

ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ МЕТАЛЛОВ ИЗ НЕКОНДИЦИОННОГО СЫРЬЯ И ОТХОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ РУД

Н. Г. Валиев¹, В. Д. Пропп¹, Н. И. Абрамкин², Д. А. Камболов³

¹ Уральский государственный горный университет, Россия,

² Московский политехнический университет, г. Москва, Россия

³ Северо-Кавказский горно-металлургический институт (ГТУ), г. Владикавказ, Россия

Аннотация: Статья посвящена ретроспективному анализу практики выщелачивания запасов некондиционных руд и отходов переработки. Обобщен опыт вовлечения в эксплуатацию некондиционного металлосодержащего сырья. Сформулирована задача разработки научных основ процессов перевода металлов в мобильное состояние и извлечения металлов из раствора с обеспечением безопасности окружающей среды. Показано, что технологии извлечения металлов с использованием феномена перевода металлов в мобильное состояние получают промышленное развитие – как возможность уменьшения потерь металлов на этапах добычи и переработки. Обобщена практика выщелачивания некондиционных руд месторождений Средней Азии, Казахстана и России. Детализированы сведения об отработке ряда месторождений вариантами с подготовкой руд отбойкой скважинами, магазинированием и инфильтрацией реагентов. Приведены сведения о результатах лабораторных исследований выщелачивания руд железистых кварцитов Лебединского ГОК в дезинтеграторе и урановых руд месторождений Восток и Звездное (Казахстан). Показано, что на месторождениях Забайкалья выщелачиванием обеспечивается большая часть годового производства с извлечением 85%. Систематизирована база выщелачивания – запасы техногенных месторождений России. Поставлены задачи реализации концепции выщелачивания металлов: селективизация извлечения металлов из раствора, нейтрализация маточных растворов и т.п. Рекомендован алгоритм решения задач совершенствования извлечения металлов с использованием гидрометаллургических процессов переработки. Приведен расчет количественных параметров извлечения металлов из хвостов обогащения руд и влияния активации хвостов в дезинтеграторе на гомогенность смеси в условиях конкретного предприятия. Научная новизна полученных результатов состоит в использовании новых средств активации, разработанных с личным участием автора, а также комбинировании технологий по признаку полноты использования природных ресурсов. Результаты исследования могут быть использованы при освоении технологий выщелачивания металлов из некондиционного по содержанию металлов сырья. В сравнении с родственными по тематике и целевому назначению публикациями предлагаемая статья содержит сведения о практике перевода металлов в мобильное состояние как возможности уменьшения потерь металлов в процессе горных работ, в том числе подземных.

Ключевые слова: гидрометаллургические процессы, руда, хвосты обогащения, выщелачивание металлов, дезинтегратор, извлечение.

Для цитирования: Валиев Н. Г., Пропп В. Д., Абрамкин Н. И., Камболов Д. А. Практика применения выщелачивания металлов из некондиционного сырья и отходов обогащения руд // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 12-1. – С. 17–30. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_121_0_17.

The practice of leaching metals from substandard raw materials and ore dressing waste

N. G. Valiev¹, V. D. Propp¹, N. I. Abramkin², D. A. Kambolov³

¹ Ural State Mining University, 620144, Yekaterinburg, Kuibyshev, 30, Russia;

² Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia

³ North Caucasus Mining and Metallurgical Institute, Russia, 362021, Vladikavkaz,

Abstract: The article is devoted to a retrospective analysis of the practice of leaching stocks of non-conventional ores and processing waste. The experience of involving non-conditioned metal-containing raw materials in operation is summarized. The task of developing the scientific foundations of the processes of transferring metals to a mobile state and extracting metals from a solution with environmental safety is formulated. It is shown that metal extraction technologies using the phenomenon of metal transfer to a mobile state are being industrially developed as an opportunity to reduce metal losses at the stages of extraction and processing. The practice of leaching substandard ores from deposits in the North Caucasus, Central Asia, Kazakhstan and Russia is summarized. Detailed information is provided on the development of a number of deposits by variants with ore preparation by boreholes, storage and infiltration of reagents. The data on the results of laboratory studies of the leaching of ores of ferruginous quartzites of Les-Bedinsky in the disintegrator and uranium ores of the Vostok and Zvezdnoye deposits (Kazakhstan) are presented. It is shown that in the fields of Transbaikalia leaching provides most of the annual production with the extraction of 85%. The base of extraction is systematized – reserves of technogenic deposits of Russia. The tasks of implementing the concept of metal leaching are set: selectivization of metal extraction from solution, neutralization of masterbatch solutions, etc. An algorithm for solving problems of improving metal extraction using hydrometallurgical processing processes is recommended. The calculation of quantitative parameters of extraction of metals from ore enrichment sites and the effect of tailings activation in the disintegrator on the homogeneity of the mixture in the conditions of a particular enterprise is given. The scientific novelty of the obtained results consists in the use of new activation tools developed with the personal participation of the author, as well as the combination of technologies based on the completeness of the use of natural resources. The results of the study can be used in the development of technologies for leaching metals from substandard in terms of metal content of raw materials. In comparison with related publications on the subject and intended purpose, the proposed article contains information about the practice of transferring metals to a mobile state, as an opportunity to reduce metal losses in the process of mining, including underground.

Key words: hydrometallurgical processes, ore, mining, enrichment tailings, metal leaching, disintegrator, extraction.

For citation: Valiev N. G., Propp V. D., Abramkin N. I., Kambolov D. A. The practice of leaching metals from substandard raw materials and ore dressing waste. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2023;(12-1):17–30. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_121_0_17.

Введение

Актуальность исследования возможностей обработки запасов некондиционных руд и утилизации накопленных минеральных отходов переработки объясняется ухудшением состояния минерально-сырьевой базы российской

металлургии, особенно после изменения экономической системы хозяйствования.

Сегодняшнее положение технологий глубокой переработки некондиционного металлосодержащего сырья сводится к следующему:

– традиционные технологии обогащения и металлургии не обеспечивают безотходности процессов и оставляют вторичные хвосты, непригодные для включения в естественный оборот веществ;

– перспективы утилизации некондиционного металлосодержащего сырья связаны с освоением гидрометаллургических методов переработки, обеспечивающих нужную полноту извлечения металлов, вплоть до возможного к применению без санитарных ограничений [1–3].

Решать эколого-экономические и социальные проблемы горных предприятий, отработавших запасы кондиционного сырья, способна конверсия на использование технологии выщелачивания металлов, которая путем снижения порога извлечения металлов позволяет вовлечь в эксплуатацию запасы считавшихся ранее некондиционными полезных ископаемых, что расширяет сырьевую базу без радикального изменения инфраструктуры.

За сравнительно небольшое время применения технологии выщелачивания в России накоплен опыт отработки как кондиционного, так и некондиционного металлосодержащего сырья в добывающих отраслях народного хозяйства [4–6].

Задача дальнейшего развития технологии выщелачивания включает в себя неотъемлемой частью разработку научных основ процессов, регламентирующих вопросы подготовки руд, химико-физических процессов перевода металлов в жидкое мобильное состояние, управления гидравлическими потоками, извлечения металлов из раствора и обеспечения безопасности окружающей среды при технологическом вторжении.

Вовлечение в эксплуатацию месторождений полезных ископаемых, разра-

ботка которых традиционными способами нерентабельна, с использованием феномена выщелачивания на месте их локализации радикально расширяет сырьевую базу промышленности и экономит средства на разведку и освоение новых месторождений руд.

Успех технологий с выщелачиванием металлов зависит от соответствия методов извлечения полезного ископаемого с наименьшими потерями путем реализации наработанных основ новой технологии.

Отрасли промышленности нуждаются в металлах, но удовлетворение их запросов осложняется из-за ухудшения качества металлосодержащего сырья и удорожания процессов его переработки с понижением уровня горных работ [1–3].

Технология извлечения металлов из металлосодержащих минералов растворами химических реагентов на основе использования феномена перевода металлов в мобильное состояние получает промышленное развитие, в первую очередь, как возможность уменьшения потерь металлов [4–7].

Схема выщелачивания металлов в куче представлена на рис. 1.

Извлечение металлов в раствор ускоряется и увеличивается при выщелачивании в агитаторе с механическим перемешиванием руды (рис. 2).

Альтернативные традиционные схемы выщелачивания (см. рис. 1 и 2) различаются интенсивностью и временем контактирования растворов реагентов с рудными частицами, что определяет показатели извлечения металлов.

Учитывая пока еще недостаточность знаний о процессе выщелачивания, трудность контроля процесса и опасность потери металлов при нарушении технологических режимов, технологии получения металлов из сырья комбинируют, объединяя гидрометаллурги-

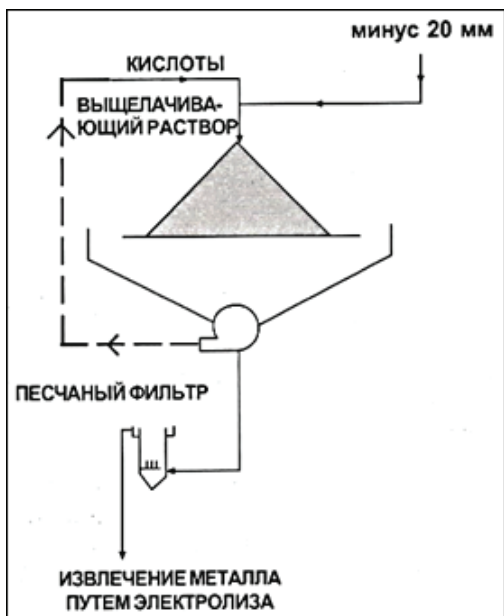


Рис. 1. Схема кучного выщелачивания
 Fig. 1. Heap leaching scheme

ческие и горные процессы. При этом подбирают реагенты, которые перево-

дят в раствор металл, не воздействуя на вмещающие породы.

Гидрометаллургические методы добычи металлов снижают загрязнение окружающей среды, поскольку переводят процессы неуправляемого природного выщелачивания в категорию управляемых, осуществляемых в рамках замкнутой системы.

Гидрометаллургические методы применяют пока преимущественно для переработки руд с низким содержанием металла, некондиционных для традиционных технологий [8–11].

Получающая права гражданства технология выщелачивания минералов в быстроходных мельницах-дезинтеграторах основана на феномене изменения технологических свойств руд при воздействии высокой механической энергией. Извлечение металлов в раствор улучшается при наличии железосодержащих минералов и ухудшается в присутствии кальция и магния.

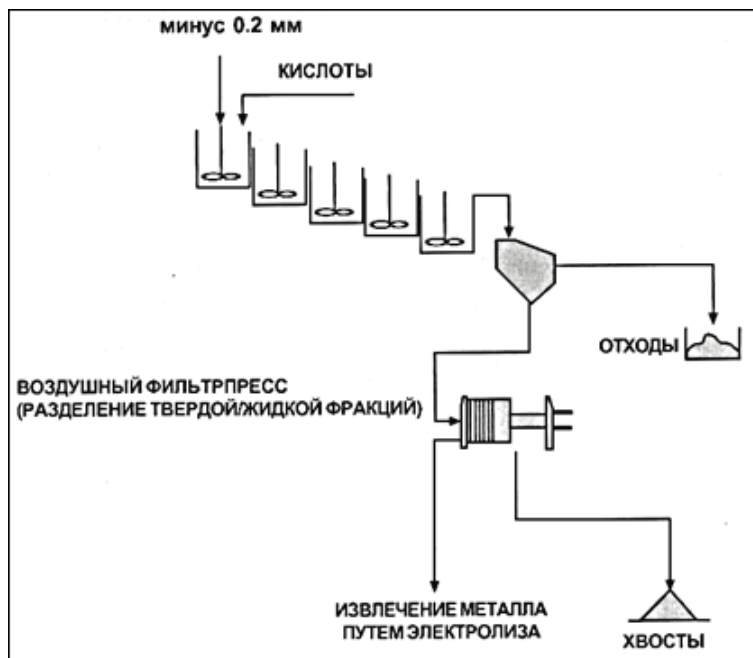


Рис. 2. Схема выщелачивания в агитаторе
 Fig. 2. The leaching scheme in the agitator

Обоснованный теоретически и доказанный экспериментально Й. Хинтом феномен изменения состояния вещества при обработке со скоростью удара 250 м/с основан на том, что процессы в твёрдых веществах протекают быстрее и полнее при увеличении их поверхности, в зависимости от структуры материала, действующих сил, амплитуды и частоты колебаний.

Технология опробована в течение 10 лет на месторождении Шокпак (Северный Казахстан) [10] при активации вяжущих хвостов металлургического завода и обеспечила приращение прочности смеси на 25–30% больше, чем при переработке в мельнице.

Целью исследования является обобщение практики выщелачивания металлов из некондиционного для традиционных технологий металлосодержащего сырья.

Она достигается решением ряда задач, в том числе:

- выявление влияющих на эффективность технологий факторов;
- установление закономерностей технологий;
- разработка мер охраны окружающей среды.

Методы

Основу исследования составляет эксперимент отработки выщелачиванием некондиционных руд Быкогорского месторождения (Северный Кавказ), руд урановых месторождений Чаркасар, Киик-Тал, Табошар, Адатаньга, Каштасай и Джекиндек (Средняя Азия), хвостов обогащения железистых кварцитов Лебединского ГОКа в дезинтеграторе DESI-11, а также балансовых руд урановых месторождений Восток и Звездное (Северный Казахстан) и месторождения Стрельцовской группы (Забайкалье), где в настоящее время металлы выщелачивают в подземных блоках.

Параметры выщелачивания в дезинтеграторе сравнивали с параметрами традиционного агитационного выщелачивания методом Венкена–Бокса с логарифмической и полиномиальной интерполяцией полученных данных.

Независимые факторы варьировали на минимальном, нулевом и максимальном уровнях. Регрессионный анализ показателей осуществляли путем приведения уравнения к линейной форме по программе на языке MATLAB.

В ходе исследования процессов выщелачивания определяли содержание металлов в продукционном растворе и влияние процесса на воздушную среду.

Результаты исследования

Появление технологий с выщелачиванием металлосодержащего сырья были вызваны необходимостью минимизации потерь металлов за счет переработки недоступных для традиционных методов некондиционных урановых руд.

Быкогорское месторождение (Северный Кавказ) в течение 20 лет отрабатывали выщелачиванием некондиционных руд в подземных блоках и штабелях. Блочное выщелачивание осуществляли с подготовкой блоков отбойкой руды скважинами, магазинированием и инфильтрационным движением реагента. Сквозное извлечение из таких руд оказалось сравнимым с традиционной заводской переработкой.

В 1975 г. была сделана попытка выщелачивания балансовых руд полиметаллического месторождения в Северной Осетии, оказавшаяся безуспешной из-за того, что для переработки концентрата выщелачивания на металлургическом заводе «Электроцинк» не была построена линия.

Забалансовые руды месторождений Чаркасар, Киик-Тал, Табошар, Ада-

таньга, Каштасай и Джекиндек (Средняя Азия) в 50-х годах прошлого века выщелачивали в штабелях или путем подачи растворов реагентов в выработанное пространство с потеряннной рудой.

В наше время параметры выщелачивания хвостов обогащения железистых кварцитов Лебединского ГОКа исследовали в дезинтеграторе DESI-11 (рис. 3).

Конструкция дезинтегратора позволяет комбинировать химическую и механическую энергию в рамках единого гидрометаллургического процесса перевода металлов в раствор.

При выщелачивании хвостов обогащения железистых кварцитов в течение 1 часа извлечение железа характеризуется извлечением металлов в раствор: агитационное — 4,75%, агитационное после механической активации в дезинтеграторе — 8,5%, однократное в дезинтеграторе — 12,5%.

Балансовые запасы руды выщелачивали в подземных блоках урановых месторождений Восток и Звездное (Северный Казахстан) по приведенной на рис. 4 схеме.

На рис. 4 показано, что блоки выщелачивания отличаются от блоков традиционной разработки наличием специальных выработок для обеспечения

циркуляции растворов реагента в ходе гидрометаллургических процессов.

Переработку производственных растворов осуществляли как на поверхности, так и в подземных выработках (рис. 5).

На рис. 5 показано, что первичные гидрометаллургические процессы протекают в пределах рудника, в том числе в подземных выработках вблизи выщелачиваемых выработок.

Практика применения вариантов выщелачивания металлов в СССР имеет свою историю. Наибольшее развитие технологии получили в середине прошлого века на добывающих предприятиях оборонной отрасли.

При разработке Гумешевского месторождения (Урал) медь выщелачивали с 2005 г.

На месторождении Маныбай (Казахстан) более 20 лет выщелачивали забалансовые руды и хвосты суспензионного выщелачивания в штабеле из 10 млн тонн.

На месторождениях Стрельцовской группы (Забайкалье) в настоящее время металлы выщелачивают в подземных блоках с извлечением 65%, обеспечивая большую часть годового производства металлов. Кучное выщелачивание забалансовых руд применяется с 1974 г. и характеризуется извлечением 40...50%, при том что выщелачивание балансовых руд обеспечивает извлечение 85%.

При хранении хвостов обогащения металлы трансформируются в мобильную фазу и негативно влияют на окружающую среду. Выщелачивание руд является природосберегающей технологией, потому что процессы высвобождения металлов из породной матрицы осуществляются в замкнутом рабочем пространстве без миграции в экосистемы окружающей среды [12 — 15].



Рис. 3. Лабораторный дезинтегратор Дез-11
Fig. 3. Dez-11 laboratory disintegrator

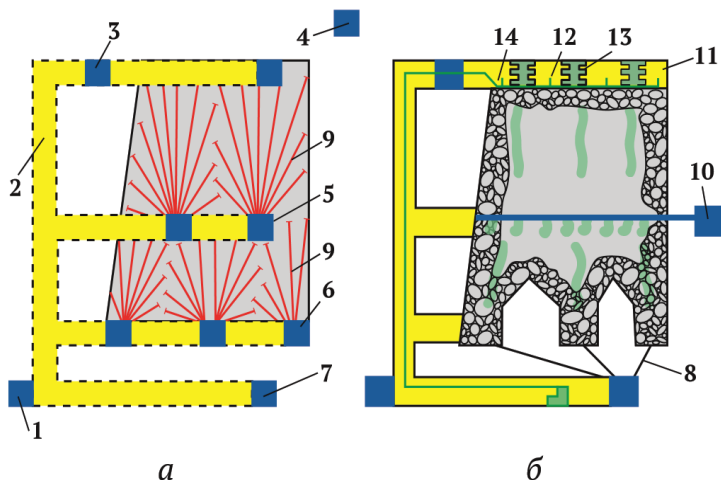


Рис. 4. Блок подземного выщелачивания: а – отбойка руд скважинами; б – фильтрация растворов: 1 – подготовительная выработка; 2 – восстающий; 3 – подготовительная выработка; 4 – подготовительная выработка; 5 – буровые штреки; 6 – дренажно-буровые штреки; 7 – дренажный штрек; 8 – дренажные скважины; 9 – скважины для размещения ВВ; 10 – промежуточный горизонт орошения; 11 – штрек для подачи растворов; 12 – выработка для подачи растворов; 13 – костровая крепь; 14 – трубопровод для транспортирования растворов

Fig. 4. Underground leaching unit: a – ore extraction by wells; and b – filtration of waste: 1 – preparatory development; 2 – rising; 3 – preparatory development; 4 – preparatory development; 5 – drilling drifts; 6 – drainage-drilling drifts; 7 – drainage drift; 8 – drainage wells; 9 – wells for the placement of explosives; 10 – intermediate irrigation horizon; 11 – drift for the supply of solutions; 12 – production for the supply of solutions; 13 – fire support; 14 – pipeline for transporting solutions



Рис. 5. Сорбционные колонны СНК в выработках
Fig. 5. Sorption columns of SNK in the workings

Обсуждение результатов

Актуальность приобретает совершенствование процессов добычи и переработки руд найденных и разведанных месторождений [16–18].

Ухудшение условий разработки и удорожание добычи и переработки

руд увеличивают важность использования минеральных ресурсов [19–22].

Технологии выщелачивания цветных металлов из хвостов переработки получают развитие при разработке техногенных месторождений цветных металлов России (табл. 1).

Таблица 1

Техногенные месторождения цветных металлов
Technogenic deposits of non-ferrous metals

Месторождения	Металлы	Регион
Техногенное	Медь	Свердловская обл., Мурманская обл., Красноярский край
Гумешевское	Медь	Урал
Аллареченское	Никель-кобальт	Свердловская обл., Мурманская обл., Красноярский край
Хвостохранилище № 1	Никель-кобальт	
Барьерное	Никель-кобальт	
Шлакоотвал	Цинк	Свердловская обл.
Техногенное	Олово	
Барун-Нарынское, Спокойнинское техногенные	Вольфрам	Бурятия, Забайкальский край
Стрельцовское, подземное и кучное выщелачивание	Уран, молибден	Читинская обл.
Кручининское, скважинное выщелачивание	Титан	Забайкальский край

Реализация концепции выщелачивания металлов ставит перед наукой и производством новые задачи, в том числе: селективизация извлечения металлов из коллективного раствора, нейтрализация маточных растворов, упрочнение рабочего органа измельчающего оборудования и др., которые могут решаться комплексными исследованиями с использованием накопленного, преимущественно в урановой отрасли, опыта [23–26].

Задачи совершенствования горно-металлургического извлечения металлов могут быть решены с использованием предлагаемого алгоритма (рис. 6).

Отличие схемы, приведенной на рис. 6, состоит в том, что в окружающую среду поступают хвосты, отвечающие санитарным требованиям и пригодные для использования без ограничений.

Контроль качества добываемых руд с выделением забалансовых позволяет выделять до 20% забалансовой руды от исходного объема. В забое рудо-

сортировка обеспечивает выделение 10...20% хвостов. Электронное моделирование параметров рудосортировки на рудоконтролирующей станции повышает достоверность показателей добычи руд.

Большинство хранилищ хвостов обогащения представляет собой техногенные месторождения, пригодные для выщелачивания. В качестве примера количественные значения металлов в хвостах обогащения рудников Садонского свинцово-цинкового комбината (Северный Кавказ) представлены в табл. 2.

Влияние активации хвостов в дезинтеграторе на однородность среды характеризуется данными:

- при обработке 1 кг хвостов крупностью менее 2,0 мм, подаче материала со скоростью 10 кг/ч и частоте вращения роторов дезинтегратора 200 Гц получен порошок с 93%-м содержанием фракции -0.1 мм;

- при обработке 1 кг пульпы из 0,2 кг хвостов и раствора с содержа-

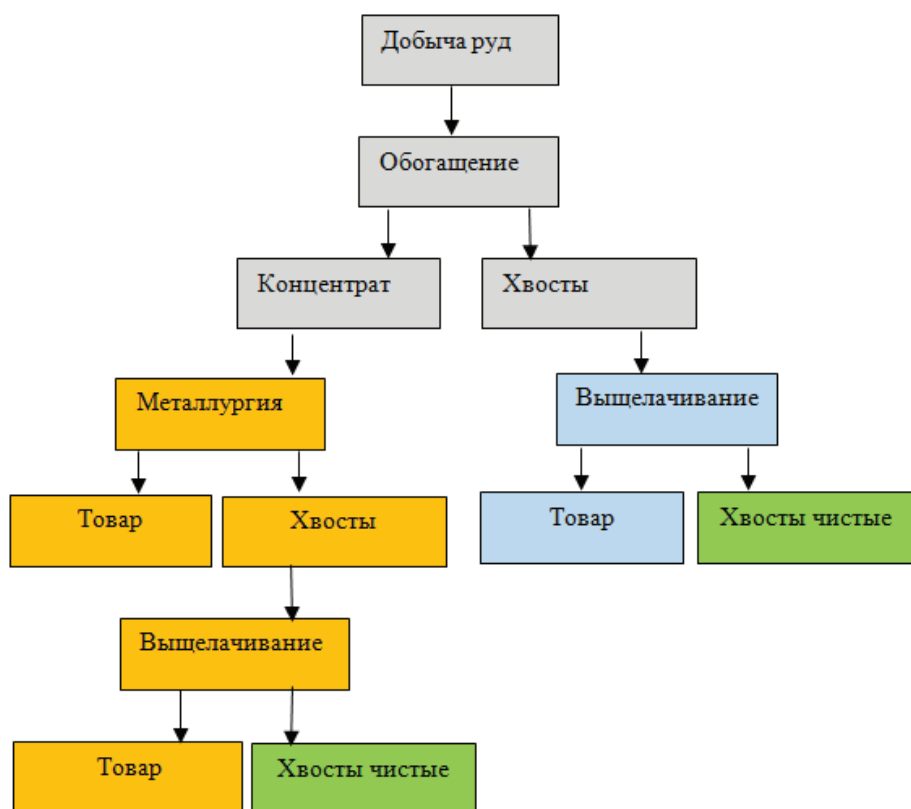


Рис. 6. Схема выщелачивания металлов из хвостов переработки руд
 Fig. 6. Scheme of metal leaching from ore processing tailings

нием хлорида натрия 100 г/л и серной кислоты 6 г/л и частоте вращения роторов 200 Гц получен порошок с 93%-м содержанием фракции -0.1 мм;

– при обработке 1 кг пульпы из 0,2 кг руды и 1,0 л выщелачивающего раствора с содержанием хлорида натрия 100 г/л и серной кислоты 6 г/л получен порошок с 92,1%-м содержанием фракции -0.1 мм.

За один цикл извлекается 22% свинца и 76% цинка. Путем неоднократной переработки хвостов содержание может быть доведено до требуемого уровня.

Научная новизна полученных результатов состоит в использовании новых средств механохимической активации, например дезинтегратора, раз-

работанных с личным участием автора, а также комбинировании технологий по признаку полноты использования природных ресурсов.

Выводы

Снижение производственной мощности горных предприятий повышает актуальность проблемы извлечения из потерянных руд и отходов переработки. Вовлечение в эксплуатацию некондиционного сырья расширяет сырьевую базу промышленности и экономит средства на разведку и освоение новых месторождений руд.

Традиционные технологии обогащения образуют вторичные хвосты, которые могут быть утилизированы только с использованием гидрометаллургиче-

Таблица 2

Характеристика хранилищ хвостов обогащения Мизурской фабрики
Characteristics of the storage facilities of the tailings of the enrichment of the Mizur factory

Месторождения	Запасы, т	Сведения о металлах		
		Металлы	Содержание, %	Запасы, т
Унальское хранилище	2 600 000	свинец	0,22	5500
		цинк	0,32	8300
		медь	0,11	2600
		железо	6,10	161000
		титан	0,20	4700
		марганец	0,20	4200
		серебро	4,2 г/т	11
Фиагдонское хранилище	2 400 000	свинец	0,20	450
		цинк	0,30	8400
		медь	0,12	2900
		железо	6,80	163000
		титан	0,20	3800
		марганец	0,16	3300
		серебро	4,0 г/т	10,0

ских методов переработки. Перспективы выщелачивания металлов связаны с разработкой научных основ процессов перевода металлов в мобильное состояние и извлечения их из раствора.

Технология выщелачивания металлов путем использования феномена перевода металлов в мобильное состояние является реальным направлением компенсации потерь металлов при добыче и переработки руд с комбинированием гидрометаллургических и горных процессов на территории рудников.

Гидрометаллургические методы добычи металлов минимизируют опасность для окружающей среды, переводя процессы неуправляемого природного выщелачивания в категорию управляемых в рамках производственного цикла.

Выщелачивание металлов в активаторах при воздействии химической

и механической энергии ускоряют и повышают полноту извлечения, что подтверждено практикой многочисленных предприятий, преимущественно системы МАНЭБ на территории СССР.


В настоящее время выщелачиванием, в том числе некондиционного сырья, на предприятиях Стрельцовского месторождения добывается большая часть годового производства металлов с извлечением 40... 50%.

Перспективы технологии выщелачивания металлов связаны с успехом решения ключевых задач селективного извлечения металлов из коллективного раствора, нейтрализации маточных растворов и т.п.

Процессы горнометаллургического извлечения металлов могут быть решены в рамках безотходного производства путем введения в традиционную технологическую цепь линии выщелачивания металлов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голик В. И., Тумова А. В., Тумов Г. И. Гидрометаллургические процессы при подземной добыче металлов // Горная Промышленность. — 2023. — № 1. — С. 85–92.
2. Khayrutdinov A., Kongar-Syuryun Ch., Kowalik T., Faradzhov V. Improvement of the backfilling characteristics by activation of halite enrichment waste for non-waste geotechnology // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020, vol. 867(1), 012018.
3. Oryngozhin E. S., Fedorov E. V., Alisheva Zh. N., Mitishova N. A. In-situ leaching technology for uranium deposits // Eurasian Mining. 2021, no. 2, pp. 31–35.
4. Бунин И. Ж., Рязанцева М. В., Самусев А. Л., Хабарова И. А. Теория и практика применения комбинированных физико-химических и энергетических воздействий на геоматериалы и водные суспензии // Горный журнал. — 2017. — № 11. — С. 134–139.
5. Секисов Г. В., Нугай Е. В. Основные особенности квазирудных минеральных образований как потенциальных источников попутных полезных компонентов и ископаемых // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2012. — № 2. — С. 340–347.
6. Секисов А. Г., Шевченко Ю. С., Лавров А. Ю. Перспективы использования шахтного выщелачивания при разработке золоторудных месторождений // ФТПРРМПИ. — 2016. — № 1. — С. 110–116.
7. Еремеева Ж. В., Шарипзянова Г. Х. Состав диффузионных слоев и влияние типа активатора на структуру получаемых при диффузионном хромосилицировании порошковых материалов // Технология металлов. — 2007. — № 7. — С. 35–37.
8. Евдокимов С. И., Герасименко Т. Е., Дмитрак Ю. В. Ликвидация накопленного экологического ущерба // Устойчивое развитие горных территорий. — 2019. — Т. 11. — № 2. — С. 238–248.
9. Голик В. И., Тумова А. В. Моделирование показателей разработки рудных месторождений Садоны // Горная промышленность. — 2022. — № 4. — С. 82–87.
10. Ключев Р. В., Босиков И. И., Майер А. В., Гаврина О. А. Комплексный анализ применения эффективных технологий для повышения устойчивого развития природно-технической системы // Устойчивое развитие горных территорий. — 2020. — № 2. — С. 283–290.
11. Комащенко В. И. Эколого-экономическая целесообразность утилизации горно-промышленных отходов с целью их переработки // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2015. — № 4. — С. 23–30.
13. Zaalishvili V. B., Kanukov A. S., Melkov D. A., Makiev V. D., Dzobelova L. V. Development of a unified model of geoinformation system for city planning and integration // International Journal of GEOMATE. 2018, vol. 15, no. 51, pp. 160–166.
14. Земсков А. Н., Лискова М. Ю. Пути обеспечения безопасных условий труда горняков на основе автоматизации контроля производственных процессов // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2018. — № 1. — С. 82–88.
15. Качурин Н. М., Стась Г. В., Корчагина Т. В., Змеев М. В. Геомеханические и аэрогазодинамические последствия подработки территорий горных отводов шахт Восточного Донбасса // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2017. — № 1. — С. 170–182.
16. Sitorous F., Cilliers J. J., Brito-Parada P. R. Multi-criteria decision making for the choice problem in mining and mineral processing: applications and trends // Expert Systems with Applications. 2018, vol. 121, pp. 393–417.
17. Sinclair L., Thompson J. In situ leaching of copper: Challenges and future prospects // Hydrometallurgy. 2015, vol. 157, pp. 306–324.

18. Пухова В. П., Воропанова Л. А. Очистка сточных вод горно-перерабатывающих предприятий путем использования природных продуктов // Устойчивое развитие горных территорий. – 2019. – Т. 11. – № 2. – С. 134–141.
19. Litvintsev V., Sas P. Current State and Main Directions of Innovative Development of Placer Gold Mining in Far East Federal District // E3S Web of Conferences. 2018, vol. 56, 04004.
20. Li J.-G., Zhan K. Intelligent mining technology for an underground metal mine based on unmanned equipment. Engineering. 2018, vol. 4, no. 3, pp. 381–391.
21. Голик В. И., Гегелашвили М. В., Игнатов В. Н., Версилов С. О. Вовлечение забалансовых руд в разработку комбинированными технологиями // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2018. – № 25. – С. 28–41.
22. Ящкая Н. А., Бригида В. С. Геоинформационные технологии при решении трехмерных геоэкологических задач: пространственная интерполяция данных // Геология и геофизика Юга России. – 2022. – № 12 (1). – 162–173.
23. Klyuev R. V., Yegorova E. V., Bosikov I. I., Tsidaev B. S. Evaluation of use of effective technologies for increasing sustainable development of natural and technical system of oil and gas complex // Sustainable Development of Mountain Territories. 2018, vol. 10, no. 3 (37), pp. 392–403. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2018-10-3-392-403>.
24. Босиков И. И., Клюев Р. В. Оценка перспективности территории Березкинского рудного поля при помощи программного продукта Micromine // Горные науки и технологии. – 2022. – № 7(3). – С. 192–202. DOI: 10.17073/2500-0632-2022-3-192-202.
25. Хайрутдинов М. М., Конгар-Сюрюн Ч. Б., Тюляева Ю. С., Хайрутдинов А. М. Планетная технология. Предпосылки формирования новой научной дисциплины // Горная промышленность. – 2020. – № 3. – С. 113–120. DOI: 10.30686/1609-9192-2020-3-113-120.
26. Khayrutdinov A., Kongar-Syuryun Ch., Kowalik T., Faradzhov V. Improvement of the backfilling characteristics by activation of halite enrichment waste for non-waste geotechnology // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020, vol. 867(1), 012018. DOI: 10.1088/1757-899X/867/1/012018. 

REFERENCES

- Golik V. I., Titova A. V., Titov G. I. Hydrometallurgical processes in underground mining of metals. *Mining Industry*. 2023, no. 1, pp. 85–92. [In Russ].
- Khayrutdinov A., Kongar-Syuryun Ch., Kowalik T., Faradzhov V. Improvement of the backfilling characteristics by activation of halite enrichment waste for non-waste geotechnology. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020, vol. 867(1), 012018.
- Oryngozhin E. S., Fedorov E. V., Alishева Zh. N., Mitishova N. A. In-situ leaching technology for uranium deposits. *Eurasian Mining*. 2021, no. 2, pp. 31–35.
- Bunin I. Zh., Ryazantseva M. V., Samusev A. L., Khabarova I. A. Theory and practice of combined physico-chemical and energy effects on geomaterials and aqueous suspensions. *Mining Journal*. 2017, no. 11, pp. 134–139. [In Russ].
- Sekisov G. V., Nigai E. V. Main features of quasi-ore mineral formations as potential sources of associated minerals and minerals. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2012, no. 2. pp. 340–347. [In Russ].
- Sekisov A. G., Shevchenko Yu. S., Lavrov A. Yu. Prospects for the use of mine extraction in the development of gold deposits. *FTPRMPI*. 2016, no. 1, pp. 110–116. [In Russ].

7. Eremeeva Zh. V., Sharipzyanova G. X. Composition of diffusion layers and the effect of the activator type on the structure of powder materials obtained by diffusion chromosilication. *Technologia metallica*. 2007, no. 7, pp. 35–37. [In Russ].

8. Evdokimov S. I., Gerasimenko T. E., Dmitrak Yu. V. Liquidation of accumulated ecological damage. *Sustainable development of mountain territories*. 2019, vol. 11, no. 2, pp. 238–248. [In Russ].

9. Golik V. I., Titova A. V. Modeling of indicators of development of ore deposits of the Don. *Mining industry*. 2022, no. 4, pp. 82–87. [In Russ].

10. Klyuev R. V., Bosikov I. I., Mayer A. V., Gavrina O. A. Complex analysis of the use of effective technologies to enhance the sustainable development of the natural-technical system. *Sustainable development of mountain territories*. 2020, no. 2, pp. 283–290. [In Russ].

11. Komashchenko V. I. Ecological and economic feasibility of utilization of mining waste for the purpose of their processing. *Izvestiya Tula State University. Earth sciences*. 2015, no. 4, pp. 23–30. [In Russ].

13. Zaalishvili V. B., Kanukov A. S., Melkov D. A., Makiev V. D., Dzobelova L. V. Development of a unified model of geoinformation system for city planning and integration. *International Journal of GEOMATE*. 2018, vol. 15, no. 51, pp. 160–166.

14. Zemskov A. N., Liskova M. Yu. Ways to ensure safe working conditions for miners on the basis of automation of control of production processes. *Izvestiya Tula State University. Earth Sciences*. 2018, no. 1, pp. 82–88. [In Russ].

15. Kachurin N. M., Stas G. V., Korchagina T. V., Zmeev M. V. Geomechanical and aerogasodynamic consequences of mining the territories of the mining branches of the mines of the Eastern Donbass. *Proceedings of the Tula State University. Ser. Earth sciences*. 2017, issue 1, pp. 170–182. [In Russ].

16. Sitorous F., Cilliers J. J., Brito-Parada P. R. Multi-criteria decision making for the choice problem in mining and mineral processing: applications and trends. *Expert Systems with Applications*. 2018, vol. 121, pp. 393–417.

17. Sinclair L., Thompson J. In-situ leaching of copper: Challenges and future prospects. *Hydrometallurgy*. 2015, vol. 157, pp. 306–324.

18. Pukhova V. P., Voropanova L. A. Wastewater treatment of mining and processing enterprises by using natural products. *Sustainable development of mountain territories*. 2019, vol. 11, no. 2, pp. 134–141. [In Russ].

19. Litvintsev V., Sas P. Current State and Main Directions of Innovative Development of Placer Gold Mining in Far East Federal District. *E3S Web of Conferences*. 2018, vol. 56, pp. 78–84.

20. Li J.-G., Zhan K. Intelligent mining technology for an underground metal mine based on unmanned equipment. *Engineering*. 2018, vol. 4, no. 3, pp. 381–391.

21. Golik V. I., Gegelashvili M. V., Ignatov V. N., Versilov S. O. Involvement of off-balance ores in the development of combined technologies. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018, no. 25, pp. 28–41. [In Russ].

22. Yaitskaya N. A., Brigida V. S. Geoinformation technologies in solving three-dimensional geocological problems: spatial data interpolation. *Geology and geo-physics of the South of Russia*. 2022, no. 12 (1), pp. 162–173. [In Russ].

23. Klyuev R. V., Yegorova E. V., Bosikov I. I., Tsidaev B. S. Evaluation of use of effective technologies for increasing sustainable development of natural and technical system of oil and gas complex. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2018, vol. 10, no. 3 (37), pp. 392–403. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2018-10-3-392-403>.

24. Bosikov I. I., Klyuev R. V. Assessment of Berezkinskoye ore field prospectivity using Micromine software. *Mining Science and Technology*. 2022, no. 7(3), pp. 192–202. [In Russ]. DOI: 10.17073/2500-0632-2022-3-192-202.

25. Khayrutdinov M., Kongar-Syuryun Ch., Tyulyaeva Y., Khayrutdinov A. Planetary Technology. Prerequisites for the Formation of a New Scientific Discipline. *Gornaya Promyshlennost*. 2020, no. 3, pp. 113–120. [In Russ]. DOI: 10.30686/1609-9192-2020-3-113–120.

26. Khayrutdinov A., Kongar-Syuryun Ch., Kowalik T., Faradzhov V. Improvement of the backfilling characteristics by activation of halite enrichment waste for non-waste geotechnology. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020, vol. 867(1), 012018. [In Russ]. DOI: 10.1088/1757-899X/867/1/012018.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Валиев Нияз Гыдым Оглы — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой горного дела, Уральский государственный горный университет, Россия, 620144, Екатеринбург, Куйбышева, 30, gtf.gd@m.ursmu.ru ORCID: 0000-0002-5556-2217

Пропп Владимир Давыдович — кандидат технических наук, профессор кафедры горного дела, Уральский государственный горный университет, Россия, 620144, Екатеринбург, Куйбышева, 30, gtf.gd@m.ursmu.ru ORCID: 0000-0001-5178-8609

Абрамкин Николай Иванович — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры техники и технологии горного и нефтегазового производства Московского политехнического университета. г. Москва, Россия E-mail: abramkin57@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6049-3730/>

Камболов Дзамболат Аркадьевич — кандидат технических наук, доцент, Северо-Кавказский горно-металлургический институт (ГТУ) Россия, 362021, г. Владикавказ, ул. Николаева, 44, info@skgmi-gtu.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Valiev Niyaz Gadym Ogly, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of the Mining Department, Ural State Mining University, Russia, 620144, Yekaterinburg, Kuibyshev, 30, gtf.gd@m.ursmu.ru;

Propp V.D., Cand. Sci. (Eng.), Professor, Department of Mining, Ural State Mining University, Russia, 620144, Ekaterinburg, Kuibysheva, 30, gtf.gd@m.ursmu.ru

Abramkin N.I., Dr. Sci. (Eng.), Professor, Professor of the Department of Engineering and Technology of Mining and Oil and Gas Production of the Moscow Polytechnic University. Moscow, Russia E-mail: abramkin57@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6049-3730/>

Kambolov D.A., Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, North Caucasus Mining and Metallurgical Institute, Russia, 362021, Vladikavkaz, st. Nikolaeva, 44.

Получена редакцией 14.06.2023; получена после рецензии 03.10.2023; принята к печати 10.11.2023.

Received by the editors 14.06.2023; received after the review 03.10.2023; accepted for printing 10.11.2023.

