

УДК 504.55.054:622(470.6)

ПРИНЦИПЫ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОМБИНИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ДОБЫЧИ РУД

Голик Владимир Иванович,

д-р техн. наук, проф., гл. науч. сотр. Центра геофизических исследований
Владикавказского научного центра РАН и Правительства Республики
Северная Осетия-Алания, Россия, РСО-Алания,
362002, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а. E-mail: v.i.golik@mail.ru

Разоренов Юрий Иванович,

д-р техн. наук, проф., ректор Северо-Кавказского государственного
технологического университета, Россия, РСО-Алания,
362021, г. Владикавказ, ул. Николаева, 44. E-mail: yiri1963@mail.ru

Страданченко Сергей Георгиевич,

д-р техн. наук, проф., ректор Института сферы обслуживания
и предпринимательства, Россия, 346500, г. Шахты,
пр. П. Революции, д. 97. E-mail: ssg72@mail.ru

Хашева Зарема Муратовна,

д-р эконом. наук, проф., проректор Южного института менеджмента,
Россия, 350040, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 216.
E-mail: zarema_muratovna@mail.ru

Актуальность работы обусловлена необходимостью обеспечить увеличивающиеся каждые 10 лет вдвое потребности человечества в минеральных ресурсах и минимизировать экологический ущерб окружающей среде от катастрофической химизации продуктами горного производства.

Цель работы: обоснование технической возможности и экономической целесообразности комбинирования технологий разработки рудных месторождений с использованием хвостов обогащения и выщелачивания руд для управления состоянием рудовмещающих массивов и вовлечением в переработку ранее некондиционных ресурсов.

Методы исследования: анализ литературных источников, экспертное моделирование параметров комбинируемых технологий, интерпретация результатов практики, математическое моделирование экономических параметров производства.

Результаты. Обоснована техническая возможность и экономическая целесообразность комбинирования традиционных и новых технологий разработки рудных месторождений на основе критерия эффективности технологий, разработана эколого-экономическая модель эффективности использования разнопрочных закладочных смесей на основе утилизируемых хвостов обогащения и выщелачивания, рекомендована технология выщелачивания металлов из некондиционного сырья. Разработаны геомеханические условия комбинирования технологий с закладкой пустот смесями на основе хвостов обогащения и с использованием массивов из хвостов подземного выщелачивания, приведен алгоритм определения прибыли от комбинирования технологий.

Выводы. Комбинирование традиционных и новых технологий разработки месторождений открывает возможности экономически эффективной добычи некондиционных руд. Инструментом комбинирования технологий, отвечающих критерию сохранности земной поверхности от разрушения, является использование хвостов обогащения и выщелачивания в управлении состоянием рудовмещающего массива. Комбинирование традиционных и новых технологий разработки месторождений является реальной возможностью одновременного улучшения экономических и экологических показателей разработки месторождений полезных ископаемых.

Ключевые слова:

Экономика, экология, разработка, металл, месторождение, комбинирование, технология, критерий, природосбережение, ресурсосбережение, модель, эффективность, окружающая среда, запасы, руда.

Введение

Эффективность разработки месторождения полезного ископаемого определяется не только экономическими показателями применяемой технологии добычи, величиной потерь руды, влиянием применяемой техники и технологии на окружающую среду, но и критерием полноты использования добытых ресурсов, в том числе утилизации отходов.

Проблема радикального повышения полноты извлечения полезных компонентов и перевода значительных объемов некондиционного, с точки зрения применяемой сейчас техники и технологий, сырья в разряд кондиционного может быть решена комбинированием методов добычи, сочетающих использование различных видов энергии.

При оценке технологий добычи полезных ископаемых, кроме экономических критериев оценки,

пользуются критерии безопасности горных работ в виде сохранения земной поверхности от разрушения горными работами, как гарантия разделения зон горных работ и существования живого вещества. Критерий безопасности технологий отличается тем, что гарантирует сохранность земной поверхности над разрабатываемым месторождением.

При подземном способе разработки показателем степени воздействия технологии на окружающую среду является пустотность массива. Чем больше породы извлечено из недр, тем больше приток воды в пустоты, выброс газов от вентиляции, отвалы хвостов, вынос минералов из них водами и ветром и т. п.

Технология без заполнения пустот отвечает принципам природосбережения только в строго определенных условиях. Технология с обрушением пород при минимальных затратах на управление состоянием массива отличается радикальным нарушением экологии при разрушении земной поверхности.

Технология с закладкой пустот твердеющими смесями рождает проблему добычи компонентов твердеющих смесей. Стоимость твердеющих смесей при заполнении пустот стала экономическим критерием эффективности технологии. Так, в Норильском ГМК добычу инертных материалов для приготовления твердеющих смесей обеспечивает специальный рудник.

Комбинирование технологий разработки месторождений получило развитие с появлением во второй половине прошлого века технологий с использованием химической энергии для выщелачивания металлов.

Объекты и методы исследования

Технологии с твердеющей закладкой обеспечивают безопасность горных работ за счет возведения в выработанном пространстве искусственных массивов, но при этом на поверхность выдается весь объем добываемых руд, повышая опасность загрязнения среды химическими ингредиентами. В техногенные пустоты укладываются нередко дорогостоящие и дефицитные материалы [1].

Технологии с подземным выщелачиванием металлов из руд способствуют уменьшению объема выдаваемых на земную поверхность руд, что минимизирует последствия миграции продуктов природного выщелачивания хвостов переработки в окружающую среду [2].

Оптимальными по экономическому и экологическому критериям являются комбинированные технологии, при которых для переработки на поверхность выдается только богатая руда, а оставшая руда перерабатывается выщелачиванием на месте залегания (рис. 1) [3].

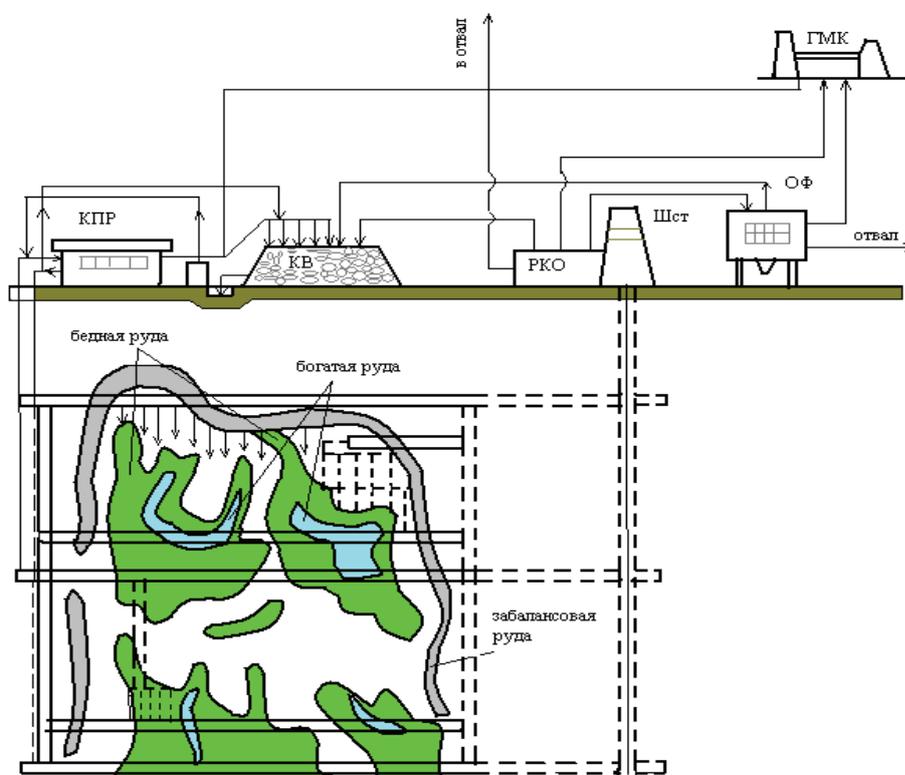


Рис. 1. Принципиальная схема комбинирования технологий разработки месторождений: Ш_{ст.} – шахтный ствол; РКО – рудо-контролирующее отделение; ОФ – обогатительная фабрика; ГМК – горнометаллургический комплекс; КВ – кучное выщелачивание; КПР – комплекс приготовления растворов

Fig. 1. Principle diagram of combining technologies for field exploration: Ш_{ст.} is the mine shaft; РКО is the ore control separation; ОФ is the washhouse; ГМК is the mining and smelting enterprise; КВ is the heap leaching; КПР is the solution preparation complex

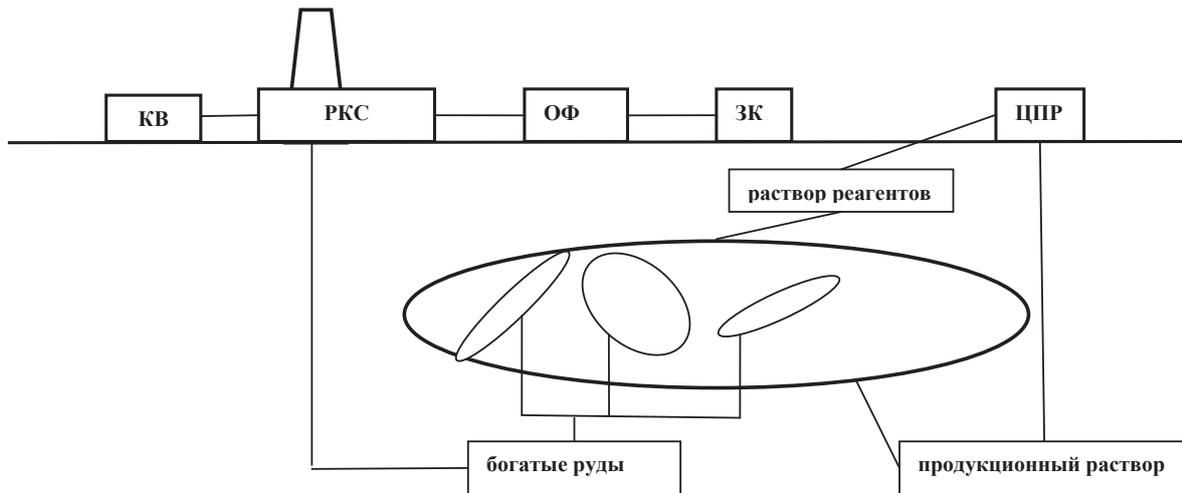


Рис. 2. Технологическая схема комбинирования способов разработки месторождений

Fig. 2. Flow chart of field exploration methods combination

Богатые руды выдаются на поверхность, дифференцируются по содержанию металлов на рудо-контролирующей станции РКС, некондиционные руды укладываются в штабель КВ, а кондиционные руды перерабатываются на обогатительной фабрике, откуда хвосты обогащения могут быть использованы на закладочном комплексе ЗК для приготовления твердеющих смесей. Оставшиеся руды выщелачиваются с приготовлением реагентов и извлечением металлов из продукционных растворов в цехе приготовления растворов (рис. 2).

Основное достоинство комбинированных технологий состоит в гарантированном сохранении земной поверхности при любых условиях локализации рудных тел и минимальном воздействии на экологию региона за счет уменьшения объемов выдачи руд на земную поверхность [4].

Эколого-экономическим критерием эффективности комбинирования технологий является дисконтированная прибыль на стадиях добычи, переработки и утилизации отходов за вычетом затрат на строительство комплексов для функционирования природоохранных технологий:

$$\Pi_k = \left\{ \begin{array}{l} V_o \Pi_{\text{пр}} + A_{\text{тз}} (\Pi_{\text{ц}} - \Pi_{\text{пв}}) \Pi_{\text{м}} - \\ \left[-(z_{\text{пост}} - z_{\text{пер}} V_o) + V_o + \Pi_{\text{зос}} \right] E_{\text{нп}} (1 + E_{\text{нп}}) - 1 \end{array} \right\} E_{\text{нп}} (1 + E_{\text{нп}}),$$

где Π_k – прибыль от комплексирования природоохранных технологий, р.; V_o – количество переработанного некондиционного сырья, т; $\Pi_{\text{пр}}$ – цена продуктов утилизации, р./т; $A_{\text{тз}}$ – количество руды, добытой с твердеющей закладкой, т; $\Pi_{\text{ц}}$ – цена стандартного вяжущего, р./т; $\Pi_{\text{пв}}$ – цена вяжущего, р./т; $z_{\text{пост}}$ – постоянные расходы на эксплуатацию комплексов, р./т; $z_{\text{пер}}$ – переменные расходы на эксплуатацию комплексов, р./т; $\Pi_{\text{зос}}$ – штрафные выплаты рудника за загрязнение окружающей среды, р.; $E_{\text{нп}}$ – коэффициент дисконтирования.

Минимизация воздействий горных работ на окружающую среду обеспечивается уменьшением

объема обрушенных земель и площади земель, занимаемых под отвалы отходов добычи и переработки [5].

Комплекс охранных мер описывается уравнениями:

$$V_{\text{обр}} = \frac{Z \cdot V_{\text{п}}}{V_3} (1 - \kappa_y), \text{ м}^3;$$

$$S_{\text{зем}} = \frac{Z \cdot \kappa_{\text{н}}^{\text{г}} \cdot \kappa_{\text{н}}^{\text{о}} \cdot \kappa_{\text{н}}^{\text{м}}}{S_{\text{н}}} (1 - \kappa_y), \text{ м}^2,$$

где $V_{\text{обр}}$ – объем обрушения массива и земной поверхности над ним, м^3 ; Z – запасы полезного ископаемого, м^3 ; $\kappa_{\text{н}}^{\text{г}}$ – коэффициент извлечения при горном переделе, доли ед.; $\kappa_{\text{н}}^{\text{о}}$ – коэффициент извлечения при обогащении, доли ед.; $\kappa_{\text{н}}^{\text{м}}$ – коэффициент извлечения при металлургическом переделе, доли ед.; κ_y – коэффициент утилизации отходов добычи и переработки, доли ед.; $V_{\text{п}}$ – объем образованных в массиве пустот, м^3 ; V_3 – объем заложенных пустот, м^3 ; $S_{\text{зем}}$ – площадь земли для хранения отходов, м^2 ; $S_{\text{н}}$ – норматив отведения земли для хранения отходов, $\text{м}^2/\text{м}^3$.

Использование для закладки пустот хвостов обогащения считается эффективным только при отработке богатых участков месторождений. Если же оценивать уменьшение ущерба окружающей среде при хранении хвостов, то становится эффективной разработка и менее богатых руд [6].

Одно из главных препятствий на пути закладочных технологий – высокая стоимость стандартных вяжущих для приготовления твердеющих смесей [7].

В настоящее время использование хвостов обогащения руд для приготовления твердеющих смесей хорошо освоено [8]. Существует много типов закладочных комплексов, позволяющих оптимизировать процесс приготовления смесей по стоимостным и прочностным факторам [9].

Закладка выработанного пространства твердеющими смесями стала главным фактором управления геодинамикой рудного участка путем изменения параметров технологии [10].

Нами установлено, что из хвостов обогащения возможно производство вяжущих для изготовления твердеющих смесей путем их переработки в аппаратах-активаторах с получением активной мелкой фракции. Использование такого вяжущего позволяет окупить затраты на переработку хвостов.

Безопасность комбинирования обеспечивается закладкой пустот твердеющими смесями дифференцированной прочности, зависящей от выполняемой функции искусственного массива (рис. 3).

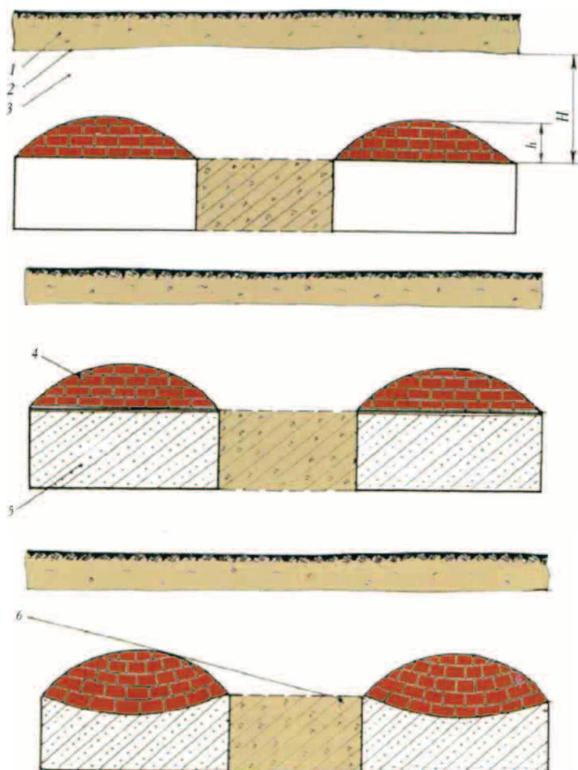


Рис. 3. Функции искусственных массивов при различной устойчивости пород: 1 – наносы; 2 – граница рыхлых отложений; 3 – налегающие породы; 4 – структурные блоки пород; 5 – малопрочные твердеющие смеси; 6 – прочные твердеющие смеси; вверху – в крепких породах; посередине – при сохранении плоской кровли в пределах свода естественного равновесия; внизу – при обрушении кровли в пределах свода естественного равновесия; H – глубина работ, m ; h – высота свода естественного равновесия

Fig. 3. Functions of concrete blocks at different rock rigidity: 1 – drifts; 2 – boundary of soft sediments; 3 – overlying rocks; 4 – rock structural blocks; 5 – soft setting mixtures; 6 – solid setting mixtures; at the top – in solid beds; in the middle – when preserving flat roof within the natural self-supporting arch; at the bottom – at roof collapse within the natural self-supporting arch; H – depth of working, m ; h – height of natural self-supporting arch

В местах наибольших напряжений создаются более прочные массивы, а во внутренних зонах за-

кладочного пространства – менее прочные. Это позволяет заменить до 40–60 % твердеющей смеси на цементной основе более доступными и дешевыми хвостами обогащения или оставляемыми в выщелоченном блоке хвостами выщелачивания.

При использовании для приготовления твердеющих смесей хвостов обогащения эффективность технологии с учетом экологического ущерба определяется решением модели:

$$\Pi_x = \frac{\sum_1^{n_0} (C_{TO} - Z_{OO} - Z_{OM}) \cdot Q_0}{t_0} + C_{III}^O + \frac{\sum_1^{n_M} (C_{TM} - Z_{OM} - Z_{MM}) \cdot Q_M}{t_M} + C_{III}^M,$$

где Π_x – годовая прибыль от переработки хвостов, р/т; C_{TO} – стоимость реализации продукции переработки хвостов обогащения, р/т; Z_{OO} – затраты на обогащение хвостов обогащения, р/т; Z_{OM} – затраты на металлургический передел хвостов обогащения, р/т; n_0 – количество извлекаемых компонентов из хвостов обогащения; Q_0 – масса хвостов обогащения, т; t_0 – время переработки хвостов обогащения, год; C_{III}^O – штрафы за хранение хвостов обогащения, р./год; C_{TM} – реализация продуктов переработки хвостов металлургии, р/т; Z_{OM} – затраты на обогащение хвостов металлургии, р./т; Z_{MM} – затраты на металлургический передел хвостов металлургии, р/т; n_M – количество извлекаемых компонентов из хвостов металлургии; Q_M – масса хвостов металлургии, т; t_M – время переработки хвостов металлургии, лет; C_{III}^M – штрафы за хранение хвостов, р/год.

Экономическая эффективность комбинирования технологий:

$$\Theta = \left[\frac{3\delta}{A\delta} K_R^A K_P^T + \left(\frac{\Delta\Theta_{\Phi} + \Delta\Theta_K}{A_{\Phi}} \right) - \frac{3_{\Phi}}{A_{\Phi}} \right] A \cdot r,$$

где Θ – экономический эффект сопряжения технологий; 3_{Φ} , 3_{Φ} – затраты на единицу основной продукции – металла базового и оптимизированного вариантов технологий, ден. ед.; K_R^A , K_P^T – коэффициенты динамичности объемов производства и времени; $\Delta\Theta_{\Phi}$, $\Delta\Theta_K$ – приведенные эксплуатационные и капитальные расходы базового и оптимизированного вариантов технологий, ден. ед.; A – годовой объем выпуска продукции по оптимизированной технологии, ед.; r – коэффициент риска рыночных операций.

Методика выбора согласованных эколого-экономических решений базируется на системной оценке альтернативных дискретно-непрерывных вариантов технологий комбинирования [11]. Каждый из вариантов представляет собой количественное и качественное соотношение между объемами добычи минералов, первичных и вторичных минеральных ресурсов и объемами утилизации отходов [12].

Экономия создается, если затраты на управление массивом закладкой не превышают величины полученного дополнительно продукции: металлов и мелкофракционного сырья для народного хозяйства и уменьшения компенсационных выплат.

Эффективность использования разнопрочной закладки [13]:

$$\sum_{t=1}^{t_p} \Pi_t = \sum_{t=1}^{t_p} Q(\Pi_{\text{ЦПР}} - C_{\text{др}}) \frac{1}{(1 + \dot{A})^{t_p-1}} - \sum_{t=1}^{t_c} C_{\text{ПОР}} (1 - \dot{A}_{\text{нт}}),$$

где Q – величина запасов, обрабатываемых с разнопрочной закладкой, т; $\Pi_{\text{ЦПР}}$ – цена 1 т добытой руды с разнопрочной закладкой и ее переработки на РОФ, р./т; $C_{\text{др}}$ – затраты на добычу 1 т руды с разнопрочной закладкой и ее переработки на РОФ, р./т; $C_{\text{ПОР}}$ – затраты на приобретение оборудования для приготовления смесей в t -м году, р./т.

Затраты на добычу 1 т руды с разнопрочной закладкой:

$$C_{\text{др}} = C_{\text{дс}} - \frac{Z_s}{\gamma} + \left(\frac{Z_s \varphi_s + Z_n \varphi_n + Z_i \varphi_i}{\gamma} \right) + C_o,$$

где $C_{\text{дс}}$ – затраты на добычу 1 т руды при традиционной технологии с твердеющей закладкой, р./т; C_o – затраты на переработку 1 т руды, р./т; Z_s , Z_n и Z_i – затраты на возведение 1 м³ твердеющей, породной и упрочненной породной закладки соответственно, р./м³; φ_s , φ_n и φ_i – доля использования твердеющей, породной и упрочненной породной закладки в общем объеме закладочных работ в масштабах камеры, в долях единицы; γ – плотность руды, т/м³.

Применение хвостов влияет на экономику горного предприятия, технико-экономические показатели работы которого изменятся по сравнению с показателями базового варианта.

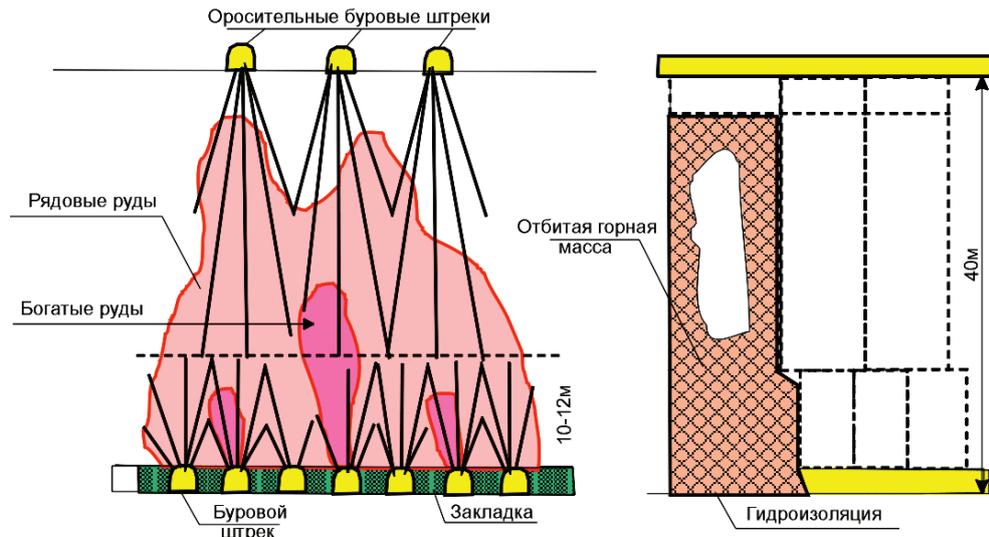


Рис. 4. Комбинированная отработка рудного тела

Fig. 4. Ore body combined processing

а) при базовом варианте:

$$\sum_{t=1}^{t_p} \Pi_{\text{РБГКт}} = \sum_{t=1}^{t_p} A_{\text{бКт}} (\Pi_{\text{ДбКт}} - C_{\text{ДбКт}}) \frac{1}{(1 + E)^{t_p-1}};$$

б) при новом варианте:

$$\begin{aligned} \sum_{t=1}^{t_p} \Pi_{\text{прКт}} &= \frac{\sum_{t=1}^{t_p} A_{\text{Дбт}} (\Pi_{\text{ДбКт}} - C_{\text{ДбКт}})}{(1 + E)^{t_p-1}} + \\ &+ \frac{1}{(1 + E)^{t_c}} \frac{\sum_{t=1}^{t_{\text{CO}}} \Delta K_{\text{От}} (1 + E_K)^{t_{\text{CO}}} +}{(1 + E)^{t_{\text{CO}}-1}} + \\ &+ \frac{1}{(1 + E)^{t_c}} \frac{\sum_{t=1}^{t_p-t_c} A_{\text{пт}} \gamma_3 (C_{\text{ТЗ}} + C_{\text{От}} + \Pi_{\text{От}})}{(1 + E)^{t_p-t_c-1}} \times \\ &\times \frac{1}{(1 + E)^{t_c}} \frac{\sum_{t=1}^{t_p-t_c} \gamma_{\text{КОСт}}}{(1 + E)^{t_p-t_c-1}}, \end{aligned}$$

где $A_{\text{бКт}}$ и $A_{\text{Кт}}$ – производственная мощность рудника при базовом и новом (с реализацией хвостов) вариантах в t -й год, т/год; $\Pi_{\text{ДбКт}}$ и $\Pi_{\text{ДКт}}$ – извлекаемая ценность добываемого и реализуемого продукта при базовом и новом (с реализацией хвостов) вариантах в t -й год, т/год; $C_{\text{ДбКт}}$ и $C_{\text{ДКт}}$ – затраты на переработку хвостов при базовом и новом вариантах в t -й год, р./т; $\gamma_{\text{КОСт}}$ – снижение ущерба окружающей среде за счет уменьшения площадей, занятых хвостов, в t -й год, р./год.

При использовании технологий добычи руд с выщелачиванием металлов залежь разделяют на эксплуатационные блоки, в которых проходят подготавительные и нарезные выработки, оформляют отрезную щель и днище камеры [14]. Извлекаемые в первую стадию богатые руды создают внутри блока компенсационное пространство для

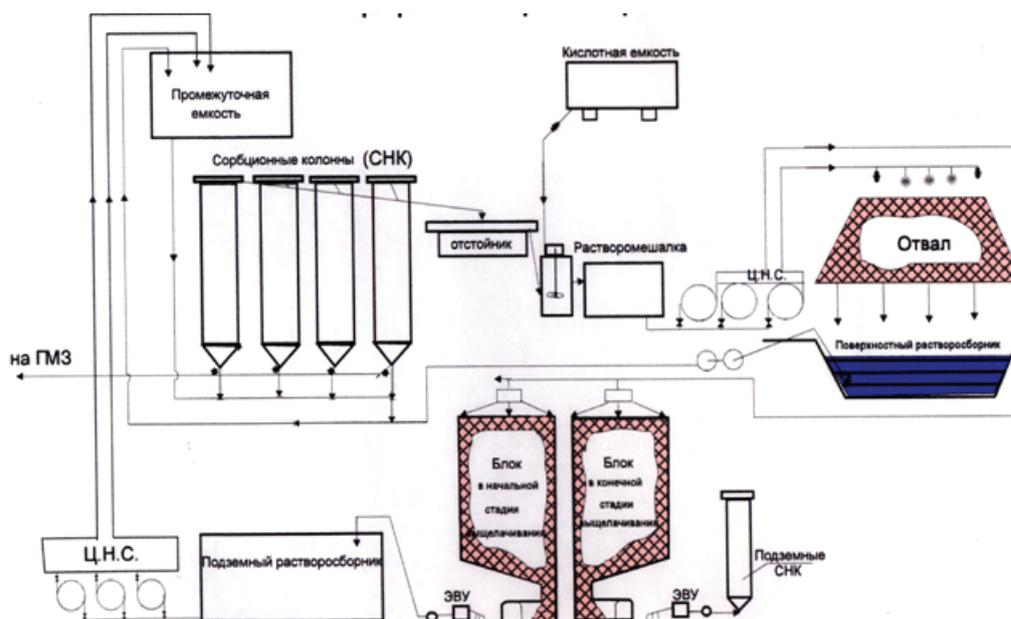


Рис. 5. Утилизация хвостов переработки при комбинировании технологий

Fig. 5. Tailings processing in the combined technique

дробления руды второй очереди до необходимых размеров (рис. 4).

Технология выщелачивания металлов позволяет использовать хвосты подземного выщелачивания в качестве твердеющих смесей прочностью до 0,5 МПа, а хвосты отвального и кучного выщелачивания для приготовления твердеющих смесей (рис. 5) [15].

Свойства используемых и в качестве инертных, и в качестве вяжущих компонентов хвостов переработки могут быть улучшены активацией в дезинтеграторе (рис. 6) [16].

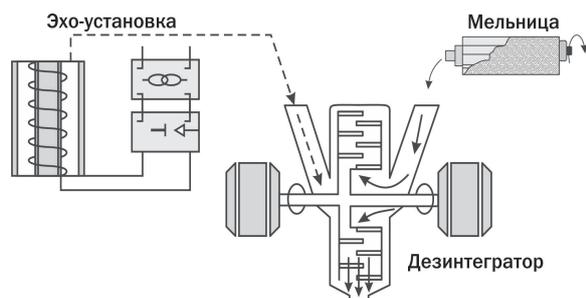


Рис. 6. Схема корректировки свойств хвостов обогащения в дезинтеграторе: ЭХО – получение реагентов для выщелачивания в установке электро-химической очистки

Fig. 6. Diagram of correcting tailing properties in disintegrator: ЭХО is obtaining the reagents for leaching flowoff in the electrochemical treating unit

Конструкция дезинтегратора позволяет не только активировать как инертные, так и вяжущие компоненты хвостов обогащения, но и извлекать из них металлы до уровня санитарных норм [17]. Комбинирование технологий снижает масштабы загрязнения окружающей среды металлами, поэтому полученный эффект увеличивается на

величину предотвращаемого ущерба от выноса металлов в экосистемы окружающей среды [18]:

$$Y = f(M_c, M_r, Q, a, T) = \sum_{n=1}^n \sum_{p=1}^P \sum_{o=1}^O \sum_{t=1}^T [(Q_a + Q_n + Q_m)(a_r^x - a_k^x)] \times (\sum K_c K_y K_T \sum K_6 K_r K_{вр} K_r) \rightarrow \max,$$

где Y – сумма факторов поражения окружающей среды; M_c – количество минералов в хвостах; M_r – количество минералов в атмосферных водах; P – предприятия переработки хвостов; P – количество минеральных компонентов; O – операции переработки; T – время переработки; Q_a, Q_n, Q_m – количество реагентов атмосферного, подземного и технологического происхождения, соответственно; a_r^x, a_k^x – исходная и конечная концентрация минералов; K_c – коэффициент самоорганизации; K_y – коэффициент утечки продуктов выщелачивания; K_T – коэффициент дальности утечки растворов; K_6 – коэффициент влияния на биосферу; K_r – коэффициент влияния загрязнения на другие регионы; $K_{вр}$ – коэффициент реализации опасности со временем; K_r – коэффициент риска поражения окружающей среды от неучтенных факторов.

Реализация принципов комбинирования традиционных и новых технологий разработки месторождений с вовлечением в производство в настоящее время омертвленных запасов некондиционных минеральных ресурсов создает новую сырьевую базу для горной промышленности и заменяет необходимость вовлечения в эксплуатацию новых месторождений, что отвечает стратегии развития горной промышленности России [19]. Описанная технология безотходного производства металлов

составляет часть стратегии национальной ресурсной безопасности России [20].

Выводы

Комбинирование традиционных и новых технологий разработки месторождений открывает возможности экономически эффективной добычи некондиционных руд. Геомеханическим условием возможности комбинирования технологий, отвечающих критерию сохранности земной поверхности от разрушения, является использование хвостов обогащения и выщелачивания в управлении состоянием рудовмещающего массива.

Эффективность использования недр и технико-экономические показатели горного производства повышаются применением технологии выщелачивания металлов на месте залегания руд с использованием хвостов подземного выщелачивания для управления состоянием рудовмещающих массивов.

Комбинирование традиционных и новых технологий разработки месторождений является реальной возможностью одновременного улучшения обычно антагонистически взаимодействующих экономических и экологических факторов разработки месторождений полезных ископаемых.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новая технология и оборудование для высокопроизводительной закладки выработанного пространства при подземной обработке месторождений / Д.Р. Каплунов, М.В. Рыльникова, В.А. Арсентьев, В.В. Квитка, Р.Ш. Маннанов // Горный журнал. – 2012. – № 2. – С. 66–70.
2. Лизункин В.М., Гаврилов А.А., Морозов А.А. Отработка маломощных крутопадающих урановых жил способом подземного выщелачивания // Горный журнал. – 2013. – № 8-2. – С. 78–82.
3. Лизункин В.М., Морозов А.А., Бейдин А.В. Комбинированная геотехнология добычных работ с рентгенорадиометрической сортировкой и выщелачиванием урана из бедной рудной массы в подземных условиях. // Горный журнал. – 2013. – № 8-2. – С. 82–86.
4. Экологические проблемы разработки рудных месторождений КМА / В.И. Голик, О.Н. Полухин, А.Н. Петин, В.И. Комащенко // Горный журнал. – 2013. – № 4. – С. 61–64.
5. Уманец В.Н., Бугаева Г.Г., Когут А.В. Методы оценки экологического риска для управления экологической безопасностью при производстве открытых горных работ // ГИАБ. – 2014. – № 8. – С. 112–116.
6. Сергеев С.В., Зайцев Д.А. Исследование температурного режима закладочного массива при разработке Яковлевского железорудного месторождения // Горный журнал. – 2012. – № 9. – С. 68–73.
7. Голик В.И. Управление состоянием массива. – М.: Инфра-М, 2014. – 135 с.
8. Ермолович Е.А., Шок И.А. Техногенные отходы в составе закладочных композиционных материалов. Technogenic waste as part of filling composite materials // Горный журнал. – 2012. – № 9. – С. 56–60.
9. Зимин Ю.И., Лейзерович С.Г. Промышленный закладочный комплекс – технологическая основа безотходного производства железорудного концентрата. Industrial stowing complex – technological basis of non-waste production of iron ore concentrate // Горный журнал. – 2013. – № 4. – С. 76–82.
10. Смирнов С.М., Татарников Б.Б., Александров А.Н. Влияние геодинамических условий отработки рудного участка на технологию очистных работ с закладкой выработанного пространства. The impact of geodynamic conditions of ore mining area to the technology of sewage treatment works with stowing // ГИАБ. – 2014. – № 11. – С. 132–136.
11. Борзаковский Б.А., Русаков М.И., Генкин М.В. Технология добычи руды с закладкой на вяжущем из хлористого кальция // ГИАБ. – 2014. – № 4. – С. 114–118.
12. Трубецкой К.Н., Корнилков С.В., Яковлев В.Л. О новых подходах к обеспечению устойчивого развития горного производства // Горный журнал. – 2012. – № 1. – С. 45–49.
13. Голик В.И. Природоохранные технологии разработки рудных месторождений. – М.: Инфра-М, 2014. – 190 с.
14. Техничко-экономическая оценка эффективности блочного подземного выщелачивания урана из бедных руд Стрельцовского рудного поля / А.А. Морозов, А.П. Смагин, Г.Ф. Безносос, А.Н. Юртаев // Горный журнал. – 2013. – № 8-2. – С. 129–131.
15. Голик В.И. Специальные способы разработки месторождений. – М.: Инфра-М, 2014. – 131 с.
16. Substantiating the possibility and expediency of the ore beneficiation tailing usage in solidifying mixtures production / O.N. Polukhin, V.I. Komashchenko, V.I. Golik, C. Drebenstedt. – Freiberg: Technische University Bergakademie, 2014. – 413 p.
17. Golik V.I., Rasorenov Y.I., Efremkov A.B. Recycling of ore mill tailings // Applied Mechanics and Materials. – 2014. – V. 682. – P. 363–368.
18. Golik V.I., Komachshenko V.I., Drebenstedt C. Mechanochemical Activation of the Ore and Coal Tailings in the Disintegrators // Mine Planning and Equipment Selection: 22nd conference. – Dresden, Germany, 14–19 October 2013. – Switzerland: Springer International Publishing, 2014. – P. 1047–1057. DOI: 10.1007/978-3-319-02678-7_101.
19. Golik V.I., Komachshenko V.I., Rasorenov Y.I. Activation of Technogenic Resources Disintegrators // Mine Planning and Equipment Selection: 22nd conference. – Dresden, Germany, 14–19 October 2013. – Switzerland: Springer International Publishing, 2014. – P. 1101–1107. DOI: 10.1007/978-3-319-02678-7_107.
20. Белова А.Г., Корнилков С.В. О технологической платформе «Твердые полезные ископаемые» // Горный журнал. – 2012. – № 1. – С. 12–18.

Поступила 18.11.2014 г.

UDC 504.55.054:622(470.6)

PRINCIPLES AND ECONOMIC EFFICIENCY OF ORE MINING TECHNOLOGY COMBINATION

Vladimir I. Golik,

Center of Geophysical Researches at Vladikavkaz Scientific Center of RAS and the Government of the Republic of North Ossetia-Alania, 93a, Markov street, Vladikavkaz, 362002, North Ossetia-Alania, Russia. E-mail: v.i.golik@mail.ru

Yury I. Razorenov,

North Caucasian State Technological University, 44, Nikolaev street, Vladikavkaz, 362021, North Ossetia-Alania, Russia. E-mail: yiri1963@mail.ru

Sergey G. Stradanchenko,

Institute for the service sector and entrepreneurship, 97, Revolution Avenue, Shakhty, 346500, Russia. E-mail: ssg72@mail.ru

Zarema M. Khasheva,

Southern Institute of Management, 216, Stavropolskaya street, Krasnodar, 350040, Russia. E-mail: zarema_muratovna@mail.ru

Relevance of the work is caused by the necessity to provide the needs of humanity in mineral resources, doubled every 10 years, and to minimize environmental damage from the disastrous use of chemicals with mining products.

The main aim of the research is to study the feasibility and economic efficiency of combining the technologies of exploring ore deposits using tailings and ore leaching to control the state of ore-hosting arrays and involvement previously substandard resources into processing.

Methods: the analysis of literature, expert modeling of the parameters of combinable technologies, interpretation of practical results, mathematical modeling of production economic parameters.

Results. The authors have substantiated technical feasibility and economic efficiency of combining traditional and new technologies to develop ore deposits based on the criterion of technology efficiency, developed the ecological-economic model of efficient use of different strengths filling mixtures based on recyclable tailings and leach technology, recommended the metals leaching technique from substandard raw materials. Geomechanical conditions of combining technologies filling the cavities with mixtures based on tailings and using arrays of tailings of underground leaching were developed. The paper introduces the algorithm for determining the profits of technologies combination.

Conclusions. Combination of traditional and new field exploration technologies opens up the possibilities of cost-effective production of sub-standard ores. The use of tailings and leaching in controlling the state of the ore-hosting array is the instrument of combining technologies, which meet the criteria of preserving the earth's surface from destruction. The combination of traditional and new field exploration technologies is a real possibility of improving the economic and environmental indices of exploitation of mineral deposits.

Key words:

Economy, ecology, engineering, metal, mine, combining, technology, criterion, nature conservation, resource conservation, model, efficiency, environment, reserves, ore.

REFERENCES

1. Kaplunov D.R., Rynnikova M.V., Arsentev V.A., Kvitka V.V., Mannanov R.Sh. Novaya tekhnologiya i oborudovanie dlya vysokoproizvoditelnoy zakladki vyrabotannogo prostranstva pri podzemnoy otrabotke mestorozhdeniy [New technology and equipment for high-stowing at underground mining of deposits]. *Gornyy zhurnal*, 2012, no. 2, pp. 66–70.
2. Lizunkin V.M., Gavrilov A.A., Morozov A.A. Otrabotka malomoshchnykh krutopadayushchikh uranovykh zhil sposobom podzemnogo vyshchelachivaniya [Testing low-power steeply dipping veins of uranium in-situ leaching method]. *Gornyy zhurnal*, 2013, no. 8-2, pp. 78–82.
3. Lizunkin V.M., Morozov A.A., Beydin A.V. Kombinirovannaya geotekhnologiya dobychnykh rabot s rentgenoradiometricheskoy sortirovkoj i vyshchelachivaniem urana iz bednoy rudnoy massy v podzemnykh usloviyakh [Combined Geotechnology mining operations with X-ray radiometric sorting and leaching of uranium ore from a poor masses in underground conditions]. *Gornyy zhurnal*, 2013, no. 8-2, pp. 82–86.
4. Golik V.I., Polukhin O.N., Petin A.N., Komashchenko V.I. Ekologicheskie problemy razrabotki rudnykh mestorozhdeniy KMA [Environmental problems of exploring KMA ore deposits]. *Gornyy zhurnal*, 2013, no. 4, pp. 61–64.
5. Umanets V.N., Bugaeva G.G., Kogut A.V. Metody otsenki ekologicheskogo riska dlya upravleniya ekologicheskoy bezopasnostyu pri proizvodstve otkrytykh gornykh rabot [Methods for assessing the ecological risk of environmental safety management in the production of open pit mining]. *GIAB*, 2014, no. 8, pp. 112–116.
6. Sergeev S.V., Zaytsev D.A. Issledovanie temperaturnoy rezhima zakladochnogo massiva pri razrabotke Yakovlevskogo zhelezorudnogo mestorozhdeniya [Research of filling mass temperature mode when developing Yakovlevskoe iron ore deposit]. *Gornyy zhurnal*, 2012, no. 9, pp. 68–73.
7. Golik V.I. *Upravlenie sostoyaniem massiva* [Controlling the array state]. Moscow, Infra-M Publ., 2014. 135 p.
8. Ermolovich E.A., Shok I.A. Tekhnogennyye otkhody v sostave zakladochnykh kompozitsionnykh materialov [Technogenic wastes in filling composite materials]. *Gornyy zhurnal*, 2012, no. 9, pp. 56–60.
9. Zimin Yu.I., Leyzerovich S.G. Promyshlenny zakladochnyy kompleks – tekhnologicheskaya osnova bezotkhodnogo proizvodstva zhelezorudnogo kontsentrata [Industrial filling complex is the

- technological base of iron-ore concentrate production]. *Gorny zhurnal*, 2013, no. 4, pp. 76–82.
10. Smirnov S.M., Tatarnikov B.B., Aleksandrov A.N. Vliyaniye geodinamicheskikh usloviy otrabotki rudnogo uchastka na tekhnologiyu ochistnykh robot s zakladkoy vyrabotannogo prostranstva [Influence of geodynamic conditions of processing ore area on second working technology with goaf stowing]. *GIAB*, 2014, no. 11, pp. 132–136.
 11. Borzakovskiy B.A., Rusakov M.I., Genkin M.V. Tekhnologiya dobychi rudy s zakladkoy na vyazhushchem iz khloristogo kaltsiya [Ore production technology with stowage on potassium chloride binder]. *GIAB*, 2014, no. 4, pp. 114–118.
 12. Trubetskoy K.N., Kornilkov S.V., Yakovlev V.L. O novykh podkhodakh k obespecheniyu ustoychivogo razvitiya gornogo proizvodstva [On new approaches to provide mining sustainable development]. *Gorny zhurnal*, 2012, no. 1, pp. 45–49.
 13. Golik V.I. *Prirodookhrannyye tekhnologii razrabotki rudnykh mestorozhdeniy* [Environmental technologies of exploring ore deposits]. Moscow, Infra-M Publ., 2014. 190 p.
 14. Morozov A.A., Smagin A.P., Beznosov G.F., Yurtaev A.N. Tekhniko-ekonomicheskaya otsenka effektivnosti blochnogo podzemnogo vyshchelachivaniya urana iz bednkh rud Streltsovskogo rudnogo polya [Technical and economic assessment of the efficiency of uranium block underground leaching from poor ores of Streltsovs ore field]. *Gorny zhurnal*, 2013, no. 8-2, pp. 129–131.
 15. Golik V.I. *Spetsialnye sposoby razrabotki mestorozhdeniy* [Special methods of exploring deposits]. Moscow, Infra-M Publ., 2014. 131 p.
 16. Polukhin O.N., Komashchenko V.I., Golik V.I., Drebenstedt C. *Substantiating the possibility and expediency of the ore beneficiation tailing usage in solidifying mixtures production*. Freiberg, Technische University Bergakademie, 2014. 413 p.
 17. Golik V.I., Rasorenov Y.I., Efremenko A.B. Recycling of ore mill tailings. *Applied Mechanics and Materials*, 2014, vol. 682, pp. 363–368.
 18. Golik V.I., Komachshenko V.I., Drebenstedt C. Mechanochemical Activation of the Ore and Coal Tailings in the Disintegrators. *Mine Planning and Equipment Selection: 22nd conference*. Dresden, Germany, 14–19 October 2013. Switzerland, Springer International Publishing, 2014. pp. 1047–1057. DOI: 10.1007/978-3-319-02678-7_101.
 19. Golik V.I., Komachshenko V.I., Rasorenov Y.I. Activation of Technogenic Resources Disintegrators. *Mine Planning and Equipment Selection: 22nd conference*. Dresden, Germany, 14–19 October 2013. Switzerland, Springer International Publishing, 2014. pp. 1101–1107. DOI: 10.1007/978-3-319-02678-7_107.
 20. Belova A.G., Kornilkov S.V. *O tekhnologicheskoy platforme «Tverdye poleznyye iskopaemye»* [Technological platform «Solid minerals»]. *Gorny zhurnal*, 2012, no. 1, pp. 12–18

Received: 18 November 2014.