

ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ И УТИЛИЗАЦИИ ТЕХНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ И ОТХОДОВ

RECYCLING OF MAN-MADE MINERAL FORMATIONS AND WASTE

ISSN 1995-2732 (Print), 2412-9003 (Online)

УДК 504.55.054:622(470.6)

DOI: 10.18503/1995-2732-2020-18-3-13-24

ОПЫТ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ МЕТАЛЛОВ В ПОДЗЕМНЫХ БЛОКАХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА

Голик В.И.¹, Разоренов Ю.И.¹, Дмитрак Ю.В.², Габараев О.З.²

¹ Южно-Российский государственный политехнический университет, Новочеркасск, Россия

² Северо-Кавказский государственный технологический университет, Владикавказ, Россия

Аннотация. Актуальность работы. Увеличивающаяся со временем потребность в цветных металлах заставляет искать пути восполнения дефицита в минеральном сырье, поэтому исследования, направленные на упрочнение ее базы, актуальны и перспективны. Цель. Приоритетным направлением развития базы горного производства является внедрение наилучших доступных технологий для повышения значимости горной промышленности России на мировом рынке. Целью статьи является систематизация сведений о практических шагах по конверсии на перспективные системы разработки с выщелачиванием металлов в подземных блоках на рудных месторождениях Северного Кавказа. Используемые методы. Систематизация в историческом срезе сведений о практических шагах добычи металлов технологиями с выщелачиванием руд в подземных блоках с выстраивание вектора освоения этой перспективной технологии. Новизна. Обоснование эффективности технологий с выщелачиванием на Северном Кавказе создает банк новых данных для реализации имеющихся возможностей по вовлечению в производство некондиционных для традиционной технологии запасов. Результаты. Даны историческая справка об освоении технологий добычи цветных металлов на крупнейших месторождениях Российской Федерации. Детализированы сведения о попытке освоения впервые в мировой практике балансовых запасов всего Кокандурского месторождения. Дан анализ использования при разработке Бештаугорского и Быковогорского урановых месторождений систем разработки с выщелачиванием в вариантах с дроблением руд и с естественной проницаемостью растворов. Приведены сведения об экспериментальном извлечении металлов из шахтных стоков как продукта подземного блокового выщелачивания. Даны табличная интерпретация хронологии применения подземного блокового выщелачивания. Сформулированы условия для применения подземного блокового выщелачивания и дана оценка эффективности рассматриваемой технологии. Практическая значимость. Ознакомление с опытом освоения технологий с выщелачиванием создает предпосылки для комплексного улучшения показателей функционирования предприятий.

Ключевые слова: руда, металлы, запасы, подземные блоки, технология, выщелачивание, эффективность.

© Голик В.И., Разоренов Ю.И., Дмитрак Ю.В., Габараев О.З., 2020

Для цитирования

Опыт выщелачивания металлов в подземных блоках рудных месторождений Северного Кавказа / Голик В.И., Разоренов Ю.И., Дмитрак Ю.В., Габараев О.З. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2020. Т.18. №3. С. 13–24. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2020-18-3-13-24>



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

EXPERIENCE OF METAL LEACHING IN UNDERGROUND BLOCKS OF ORE DEPOSITS IN THE NORTH CAUCASUS

Golik V.I.¹, Razorenov Yu.I.¹, Dmitrak Yu.V.², Gabaraev O.Z.²

¹ South-Russian State Polytechnic University, Novocherkassk, Russia

² North Caucasian State Technological University, Vladikavkaz, Russia

Abstract. Relevance of the paper. A growing demand for non-ferrous metals is a reason for searching for ways of making up the deficit in minerals; therefore, research aimed at its strengthening are currently important and promising. **Objective.** A priority for developing mining operations is the introduction of the best available technologies to increase the value of the Russian mining industry in the global market. The paper is aimed at systemizing data on practical steps taken to convert to advanced systems of mining, including metal leaching in underground blocks of ore deposits in the North Caucasus. **Methods Applied.** To systemize historical data on practical steps taken to recover metals by applying technologies with ore leaching in underground blocks and building a learning curve of such advanced technology. **Originality.** By providing a rationale for efficiency of leaching technologies in the North Caucasus, we form a new data bank to use available opportunities of introducing into production stocks deemed to be off-grade for a conventional technology. **Findings.** The paper contains a historical background in learning technologies of mining non-ferrous metals in the largest Caucasian deposits in Russia. It provides detailed information about the attempts to mine balance reserves of the complete Kakadur deposit for the first time in the world. The authors analyzed the systems of mining with leaching in options of ore crushing and natural permeability of solutions applied at Beshtagorsk and Bykogorsk uranium deposits. They stated information about experimental mining of metals from mine water discharges as a product of underground block leaching. A chronology of the underground block leaching is interpreted in a table. The conditions for the underground block leaching are stated and efficiency of the technology under study is assessed. **Practical Relevance.** Getting acquainted with experience of leaching technologies is a prerequisite to an overall improvement of operation performance of companies.

Keywords: ore, metals, reserves, underground blocks, technology, leaching, efficiency.

For citation

Golik V.I., Razorenov Yu.I., Dmitrak Yu.V., Gabaraev O.Z. Experience of Metal Leaching in Underground Blocks of Ore Deposits in the North Caucasus. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2020, vol. 18, no. 3, pp. 13–24. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2020-18-3-13-24>

Введение

По мере истощения мировых запасов металлических руд в комфортных условиях для разработки актуализируется проблема повышения эффективности добычи металлов из некондиционных запасов, составляющих большую часть разведанных и эксплуатируемых месторождений [1–4].

Иновационные технологии современности позволяют добывать металлы на месторождениях с низким содержанием металла, например Гумешевское месторождение меди. Предприятие «Уралгидромедь» выпускает более 2,5 тыс. т чистой меди в год, окупив инвестиции.

Поискам путей актуальной проблемы – компенсации выбывающих запасов посвящены труды ученых мира [5–8].

Альтернативой традиционному способу добычи с извлечением руды из недр и получением концентратов для металлургического передела в технологиях подземного выщелачивания без поднятия руды на поверхность путем перевода

ионов металлов в продуктивный раствор на месте их залегания [9–12].

Технология является контролируемым и экологически менее опасным методом добычи, поскольку осуществляется в рамках замкнутого цикла, позволяет вовлекать запасы с некондиционным содержанием металлов с большей чистотой и уменьшает объемы отходов с отрицательными попутными эффектами.

На любом металлическом месторождении объективно осуществляется процесс выщелачивания, в природных условиях протекающий медленно. Его следствием является наличие металлов по пути следования потоков воды. Технологии с выщелачиванием ускоряют процесс подземного выщелачивания.

Системное использование процессов подземного выщелачивания можно иллюстрировать практикой выщелачивания руд отработанного ранее по традиционной технологии Гумешевского месторождения, которое характеризуется низкой концентрацией меди в окисленной руде, что и стало причиной прекращения его разработки

традиционными способами. В России и других странах этот метод применяется для добычи урана, золота и других металлов.

Несмотря на сведения о положительном опыте, ее применение ограничивается доработкой целиков, потерянных руд забалансовых запасов. Более широкому внедрению препятствуют риски, связанные с невозможностью исправить допущенные при подготовке руд ошибки: крупность, обеспечение фильтрации растворов реагентов, контроль полноты процесса и др.

Актуальность увеличения ореала использования технологии подземного блокового выщелачивания требует развития ее научных основ. Этой цели подчинены сведения об истории данной технологии на рудных месторождениях Северного Кавказа.

Материалы и методы

Выбор оптимальной технологии добычи руд базируется на моделировании показателей использования альтернативных вариантов разработки месторождений, включающих в себя, со-стояние запасов руд, географические условия, расстояние от мест переработки и др. Систематизируется история разработки месторождений для оценки их вклада в развитие технологий.

Описывается случаи использования применения нетрадиционных технологий, в том числе выщелачивание металлов в подземных блоках и, как частный случай, извлечение металлов из растворов природного выщелачивания.

Детализируются данные о приоритетном использовании технологий с выщелачиванием в подземных блоках по данным мировой практики.

Обобщаются факторы, свидетельствующие о возможности использования технологии подземного блокового выщелачивания при разработке рудных месторождений в регионах России.

Результаты исследования

На территории сегодняшней Осетии в III–II в. до н.э. добывали металлы и еще интенсивнее продолжали разработки месторождений, переселившись под натиском татаро-монголов в горные районы Кавказа в XIII в.

Интерес к кавказскому свинцу возрос в первой четверти XIX века при осложнении военно-политической ситуации на Кавказе. С 1892 г. был осуществлен переход с добычи только серебровисмутовых руд на комплексные руды, в том числе цинковой обманки, ранее накапливаемой в отвалах. В 1894 г. дали первую продукцию рудники Холстинский и

Ардонский, заработали Стур-Издинский и Куртатинский рудники.

К 1913 г. Садонский рудник стал крупным горнодобывающим предприятием региона. В 1927 г. Осетия является единственным в России производителем цинка, а ее доля в добыче свинца составляла 63%.

В послевоенные годы велась разработка Зgidского, Холстинского и Буронского месторождений. В 1960-е гг. начата разработка Архонского, Левобережного и Какадур-Ханикомского месторождений.

Сыревую базу Садонского свинцово-цинкового комбината составляет группа месторождений: Садонское, Октябрьское, Зgidское, Буронское, Холстинское, Кадат-Хамналадагское, Какадур-Ханикомское, Архонское, Левобережное и др. На рудниках применяли системы разработки с магазинированием руды, подэтажных штревов, слоевого и подэтажного обрушения, которые характеризовались показателями: извлечение руды – 94%, разубоживание – 15–40%, производительность труда рабочего по горной маске – 2 м³/смену.

Урупский горно-металлургический комбинат расположен на юго-западе Ставропольского края в пределах западной части Передового хребта. Принята система разработки с обрушением налегающих пород, закладкой выработанного пространства и камерно-столбовая. Извлечение руды составляет 85%, разубоживание – 25%.

Тырынауский горно-металлургический комбинат в Кабардино-Балкарии включает карьеры «Высотный» и «Мукуланский», рудник «Молибден», обогатительную фабрику и геологоразведочную экспедицию.

Верхняя часть Тырынауского месторождения отрабатывали карьером «Высотный» с высотой уступов 10–12 м и транспортированием руды по карьерному рудоспуску длиной 900 м.

Запасы рудника «Молибден» вскрывали штолнями и слепыми стволами. Система разработки этажно-камерная и подэтажного обрушения с отбойкой на «зажатую» среду. Высота этажа составляла 75 м. Широко применяли самоходное дизельное оборудование, автосамосвалы и погрузочные машины.

После крупного дробления руда поступала на обогатительную фабрику, где измельчалась в мельницах самоизмельчения и шаровых в замкнутом цикле со спиральными классификаторами. Обогащение осуществлялось в тяжелых суспензиях.

Садонский свинцово-цинковый комбинат. В послевоенные годы преобладающей системой разработки были горизонтальные слои с заклад-

кой породами из боков боковых пород и от сортировки руд.

Преимуществом пользовалась двухстадийная схема: в первую стадию камерные запасы, во вторую – междуэтажные и междублоковые целики.

В шестидесятые годы прошлого века была распространена система горизонтальных слоев с закладкой и креплением. С увеличением глубины разработки преобладали варианты горизонтальных слоев с закладкой пустот лесом и нисходящей выемкой.

При системе горизонтальные слои с закладкой породой блоки подготавливали выработками по руде и наращиваемыми рудоспусками с креплением деревом. В открытом выработанном пространстве выкладывали деревянные конструкции – «костры».

Наиболее производительным оказался вариант блокового магазинирования со сплошной линией забоя, обеспечивающий производительность забойного рабочего 3–4 м³/смену.

За более чем 150 лет рудные запасы отработаны на площади около 1 км по глубине и 2 км по простианию. В отработанном пространстве только Садонского месторождения потеряно около 560 тыс. т руды, 28 тыс. т свинца 53 тыс. т цинка.

Промышленная разработка Зgidского месторождения была начата в 1945 г. с годовой производственной мощностью 200 тыс. т руды и 10–12 тыс. т металла.

Систему разработки с магазинированием и закладкой камер применяли для выемки руд на участках с выдержанной мощностью и четкими контактами руды и вмещающих пород. Закладочный материал добывали на поверхности непосредственно над пустотами. В дальнейшем закладка перепускалась с верхних горизонтов на нижние.

Варианты системы: с камерами грохочения, люковым выпуском с надштрековым целиком и без него, с горизонтом скреперования под естественными целиками и деревянным накатом, а также с полевой подготовкой и машинной погрузкой руды. Наиболее производительны варианты со скреперной доставкой – производительность труда забойщика достигала 5 м³/чел.см.

Системы разработки Архонского месторождения включали варианты:

- с магазинированием руды и горизонтом скреперования;
- с частичным магазинированием;
- с магазинированием и выпуском руды на погрузочные орты-заезды для машинной погрузки;
- магазинированием и отбойкой руды ярусно расположенным скважинами из восстающих;

– с магазинированием и выпуском руды через люки;

– с подэтажным обрушением.

При эксплуатации Какадурского месторождения традиционными для Садона системами разработки выявилось несоответствие между содержанием, принятым при геолого-экономической оценке запасов и полученными при разработке данным. Рудник вел выборочную отработку богатых участков месторождения, оставляя в недрах бедные и забалансовые руды. Для этого месторождения конверсия системы разработки на геотехнологию могла бы снизить кондиции на минеральное сырье и расширить сырьевую базу.

Урупская группа месторождений меди включает в себя Урупское и Власичихинское месторождения. Система разработки подэтажными штреками применяется за пределами окраинных целиков р. Уруп на флангах месторождения.

Систему разработки камерно-столбовую с регулярными целиками применяют с подготовкой блоков штреками и восстающими по руде. Камерные запасы отрабатывают с оставлением регулирования целиков. При отработке запасов под рекой применяют варианты с закладкой твердеющими смесями.

Вовлечenie в разработку Бештаугорского и Быкогорского месторождений (Ставропольский край) было определено стратегическими соображениями, несмотря на то, что они не отличались большими запасами урана, а размещение в курортной зоне Минеральных вод осложняло их положение. Варианты систем разработки были основаны на феномене управления горным давлением путем деревянной крепи.

С 1986 г. развитие работ на урановых рудниках Северного Кавказа ориентировалось на принципиально новое направление в технологии добычи металлов – подземное и кучное выщелачивание. Конверсионная технология позволила предприятию удвоить объем добычи металла, снизить себестоимость металла до уровня рентабельности и решить многие эколого-экономические задачи для данного региона.

Наиболее распространено кислотное выщелачивание металлов растворами серной, соляной или азотной кислот, угле- и органических кислот; а также обладающих кислыми свойствами соединений.

Кислотное выщелачивание применяют к силикатным, алюмосиликатным, сульфидным, кварцевым и другим рудам с невысоким содержанием (до 8–12%) карбонатов.

Сернокислыми растворами интенсивно вы-

щелачиваются цинк, медь, кадмий, индий и кобальт, в меньшей мере никель. Свинец, селен, теллур выщелачиваются хуже. Используют переход из руды в раствор золота и серебра.

В выщелачивании полиметаллов выделяют периоды:

- быстрое увеличение скорости перехода металла в раствор с формированием фронта выщелачивания;
- перемещение фронта выщелачивания с растворением поверхностного слоя руды;
- перемещение процесса внутрь кусков.

Основное количество металлов переходит в растворы в первые два периода, которые занимают половину времени обработки.

Скорость движения фронта выщелачивания для полиметаллических руд Северного Кавказа составляет 0,015–0,018 м/с, при удельных расходах растворов 10–50 л/т. Расход серной кислоты равен 3,0 кг, хлористого натрия – 1,0 кг и кальцинированной соды – 2,5 кг на 1 кг цинка.

В щелочной среде такие металлы, как золото, извлекаются способом кучного выщелачивания с использованием, в основном, цианидов, эффективность которых обеспечивается образованием устойчивых цианидных комплексов металлов в растворе.

Экологические факторы цианидного выщелачивания и трудности извлечения золота и серебра из упорных и трудновскрываемых руд и концентратов вызывают необходимость поиска новых, альтернативных химических реагентов.

Для шахтного подземного выщелачивания схема рудоподготовки включает: дробление рудного материала взрывом, частичный выпуск с целью создания компенсационного объема для разрыхления горной массы. В горных выработках трудно обеспечить однородность дробления руд по крупности, поэтому размер куска может колебаться от 200–120 (забойная крупность) до 50–15 мм.

Для дробления руды возможно принудительное обрушение руды глубокими скважинами на зажатую среду. Руда отбивается и магазинируется в блоках высотой 30–60 м с запасами руды в блоке 100 тыс. т и более. Просочившись через всю толщу руды, продуктивный раствор собирается в днище, откуда после осаждения взвесей направляется на переработку.

На Северном Кавказе шахтное подземное выщелачивание в камерах освоено при разработке Быковогорского уранового месторождения. К 70-м годам прошлого века балансовые запасы руд были отработаны традиционными системами с закладкой и магазинированием руды и пе-

реработкой ее на гидрометаллургическом заводе.

Предприятие освоило физико-химические процессы получения металла и превратилось в геотехнологический комплекс с подземным и кучным выщелачиванием урана из забалансовых руд и переработкой продуктивных растворов в химическом цехе.

Этому качественному технологическому скачку предшествовали лабораторные, натурные и широкомасштабные опытно-промышленные геотехнологические исследования на руднике, подтвердившие высокую эффективность извлечения урана выщелачиванием из забалансовых руд на месте их залегания.

Свойства руд и пород характеризовались данными:

| | |
|--|-----------------------|
| Объемный вес сухой руды | 2,2 т/м ³ |
| Удельный вес руды | 2,6 т/м ³ |
| Влажность | 8,5% |
| Коэффициент крепости по шкале М.М. Протодьяконова: | |
| massivnykh granit-porfirov | 12–15 |
| granit-porfirov zon drobleniya | 89–10 |
| mergelей, argillitov i pescchanikov | 2–6 |
| Коэффициентрудносности | 0,25–1,0 |
| Мощность рудного тела | до 20 м |
| Коэффициент фильтрации Кф | до 0,1 м/сутки |
| Кварца и полевого шпата | 66,5% |
| Карбонатов | 1,0% |
| Глинистых минералов | 6,0% |
| Сульфидов | десятие доли процента |

Система разработки этажным принудительным обрушением с отбойкой руды глубокими скважинами в зажатой среде, магазинированием и выщелачиванием металла инфильтрационным потоком реагента была адаптирована к конкретным условиям (рис.1).

Параметры взрывной подготовки руды к выщелачиванию представлены на рис. 2.

Улавливание продуктивных растворов с уровня депрессионной воронки подземных вод с помощью электровакуумных установок позволило упростить дренажную систему и повысить ее надежность. Установки производительностью 40–50 м³/ч, глубиной веса 6,5 м на расстояние до 600 м создавали депрессионные воронки, исключающие растекание растворов за пределы допустимого контура.

Оптимальность дробления определялась экономикой процесса и зависела от содержания урана в руде и свойств пород. Так, для гранит-порфиров с крепостью 12–15 фракция (-50+25) мм имела эффективную пористость кусков 2,2–2,5%, в то время как для фракции -200 мм она составляла лишь 0,9%.

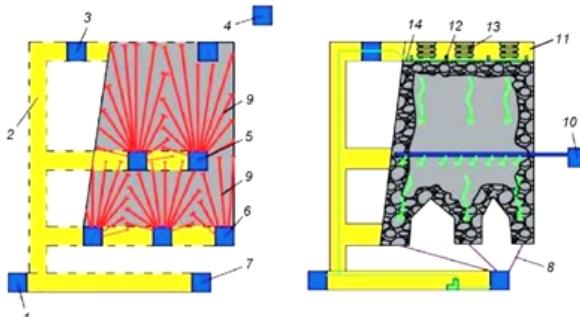


Рис. 1. Подземное блоковое выщелачивание металлов из руд: 1 – штrek; 2 – восстающий; 3 – штrek для орошения; 4 – штrek; 5 – буровые штреки; 6 – дренажно-буровые штреки; 7 – дренажный штrek; 8 – дренажные скважины; 9 – промежуточный горизонт орошения; 10 – промежуточный горизонт орошения; 11 – штrek для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

Fig. 1. Underground block ore leaching: 1 is a mine roadway; 2 is a raise; 3 is a mine roadway for spraying; 4 is a mine roadway; 5 are blind galleries; 6 are drainage roadways and blind galleries; 7 is a drainage roadway; 8 are drainage holes; 9 is an intermediate level for spraying; 10 is an intermediate level for spraying; 11 is a mine roadway for spraying; 12 is a top undercutting; 13 is a chock support; 14 is a spraying system



Рис. 2. Параметры подготовки блока выщелачивания буровзрывными работами
Fig. 2. Parameters of the leaching block preparation by drilling and blasting operations

Прошла проверку система выщелачивания металла с естественной проницаемостью фильтрационным потоком растворов реагента под давлением в 0,6 МПа с помощью электровакуумных установок. Это позволило руднику добывать из

забалансовых руд около 15% металла.

Важным преимуществом технологии является возможность «селективного» выщелачивания рудных тел путем подачи растворов в металло-содержащие участки рудного массива и избирательного выщелачивания руд с более высоким содержанием. Шахтное блоковое выщелачивание доказало право на существование при доработке забалансовых руд месторождений.

В результате разработки Садонских рудников в недрах протекают природные геотехнологические процессы, в результате которых воды растворяют и выносят металлы в достаточных для получения товарных осадков концентрациях.

Руды Садонских месторождений – полиминеральные, среднезернистые с неравномерным распределением минералов, прорастаниями, замещениями и микротрещинами наследственных деформаций. Потери в недрах оцениваются в 2 млн т руд. Шахтные воды в среднем содержат до 400 мг/л цинка и до 11 мг/л свинца.

Дебит вод Холстинского рудника составляет 71 м³/ч при содержании цинка 10–40 г/м³ и свинца 7,8 г/м³ при pH=6,7. Концентрация полиметаллов в них колеблется: цинка – 120–130 г/м³, свинца – 5,6–10,2 г/м³.

Воды Зигдского рудника сбрасываются в окружающую среду через штольню «Надежда» объемом 24 м³/ч при содержании свинца около 4,24 г/м³, а цинка – 1,9 г/м³, и через штольню «Красная» объемом 90,3 м³/ч при концентрации свинца 5,54 г/м³ и цинка – 12,2 г/м³.

Руды Хаником-Какадурского месторождения содержат, %: сфалерита – 2,5–3,0, галенита – 1,5–2,0, халькопирита – 0,4–0,5, пирита – 10,0–12,0, пирротина – 4,0–5,0, карбонатов – 4,0–6,0. Из верхних штолен выходит 140–160 м³/ч воды, со-

держащей 60–100 г/м³ цинка и 4,5–5,5 г/м³ свинца.

Проект выщелачивания Какадурского участка предусматривал выщелачивание 1,15 тыс. т руды с содержанием свинца 0,99% и цинка 0,71%. Реагенты – натриевая соль и серная кислота. Осадители – кальцинированная сода и цинковая пыль. Продуктивные растворы первой очереди содержали: 210 г/м³ цинка и 200 г/м³ свинца. Производительность установки – 150 м³/ч.

В недрах Архонского рудника потеряно до 150 тыс. т руды, содержащей 7 тыс. т цинка и 3 тыс. т свинца. Минералогический состав рудной массы жилья, %: сфалерита – 8–9, галенита – 1,0–1,5, халькопирита – 1,0, пирита и марказита – 10–13, пирротина – 4–5, карбонатов – 6–8.

Шахтные воды Садонского месторождения сбрасываются в окружающую среду через ряд штолен. Их суммарный дебит равен 305 м³/ч при содержании свинца 4625 г/м³ и цинка 6,46 г/м³.

Экспериментально определено, что шахтные воды представляют собой жидкую металлоудерживающую руду, из которой можно извлекать металлы, после чего они становятся менее опасными для окружающей среды.

Результаты добычи металлов выщелачиванием на месторождениях Северного Кавказа представлены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты добычи металлов выщелачиванием на месторождениях Северного Кавказа

Table 1. Mining performance as a result of ore leaching at deposits of the North Caucasus

| Месторождение | Годы | Вид выщелачивания | Результат |
|------------------------------|------|--|---|
| Быкогорское Бештаугорское | 1968 | Блоковое выщелачивание магазинированной руды инфилтратионным потоком Блоковое выщелачивание фильтрационным потоком без разрушения руд | Добыто из забаланса 15% металла с извлечением 58%, добыча повысилась на 161% при сокращении содержания в недрах в 5 раз; себестоимость урана снизилась до 62% |
| Садонское | 1973 | Выщелачивание хлорной водой руды с содержанием цинка 0,55% и свинца 0,15% | Извлечено цинка 75%, свинца 21% |
| Фиагдонское | 1973 | Осаждение содой из шахтных стоков | За 48 с. получено 32 т геля, %: цинка – 30, никеля – 6, железа – 6, свинца – 0,54, меди – 0,15, кадмия – 0,021 |
| Архонское | 1973 | Осаждение содой из шахтных стоков | За 51 с. получено 40т геля, %: цинка – 25, железа – 6,0, свинца – 0,3–0,5, меди – 0,15–0,28, кадмия – 0,054, кобальта – 0,08, никеля – 0,075 |
| Какадурское | 1977 | Блоковое выщелачивание балансовых руд с содержанием свинца – 0,99 %, цинка – 0,71% | Получено 60 т концентрата, пригодного для получения товарных металлов |
| Мизурская РОФ | 2014 | Выщелачивание в дезинтеграторе хвостов обогащения с содержанием, %: свинца – 0,84, цинка – 0,95 | Извлечено, %: цинка – 70, свинца – 21 |
| Быкогорское Бештаугорское | 1968 | Блоковое выщелачивание магазинированной руды инфилтратионным потоком Блоковое выщелачивание фильтрационным потоком без разрушения руд | Добыто из забаланса 15% металла с извлечением 58%, добыча повысилась на 161% при сокращении содержания в недрах в 5 раз; себестоимость урана снизилась до 62% |

Обсуждение и выводы

Для технологии блокового подземного выщелачивания типичной является разработка Быковогорского месторождения в курортной зоне Минеральных вод.

Конверсия на новую технологию добычи позволила не только сохранить уровень добычи урана, но и создать предпосылки для дальнейшего роста производства, несмотря на уменьшение содержания урана в руде в пять раз. Количество урана в бедных рудах, некондиционных для традиционного способа, повысилось в 3,5 раза по сравнению с разведанными запасами балансовых руд.

Объем подготовительно-нарезных работ и горной массы, извлекаемой на поверхность, был доведен до минимума, на порядок увеличена производительность труда, осуществлена бесцепликовая отработка рудных тел, улучшены санитарно-гигиенические условия труда.

Осуществленное впервые в горной практике улавливание продуктивных растворов с уровня депрессионной воронки подземных вод с помощью электровакуумных установок позволило отказаться от гидроизоляции днища блока. Через скважины с помощью электровакуумных установок производилась откачка продуктивных растворов, благодаря чему потери металла с растворами не превышали 3–5%.

На предприятиях ПГХК, разрабатывающих месторождения Стрельцовской группы, блоко-

вое подземное выщелачивание осуществляется с восемидесятых годов прошлого века с наращиванием объемов и доведением удельного веса технологии до 40–50% от общего объема производства.

В рамках комбинированной технологии бортовые руды отрабатывают слоями с закладкойпустот твердеющей смесью, рядовые руды отрабатывают подэтажными системами и выщелачивают в кучах, бедные руды выщелачивают в блоках.

Определено, что подземным выщелачиванием целесообразно отрабатывать руды при коэффициенте разрыхления 1,3 и определенном содержании металлов, например для урана – 0,06%. Производительность выщелачивания увеличивается в 1,35 раза, а себестоимость извлекаемого урана в 1,15 раза меньше, чем при коэффициенте разрыхления 1,2.

Коэффициент извлечения при подземном выщелачивании изменяется от 49 до 88%.

Качественная характеристика факторов подземного блокового выщелачивания приведена в табл. 2.

Из таблицы видно, что диапазон применения подземного блокового выщелачивания значителен, поскольку блоки являются по существу реекторами выщелачивания с возможностью управления влияющими на процесс факторами.

Таблица 2. Условия для применения подземного блокового выщелачивания

Table 2. Underground block leaching conditions

| Факторы | Уровень факторов извлечения металлов | | Влияние на процесс выщелачивания |
|------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| | максимальный | минимальный | |
| Тип руд | Окисленные | Сульфидные | Изменение химизма и параметров |
| Минерализация | Прожилковая | Вкрапленная | Скорость доступа реагента к металлу |
| Наличие пленки на поверхности руды | Отсутствует | Присутствует | Скорость доступа реагента к металлу |
| Содержание | Максимальное | Минимальное | Эффективность выщелачивания |
| Наличие вредных примесей | Минимальное | Максимальное | Скорость и полнота извлечения металла |
| Пористость | Максимальное | Минимальное | Скорость реакции внутри руды |
| Крупность руд | Большая часть фракций – 25 мм | Меньшая часть фракций – 25 мм | Скорость фильтрации растворов |
| Фильтрационные свойства | Коэффициент фильтрации более 0,1 м/с | Коэффициент фильтрации менее 0,05 м/с | Возможность проникновения раствора |
| Состояние руд | Текущие | После складского хранения | Скорость и полнота извлечения металла |
| Шахтная температура | Максимальная | Минимальная | Скорость реакции |

Алгоритм оценки параметров блокового выщелачивания металлических руд представлен на **рис. 3**.



Рис. 3. Алгоритм обоснования параметров блокового выщелачивания

Fig. 3. An algorithm of providing a rationale for block leaching parameters

На территории горнодобывающих регионов Северного Кавказа, Урала, Сибири, Дальнего Востока и Севера расположены рудники, деятельность которых была остановлена по причине

несоответствия кондиций запасов требованиям эффективности при использовании традиционных технологий.

Эти запасы, как видно из материалов статьи, могут быть рентабельно отработаны новыми технологиями с выщелачиванием, где возможности блокового выщелачивания могут быть усилены другими новыми технологиями: с кучным выщелачиванием, со скважинным выщелачиванием и с комбинированием известных традиционных и новых технологий (**рис. 4**).

Комбинированное разработка месторождений вызвало к жизни модернизацию основных и вспомогательных производственных процессов [13–17].

Сохранившаяся инфраструктура бывших предприятий и сведения о запасах способствует реализации направления на конверсию технологий добычи и решению технологических, экологических и социальных проблем регионов.

Вопросы совершенствования технологии разработки рудных месторождений, затронутые в настоящей статье, рассматриваются в работах специалистов горного направления [18–20].

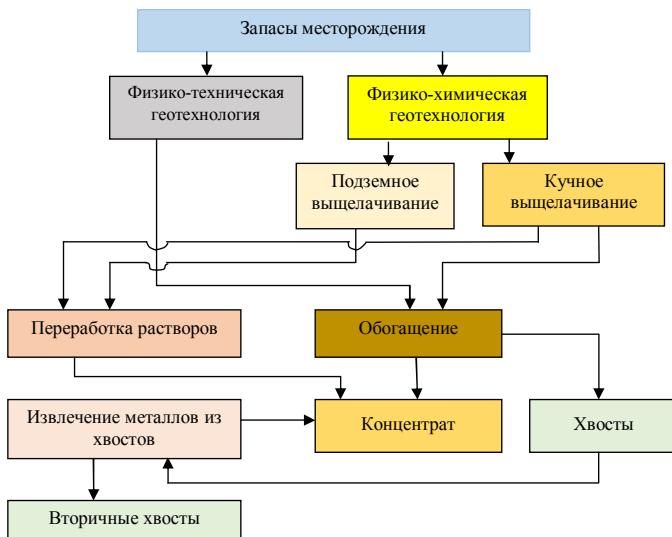


Рис. 4. Комбинированное выщелачивание металлов из руд / Fig. 4. Combined ore leaching

Список литературы

- 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 // The Social Sciences (Pakistan). 2016. Vol. 11. № 18. P. 4348–4351.
- Голик В.И., Разоренов Ю.И., Каргинов К.Г. Основа устойчивого развития РСО-Алания - горнодобывающая отрасль // Устойчивое развитие горных территорий. 2017. Т. 9. № 2 (32). С. 163–171.
- Adams M. D. Gold Ore Processing Project Development and Operations. 2nd ed. Amsterdam: Elsevier, 2016. 980 p.
- 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.
- Selective leaching of nickel and cobalt from limonitic laterite using phosphoric acid: An alternative for value-added processing of laterite // Journal of Cleaner Production. 2018. Vol. 189. P. 620–626.
- Selective leaching of valuable metals from laterite nickel ore with ammonium chloridehydrochloric acid solution // Journal of Cleaner Production. 2018. Vol. 179. P. 24–30.
- Atmospheric acid leaching mechanisms and kinetics and rheological studies of a low-grade saprolitic nickel laterite ore // Hydrometallurgy. 2016. Vol. 160. P. 26–37.
- Голик В.И., Комащенко В.И. Отходы обогащения железистых кварцитов как сырье для доизвлечения металлов и использования в качестве закладочных смесей // Горный журнал. 2017. № 3. С. 43–47.
- Совершенствование технологии переработки тенантитодержащих руд медно-никелевых месторождений Урала / Емельяненко Е.А., Рыльникова М.В., Гофратова Е.А., Ягудина Ю.Р. // Горный журнал. 2016. № 12. С. 65–72.
- Повышение полноты использования недр путем глубокой утилизации отходов обогащения угля / Голик В.И., Комащенко В.И., Странченко С.Г., Масленников С.А. // Горный журнал. 2012. № 9. С. 91–95.
- Повышение экономической эффективности горнодобывающих предприятий за счет вовлечения в эксплуатацию техногенных георесурсов / Гавришев С.Е., Корнилов С.Н., Пыталев И.А., Гапонова И.В. // Горный журнал. 2017. № 12. С. 46–51.
- 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. Инженерный георесурсы. 2015. Т. 326. № 5. С. 6–14.
- Новые технологии подземных сооружений в рамках сдержанных городских условий / Плещко М., Панкратенко А., Ревякин А., Щекина Е., Холодова С. // Веб-конференция Е3S. 2018. С. 02–36.
- Повышение эффективности взрывной отбивки на основе новых способов инициирования скважинных зарядов на карьерах / Комащенко В.И., Голик В.И., Белин В.А., Гапоненко А.Л. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2014. № 9. С. 293–304.
- Дмитрак Ю.В., Логачева В.М., Подкопзин А.А. Геофизическое прогнозирование нарушенности и обводненности массива горных пород // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2006. № 11. С. 35–36.
- Zaalishvili, V.B., Melkov, D.A., Dzeranov, B.V., Morozov, F.S., Tuayev, G.E. Integrated instrumental monitoring of hazardous geological processes under the Kazbek volcanic center // International Journal of GEOMATE. 2018. 15 (47), pp. 158–163.
- Klyuev R. V., Bosikov I. I., Gavrina O. A., Revazov V. C. System analysis of power consumption by nonferrous metal-lurgy enterprises based on rank modeling of individual technocenosis castes. MATEC Web of Conferences / XIV Inter-national Scientific-Technical Conference “Dynamic of Technical Systems” (DTS-2018), 2018, vol. 226.
- Khomenko O. E., Lyashenko V. I. Geodynamic safety when increasing the depth of underground mining of ore deposits // Вестник Магнитогорского государственного университета им. Г.И. Носова. 2018. Т.16, №4. С. 4–12.
- Бибаева Г.А., Орехова Н.Н., Куликова Е.А. Применение клинера в комплексной технологии переработки техногенных стоков горно-металлургических предприятий // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2013. № 2 (42). С. 22–25.
- Калмыков В.Н., Петрова О.В., Янтурина Ю.Д. Оценка технологических резервов обеспечения устойчивого развития горнотехнической системы при подземной разработке рудных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). Отдельные статьи (специальный выпуск). 2014. №10. С. 69–77.

References

- 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. The Social Sciences (Pakistan), 2016, vol. 11, no. 18, pp. 4348–4351.
- Golik V.I., Razorenov Yu.I., Karginov K.G. The basis of sustainable development of North Ossetia-Alania is a mining industry. *Ustoychivoe razvitiye gornykh territoriy* [Sustainable development of mountain territories], 2017, vol. 9, no. 2 (32), pp. 163–171. (In Russ.)
- Adams M.D. Gold ore processing project development and operations. 2nd ed. Amsterdam: Elsevier, 2016, 980 p.

4. 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.
5. Selective leaching of nickel and cobalt from limonitic laterite using phosphoric acid: An alternative for value-added processing of laterite. *Journal of Cleaner Production*, 2018, vol. 189, pp. 620–626.
6. Selective leaching of valuable metals from laterite nickel ore with ammonium chloride hydrochloric acid solution. *Journal of Cleaner Production*, 2018, vol. 179, pp. 24–30.
7. Atmospheric acid leaching mechanisms and kinetics and rheological studies of a low-grade saprolitic nickel laterite ore. *Hydrometallurgy*, 2016, vol. 160, pp. 26–37.
8. Golik V.I., Komashchenko V.I. Ferruginous quartzite tailings as a raw material for an additional recovery of metals and their use as filling mixtures. *Gornyi zhurnal* [Mining Journal], 2017, no. 3, pp. 43–47. (In Russ.)
9. Emelianenko E.A., Rylnikova M.V., Gorbatova E.A., Yagudina Yu.R. Improving the processing technology of tennantite-containing ores of copper-sulphide deposits of the Urals. *Gornyi zhurnal* [Mining Journal], 2016, no. 12, pp. 65–72. (In Russ.)
10. Golik V.I., Komashchenko V.I., Stradachenko S.G., Maslennikov S.A. Improving the completeness of the use of mineral resources through a deep recovery of coal waste. *Gornyi zhurnal* [Mining Journal], 2012, no. 9, pp. 91–95. (In Russ.)
11. Gavrishev S.E., Kornilov S.N., Pytalev I.A., Gaponova I.V. Improving the economic efficiency of mining enterprises through the involvement of man-made geo-resources in operation. *Gornyi zhurnal* [Mining Journal], 2017, no. 12, pp. 46–51. (In Russ.)
12. Golik V.I., Lukyanov V.G., Khasheva Z.M. Justification of the possibility and feasibility of using ore dressing tailings for manufacturing hardening mixtures. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*. [Bulletin of Tomsk Polytechnic University. Geo-Resource Engineering], 2015, vol. 326, no. 5, pp. 6–14. (In Russ.)
13. Pleshko M., Pankratenko A., Revyakin A., Shchekina E., Kholodova S. New technologies of underground structures in the framework of restrained urban conditions. E3S Web Conference 2018, no. 02036.
14. Komashchenko V.I., Golik V.I., Belin V.A., Gaponenko A.L. Improving the efficiency of breaking up by explosives based on new methods for initiating borehole charges in open pits. *Gornyi informatsionno-analitichesky byulleten (nauchno-tehnichesky zhurnal)* [Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)], 2014, no. 9, pp. 293–304. (In Russ.)
15. Dmitrak Yu.V., Logacheva V.M., Podkolzin A.A. Geophysical forecasting of a broken condition and watering of a rock massif. *Gornyi informatsionno-analitichesky byulleten* [Mining Informational and Analytical Bulletin], 2006, no. 11, pp. 35–36. (In Russ.)
16. Zaalishvili V.B., Melkov D.A., Dzeranov B.V., Morozov F.S., Tuaev G.E. Integrated instrumental monitoring of hazardous geological processes under the Kazbek volcanic center. (2018) *International Journal of GEOMATE*, 15 (47), pp. 158–163.
17. Klyuev R.V., Bosikov I.I., Gavrina O.A., Revazov V.Ch. System analysis of power consumption by nonferrous metallurgy enterprises based on rank modeling of individual technocenosis castes. MATEC Web of Conferences. The 14th International Scientific Technical Conference *Dynamic of Technical Systems* (DTS-2018), 2018, vol. 226.
18. Khomenko O. E., Lyashenko V. I. Geodynamic safety when increasing the depth of underground mining of ore deposits. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*, 2018, vol. 16, no. 4, pp. 4–12.
19. Bikbaeva G.A., Orekhova N.N., Kulikova E.A. The use of clinker in the integrated technology for processing industrial waste from mining and metallurgical enterprises. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University], 2013, no. 2 (42), pp. 22–25. (In Russ.)
20. Kalmykov V.N., Petrova O.V., Yanturina Yu.D. Evaluation of technological reserves to ensure sustainable development of the mining system in underground mining of ore deposits. *Gornyi informatsionno-analitichesky byulleten (nauchno-tehnichesky zhurnal)* [Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)]. Stand-alone papers (special issue), 2014, no. 10, pp. 69–77. (In Russ.)

Поступила 08.07.2020; принята к публикации 12.08.2020; опубликована 25.09.2020
Submitted 08/07/2020; revised 12/08/2020; published 25/09/2020

Голик Владимир Иванович – д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры «Горное дело», Южно-Российский государственный политехнический университет, главный научный сотрудник Геофизического института Владикавказского научного центра РАН. Новочеркасск, Россия. Email: v.i.golik@mail.ru

Разоренов Юрий Иванович – д-р техн. наук, профессор, ректор, Южно-Российский государственный политехнический университет. Новочеркасск, Россия. Email: yiri1963@mail.ru

Дмитрак Юрий Витальевич – д-р техн. наук, профессор, ректор, Северо-Кавказский государственный технологический университет. Владикавказ, Россия. Email: dmitrak@yandex.ru

Габараев Олег Знаурович – д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Горное дело», Северо-Кавказский государственный технологический университет. Владикавказ, Россия, Email: gabaraev59@mail.ru

Vladimir I. Golik – DrSc (Eng.), Professor, Professor of the Mining Department, South-Russian State Polytechnic University; Chief Researcher, Geophysical Institute, Vladikavkaz Research Center, Russian Academy of Sciences, Novocherkassk, Russia. Email: v.i.golik@mail.ru

Yury I. Razorenov – DrSc (Eng.), Professor, Rector, South-Russian State Polytechnic University, Novocherkassk, Russia. Email: yiri1963@mail.ru

Yury V. Dmitrak – DrSc (Eng.), Professor, Rector, North Caucasian State Technological University, Vladikavkaz, Russia. Email: dmitrak@yandex.ru

Oleg Z. Gabaraev – DrSc (Eng.), Professor, Head of the Mining Department, North Caucasian State Technological University, Vladikavkaz, Russia. Email: gabaraev59@mail.ru