении 40 - 45 % подземным и 55 - 60 % открытым способами. В связи с относительной дороговизной и большей трудоемкостью подземной добычи руд сейчас намечается увеличение добычи золотосодержащих руд открытым способом. В процессе добычи руд подземным способом возникают пустоты в литосфере в виде подземных горных выработок, которые в силу особенности системы разработок месторождения не закладываются. Ведется интенсивная откачка подземных вод, создавая депрессионные воронки. При отбойке горной массы, проведении горных выработок и добыче золотосодержащих руд образуются пыль и газы. При определенных размерах пустот и глубине их расположения возникает опасность высокой концентрации напряжений в зонах опорного давления и повышенной опасности возникновения горных ударов, а также угроза выхода на поверхность провалов и воронок, сдвигания блоков по контактам тектони-

ческих нарушений и значительного оседания земной поверхности. Одним из серьезных факторов воздействия на экологическую обстановку в районе добычи становится процесс осушения месторождений, отвод, накопление и нейтрализация рудничных вод. При откачке рудничных вод понижаются уровни водоносных горизонтов, развиваются обширные воронки депрессии, нарушается сложившееся взаимодействие поверхностных и подземных вод.

Рудничные воды содержат высокую концентрацию металлов, в основном тяжелых (кадмий, ртуть, медь). Она может достигать сотен миллиграммов на кубометр воды вместе с другими металлами; железом, мышьяком и т.д. присутствующих в таких же высоких концентрациях. Поэтому размещение и нейтрализация сточных вод вызывает определенные трудности.

Более предпочтительный с точки зрения экономики открытый способ также несет за собой целый шлейф экологических проблем. Открытые горные работы сопровождаются изъятием из оборота огромных по размерам в сравнении с подземным способом добычи, земельных площадей. Например, при добыче золотосодержащих руд средний коэффициент вскрытия составляет  $3,4 \text{ м}^3$  на одну тонну руды, с учетом коэффициента разрыхления  $1,2 - 1,5$ . При этом на поверхности земли складывается в виде отвала пустых пород и некондиционных руд  $4,08 - 5,1 \text{ м}^3$  или, другими словами, при добыче  $100 \text{ т}$  руды образуются отвалы объемом  $408 - 510 \text{ м}^3$ .

Складирование твердых отходов горного производства вызывает значительное отторжение земельных угодий, необходимых для нужд хозяйства. Кроме того, оно вызывает неблагоприятные гидрогеологические и геохимические изменения, происходит интенсивное загрязнение почвы, водоемов и воздушного бассейна. Последствия, связанные с нарушением окружающей среды, сказываются еще длительное время после завершения горных работ, что приводит к ухудшению санитарно-гигиенических условий и оказывает отрицательное влияние на здоровье людей, снижает продуктивность животного и растительного мира. При разработке месторождений золотосодержащих руд открытым способом площадь горного отвода зависит от предельной глубины карьера, с этим связаны, в свою очередь, объемы вскрышных работ и транспортных систем доставки горной массы.

Предельная глубина карьера рассчитывается исходя из экономической целесообразности границы разработок.

При этом одним из важных факторов является обоснование устойчивости бортов, карьеров и отвалов. В зависимости от геометрических размеров карьера (глубина, ширина и длина карьерного поля) изменение даже на  $1^\circ$  угла наклона борта карьера дает увеличение или уменьшение объемов горных работ от сотни тысяч до нескольких миллионов кубических метров. Поэтому при проектировании бортов карьера в процессе проектирования необходимо решить три основные задачи: обеспечение устойчивости обнаженных горных пород, рациональное расположение транспортных коммуникаций и минимум выемки пустых пород.

Отвальное хозяйство при горных разработках является одним из главных источников экологических нарушений. Вскрышные породы и рудные материалы, складированные в отвалах без специальных мер предупреждения окисления, подвергаются естественному выщелачиванию и химически активные элементы растворяясь загрязняют почву, водные бассейны, а также в отдельных случаях атмосферу. Механическое нарушение почв происходит в основном при длительном не использовании отвалов, образующих в результате ветровой эрозии пылевидные загрязнения. Загрязнение окружающей среды пылью, поднимаемой ветром с отвалов, представляет особую проблему в районах полупустынь и пустынь (аридная зона), где и расположены в основном большинство золоторудных предприятий Казахстана. Установлено, что пыль размером 100 мкм поднимается с места пылеобразования и переносится на расстояние 250 м при скорости ветра около 5 м/с и на расстояние более 800 - 1000 метров при скорости ветра около 9 м/с. При этом скорость осаждения минеральных частиц размером 100 мкм составляет 0,3 м/с, а 1 мкм - 30 м/с, т.е. особо опасная мелкодисперсная пыль загрязняет воздух в течении недель и месяцев. Большинство твердых отходов, образующихся при разработке золоторудных месторождений, содержат сульфиды (пирит, халькопирит, арсенопирит и т.д.). В результате осаждения частиц и попадания их во влажную и водную среду происходит кислотное заражение окружающей среды. Просачиваясь через отвалы и стекая по их откосам, поверхностные воды в результате выщелачивания сульфидов увеличивают свою кислотность и обогащаются желе-

зом, медью, никелем, кальцием, сульфатами и другими веществами. Эти токсичные для многих организмов воды загрязняют окрестные ручьи, реки, водоемы и подземные воды. Несмотря на то, что в большинстве случаев после отвальных образований среда отвалов может быть щелочной, по истечении 5 - 6 лет, в результате упомянутых выше процессов окисления, pH снижается до 2 - 3 и тело отвалов превращается в кислую среду.

Следует отметить, что развитию ветровой эрозии способствует понижение уровня грунтовых руд и осушение окружающей территории вследствие углубления открытых разработок. Зона действия депрессионной воронки вокруг карьера глубиной 200 - 250 м простирается на десятки километров. Таким образом, отвалы пустых пород и склады некондиционных руд представляют серьезную угрозу окружающей среде. Золотосодержащей руде почти повсеместно сопутствуют медь, свинец, цинк, сера, железо, мышьяк и другие элементы. Тонкая ассоциация золота в пиритах и арсенопиритах и взаимное прорастание минералов в комплексных сульфидных рудах Казахстана всегда таили в себе серьезную экологическую опасность при разработке и реализации технологии их переработки. Не менее сложные экологические проблемы имеют место в республике из-за наличия в руде повышенного содержания мышьяка. Сказанное подтверждается следующими примерами. Акционерное общество "Казахалтын", на долю которого приходилось 47,7 % всей добычи золота, производимого золотодобывающими предприятиями Казахстана, применяя традиционные технологии выпускало продукцию в основном в виде относительно бедных по золоту золотосодержащих флотоконцентратов. При этом обогатительные фабрики сбрасывали и продолжают сбрасывать в хвостохранилище 92,7 % твердой массы от объемов перерабатываемых руд с содержанием золота 0,75 - 1,25 г/т. С отходами фабрик в хвостохранилища попадает целый букет остатков химических реагентов (ртуть, нитрат натрия, сода кальцинированная, ксантогенат калия и т.п.). Хвосты Жолымбетской обогатительной фабрики дополнительно загрязнены цианидами и известью. Количество попадающих вредных веществ исчисляется ежегодно тоннами. Кроме того, в процессе обогащения руд кварцево-жильного типа (Казахалтын, Акбакай и др.) полностью теряются такие ценные минералы, как сера и железо.

При добыче и переработке комплексных руд (типа Майканин) по существующим технологиям извлечение основных полезных компонентов (Au, Ag, Cu, Zn) не превышает 50 %, а другие элементы вообще не берутся в расчет. Богатые золото-мышьяковистые углистые руды минерализованных зон (Бакырчик, Большевик и др.) из-за отсутствия высокоэффективной технологии переработок в течение десятков лет не осваиваются. Существовавшая до последнего времени система размещения горно-металлургических комплексов основывалась на положениях плановой экономики и была сориентирована на директивные формы управления производством, за счет чего в основном преодолевались упомянутые выше экологические проблемы.

При этом часть экологических проблем из сырьевых отраслей передавалась по эстафете на металлургические предприятия республики. Так, с акционерное общество "Казахалтын" на Балхашский горно-металлургический комбинат и Усть-Каменогорский свинцово-цинковый комбинат с золотосодержащими концентратами поступало ежегодно 2128,8 т мышьяка, 11881,4 т серы и более 10 т железа. Степень утилизации серы в серную кислоту на Балхашском горно-металлургическом комбинате не превышает 60 % от исходного продукта, оставшиеся 40 % выбрасываются с отходящими газами в атмосферу в виде сернистого ангидрида, что составляет более 4,5 т в пересчете на элементарную серу. Один из ценных компонентов сырья - железо безвозвратно уходит со шлаками металлургического передела в отвал. Большую озабоченность у металлургов вызывает возрастающая проблема обезвреживания и вывода мышьяка из процессов. Большие запасы золота в Казахстане сосредоточены на месторождениях, сложенных окисленными золотосодержащими рудами и в россыпях. Применительно к этим видам сырья в мировой практике склоняются к использованию методов геотехнологии (кучное и подземное выщелачивание).

Основным методом гидрометаллургического и геотехнологического извлечения благородных металлов остается пока цианирование. Однако цианистая технология обладает рядом существенных недостатков: высокая токсичность процесса цианистого растворения; относительно невысокая скорость растворения золота и серебра, непригодность для переработки сурьмянистых, медистых, марганцевистых, углистых руд и сульфидных концентратов, необходимость обез-

преживания сбросных растворов. Особенно противопоказана цианистая технология к методам подземного выщелачивания золота. Указанные недостатки цианистого процесса вынуждают проводить поиски других селективных растворителей золота.

В данный момент наиболее известны следующие заменители цианистого процесса: тиокарбонидное выщелачивание; гидрохлорирование; тиосульфатное выщелачивание; выщелачивание органическими растворителями (соли гуминовой и гумусовых кислот, ацилтонциангидрин, щелочные гидролизаты дрожжей и т.д.).

Из перечисленных растворителей практическое значение в последнее время приобретает тиосульфатное выщелачивание. Тиокарбонид чрезвычайно дорог и дефицитен. Хлор, наряду с высокой стоимостью и коррозионной агрессивностью, неприменим из экологических соображений. Другие растворители представляют пока теоретический интерес и не вышли за пределы лабораторных исследований. Тиосульфатное выщелачивание имеет очевидные преимущества как по технологическим так и экологическим критериям. Принципиально тиосульфатная технология переработки золотосодержащего сырья не является новой. В этом направлении работы ведутся во многих странах мира. Промышленное использование метода сдерживается пока дороговизной тиосульфатных реагентов. Забегая вперед скажем, что автору данной работы с группой специалистов удалось успешно решить задачу получения дешевого тиосульфатного растворителя при санитарной очистке газов от сернистого ангидрида, совместив этот процесс с новой технологией комплексной переработки золотосодержащих тиосульфатных материалов в едином технологическом цикле с максимальной утилизацией всех полезных компонентов сырья и выпуском целой гаммы высокотоварной ценной химической и металлургической продукции. Таким образом, приведенный выше анализ работы золотодобывающей отрасли промышленности показывает, что эта отрасль представляет серьезную экологическую угрозу не только в сфере своей непосредственной деятельности, но и в ряде смежных отраслей промышленности. Автор на основе большого личного опыта работы в этой сфере предлагает некоторые пути решения упомянутых проблем. Уменьшение размера отторгасмых земельных угодий, как уже сказано выше, зависит от геометрических размеров карьеров, объемов вскрышных работ, выбора места расположения

отвалов, техники и технологии отвалообразования, а так же инженерного обоснования оптимальной высоты отвалов. Автор данной работы на протяжении многих лет совместно с научно-проектными организациями занимался вопросами устойчивости бортов карьеров и откосов отвалов и рекультивации нарушенных открытыми горными работами земель. В наших разработках [3] приведены результаты исследования физико-механических свойств горных пород и структуры прибортовых массивов, методы расчета устойчивости откосов, мероприятия по обеспечению устойчивости откосов уступов на проектных контурах и т.д. Комплекс мер, разработанных на базе исследований и расчетов [3, 4] позволяет уже на стадии проектирования оптимизировать решение по уменьшению размеров используемых земельных угодий и существенно уменьшить техногенную нагрузку на окружающую среду от воздействия отвалов вскрышных пород и рудных материалов.

Одним из основных перспективных направлений увеличения объема производства золота является переработка окисленных низкосортных золотосодержащих руд и техногенно - минеральных образований (ТМО) методом кучного выщелачивания. Переработка ТМО в качестве золотосодержащего сырья имеет экономико-экологическую значимость и, в том числе, обеспечивает возвращение площадей ранее занятых под отвалы твердых техногенно-минеральных образований, а разработка ТМО, накопленных в хвостохранилищах, создает возможность возврата занятых под ними земель или же повторного использования освободившуюся их часть по назначению, не отчуждая новые площади. В некоторых случаях возникает реальная возможность использования отработанных карьеров для укладки штабелей при выщелачивании руд. Например: при разработке месторождения "Карьерное" нам удалось за счет оптимизации параметров кучи (выщелачиваемых штабелей) используя только 10 га земли, полностью освободить большие площади земли ранее занятые складами техногенно-минеральных образований.

С технологической точки зрения каждый вид сырья требует к себе строго индивидуального подхода. Тем не менее, исходя из анализа известных, а также предложенных нами в последнее время принципиально новых технологических решений золотосодержащее сырье можно объединить в следующие группы: комплексные сульфидные руды; пиритные концентраты и промпродукты; окисленные руды

кор выветривания и россыпи. Применительно к извлечению золота из всех этих видов сырья нами успешно использован аммиачно-тиосульфатный метод. Технологические исследования в этом направлении выполнены автором данной работы с группой ведущих специалистов Казахстана [ 1, 2].

Аммиачно-тиосульфатный метод успешно опробован нами в опытно-промышленных условиях на реальных наиболее упорных сульфидных углесто-мышьяковистых золотосодержащих концентратах месторождения Бақырчик (такие руды составляют 20 % от общего промышленного запаса золота Республики Казахстан). Эта технология позволяет успешно решить также задачу переработки золотосодержащих пиритных концентратов и промышленных продуктов. Этот вид сырья в большом количестве уже накоплен в отвалах действующих золотоизвлекательных фабрик и на фабриках цветной и черной металлургии (Майкаинзолото, Соколовско-Сарыбайское горно - производственное объединение, Лениногорский полиметаллический комбинат и др.) и продолжает поступать в хвостохранилища действующих предприятий. В случае необходимости при обогащении его можно легко выделить в виде отдельного товарного продукта из многих видов комплексного рудного сырья.

Более подробно остановимся на примере использования этого метода при переработке комплексного рудного сырья, которое на сегодняшний день является наиболее серьезным источником загрязнения окружающей среды сопровождаемое большими потерями минералов. Применительно к большому классу сульфидных комплексных руд месторождений типа Риддер-Сокольское, Майкаин, Абыз и др. традиционно используемая коллективно-селективная схема переработки, как было сказано выше, ведет к большим потерям металлов (до 40-50 %) на стадии селективной флотации минералов. Идея отказа от селективной флотации в пользу пиро- или гидрометаллургической переработки коллективных концентратов существует давно. Однако в пиропроцессах не удалось до конца решить удовлетворительно проблему утилизации серы. В гидрометаллургических процессах не удалось преодолеть трудности аппаратурного оформления. В этом случае довольно громоздкая капиталоемкая цепь аппаратов осложнилась дополнительно необходимостью создания специальной автоклавной техники, работающей в жестких условиях по температуре, давлению и



агрессивности реакционной среды. Нами была предложена эффективная комбинированная технология переработки комплексных сульфидных руд, в которой удалось в основном преодолеть упомянутые выше недостатки применяемых пирометаллургических процессов. Технология разработана в первую очередь применительно к рудам месторождения Майкаин. Однако она применима также к обширному классу подобных руд Казахстана. Основные элементы технологии прошли опытно-промышленную проверку на площадке Целинного горно-металлургического комбината, где она может быть легко адаптирована с использованием свободных мощностей химического завода. Технология предусматривает получение из руды коллективного сульфидного концентрата с высоким извлечением (90 % и выше) цветных металлов и золота. Полученный коллективный концентрат подвергают окислительному обжигу при  $t = 750^{\circ} \text{C}$  в печах кипящего слоя. В этом режиме цветные металлы селективно переходят в раствор в виде сульфатных соединений, а железо остается при выщелачивании огарка в кеке в виде гематита. Цветные металлы из раствора последовательно осаждают в виде сульфидных соединений с помощью известково-серного отвара, который готовят путем растворения серы в известковом молоке. Железный кек после выщелачивания, в котором остается основная масса золота, подвергают тиосульфатному выщелачиванию.

Золото из раствора извлекают известными стандартными приемами и выпускают в виде сплава Доре, а кеки после фильтрации реализуют на предприятия черной металлургии для извлечения железа. Газы этих обжиговых переделов поступают в промывные отделения, где их обрабатывают пульпой из некондиционных марганцевых концентратов. При этом марганец восстанавливаясь сернистым газом из четырехвалентного состояния до двухвалентного переходит в раствор. Раствор увлекает с собой из газов вредные примеси (твердые взвеси, мышьяк и др.) и стабилизирует водный баланс системы, что позволяет из очистившихся таким путем газов получать дальше по схеме улучшенные сорта серной кислоты и олеум, пользующиеся спросом у потребителей. При санитарной очистке газов серноокислотного производства аммиаком на заключительной стадии процесса получают сульфит-бисульфит аммония, который затем легко трансформируется в тиосульфат аммония (реагент для извлечения золота),

а избыток может быть переработан на ценное удобрение -сульфат аммония. Из раствора, полученного при промывке газов простейшими призмами выделяют высокосортный марганцевый концентрат, а при более глубокой переработке целую гамму дефицитных химических продуктов (карбонат, оксид, диоксид) и другие соединения марганца, вплоть до металлического марганца. Достоинство предложенной схемы заключается прежде всего в том, что она без больших дополнительных затрат легко вписывается в действующие химические и металлургические производства и предусматривает использование рядовой химической и металлургической аппаратуры с наибольшей эффективностью (таблица). На основе предлагаемой технологии наиболее эффективной может стать кооперация бездействующих ныне предприятий Целинный горно-химический комбинат и Майкаинзолото с привлечением в переработку дополнительно продукции акционерного общества "Казахалтын" и акционерного общества "Казахмарганец". Выделим основные элементы новизны, обеспечивающие экономический и экологический выигрыш при использовании предлагаемой технологии:

- оригинальные режимы обжига продукта, обеспечивающие разделение цветных металлов от общей массы железа в голове процесса;

- марганцевая промывка сернистых газов на выходе из обжиговых печей, что позволило повысить товарность сернокислотной продукции, открыв путь к ее сбыту и получив попутно товарные марганцевые соединения;

- тиосульфатное выщелачивание золота из железных кеков с использованием дешевого экологически чистого собственного реагента вместо токсичного и дорогого цианида натрия.

С точки зрения экологического эффекта в актив данной технологии можно включить:

- снижение объема отвалообразующих продуктов за счет увеличения извлечения в товарную продукцию цветных металлов золота, железа и серы;

- улучшение товарной ценности сернокислотной продукции, что позволяет организовать ее сбыт и снизить экологическую нагрузку на водный и воздушный бассейны;

- замена ядовитых цианистых соединений при извлечении золота на экологически чистые тиосульфаты.

Таблица

Удельный вес утилизированных полезных компонентов из отходов при переработке исходного материала в тоннах

Исходный материал	По традиционной технологии			По предлагаемой технологии		
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>
Некондиционный пиритный концентрат	0,7514		0,7514	0,7514	0,689	0,616
Низкосортный флотационный марганцевый концентрат	0,3		0,3	0,3	0,285	0,015
Золотосодержащий флотоконцентрат рудника "Бестюбе"	0,2581	0,0342	0,2238	0,2581	0,233	0,0251
Золотосодержащий флотоконцентрат рудника "Аксу"	0,347	0,0496	0,2974	0,347	0,3048	0,0322
Золотосодержащий флотоконцентрат рудника "Жолымбет"	0,2891	0,0304	0,2587	0,2891	0,2578	0,0312
Комплексная сульфидная руда месторождения "Майкаин-В"	0,709	0,149	0,56	0,742	0,676	0,067

Примечание: A<sub>1</sub> - общее количество полезного компонента;

A<sub>2</sub> - извлеченный полезный компонент;

A<sub>3</sub> - отходы полезного компонента.

Простота, надежность и возможность легкой адаптации предлагаемой технологии к условиям действующих металлургических заводов Казахстана указывает на реальную возможность и необходимость внедрения этой технологии на строящихся и действующих предприятиях республики без крупных капитальных вложений.

Это подтверждается выполненными нами расчетами по загрузке химического завода Целинного горно-химического комбината в г. Степногорске промышленными продуктами Акционерного общества "Казахалтын", Акционерного общества "Майкаинский горно-обогатительного комбината" и Акционерного общества "Казахмарганец". Для анализа и выбора наиболее эффективного варианта работы завода нами выполнены эколого-экономические расчеты по пяти вариантам его загрузки. Полученные данные говорят о высокой экономической и экологической эффективности всех пяти вариантов. Выбор того или иного варианта зависит от конкретно поставленных целей. Сравнительный степень утилизации полезных компонентов также приведена в таблице. Среди всех новых технологических приемов, использованных нами для переработки упорных и сложных видов золотосодержащего сырья, мы безусловно отдаем приоритет аммиачно-тиосульфатному выщелачиванию, обеспечивающему наиболее высокий вклад в дело повышения экономической и экологической эффективности применяемых технологий.

Этот метод использован нами также в проектах освоения месторождений золота в корах выветривания (Жерек) и россыпях (Караултюбе, Юго-Западная Калба).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А. с. № 18149. Республика Казахстан. Способ получения соединений марганца из раствора сульфата марганца /А. Б. Бегалинов, А. П. Яковлев и др. Оpubл. 16.03.98, Бюл. № 2.
2. А. с. № 18724. Республика Казахстан. Способ извлечения золота из углисто-сульфидного сырья /А. Б. Бегалинов, А. П. Яковлев и др. Оpubл. 15.05.98, Бюл. № 2.
3. Бегалинов А. Б., Низаметдинов Ф. К., Окатов Р. П. Обеспечение

устойчивости откосов уступов и бортов карьеров Центрального Казахстана - Караганда: ЦНТИ, 1998. - 54 с.

4. Чулаков П.Ч., Бегалинов А. Б., Калыбеков Т. Интенсификация рекультивации нарушенных открытыми способами горными работами земель. - Алматы: Гылым, 1994. - 172 с.

Закрытое акционерное общество "Инвестиционная промышленная компания Orient Gold"

### АЛТЫН ШЫҒАРУ САЛАСЫНЫҢ АЛҚАПТАРДЫҢ ЭКОЛОГИЯЛЫҚ КҮЙІНЕ ӘСЕР ЕТУІН БАҒАЛАУ ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ ҚАУІПСІЗДІК ЖОЛДАРЫН ЖЕТІЛДІРУ

Техн.ғ. канд.      А. Б. Бегалинов

Пайдалы қазба өндірісінде іске пайдаланып жатқан жерлердің көлемдерін үйлесімге келтіру, қоршаған ортаға кен шығатын жерлердің бетін ашу процессінің және кендердің техногендік әсерлерін кеміту үшін комплекстік тәсілдер ұсынылған.