

УДК 504.55.054:622(470.6)

КОНЦЕПЦИЯ МОДЕРНИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ ПОДЗЕМНОЙ ДОБЫЧИ РУД**Владимир И. Голик^{1, @}, Вячеслав Х. Дзапаров², Георгий З. Харебов²**¹ Владикавказский научный центр РАН, Россия, 362027, г. Владикавказ, ул. Маркуса, 22² Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), Россия, 362021, г. Владикавказ, ул. Николаева, 44

@v.i.golik@mail.ru

Поступила в редакцию 03.10.2017. Принята к печати 09.11.2017.

Ключевые слова: месторождение, руда, конверсия, способ разработки, выщелачивание, металл.**Аннотация:** Статья посвящена вопросам конверсии горных предприятий с открытого способа разработки рудных месторождений на подземный способ разработки.*Целью работы* является регламентация основных этапов подготовки горного производства к диверсификации добычи и переработки руд.*Методология исследования* включает в себя критический анализ теории и практики производственных процессов, разработку рекомендаций и обоснование эффективности модернизации существующего положения.*Результаты работы.* Дана характеристика способов разработки рудных месторождений с анализом их достоинств и недостатков. Сформулированы особенности современного состояния горнодобывающей промышленности России в условиях рыночной конъюнктуры и ужесточения требований к природопользованию. Пояснена природоохранная и ресурсосберегающая сущность технологии с заполнением выработанного пространства твердеющими закладочными смесями. Дана характеристика технологии с выщелачиванием металлов из руд с акцентом на подземное выщелачивание забалансовых руд в рамках комбинированной по критерию полноты извлечения металлов технологии. Представлены модели эффективности механохимической активации сырья для приготовления твердеющих закладочных смесей и определения прибыли от вовлечения в производство забалансовых руд. Сформулирована концепция управления состоянием рудовмещающих массивов на основе регулирования уровня природных и техногенных напряжений путем заполнения техногенных пустот твердеющими смесями. Охарактеризована концепция производства металлов выщелачиванием и аспекты ее реализации, в том числе извлечение металлов выщелачиванием в дезинтеграторе.*Область применения* результатов включает в себя горнодобывающие и перерабатывающие предприятия, преимущественно цветной металлургии, эксплуатирующие месторождения вскрываемых руд.*Выводы.* Конверсия на подземную разработку месторождений требует освоения технологий с заполнением техногенных пустот твердеющими смесями на основе утилизации хвостов переделов обогащения и металлургии после извлечения из них остаточных металлов методом, например механохимической активации. Комплексная модернизация технологии разработки повышает полноту использования ресурсов недр, способствует оздоровлению экономики горных предприятий и улучшению экологии.**Для цитирования:** Голик В. И., Дзапаров В. Х., Харебов Г. З. Концепция модернизации технологии подземной добычи руд // Вестник Кемеровского государственного университета. Серия: Биологические, технические науки и науки о Земле. 2017. № 2. С. 37–45. DOI:10.21603/2542-2448-2017-2-37-45.

Разработка рудных месторождений как совокупность взаимосвязанных технологических процессов, осуществляемых в пределах отведенного для этих целей участка литосферы в зависимости от условий залегания рудных месторождений и мощности залежей, осуществляется открытым, подземным или комбинированным открыто-подземным способами. По отдельным видам руд используются скважинные технологии [1].

Открытая разработка применяется, если рудное месторождение залегает неглубоко. Подземный способ применяется в случае залегания руд на значительной глубине. Скважинные технологии используются для добычи метал-

лов, способных переходить в жидкое или газообразное состояние в результате специального воздействия.

Большинство крупных предприятий России ведут добычу руд на глубинах свыше 500 м. Например, на месторождениях Норильского промышленного района отработка запасов ведется на глубине до 1,5 км, Горной Шории – на глубине 900 м.

В Канаде руды добывают на глубинах до 2600 м, в США – на глубинах до 3000 м, в Индии – 3500 м, в Южно-Африканской Республике – более 4000 м.

Открытый способ добычи характеризуется высоким уровнем механизации и автоматизации горных работ, большей производительностью труда и меньшими затра-

тами; более безопасными и комфортными условиями труда; более полным извлечением полезного ископаемого и меньшими капитальными затратами на строительство. При этом к недостаткам открытого способа относится выемка значительно превышающих объем руды вскрышных пород; изъятие из пользования значительных площадей земли и изменение ландшафта и гидрологической ситуации в районе добычных работ.

При подземном способе разработки объемы перемещаемых пустых пород по сравнению с открытым способом незначительны и требуют меньших площадей для их размещения, а также обеспечивается сохранность земной поверхности.

Преимущества скважинных технологий заключаются в возможности вскрытия запасов руд для безлюдной отработки в короткое время при сравнительно небольших затратах и минимальном риске в любых горно-геологических условиях. К недостаткам можно отнести ограниченность применения специфическими условиями орудене-

ния и вскрытия, например, растворимых солей, меди, золота, урана [2].

Комбинированным способом разрабатывают мощные месторождения с выходом на земную поверхность.

Горнодобывающая промышленность России развивается в условиях увеличения рыночной конъюнктуры на минерально-сырьевые ресурсы и ужесточения требований к рациональному природопользованию путем использования передовых технологий, оптимизации производства и прироста запасов.

Малая мощность, низкое содержание большинства минеральных запасов и другие обстоятельства ограничивают использование традиционных способов подземной разработки и ослабляют минерально-сырьевую базу предприятий. Минерально-сырьевые ресурсы горных предприятий зависят не только от корректности оценки запасов полезных ископаемых, соблюдения законов в области недропользования, обеспечения безопасности недропользования и добыче сырья с минимизацией ущерба окружа-

Таблица. Примеры нефункционирующих месторождений
Table. Examples of non-functioning deposits

Месторождения	Тип оруденения	Способ разработки	Стадия
Алюминий			
Вежаю-Ворыквинское (Коми)	Полигенный	Открытый	Освоение
Иксинское (Архангельская область)	Осадочный в терригенных толщах	Открытый	
Висловское (Белгородская область)	Латеритный	Подземный	Разведка
Медь			
Подольское (Башкортостан)	Медноколчеданный	Подземный	Освоение
Удоканское (Забайкальский край)	Медистые песчаники	Открытый	
Песчанка (Чукотский АО)	Медно-порфировый	Подземный	
Быстринское (Забайкальский край)	Скарновый медно-магнетитовый	Открытый	
Свинец			
Холоднинское (Бурятия)	Колчеданно-полиметаллический	Подземный	Освоение
Озерное (Бурятия)	Колчеданно-полиметаллический	Открытый	
Корбалихинское (Алтайский край)	Колчеданно-полиметаллический	Подземный	
Садонское (Северная Осетия-Алания)	Колчеданно-полиметаллический	Подземный	Консервация
Цинк			
Холоднинское (Бурятия)	Колчеданно-полиметаллический	Подземный	Освоение
Озерное (Бурятия)	Колчеданно-полиметаллический	Открытый	
Корбалихинское (Алтайский край)	Колчеданно-полиметаллический	Подземный	
Олово			
Правоурмийское (Хабаровский край)	Касситерит-турмалиновый	Подземный	Освоение
Фестивальное (Хабаровский край)	Касситерит-сульфидный	Подземный	
Перевальное (Хабаровский край)	Касситерит-многосульфидный	Открыто-подземный	
Депутатское (Якутия)	Касситерит-турмалиновый	Подземный	Консервация
Вольфрам			
Тырныаузское (Кабардино-Балкария)	Скарновый шеелитовый с молибденом	Открыто-подземный	Консервация
Молибден			
Бугдаинское (Забайкальский край)	Штокверковый молибденовый	Открытый	Освоение
Ореkitканское (Бурятия)	Штокверковый молибденовый	Открыто-подземный	
Мало-Ойногорское (Бурятия)	Штокверковый молибденовый	Открытый	
Титан			
Ярегское (Коми)	Лейкоксен-кварцевые песчаники	Открытый	Освоение
Гремяха (Мурманская область)	Титаномагнетит-ильменитовый	Открыто-подземный	

ющей среде. Приобретается возможность увеличения запасов руд за счет их переоценки с учетом возможностей новых технологий добычи и переработки [3].

Кризис 90-х гг. прошлого века в большей мере коснулся цветной металлургии. Многие предприятия, ранее добывавшие стратегическое сырье, прекратили существование и сейчас находятся в стадии медленного освоения, консервации или восстановления (табл.).

Развитие природоохранных тенденций разработки рудных месторождений подземным способом ставит приоритетным условием сохранение земной поверхности как гаранта сохранности окружающей среды. Этому условию в полной мере отвечают технологии с заполнением выработанного пространства твердеющими закладочными смесями, которые могут быть изготовлены на основе хвостов обогащения руд после извлечения из них металлов [4].

При подземной разработке рудных месторождений полезных ископаемых для сохранения земной поверхности образованные в массивах пустоты заполняют бетонной смесью. Прочность бетонов выбирается с учетом технико-экономических соображений. В связи с дефицитностью и высокой стоимостью компонентов твердеющих бетонных смесей стараются использовать дешевые и доступные низкоактивные материалы, в первую очередь, хвосты переработки руд [5]. Использование таких материалов позволяет увеличить объем производства, вернуть в хозяйственный оборот земли, уменьшить негативное влияние отходов на окружающую среду [6].

Традиционные способы обогащения не в состоянии извлечь металлы из руд полностью, потому что ориентированы на извлечение ограниченного количества компонентов сырья, а получающие развитие технологии с выщелачиванием металлов требуют модернизации, прежде всего, сокращения времени выщелачивания.

Экономический рост предприятий может быть обеспечен путем вовлечения в производство забалансовых запасов руд в рамках комбинирования традиционной технологии и технологии выщелачивания, в том числе бедных и забалансовых руд.

Успех диверсификации горного производства зависит не только от применения новых технических средств и современных технологий, но и от использования скрытых резервов производства. Ее преимущество состоит в том, что при сравнимых затратах из недр извлекается существенно больше металла за счет рентабельного освоения забалансовых запасов и убогих руд.

Поздняя история горного дела представляет собой противоборство двух альтернативных подходов к проблеме использования недр:

- выемка геометризованных участков месторождения с высокой производительностью при низком качестве руд в расчете на возможности обогащения;
- селективная добыча по геологическим контурам с повышенным качеством руд при невысокой производительности предприятия.

Если технологии добычи минералов из недр развиваются ускоренными темпами, то традиционные технологии обогащения в развитии отстают, свидетельством чего является неукоснительное увеличение запасов хвостов переработки в хранилищах. Не решается важная задача обогащения – безотходность, поэтому не вовлекаются в

работу массивы некондиционных по содержанию металлов масс [7].

Варианты выщелачивания металлов из руд вовлекают в производство считавшиеся безвозвратно потерянными запасы в охранных целиках, зонах обрушения, горелых рудах и т. п. (рис. 1). (Все рисунки в статье выполнены автором – В. И. Голиком).

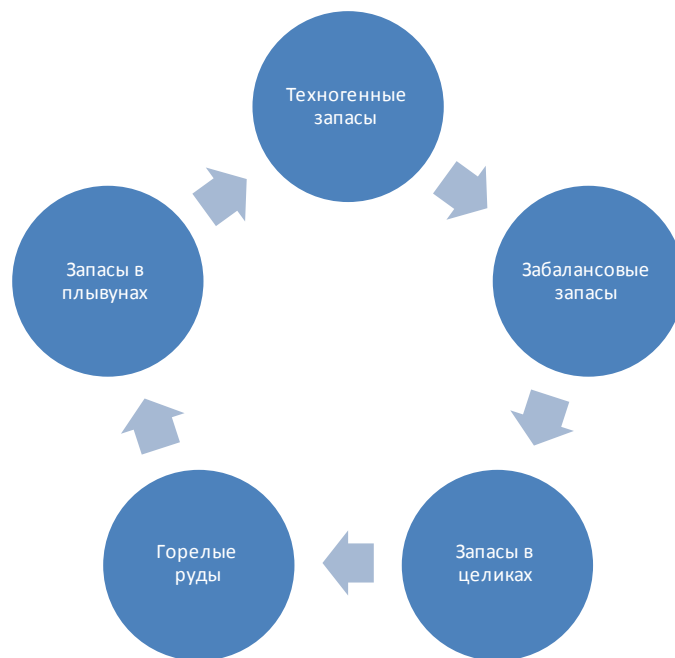


Рис. 1. Возможности применения технологий с выщелачиванием

Fig. 1. The possibility of applying the technology of leaching

Их преимущества включают в себя экономичность, безопасность работ и уменьшение нагрузки на внешнюю среду. Чаще всего выщелачивают забалансовые руды в рамках комбинирования технологий отработки месторождения традиционным способом одновременно с выемкой богатых руд. Подземное выщелачивание металлов делает рентабельной эксплуатацию забалансовых руд, превращая их в промышленные [8].

Полнота и время извлечения полезного компонента из руды и экономическая эффективность технологии с выщелачиванием определяется качеством дробления руды. Если при традиционной технологии крупность товарной руды определяется размерами перерабатывающего оборудования и достигает 300 мм, то для выщелачивания наиболее благоприятны рудные куски класса + 50 мм, а куски больших размеров снижают показатели технологии. Не менее важной задачей является равномерность уплотнения раздробленной взрывом руды, потому что поток реагента движется под действием сил гравитации, не заполняя пустоты между кусками руды, а лишь покрывая их пленкой. Переуплотнение руды создает преграду движению раствора, а большие промежутки между кусками руды не способствуют проникновению раствора в кусок.

При комбинированной отработке месторождения традиционным способом и подземным выщелачиванием в

целях улучшения экономических показателей предприятия применяются схемы подготовки руды с селективной выемкой части полезного ископаемого для металлургического передела (рис. 2). Например, в пределах одного блока производится выемка балансовых руд для заводской

переработки и отбойка бедных руд для выщелачивания. При этом вынимаемая традиционным способом богатая руда создает компенсационное пространство для дробления остальных руд.



Рис. 2. Комбинированное выщелачивание металлов
Fig. 2. Combined solvent extraction of metals

Вовлечение в производство омертвленных минеральных ресурсов создает новую сырьевую базу для горной промышленности и избавляет от необходимости вовлечения в эксплуатацию новых месторождений, что особо актуально ввиду дефицита ряда металлов.

Модель эффективности механохимической активации хвостов обогащения [9]:

$$\Pi = \sum_{p=1}^P \sum_{o=1}^O \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T \sum_{f=1}^F \sum_{n=1}^N \{ (M_{ey} \cdot C_{my} + Q_y \cdot C_{qy}) \} - \sum_{z=1}^3 [K(1 + E_{ny}) + E_q + E_x] - \\ - [(M_e \cdot C_m + Q \cdot C_q) + Q_r \cdot C_r] K_c K_y K_t K_b K_r K_{vp} K_q \rightarrow \max$$

где P – продукты утилизации хвостов; O – виды хвостов; Π – процессы переработки хвостов; T – время переработки; F – фазы существования хранилищ; N – стадии использования хвостов; M_{ey} – количество металлов из хвостов; C_{my} – цена металлов; Q_y – количество восстановленных эффектов; C_{qy} – цена утилизированных веществ; E_q – коэффициент процентной ставки на кредит для утилизации; E_x – коэффициент процентной ставки на кредит для производства металлов; E_{ny} – коэффициент процентной ставки на восстановление окружающей среды; M_e – количество потерянных металлов; C_m – цена потерянных металлов; Q – количество потерянных эффектов; C_q – цена потерянных полезных веществ; Q_r – количество эффектов поражения среды; C_r – затраты на компенсацию глобальных факторов поражения; 3 – затраты на управление; K – затраты на управление хранилищами; K_c – коэффициент самоорганизации хвостов; K_y – коэффициент утечки продуктов

выщелачивания; K_m – коэффициент дальности утечки растворов; K_b – коэффициент влияния на биосферу; K_c – коэффициент влияния загрязнения на соседние регионы; K_{ep} – коэффициент реализации опасности со временем; K_r – коэффициент риска поражения окружающей среды от неучтенных факторов.

Существенным преимуществом гидрометаллургических методов по сравнению с металлургическими переделами является также то, что они позволяют более полно перерабатывать бедные и полиметаллические руды с получением всех содержащихся в руде полезных компонентов, а не только титульных продуктов с высокой степенью чистоты.

Прибыль от вовлечения в производство забалансовых руд [10]:

где Π – годовая прибыль от комбинирования технологий, руб.; C_p^o – стоимость реализации металлов из балансовых

руд, руб./т; Z_{δ}^{β} – затраты на добычу балансовых руд, руб./т; Z_{σ}^{β} – затраты на обогащение балансовых руд, руб./т; Z_{μ}^{β} – затраты на металлургический передел балансовых руд, руб./т; C_p^{β} – стоимость реализации металлов из забалансовых руд, руб./т; $Z_{\delta}^{\alpha\beta}$ – затраты на добычу балансовых руд,

руб./т; A_{β} – объем добычи балансовых руд, т; $A_{\alpha\beta}$ – объем добычи забалансовых руд, т; n – номенклатура извлекаемых металлов; III_{σ} – штраф за хранение загрязняющих окружающую среду отходов.

$$\Pi = \sum_1^n \left[(C_p^{\beta} - Z_{\delta}^{\beta} - Z_{\sigma}^{\beta} - Z_{\mu}^{\beta}) A_{\beta} - III_{\sigma} + (C_p^{\alpha\beta} - Z_{\delta}^{\alpha\beta}) A_{\alpha\beta} \right],$$

Вовлечение в переработку забалансовых руд ставит проблему извлечения из коллективного раствора всех полезных компонентов руд с разделением в ходе переработки.

Перспективы разработки ряда рудных месторождений связаны с переходом от открытого способа разработки к подземному способу не только из-за удорожания добываемого сырья с увеличением глубины горных работ, но и из-за угрозы для сельскохозяйственной деятельности [11].

Конверсия горного производства на подземный способ разработки требует решения задач управления состоянием рудовмещающих массивов. Свообразным полигоном для отработки технологий подземной разработки является Коробковское месторождение железистых кварцитов КМА, в опытный порядок разрабатываемое подземным способом уже более полувека. Добыча руды этажно-камерной системой разработки ведется в пределах одного выемочного этажа под защитой предохранительной рудной потолочины, опирающейся на междукамерные целики. Об эффективности применяемой технологии можно судить по величине потерь руды, составляющей 60 % от исходных запасов.

Обобщенная концепция управления состоянием рудовмещающих массивов сводится к регулированию уровня природных и техногенных напряжений путем заполнения техногенных пустот твердеющими смесями [12].

Потребности производства в твердеющих смесях могут быть удовлетворены использованием накопленных хвостов обогащения. Экономическая эффективность полной утилизации хвостов обогащения складывается из стоимости полученных металлов, сырья для строительной индустрии и снижения величины ущерба окружающей среде от хранения хвостов.

Теоретически сырьем для производства твердеющих смесей могут быть хвосты обогащения добываемых руд, которые помимо титановых металлов, содержат и другие металлы, в том числе дорогие и остродефицитные. При использовании хвостов обогащения в качестве сырья для твердеющих смесей не извлеченные металлы теряются. Безотходное извлечение металлов из хвостов переработки руд традиционными методами пока еще невозможно, что подтверждается продолжающейся практикой накопления хвостов [7].

Использование малоактивных материалов в качестве сырья для изготовления твердеющих смесей возможно при повышении их активности с изменением энергетического состояния и реакционной способности способами, а также с извлечением остаточных металлов:

- в агитаторах выщелачиванием с перемешиванием для интенсификации процесса;
- в дезинтеграторах воздействием высокой механической энергией;
- в дезинтеграторах комбинированным механическим и химическим воздействием.

Проба хвостов обогащения была отобрана в хранилище Лебединского ГОК и исследована с использованием дезинтегратора DESI-11. Показатели эксперимента сравнивали с показателями традиционной технологии с интерпретацией результатов в форме логарифмической или полиномиальной интерполяции. Нелинейный регрессионный анализ полученных количественных показателей осуществляли приведением уравнения к линейной форме. Алгоритм регрессионного анализа представлен в виде компьютерной программы на языке MATLAB.

Извлечение железа в течение 1 часа составило (%): агитационным выщелачиванием – 4,75, агитационным выщелачиванием после механической активации в дезинтеграторе – 8,5, однократным выщелачиванием в дезинтеграторе – 12,5. Содержание сопутствующих металлов во вторичных хвостах после однократного выщелачивания уменьшается примерно в 3–4 раза. Активация хвостов обогащения повышает прочность смесей на их основе при одинаковом расходе цемента на 10 % [8].

Результаты исследований извлечения металлов позволяют заключить:

- выщелачивание в дезинтеграторе по сравнению с вариантом отдельной активации и выщелачивания обеспечивает одинаковое извлечение при уменьшении продолжительности процесса на 2 порядка;

- снижение остаточного содержания металлов до нужной величины достигается увеличением кратности переработки.

Извлечение металлов из раствора осуществляется вариантом мембранной технологии с отделением взвесей подщелоченного раствора путем создания гидросреды при pH 9–10 и осаждением солей жесткости и металлов.

Концепция производства цветных металлов и редких земель выщелачиванием включает компоненты [13]:

- выдача на поверхность богатых руд для заводской переработки;
- извлечение металлов из бедных руд выщелачиванием в блоках;
- кучным выщелачиванием из извлекаемых на поверхность бедных руд;
- извлечение металлов из хвостов обогащения и металлургии с активацией процессов.

При использовании технологий выщелачивания важным этапом становится управление потоками жидких хвостов выщелачивания. Для минимизации воздействия на гидросферу целесообразно предварительное сгущение раствора.

Оптимальные параметры транспортирования гидросмесей обеспечиваются при условии: крупность частиц 0,05 мм; плотность частиц 2,9 т/м³; максимальное сгущение 1:1,13 (Т:Ж), плотность 1,4 т/м³.

Критическую скорость целесообразно определять по расходу гидросмеси в момент образования в трубопроводе неподвижного слоя заиливания с дифференцированным уче-

том свойств смеси. Транспортирование хвостов в оптимальном режиме работы трубопровода расширяет область разработки месторождений с выщелачиванием. Проблема сырья для приготовления твердеющих смесей может быть решена безотходной утилизацией хвостов после извлечения из них металлов путем механохимической обработки с извлечением до 80 % металлов от остаточного содержания [14].

Критерием оптимальности управления состоянием рудовмещающего массива становятся затраты на управление рудовмещающим массивом с учетом ущерба от потерь и разубоживания. Снижение ущерба от потерь и разубоживания руды компенсирует увеличение затрат при закладке пустот твердеющими смесями.

Заполнение подземных пустот хвостами обогащения без извлечения металлов не может быть признано корректным, поскольку при этом безвозвратно теряются попутные металлы, стоимость которых может превышать стоимость извлеченных титульных металлов. То обстоятельство, что в настоящее время извлекать металлы нерентабельно, не должно являться основанием для безвозвратного захоронения потенциального сырья для новых технологий.

Эколого-экономическая эффективность горнопромышленного комплекса должна оцениваться минимальными материальными, энергетическими и другими затратами с приоритетом сохранения природных экосистем. При определении прибыли от добычи полезных ископаемых должны учитываться и те ресурсы, которые извлечены из недр или отделены от рудовмещающего массива, но не реализованы в виде товарной продукции, а оказались потерянными.

Эффективность разработки месторождений полезных ископаемых связана с использованием в бетонном производстве хвостов переделов руд [15]. Среди них заслуживает внимания использование дамбовых вод, осветленная часть которых содержит в своем составе соли сульфата натрия, хлорида натрия и поверхностно-активный полиакриламид, применяемые для повышения начальной пластической прочности бетонов. Характеристики дамбовой исследованной воды: pH 7,0–7,5; NH_4 18–25; NO_2 3–7; сумма катионов и анионов 24000–40000 на 1 дм^3 . Очистка жидких хвостов гидрометаллургии от солей тяжелых металлов осуществляется переводом их в твердую фазу и разделением жидкой и твердой фаз с получением осадка.

Перспективно извлечение металлов под влиянием электрического поля в диафрагменных электролизерах с использованием селективности ионитовых мембран [16]. В камеры обессоливания подают металлосодержащие растворы, а в камеры образования кислоты и щелочей – промышленные стоки. Под действием электрического поля из камер обессоливания ионы Na^+ и SO_4^{2-} переходят в камеры образования щелочи и кислоты, где соединяются с генерируемыми биполярной мембраной ионами OH^- и H^+ , образуя нейтрализующие металлосодержащие соли щелочь и кислоту. Энергоемкость очистки не превышает 10 кВт ч/ м^3 . Кроме металлов из осадка извлекаются вещества, являющиеся сырьем для цементной и керамической промышленности.

Комплекс мероприятий по оздоровлению экономики предприятия при конверсии на подземный способ разработки включает в себя следующие элементы:

- переоценка запасов месторождения по критерию содержания металлов в увязке с возможностями инновационных технологий;
- разделение месторождения на геомеханически безопасные участки с приоритетным условием сохранения земной поверхности;
- обоснование несущей способности бетонных массивов по величине природно-техногенных напряжений с ориентацией на использование отходов собственного производства для приготовления твердеющих смесей;
- обоснование несущей способности массивов хвостов выщелачивания по величине природно-техногенных напряжений;
- обоснование параметров подземного выщелачивания бедных руд;
- выбор технологии активации отходов обогащения с извлечением остаточных металлов (рис. 3);
- обоснование параметров транспортирования и нейтрализации отходов выщелачивания.

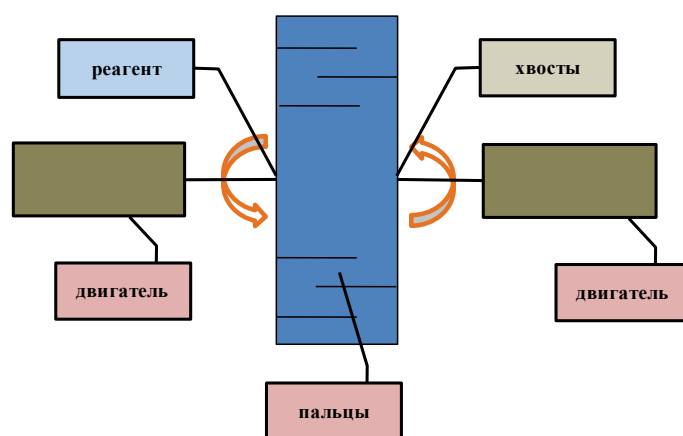


Рис. 3. Схема выщелачивания в дезинтеграторе
Fig. 3. Solvent extraction scheme in a disintegrator

Концепция глубокой утилизации отходов обогащения металлургии отвечает принципам взаимодействия человека и биосферы и включает в себя проблемы диверсификации горного производства в условиях рынка [17].

Результаты исследования корреспондируют с принятой в развитых странах мира концепцией управления технологическими процессами в целях сохранения окружающей среды [18].

Заключение

Многие горнодобывающие предприятия близки к завершению этапа открытой добычи богатых руд и конверсии на подземную разработку месторождений. Условия локализации рудных тел, масштабы производства и тенденции природосбережения обязывают применять варианты технологий с заполнением техногенных пустот твердеющими смесями.

Это повышает актуальность проблемы обеспечения горных работ сырьем для изготовления твердеющих смесей. Добыча сырья для бетонных смесей экологически некорректна, поэтому решение проблемы связано с использованием хвостов обогащения и металлургии. Для

этого предстоит разработать технологию извлечения из них остаточных металлов.

Одним из направлений глубокой утилизации хвостов обогащения является механохимическая активация металлогосодержащего некондиционного сырья, позволяющая не только извлечь металлы, но и повысить активность хвостов до состояния, когда они проявляют вяжущие свойства.

Комплексная модернизация технологии разработки позволяет повысить полноту использования ресурсов недр, возвращая ранее омертвленное сырье, содержащее пока еще трудно оцениваемые металлические компоненты.

Использование инновационных технологий разработки рудных месторождений является резервом оздоровления экономики горных предприятий и улучшения экологии.

Литература

1. Голик В. И., Комащенко В. И., Качурин Н. М. Концепция комбинирования технологий разработки рудных месторождений // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2015. № 4. С. 76–88.
2. Логачев А. В., Голик В. И. К вопросу об этапах разработки месторождений // Горный журнал. 2008. № 12. С. 41–43.
3. Matthews T. Dilution and ore loss projections: Strategies and considerations // SME Annual Conference and Expo and CMAA 117th National Western Mining Conference – Mining: Navigating the Global Waters. Denver, United States. 2015. P. 529–532.
4. Golik V. I., Razorenov Yu. I., Ignatov V. N., Khasheva Z. M. The history of russian caucasus ore deposit development // Journal of the Social Sciences. 2016. Т. 11. № 15. С. 3742–3746.
5. Голик В. И., Разоренов Ю. И., Лукьянов В. Г. К проблемам конверсии технологий разработки металлических месторождений // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2016. Т. 327. № 12. С. 54–61.
6. Голик В. И., Разоренов Ю. И., Лукьянов В. Г. Эколого-экономические аспекты ресурсосбережения при разработке месторождений полезных ископаемых // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2017. Т. 328. № 6. С. 18–27.
7. Голик В. И., Разоренов Ю. И., Масленников С. А. Охрана природной геологической среды утилизацией хвостов обогащения руд // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2015. Т. 326. № 6. С. 6–15.
8. Голик В. И., Комащенко В. И. Практика выщелачивания металлов из отходов переработки руд // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2016. № 3. С. 13–23.
9. Golik V. I., Gabaraev O. Z., Maslennikov S. A., Khasheva Z. M., Shulgaty L. P. The provision of development conversion perspectives into underground one for russian iron ore deposits development // Journal of the Social Sciences. 2016. Т. 11. № 18. С. 4348–4351.
10. Ляшенко В. И. Природоохранные технологии освоения сложноструктурных месторождений полезных ископаемых // Маркшейдерский вестник. 2015. № 1. С. 10–15.
11. Ivashchuk O. A., Ivashchuk O. D. Automation and Intellectualization to Control the Ecological Situation in the Urbanized Territories // Proceedings of the 7th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS). Berlin, Germany. 2013. Vol. 2. P. 814–820.
12. Голик В. И., Лукьянов В. Г. Оптимизация прочности закладочной смеси с учетом напряженности пород // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2016. Т. 327. № 6. С. 6–14.
13. Golik V. I., Stradanchenko S. G., Maslennikov S. A. Experimental study of non-waste recycling tailings ferruginous quartzite // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Т. 10. № 15. С. 35410–35416.
14. Golik V. I., Razorenov Y. I., Polukhin O. N. Metal extraction from ore beneficiation codas by means of lixiviation in a disintegrator // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Т. 10. № 17. С. 38105–38109.
15. Голик В. И., Лукьянов В. Г., Хашева З. М. Обоснование возможности и целесообразности использования хвостов обогащения руд для изготовления твердеющих смесей // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2015. Т. 326. № 5. С. 6–14.
16. Голик В. И. Извлечение металлов из хвостов обогащения комбинированными методами активации // Обогащение руд. 2010. № 5. С. 38–40.
17. Ляшенко В. И., Голик В. И., Козырев Е. Н. Комбинированные технологии добычи полезных ископаемых с подземным выщелачиванием // Горный журнал. 2008. № 12. С. 37–40.
18. Lu X., Liu W., Zhao C., Chen C. Environmental assessment of heavy metal and natural radioactivity in soil around a coal-fired power plant in China // Journal of Radioanalytical & Nuclear Chemistry. 2013. Vol. 295. № 3. P. 1845–1854.

THE CONCEPT OF MODERNIZATION OF UNDERGROUND ORE MINING TECHNOLOGIES

Vladimir I. Golik¹*, Viacheslav Kh. Dzaparov², Georgii Z. Kharebov²

¹ Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences and the Government Republic of North Ossetia-Alania, 22, Markusa St., Vladikavkaz, Russia, 362027

² North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), 44, Nikolaeva St., Vladikavkaz, Russia, 362021

*v.i.golik@mail.ru

Received 03.10.2017. Accepted 09.11.2017.

Keywords: deposit, ore, conversion, method development, leaching, metal.

Abstract: The article is devoted to the conversion of mining enterprises from open way of development of ore deposits into underground method of development.

The aim is regulation of the main preparation stages of the mining industry to diversified mining and ore processing.

The research methodology includes a critical analysis of the theory and practice of production processes, development of recommendations and justification of efficiency of modernization of the existing situation.

The results of the research. The paper features a characteristic of mining methods and an analysis of their advantages and disadvantages. It formulates the present state of the mining industry in Russia in conditions of the market and toughening of requirements to environmental management. The article explains the environmental and resource essence of the technology of filling the mined-out space with hardening filling mixtures. It offers a description of the technology with the solvent extraction of metals from ore with a focus on underground solvent extraction of off-balance ore in the frame of the combined criterion of completeness of metal extraction technology. The model presented in the article is based on the effectiveness of mechanochemical activation of raw materials for the preparation of hardening filling mixtures. It defines the profit from the involvement of off-balance ore into the manufacture. The paper features the concept of state management of ore-bearing massifs on the basis of the regulation of natural and technogenic stress levels by filling the technological voids with hardening mixtures. Another concept described in the article is the production of metals by solvent extraction and aspects of its implementation, including that by disintegrator.

The scope of the results implementation includes mining and processing enterprises, mainly non-ferrous ore exploiting metallurgy.

Conclusions. Conversion to underground deposit development requires development of technologies of filling the technological voids with hardening mixtures. These technologies are based on utilization of tailings processing beneficiation and metallurgy after extracting from them the residual metals by, for example, mechanochemical activation. Comprehensive modernization of technology development increases the completeness of the use of sub-soil resources, contributes to the improvement of the economy of mining enterprises and to improvement of the environment.

For citation: Golik V. I., Dzaparov V. Kh., Kharebov G. Z. Kontseptsiiia modernizatsii tekhnologii podzemnoi dobychi rud [The Concept of Modernization of Technologies of Underground Mining of Ores]. *Bulletin of Kemerovo State University. Series: Biological, Engineering and Earth Sciences*, no. 2 (2017): 37–45. DOI:10.21603/2542-2448-2017-2-37-45.

References

1. Golik V. I., Komashchenko V. I., Kachurin N. M. Kontseptsiiia kombinirovaniia tekhnologii razrabotki rudnykh mestorozhdenii [Concept of combining technologies by mining ore deposits]. *Izvestiia Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle = News of the Tula state university. Sciences of Earth*, no. 4 (2015): 76–88.
2. Logachev A. V., Golik V. I. K voprosu ob etapakh razrabotki mestorozhdenii [The matter of field development stages]. *Gornyi zhurnal = Mining journal*, no. 12 (2008): 41–43.
3. Matthews T. Dilution and ore loss projections: Strategies and considerations. *SME Annual Conference and Expo and CMA 117th National Western Mining Conference – Mining: Navigating the Global Waters*. Denver, United States. 2015, 529–532.
4. Golik V. I., Razorenov Yu. I., Ignatov V. N., Khasheva Z. M. The history of Russian Caucasus ore deposit development. *Journal of the Social Sciences*, no. 15 (2016): 3742–3746.
5. Golik V. I., Razorenov Yu. I., Lukyanov V. G. K problemam konversii tekhnologii razrabotki metallicheskih mestorozhdenii [To the problem of conversion technologies development of metal deposits]. *Izvestiia Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesurosov = Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, no. 12 (2016): 54–61.

6. Golik V. I., Razorenov Yu. I., Lukyanov V. G. Ekologo-ekonomicheskie aspekty resursosberezheniia pri razrabotke mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh [Ecological and economic aspects of energy saving in the mining of mineral deposits]. *Izvestiia Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov = Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, no. 6 (2017): 18–27.

7. Golik V. I., Razorenov Yu. I., Maslennikov S. A. Okhrana prirodnoi geologicheskoi sredy utilizatsiei khvostov obogashcheniia rud [Protection of the natural geological environment of the disposal of tailings and ore]. *Izvestiia Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov = Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, no. 6 (2015): 6–15.

8. Golik V. I., Komashchenko V. I. Praktika vyshchelachivaniia metallov iz otkhodov pererabotki rud [Practice of solvent extraction of metals from waste ore processing]. *Izvestiia Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle = News of the Tula state university. Sciences of Earth*, no. 3 (2016): 13–23.

9. Golik V. I., Gabaraev O. Z., Maslennikov S. A., Khasheva Z. M., Shulgaty L. P. The provision of development conversion perspectives into underground one for Russian iron ore deposits development. *Journal of the Social Sciences*, no. 18 (2016): 4348–4351.

10. Lyashenko V. I. Prirodookhrannye tekhnologii osvoeniia slozhnostrukturnykh mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh [Nature protection technologies of development of complex fields of minerals]. *Marksheiderskii vestnik = Mine surveying Bulletin*, no. 1 (2015): 10–15.

11. Ivashchuk O. A., Ivashchuk O. D. Automation and Intellectualization to Control the Ecological Situation in the Urbanized Territories. *Proceedings of the 7th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS)*. Berlin, Germany, vol. 2 (2013): 814–820.

12. Golik V. I., Lukyanov V. G. Optimizatsiia prochnosti zakladochnoi smesi s uchetom napriazhennosti porod [Optimization of the strength of the backfill mixture, taking into account the tension breeds]. *Izvestiia Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov = Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, no. 6 (2016): 6–14.

13. Golik V. I., Stradanchenko S. G., Maslennikov S. A. Experimental study of non-waste recycling tailings ferruginous quartzite. *International Journal of Applied Engineering Research*, no. 15 (2015): 35410–35416.

14. Golik V. I., Razorenov Y. I., Polukhin O. N. Metal extraction from ore beneficiation codas by means of lixiviation in a disintegrator. *International Journal of Applied Engineering Research*, no. 17 (2015): 38105–38109.

15. Golik V. I., Lukyanov V. G., Hasheva Z. M. Obosnovanie vozmozhnosti i tselesoobraznosti ispol'zovaniia khvostov obogashcheniia rud dlia izgotovleniia tverdeiushchikh smesei [Substantiation of the feasibility of using the tailings of ore for the manufacture of solid mixtures]. *Izvestiia Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov = Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, no. 5 (2015): 6–14.

16. Golik V. I. Izvlechenie metallov iz khvostov obogashcheniia kombinirovannymi metodami aktivatsii [Metals recovery from mineral processing tailings by combined activation methods]. *Obogashchenie rud = Enrichment of ores*, no. 5 (2010): 38–40.

17. Lyashenko V. I., Golik V. I., Kozyrev E. N. Kombinirovannye tekhnologii dobychi poleznykh iskopaemykh s podzemnym vyshchelachivaniem [Combined technologies of mining with underground solvent extraction]. *Gornyi zhurnal = Mining journal*, no. 12 (2008): 37–40.

18. Lu X., Liu W., Zhao C., Chen C. Environmental assessment of heavy metal and natural radioactivity in soil around a coal-fired power plant in China. *Journal of Radioanalytical & Nuclear Chemistry*, 295, no. 3 (2013): 1845–1854.