

РАЗРАБОТКА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 504.55.054:622(470.6)

<https://doi.org/10.18503/1995-2732-2018-16-1-4-10>

ПЕРСПЕКТИВЫ КОМБИНИРОВАНИЯ ГОРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

Голик В.И., Дмитрак Ю.В.

Северо-Кавказский государственный технологический университет, Владикавказ, Россия

Аннотация

Актуальность и цель исследования. Статья посвящена актуальной проблеме упрочнения ослабленной пост – реформационными явлениями минерально-сырьевой базы цветной металлургии путем вовлечения в производство недоступных для традиционной технологии переработки запасов технологически вскрываемых руд преимущественно цветных металлов. **Методы.** Методика исследования включает оценку возможности использования неактивных ресурсов при подземной разработке месторождений металлических руд комбинированной технологией с использованием комплекса принятых методов, в том числе ретроспективное осмысление передового опыта урановой отрасли и интерпретацию полученных результатов. **Результаты.** Сформулированы принципы комбинирования технологий разработки природных и техногенных месторождений руд цветных металлов по эколого-экономическому критерию. Дана историческая справка и результаты анализа практики подземного выщелачивания урановых и полиметаллических руд с балансовым содержанием металлов. Приведены сведения о механизме и способах комбинирования технологий добычи и первичной переработки на основе использования прогрессивных элементов традиционных и новых технологий, в том числе управление состоянием дискретных пород скальных массивов закладкой пустот твердеющими смесями дифференцированной прочности, способов подземного и кучного выщелачивания технологически вскрываемых металлов и выщелачивания в дезинтеграторах с комбинированной механо-химической активацией компонентов твердеющих смесей. Сформулированы условия эффективности применения технологии выщелачивания. **Выводы.** Освоение комбинированных технологий переработки некондиционных для традиционной технологии запасов открывает новые перспективы для горно-обогатительных предприятий цветной металлургии. Комбинирование традиционных технологий разработки с инновационными технологиями выщелачивания металлов является реальным резервом оздоровления экономики горных предприятий, обеспечивая извлечение металлов до безопасного уровня и возможность погашения образованных горными работами пустот закладкой твердеющими смесями на основе утилизируемых хвостов добычи и переработки руд.

Ключевые слова: строительная механика, подземная разработка, порода, массив, геомеханика, металл, выщелачивание.

Введение

При в целом удовлетворительной обеспеченности отраслей экономики запасами металлических полезных ископаемых состояние минерально-сырьевой базы цветной металлургии формирует национальную проблему [1–3].

Не обеспечен собственным сырьем ряд заводов Урала, на Кольском полуострове с выбыванием основного поставщика медно-никелевых руд осложняется положение металлургических комбинатов Печенганикель и Североникель. Без достаточной сырьевой базы работают свинцово-цинковые рудники Читинской области, Приморья и Северного Кавказа, оловянные – в Хабаровском и Приморском краях, вольфрамовые – в Приморском крае.

Результаты и обсуждение

По мере исчерпания запасов разрабатываемых месторождений приоритетным, а в некоторых случаях и единственным источником минерального сырья, могут стать техногенные объекты.

В хвостах обогащения руд цветных металлов доля не извлеченных компонентов от их количества в исходной руде достигает соответственно, %: олова –58; вольфрама –50; цинка –47; свинца –39; молибдена –53; меди –36; никеля –25. Показатель извлечения основных полезных ископаемых не превышает 78%, а попутных элементов составляет от 10 до 30%.

Техногенные отходы медной подотрасли Урала объединяют 220 млн т хвостов обогащения с содержанием меди 0,34–0,37%, которое близко к кондиционному значению 0,35–0,5%. Хвосты

обогащения медно-никелевых руд Норильского рудного узла содержат промышленные концентрации платиноидов, золота и серебра.

При обогащении вольфрамово-молибденовых руд не извлекаются до 60% меди, до 81% висмута, до 62% тантала, золота, серебро и другие элементы. На Тырныаузском комбинате кондиционными считаются руды с содержанием $>0,1\%$ триоксида вольфрама, а в хвостах его содержание превышает 0,04%. На долю кондиционных руд приходится всего 13,5% горной массы, содержащей лишь 34,6% полезного компонента. Некондиционные руды уносят в отвал 65,4% извлеченного из недр металла.

В вольфрамово-молибденовой подотрасли накоплены хвосты флотационного и флотационно-гравитационного обогащения, которые содержат около 400 тыс. т молибдена и более 100 тыс. т вольфрама. Более половины составляют хвосты с промышленным содержанием молибдена 0,012–0,02%, в остальной массе содержание молибдена до 0,005%.

В отходах медной, свинцово-цинковой, никель-кобальтовой, вольфрамово-молибденовой, оловянной и алюминиевой подотраслей содержится более 8,0 млн т меди, 9,0 млн т цинка, 1,0 млн т свинца, 2,5 млн т никеля, 33,5 млн т алюминиевого сырья, 600 тыс. т олова, 200 тыс. т молибдена, около 1 тыс. т золота и 12 тыс. т серебра.

Резервы полезных компонентов в накопленных отходах равноценны запасам многих новых месторождений. Наиболее крупными техногенными месторождениями являются хвосты обогащения Гайского, Норильского, Салаирского, Учалинского и Солнечного ГОК; шлаки металлургических заводов – Среднеуральского, Электроцинка, Печенганикеля, Североникеля; некондиционные руды Гайского, Сибайского и других ГОК. Суммарная ценность накопленных извлекаемых металлов в отходах сопоставима с ценностью запасов минерального сырья в недрах.

В качестве сырья для стройиндустрии используется не более 10% годового объема образования отходов, при том что в технологически развитых странах из отходов получают более 40% годового объема меди, 35% золота и значительную долю других металлов [4–6].

При вовлечении в переработку отходов горнорудного производства наряду с пополнением минерально – сырьевой базы решаются экологические проблемы. Отходы занимают площадь более 1300 км² с ежегодным увеличением на 85–90 км². Негативное воздействие на окружающую среду проявляется на территории, в 10 раз и бо-

лее превышающей занимаемую отходами площадь. Значительная часть отчуждаемых земель находится в границах населенных пунктов и крупных городов.

Техногенные месторождения компактно расположены на поверхности земли, горная масса в них дезинтегрирована, что снижает затраты на их разработку и делает технологию утилизации металлов рентабельной.

Устойчивое развитие горно-металлургических предприятий и обеспечение минерально-сырьевой безопасности России может быть достигнуто путем упрочнения сырьевой базы за счет вовлечения в производство потерянных и считающихся недоступными запасов.

Со временем промышленные запасы руд многих месторождений уменьшаются, а качество руд снижается, увеличивая себестоимость металлов. Это стимулирует выборочную отработку участков месторождений, что еще больше увеличивает потери руд и металлов.

При добыче руд цветных металлов преобладает валовая отбойка без разделения на сорта. Системы разработки с обрушением характеризуются повышенными потерями и разубоживанием руды, поэтому повышается приоритет систем разработки с закладкой выработанного пространства.

В пределах месторождений появляются участки, где использование традиционных технологий экономически неприемлемо.

Стремление максимально использовать балансовые и забалансовые запасы руды обусловило появление и развитие направления комбинированной разработки месторождений. Инструментом реализации этого направления является подземное выщелачивание руд в блоках.

Металлические руды – комплексные и утилизация хвостов их переработки в собственных или смежных производствах без извлечения из них оставшихся металлов является очевидным паллиативом. Многие металлы (золото, уран, медь, цинк и др.) относятся к легко вскрываемым, что увеличивает возможности их выщелачивания из хвостов традиционного обогащения.

При неоспоримых достоинствах (полнота и высокое качество добываемых руд) технологии с закладкой требуют выдачи на поверхность всей руды и разубоживающих пород. Более того, в образованные пустоты необходимо подать смесь из также добываемых горными работами материалов.

Эти недостатки устраняют технологи с выщелачиванием металлов (рис. 1).

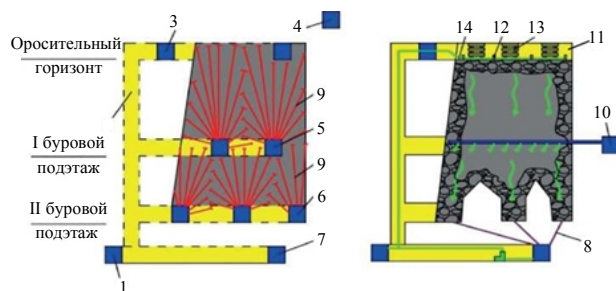


Рис. 1. Подземное блоковое выщелачивание металлов из руд: 1 – штрек; 2 – восстающий; 3 – штрек для орошения; 4 – штрек; 5 – буровые штреки; 6 – дренажно-буровые штреки; 7 – дренажный штрек; 8 – дренажные скважины; 9 – промежуточный горизонт орошения; 10 – промежуточный горизонт орошения; 11 – штрек для орошения; 12 – верхняя подсечка; 13 – костровая крепь; 14 – оросительная система

Для регионов горной добычи практический интерес представляют объекты разработки прежних лет, нередко вмещающие отделенную от массива и раздробленную горную массу. Исследования перспектив извлечения металлов из некондиционных руд начались полвека назад как альтернатива традиционным технологиям, использование которых опасно для окружающей среды химическим загрязнением [7–9].

Первое в мировой практике подземное выщелачивание урановых руд с балансовым содержанием металлов осуществлено на Казахском месторождении Восток отработкой рудного тела в трещиноватых породах крепостью 4–6 по М.М. Протодяконову в блоке размерами 30×5×30 м. При коэффициенте разрыхления руд 1,12 коэффициент извлечения металлов в раствор составил 72%.

Примерно в то же время подземное выщелачивание полиметаллических руд с балансовым содержанием металлов было реализовано на Фиагонском месторождении РСО-Алания.

На месторождениях руд цветных металлов получило распространение кучное выщелачивание металлов с извлечением до 50 – 70% металлов от исходного значения в хвостах.

Сложившаяся ситуация с минерально – сырьевой базы благоприятствует развитию комбинированных технологий, суть которых заключается в том, что богатые руды выдают на поверхность и перерабатывают на заводе по традиционной технологии, а бедные – выщелачивают с получением металлов, строительного сырья, обессоленной воды, газов, кислот и щелочей [10–12].

Природоохранная сущность технологий с выщелачиванием заключается в следующем:

- увеличение объемов закладки пустот твердеющими смесями из утилизируемых хвостов снижает разубоживание руд и уменьшает потери в рудных целиках;
- извлечение всех металлических компонентов из руд с селективизацией гидрометаллургической переработкой.

Получило развитие новое направление: извлечения из некондиционного сырья и хвостов обогащения путем воздействия высокой энергией в дезинтеграторах.

Процесс комбинирования технологий включает в себя вопросы управления состоянием массива, приготовление и доставку твердеющих смесей, обеспечение фильтрации и сбора растворов выщелачивания, безотходную утилизацию хвостов обогащения и некоторые другие.

Перспективы комбинирования технологий усиливаются путем использования не только хвостов обогащения после извлечения из них металлов, но и хвостов подземного выщелачивания, которые по окончании извлечения металлов естественными вяжущими веществами скрепляются в массив прочностью до 1 МПа.

Современные методы управления породными конструкциями основаны на учете механизма горного давления и создаваемых им напряжений, а также теории упругости, пластичности, ползучести и др. [13–15].

Методической основой обоснования корректности использования искусственных массивов из отходов производства являются положения разуплотненных и уплотненных пород конструкций с использованием методов механики дефектных сред А.Н. Динника, М.М. Протодяконова, П.М. Цимбаревича, Г.М. Малахова, В.Д. Слесарева и др.

Основу управления состоянием массивов методами строительной механики составляют положения:

- несущая способность конструкций зависит от геомеханической сбалансированности пород;
- несущая способность пород повышается путем регулирования деформаций;
- управление массивами обеспечивается повышением прочности несущих породных конструкций.

Породы кровли выработок разбиты на структурные блоки, которые в кровле очистных выработок могут образовывать трехшарнирную арку, прочность которой определяется физико-механическими свойствами пород, размерами структурных блоков и элементами залегания рудных тел (рис. 2).

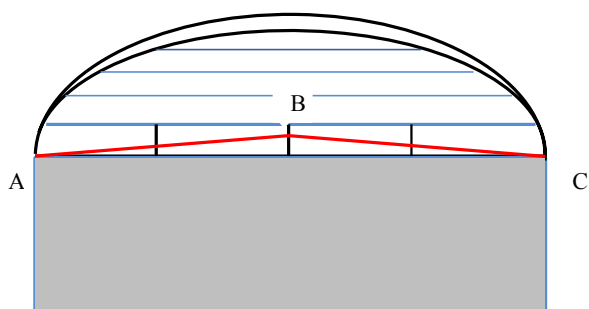


Рис. 2. Схема сохранения плоской кровли при возникновении шарнирной арки:
А, В, С — шарниры

Критерием устойчивости является условие

$$L_{\text{факт}} \leq L_{\alpha}^{\circ},$$

где L_{α}° — предельно допустимый эквивалентный пролет обнажения плоской кровли, определенный для данных условий, м; $L_{\text{факт}}$ — эквивалентный пролет кровли фактической выработки, м.

Если условия отработки рудного тела не обеспечивают возможность сплошной отработки, оно делится на участки, размеры каждого из которых удовлетворяют условию.

При расчете безопасного пролета выработки исходят из того, что кровля обрушается, но над выработкой образуется свод естественного равновесия, который на себе несет массу вышележащих пород и препятствует дальнейшему обрушению пород.

Пролет бесконечной длины выработки, высота свода естественного равновесия над ней и инженерно-геологические характеристики массива связаны между собой:

$$\left(\frac{2R_{\text{сж}}k_o d_1 h_{\text{св}}}{\gamma g (2H - h_{\text{св}})} \right)^2 = h_{\text{св}}^2 \left(\frac{l}{2} \right)^2 + \left(\frac{l}{2} \right)^4,$$

где d_1 — размер структурного блока в горизонтальном направлении, м; $R_{\text{сж}}$ — прочность горных пород на сжатие, Па; k_o — коэффициент структурного ослабления пород; $h_{\text{св}}$ — высота свода естественного равновесия, м; γ — плотность горных пород, кг/м³; g — ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с²; H — глубина залегания выработки, м; l — пролет выработки бесконечной длины, м.

Связь между максимальным пролетом плоской кровли, высотой соответствующего этой выработке свода естественного равновесия и свойствами пород имеет вид:

$$\left(\frac{3R_{\text{сж}}k_o d_2^2}{2k_3 \gamma h_{\text{св}} g} \right) = d_2^2 \left(\frac{L^{\circ}}{2} \right)^2 + \left(\frac{L^{\circ}}{2} \right)^4,$$

где $R_{\text{сж}}$ — прочность горных пород на сжатие, Па; k_o — коэффициент структурного ослабления пород; d_2^2 — вертикальный размер структурного блока, м; γ — плотность горных пород, кг/м³; g — ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с²; $h_{\text{св}}$ — высота свода естественного равновесия, м; L° — предельно допустимый пролет плоской кровли выработки бесконечной длины.

Величина предельно допустимого пролета плоской кровли выработки бесконечной длины:

$$\left\{ \begin{aligned} \left(\frac{2R_{\text{сж}}k_o d_1 h_{\text{св}}}{\gamma g (2H - h_{\text{св}})} \right)^2 &= h_{\text{св}}^2 \left(\frac{l}{2} \right)^2 + \left(\frac{l}{2} \right)^4 \\ \left(\frac{3R_{\text{сж}}k_o d_2^2}{2k_3 \gamma h_{\text{св}} g} \right) &= d_2^2 \left(\frac{L^{\circ}}{2} \right)^2 + \left(\frac{L^{\circ}}{2} \right)^4 \end{aligned} \right.$$

Комбинирование технологий при одинаковой производительности предприятия по горной массе позволяет повысить производительность по металлу в 2 раза на всех этапах разработки месторождения (рис. 3) [16–18].

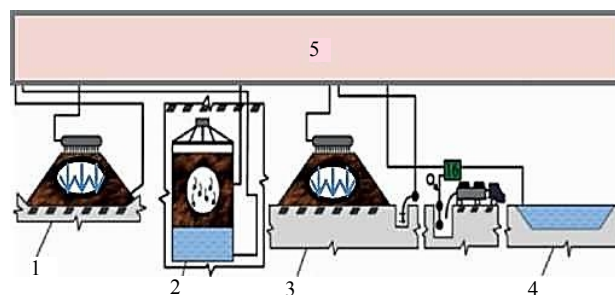


Рис. 3. Комбинированное выщелачивание металлов: 1 — штабель КВ; 2 — блок ПВ; 3 — отвал; 4 — пруд; 5 — цех переработки растворов

Максимальная экономическая эффективность отработки обеспечивается при условии

$$M' \geq \frac{\varepsilon_n - \varepsilon_T}{\varepsilon_n - \varepsilon_2 \varepsilon_3} \cdot M,$$

где M — количество металлов в недрах, ед.; M' — количество выданного из недр металла, ед.; ε_n — извлечение металлов из руд выщелачиванием, доли ед.; ε_T — извлечение металлов из недр при традиционной технологии

$$\varepsilon_T = \frac{M_B}{M} \cdot \varepsilon_1 \varepsilon_2 \varepsilon_3,$$

где M_B – количество металлов при традиционной технологии, ед.; ε_1 – извлечение металлов из недр при традиционной технологии, доли ед.; ε_2 – извлечение металлов в концентрат при обогащении, доли ед.; ε_3 – извлечение полезного компонента из концентрата на ГМЗ, доли ед.;

Комбинирование процессов механической активации и химического выщелачивания позволяет извлекать металлы на 2 порядка быстрее, чем при агитационном выщелачивании, что способствует снижению эксплуатационных затрат.

Одним из аспектов выщелачивания в дезинтеграторах является повышение активности компонентов твердеющих смесей в барабанных и вибрационных мельницах и активаторах, например в дезинтеграторах (рис. 4).

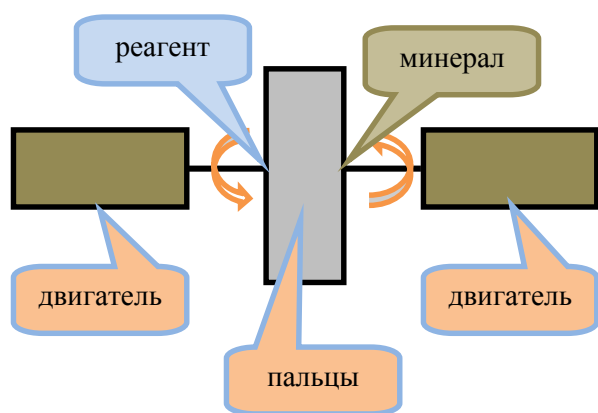


Рис. 4. Схема выщелачивания в дезинтеграторе

Эффективность комбинирования геотехнологий должна оцениваться не по прибыли как разницы между стоимостью металлов на рынке C_d и затратами на его производство Z_d , а с уменьшением на величину стоимости потерянных в недрах металлов:

$$\Pi = C_d - Z_d - C_{\text{п.}}$$

Такой подход поставит применяемые технологии в сравнимые условия и будет способствовать гуманизации отношения к невосполнимым запасам недр. Обозначенная проблема решается с привлечением к научной разработке смежных процессов горного производства, участвующих в формировании его эффективности [19–20].

Заключение

Комбинирование традиционных технологий разработки с технологиями выщелачивания металлов открывает перспективы использования ранее считавшихся некондиционными запасов и является реальным резервом оздоровления экономики горных предприятий, в первую очередь цветной металлургии.

Безотходная утилизация хвостов обогащения на основе технологий выщелачивания обеспечивает не только извлечение металлов до безопасного по санитарным условиям уровня, но и возможность погашения образованных горными работами пустот закладкой твердеющими смесями, в том числе и активированными по дезинтеграторной технологии.

Вовлекаемые в производство некондиционные для традиционных технологий запасы обеспечивают практически неограниченную сырьевую базу и продляют сроки жизни горнообогатительным предприятиям.

Список литературы

1. Голик В.И., Комащенко В.И., Поляков А.В. Современные технологии извлечения металлов из хвостов обогащения и переработки руд с целью их комплексного использования // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2016. №1. С. 100–111.
2. Ляшенко В.И. Природоохранные технологии освоения сложноструктурных месторождений полезных ископаемых // Маркшейдерский вестник. 2015. № 1. С. 10–15.
3. Каплунов Д.Р., Мельник В.В., Рылъникова М.В. Комплексное освоение недр // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2016. 333 с.
4. Евдокимов С.И., Евдокимов В.С. Повышение извлечения золота на основе совместной переработки руды и отходов // ФТПРМП. 2017. №2. С. 154–160.
5. 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. P.529–532.
6. Golik V.I., Dmitrak Yu. V. Parameters of transportation of tailings of metals lixiviating // E3S Web of Conferences The Second International Innovative Mining Symposium. 2017.
7. Голик В.И., Брюховецкий О.С., Габараев О.З. Технологии освоения месторождений урановых руд / Российский гос. геологоразведочный ун-т им. Серго Орджоникидзе. М., 2007. 131 с.
8. Голик В.И. Концептуальные подходы к созданию мало- и безотходного горнорудного производства на основе комбинирования физико-технических и физико-химических геотехнологий // Горный журнал. 2013. № 5. С. 93–97.
9. Рылъникова М.В. Ресурсосбережение и энергоэффективность при комбинированной геотехнологии // Комбинированная геотехнология: ресурсосбережение и энергоэффективность. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2017. С. 18–21.
10. Sinclair L., Thompson J. In situ leaching of copper: Challenges and future prospects // Hydrometallurgy. 2015. Vol. 157. P. 306–324.
11. Franks D.M., Boger D.V., Côte C.M., Mulligan D.R. 2011. Sustainable Development Principles for the Disposal of Mining and Mineral Processing Wastes // Resources Policy. Vol. 36. No. 2. P. 114–122.
12. Jang H., Topal E., Kawamura Y. Decision support system of unplanned dilution and ore-loss in underground stoping

- operations using a neuro-fuzzy system // *Applied Soft Computing Journal*. 2015. Vol. 32. P. 1–12.
13. Голик В.И., Комащенко В.И., Качурин Н.М. Концепция комбинирования технологий разработки рудных месторождений // *Известия ТулГУ. Науки о Земле*. 2015. №4. С. 76–88.
 14. Бабкин В.В., Успенский Д.Д. Новая стратегия. Химия-2030. Высокие переделы сырья. Кластеризация. Химизация индустрии РФ. М.: Лица, 2015. 222 с.
 15. Ghorbani Y., Franzidis J.-P., Petersen J. Heap Leaching Technology – Current State, Innovations, and Future Directions: A review // *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*. 2016. Vol. 37. No. 2. P. 73–119.
 16. Пучков Л.А. Прогноз минерально-энергетического потребления при бескризисном развитии экономики // *Горный журнал*. 2014. №7. С. 45–48.
 17. Соколов И.В., Антипин Ю.Г. Систематизация и экономико-математическое моделирование вариантов вскрытия подземных запасов при комбинированной разработке месторождений // *Горный журнал*. 2012. № 1. С. 67–71.
 18. Прогрессивные методы обогащения и комплексной переработки природного и техногенного минерального сырья (Плаксинские чтения-2014) / под ред. В.А. Чантурия. Алматы: АО «Центр наук о Земле, металлургии и обогащения», 2014. 624 с.
 19. Математические модели аэрогазодинамических процессов на очистных участках шахт и рудников / Стась Г.В. Качурин Н.М., Мохначук И.И., Поздеев А.А. // *Изв. ТулГУ. Естественные науки*. Вып. 1. 2013. С. 267–277.

Поступила 04.12.17.

Принята в печать 18.01.18.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

<https://doi.org/10.18503/1995-2732-2018-16-1-4-10>

PROSPECTS OF USING A COMBINATION OF MINING TECHNIQUES IN THE PRODUCTION OF NON-FERROUS METALS

Vladimir I. Golik – D.Sc. (Eng.), Professor

Professor at the Department of Mining, North-Caucasus State Technical University, Vladikavkaz, Russia. E-mail: v.i.golik@mail.ru

Yury V. Dmitrak – D.Sc. (Eng.), Professor, Rector

North-Caucasus State Technical University, Vladikavkaz, Russia.

Abstract

Relevance and Objectives. This article looks at the important problem of reinforcing the non-ferrous metallurgy mineral base, which was weakened in the post-reform period, through the introduction in the production process of primarily non-ferrous metal ores that cannot be processed using conventional technology. **Methods Applied.** The methods applied include an analysis of the possibility to make use of non-active resources in the underground mining of metal ores using a combination of processes, which also include some conventional techniques, such as retrospective understanding of advanced practices from the uranium industry and interpretation of the results obtained. **Outcomes.** The authors formulated the principles of combining mining techniques for mining natural and man-made non-ferrous metal ore deposits following an eco-economic criterion. The authors give some historical information and their analysis of the in-situ leaching practices applied to uranium and polymetallic ores with balance metal content. Information is given on ways to use combinations of mining and processing techniques based on the use of improved conventional processes together with state-of-the-art technologies, which include the following: control over discrete rocks within a massif by filling the underground voids with hardening stowing mixtures of differentiated hardness, in-situ and heap leaching of mined metals and leaching in disintegrators with mechanical and chemical activation of the hardening mixture components. The articles also de-

scribes the conditions which can ensure efficiency of the leaching process. **Findings.** Combined mining processes designed for substandard reserves open up new prospects for concentrators dealing with non-ferrous metals. Combining conventional mining processes with innovative metal leaching techniques provides a potential for mining companies to improve their economies through reasonable metal recovery and the possibility to use hardening mixtures made with recoverable mine and concentrator tailings for backfilling.

Keywords: Structural mechanics, underground mining, rock, massif, geomechanics, metal, leaching.

References

1. Golik V.I., Romashchenko V.I., Polyakov A.V. Advanced techniques for the recovery of metals from concentrator tailings for their further multiple applications. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauka o Zemle* [Bulletin of the Tula State University. Earth science]. 2016, no. 1, pp. 100–111. (In Russ.)
2. Lyashenko V.I. Eco technologies for the development of complex mineral deposits. *Marksheydskiy vestnik* [Mine surveying bulletin]. 2015, no. 1, pp. 10–15. (In Russ.)
3. Kaplunov D.R., Melnik V.V., Rynnikova M.V. Comprehensive development of mineral resources. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauka o Zemle* [Bulletin of the Tula State University. Earth science]. 2016, 333 p. (In Russ.)
4. Evdokimov S.I., Evdokimov V.S. Improved recovery of gold due to processing of ore and waste together.

- FTPRMPI [Journal of Mining Science]. 2017, no. 2, pp. 154-160. (In Russ.)
5. 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, pp. 529-532.
6. Golik V. I., Yu Dmitrak. V. Parameters of transportation of tailings of metals lixiviating. E3S Web of Conferences The Second International Symposium Innovative Mining. 2017.
7. Golik V.I., Bryukhovetskiy O.S., Gabaraev O.Z. Development of uranium ore deposits. Moscow, 2007, 131 p. (In Russ.)
8. Golik V.I. Conceptual approaches to the creation of low- and non-waste mining processes through a combination of physico-technical and physicochemical geotechnologies. *Gornyi zhurnal* [Mining journal]. 2013, no. 5, pp. 93-97. (In Russ.)
9. Rylnikova M.V. Resource conservation and energy efficiency provided by combined geotechnology. *Kombinirovannaya geotekhnologiya: resursosberezhenie i energoeffektivnost'* [Combined geotechnology: Resource conservation and energy efficiency]. Magnitogorsk, NMSTU, 2017, pp. 18-21. (In Russ.)
10. Sinclair L., Thompson J. In situ leaching of copper: Challenges and future prospects. *Hydrometallurgy*. 2015, vol. 157, pp. 306-324.
11. Franks, D. M., Boger D. V., Côte, C. M., Mulligan D. R. 2011. Sustainable Development Principles for the Disposal of Mining and Mineral Processing Wastes. *Resources Policy*, vol. 36, no. 2, pp. 114-122.
12. H. Jang, E. Topal, Kawamura Y. Decision support system of unplanned dilution and ore-loss in underground stoping operations using a neuro-fuzzy system. *Applied Soft Computing Journal*. 2015, vol. 32, pp. 1-12.
13. Golik V.I., Romashchenko V.I., Kachurin N.M. The concept of combining ore development techniques. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauka o Zemle* [Bulletin of the Tula State University. Earth science]. 2015, no. 4, pp. 76-88. (In Russ.)
14. Babkin V.V., Uspensky D.D. New strategy. Chemistry-2030. High value added raw materials. Clustering. Adoption of chemicals by the industry of the Russian Federation. Moscow: Lika, 2015, 222 p. (In Russ.)
15. Ghorbani Y., Franzidis J.-P., Petersen J. Heap Leaching Technology – Current State, Innovations, and Future Directions: A review. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*. 2016, vol. 37, no. 2, pp. 73-119.
16. Puchkov L.A. Expected consumption of mineral and energy resources in crisis-free economy. *Gornyi zhurnal* [Mining journal]. 2014, no. 7, pp. 45-48. (In Russ.)
17. Sokolov I.V., Antipin Yu.G. Systematization and economics-focused modeling of techniques for the development of underground reserves when using a combined development technology. *Gornyi zhurnal* [Mining journal]. 2012, no. 1, pp. 67-71. (In Russ.)
18. Progressive methods of concentration and comprehensive processing of natural and man-made mineral resources (Plaksin readings 2014). Ed. by V.A. Chanturia. Almaty: JSC «Center of Sciences about Earth, metallurgy and enrichment», 2014, 624 p. (In Russ.)
19. Stas G.V., Kachurin N.M., Mokhnachuk I.I., Pozdeev A.A. Mathematical models of aerogas dynamics in stopes at mines and quarries. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauka o Zemle* [Bulletin of the Tula State University. Earth science]. 2013, iss. 1, pp. 267-277. (In Russ.)

Received 04/12/17

Accepted 18/01/18

Образец для цитирования

Голик В.И., Дмитрак Ю.В. Перспективы комбинирования горных технологий при производстве цветных металлов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2018. Т.16. №1. С. 4–10. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2018-16-1-4-10>

For citation

Golik V.I. Dmitrak Yu.V. Prospects of using a combination of mining techniques in the production of non-ferrous metals. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2018, vol. 16, no. 1, pp. 4–10. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2018-16-1-4-10>