

ОПЫТ ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ МЕТАЛЛОВ ИЗ БАЛАНСОВЫХ ЗАПАСОВ РУД

В. И. Голик, В. И. Комашенко, Ю. И. Разоренов, Н. Г. Валиев

Experience of underground leaching of metals from balance reserves of ores

V. I. Golik, V. I. Komashchenko, Yu. I. Razorenov, N. G. Valiev

Technologies for leaching metals from ores have a number of advantages over traditional technologies, the main ones of which are the possibility of sharp increase in the raw material base, minimization of damage to the environment and increase in the completeness of subsoil resources. The article contains analysis of the state of this problem according to the literature data, the results of experiments that the authors helped to conduct and the developed forecast for the development of the established concept. The authors formulated the global problem of wasteless and complex use of subsoil mineral resources. The authors indicate a promising direction of metal recovery by leaching them with reagents with a change of the phase state. The article presents systematized new data on the industrial and experimental development of technology options with leaching on uranium mines in Kazakhstan and Central Asia, as well as in the polymetallic mines of the Republic of North Ossetia-Alania. The authors propose a suitability typification of technologies for leaching purposes. The fields of application of these results are deposits of non-ferrous, rare and noble relatively easily opened metals, and deposits of metal containing tailings of ore enrichment.

Keywords: leaching; metal; ore; technology; resources; subsoil; experiment; concept; tailings of enrichment; environment.

Технологии выщелачивания металлов из руд обладают рядом преимуществ перед традиционными технологиями, главные из которых – возможность резкого увеличения сырьевой базы, минимизация ущерба окружающей среде и повышение полноты ресурсов недр. В статье проводится анализ состояния вопроса по литературным данным, используются результаты, выполненные с участием авторов экспериментов, и разрабатывается прогноз развития установленной концепции. Сформулирована глобальная проблема безотходного и комплексного использования минеральных ресурсов недр. Обозначено перспективное направление извлечения металлов путем их выщелачивания реагентами с изменением фазового состояния. Систематизированы и приведены новые сведения о промышленно-экспериментальном освоении вариантов технологий с выщелачиванием на урановых рудниках Казахстана и Средней Азии, а также на полиметаллических рудниках Республики Северная Осетия – Алания. Предложена типизация технологий по пригодности для целей выщелачивания. Область применения результатов – месторождения цветных, редких и благородных сравнительно легко вскрываемых металлов, а также хранилища металлосодержащих хвостов обогащения руд. Опыт использования технологий на урановых рудниках доказывает, что технологии выщелачивания металлов из руд обладают рядом преимуществ перед традиционными технологиями, главными из которых являются возможность резкого увеличения сырьевой базы, минимизация ущерба окружающей среде и повышение полноты ресурсов недр.

Ключевые слова: выщелачивание; металл; руда; технология; ресурсы; недра; эксперимент; концепция; хвосты обогащения; окружающая среда.

Обеспечивая непрерывно увеличивающиеся потребности человеческого сообщества в минеральном сырье, научно-технический прогресс в течение последних столетий прошлого тысячелетия обеспечил многократное увеличение объемов извлечения минерального сырья из недр. При этом с первых шагов горного дела до сегодняшнего времени преобладает практика использования только отдельных компонентов руд с отнесением остальных в неактивные запасы в ходе выборочной выемки полезных ископаемых из недр.

Природо- и ресурсосберегающая концепция обращения с некондиционным для настоящего времени сырьем исходит из того, что оно является неиспользуемым для человеческого сообщества и опасным для окружающей среды ресурсом, использование которого при определенных условиях может обеспечить эколого-экономический эффект [1].

Горное производство развивается в противоборстве двух тенденций:

- валовое извлечение сырья с компенсацией разубоживания в ходе обогащения;
- селективное извлечение с меньшей производительностью и большими потерями.

Несмотря на успехи технологий обогащения, компенсации разубоживания не обеспечиваются, о чем свидетельствует динамика накопления хвостов переработки на земной поверхности.

Потеря металлов при оставлении некондиционных в настоящее время запасов в недрах и при обогащении извлеченных на земную поверхность руд, суммарное количество которых экспертно можно сравнить с количеством добытых металлов, формирует крупную проблему человечества: безотходное и комплексное использование минеральных ресурсов недр [2].

Одной из причин ограниченных возможностей технологий переработки руд является использование преимущественно одной механической энергии. Все методы обогащения основаны на выборочной переработке более богатых фракций руд с переводом в неактивные запасы менее богатых фракций.

Перспективным направлением извлечения металлов является получающий развитие в последнее столетие метод химического обогащения, или выщелачивания металлов реагентами, при котором извлечение металлов из руд происходит путем изменения фазового состояния минерала [3].

Особое ресурсосберегающее достоинство этого метода состоит в возможности извлечения металлов из некондиционного сырья, в том числе из хвостов традиционного обогащения металлических руд. В ходе выщелачивания металлы из хвостов обогащения переводятся в растворы, а из них – в товарные осадки. Успех выщелачивания определяется окислительным потенциалом среды или возможностью перехода электронов от донора, которым служит сера к акцептору – принимающему электроны атому. Наибольшая скорость разложения сульфидов наблюдается при pH 2,0–4,0. В более кислых растворах понижение растворимости хлора уменьшает скорость разложения сульфидных минералов атомарным хлором, кислородом и молекулярным хлором [4].

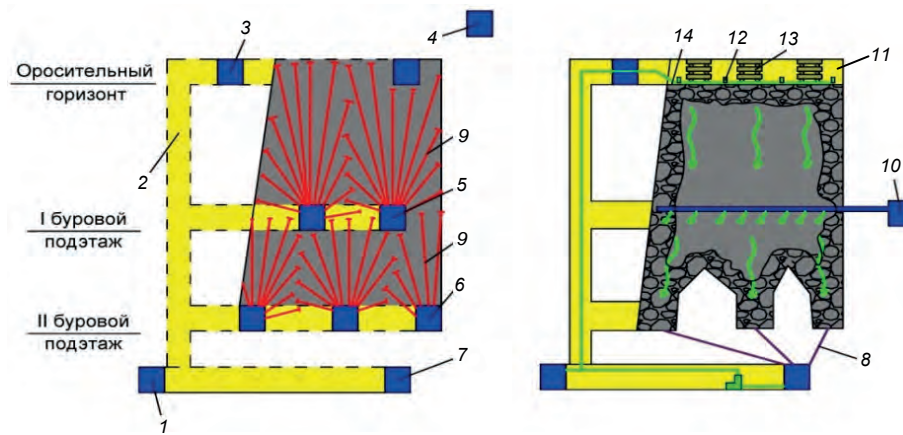


Рисунок 1. Подземное блоковое выщелачивание металлов. 1 – штрек; 2 – восстающий; 3 – штрек для орошения; 4 – штрек; 5 – буровые штреки; 6 – дренажно-буровые штреки; 7 – дренажный штрек; 8 – дренажные скважины; 9 – промежуточный горизонт орошения; 10 – промежуточный горизонт орошения; 11 – штрек для орошения;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

Опытно-промышленное выщелачивание металлов из некондиционных руд или некомфортных для традиционной технологии участков осуществлялось с 1950-х гг. на месторождениях: Киик-Тал, Чаркасар I, Табошар, Адатаньга, Каштасай, Джекиндек и др. [5].

Долговременный эксперимент осуществлен при разработке Быкогорского месторождения. Подземное блоковое выщелачивание осуществлялось без разрушения массива фильтрационным потоком реагента в зоне напорных трещинных вод с подачей и приемом продуктивных растворов в скважинах под давлением в 0,6 МПа и откачкой продуктивных растворов электровакуумными установками. При подземном выщелачивании извлечение составило 59 % при себестоимости 1 кг урана 80 % от традиционной. Кучное выщелачивание руды крупностью –150 мм обеспечивало извлечение 58 %.

Месторождение Звездное. Подземное блоковое выщелачивание обеспечивало извлечение металла 70 %. Сквозной коэффициент извлечения по блоку 87 % на 1,5 % превышал этот же показатель при традиционном подземном способе.

Подземное выщелачивание балансовых руд впервые в мировой практике осуществлено в СССР в 1980-х гг. Раствором серной кислоты было извлечено 72 % запасов металла в блоке. Полнота извлечения подтверждена проходкой контрольных выработок по хвостам выщелачивания [6].

Отрабатывали рудное тело линзовидной формы в трещиноватых породах крепостью 4–6 по М. М. Протодяконову. Разме-

ры блока, м: длина – 27; ширина – 5; высота – 28. Коэффициент разрыхления 1,12 (рис. 1).

Подготовка блока произведена по классической схеме (рис. 2).

Монтажный слой предназначен для бурения взрывных скважин и оросительной системы. Подсечной слой проведен с уклоном 5° к центру блока. Обурено 44 скважины по сетке 1,7 × 2 м параллельно друг другу с наклоном с недобуриванием на 1,5 м. Зарядание скважин гранулитом без забойки. Взрывание – электрическим способом по встречной схеме короткозамедленное с интервалом замедления между рядами 25 с. Вес заряда – 4200 кг. Коэффициент разрыхления – 1,12.

По завершении выщелачивания контрольными выработками, пройденными по выщелоченной руде, установлено, что в зоне отрезной щели произошло переуплотнение руды, дробление массива происходило только в зоне, равной 2–3 диаметрам заряда, а растворы интенсивно двигались по трещинам и переизмельченной руде в районе лежачего бока.

Выщелачивание продолжали после интенсификации процесса взрыванием зарядов в скважинах диаметром 85 и 65 мм с увеличением сетки в 2 раза по отношению к первоначальной. Зарядание скважин производилось гранулитом АС-4. Боевики из

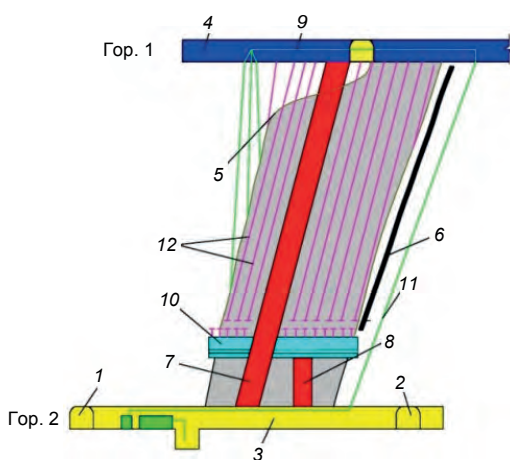


Рисунок 2. Подготовка блока подземного выщелачивания. 1, 2 – штреки; 3 – орт А; 4 – орт Б; 5 – граница рудного тела; 6 – разлом; 7 – отрезной восстающий; 8 – дучка; 9 – монтажный слой; 10 – подсечной слой; 11 – скважина для подачи растворов; 12 – взрывные скважины.

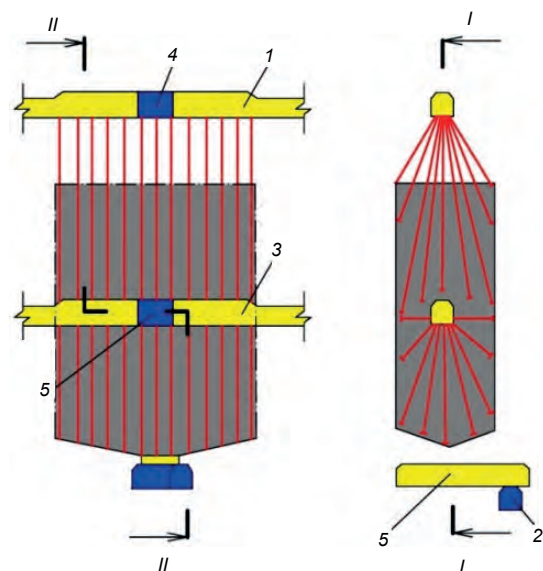


Рисунок 3. Инфильтрационное подземное выщелачивание забалансовых руд. 1 – оросительно-буровой штрек; 2 – нижний этажный штрек; 3 – буровой штрек; 4 – верхняя рассечка отрезной щели; 5 – нижняя рассечка отрезной щели.

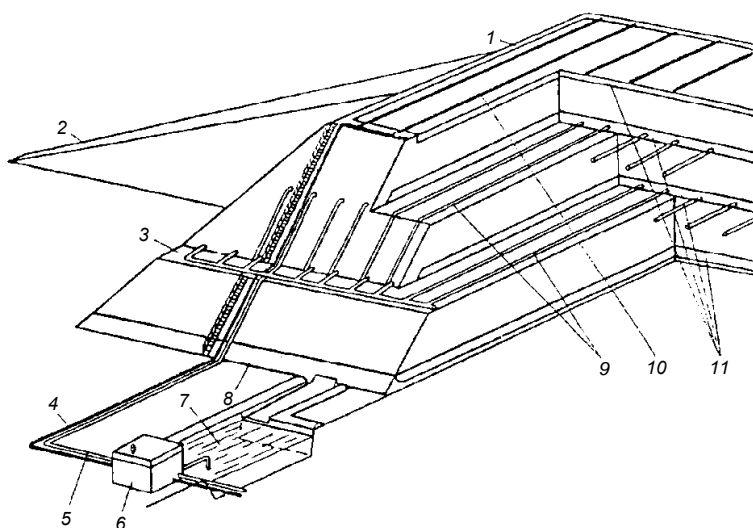


Рисунок 4. Кучное выщелачивание некондиционного металлического сырья. 1 – штабель; 2 – заезд; 3 – уступ; 4 – растворопровод; 5 – воздухопровод; 6 – насосная станция; 7 – зумпф; 8 – гидроизоляция; 9 – аэрационная система; 10 – орошение; 11 – мелкозернистый материал.

аммонала ВА-8 размещались на забое и в устье скважин, между ними прокладывались 2 нитки детонирующего шнура.

На подэтаже I взорвано 35 скважин диаметром 105 мм и 15 – диаметром 65 мм. Запасы подэтажа II дробили из расчески 3 веерами скважин диаметром 65 мм. Компенсационное пространство оформили мелкошпуровым способом в районе отрезной щели. Общее число скважин – 42 (7 вееров по 6 скважин).

На подэтаже III повторное дробление произведено с помощью 73 скважин. Удельный расход ВВ на вторичное дробление – 1,55 кг/м³, достигнутый коэффициент разрыхления – 1,43.

После повторного дробления и встряхивания руды орошение выщелачивающими растворами продолжалось еще четыре с половиной месяца. Получено количество металлов, составляющее 1,22 от количества за период выщелачивания до повторного дробления.

Способы подземного выщелачивания совершенствовали на основе сплошной бесцеликовой отработки месторождений. Примером является вариант ПВ при доработке забалансовых запасов с этажной обойкой руды и выщелачиванием в инфильтрационном режиме на Быкогорском месторождении в течение 30 лет (рис. 3) [7].

Месторождение было локализовано на участке курортной зоны, и предотвращение смешивания растворов выщелачивания с минеральными питьевыми водами представляло определенную проблему. Освоение электровакуумных установок решило эту проблему даже без оборудования гидроизоляционного слоя.

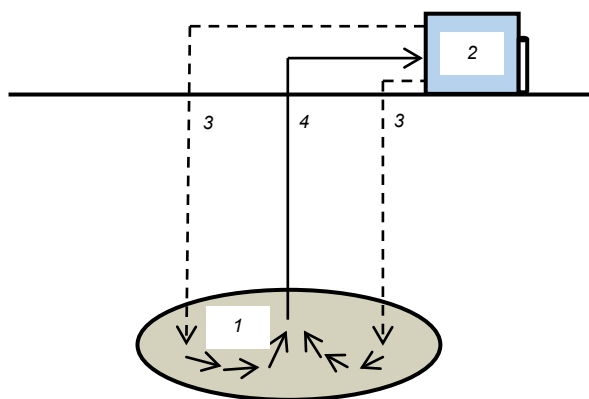


Рисунок 5. Скважинное выщелачивание водонасыщенных руд. 1 – рудное тело; 2 – цех переработки растворов; 3 – подающие раствор скважины; 4 – выдающая раствор скважина.

По сравнению с традиционной технологией с заводской переработкой трудоемкость производства снизилась в 2 раза, удельный вес нарезных работ – в 3,1 раза, эффективность горно-подготовительных работ повысилась в 2,5 раза.

Кучное выщелачивание забалансовых уран-молибденовых руд и хвостов суспензионного выщелачивания в течение 25 лет применяли на Казахском месторождении Маньбай из штабеля объемом 8 млн т с годовой производительностью урана 80 т и молибдена 120 т (рис. 4).

Скважинное выщелачивание запасов обводненного месторождения Семизбай осуществляется и в настоящее время. Мощность колеблется от 0,2 до 7,3 м, а площадь – от 4 до 930 тыс. м². Выемочный участок включал 12–18 технологических, 4 наблюдательных и 1–2 вспомогательных скважин через 10–25 м друг от друга. Производительность закачки скважин 2–3 м³/ч, откачки – 3–5 м³/ч. Металлы извлекали на ионообменных смолах и активированных углях с производительностью комплекса 30–50 м³/ч. При экономически приемлемой себестоимости был получен металл из месторождения, которое нельзя было эксплуатировать традиционным способом (рис. 5).

В настоящее время комбинированное выщелачивание металлов из руд объединяет процессы выщелачивания – подземное, кучное, отвальное и скважинное – в рамках единого комплекса (рис. 6) [8].

В ходе экспериментального освоения в странах СНГ накоплен опыт и увеличивается область применения технологий с выщелачиванием металлов не только из забалансовых, но и балансовых запасов.

В 1975 г. на основании накопленного опыта был осуществлен проект выщелачивания балансовых полиметаллических руд

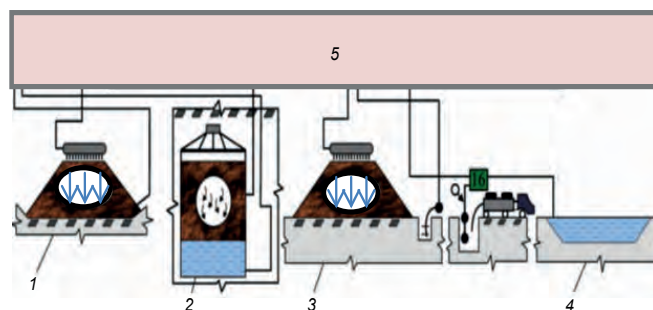


Рисунок 6. Комбинированное выщелачивание металлов. 1 – штабель КВ; 2 – блок ПВ; 3 – отвал; 4 – пруд; 5 – цех переработки растворов.

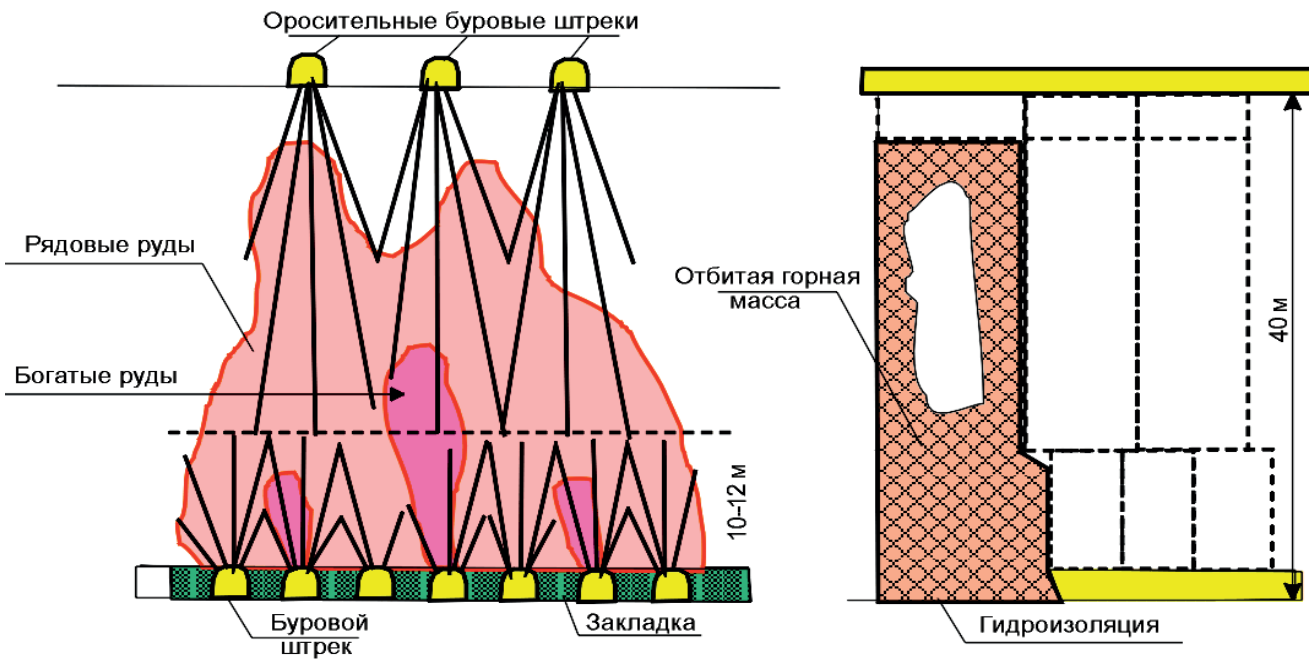


Рисунок 7. Комбинированная разработка разнорудных руд.

в пределах значительного по объему участка Фиагдонского месторождения (Республика Северная Осетия – Алания) [9].

На рудниках ОАО «ППГХО» с 1980-х гг. выщелачиванием добывают более 30 % металла. Подземное блоковое выщелачивание руд осуществляется серной кислотой с концентрацией 3–5 г/л в фильтрационно-динамическом режиме. Коэффициент извлечения 65,2 %. Кучное выщелачивание забалансовых руд класса –50 мм осуществляют при интенсивности непрерывного орошения 25–30 л/ч на 1 м² поверхности кучи. Время выщелачивания штабеля 300–350 сут. Выход товарных регенератов 2,3–2,7 м³/м³ сорбента. Содержание металла в регенерате 7–10 г/л. Время десорбции 18 ч [10–13].

На современном этапе развития горного производства с точки зрения экономики производства эффективно комбинирование технологий разработки месторождений с выдчей на поверхность наиболее богатых руд для заводской переработки и выщелачиванием рядовых и бедных руд на месте залегания (рис. 7).

Приемлемость технологии выщелачивания металлов определяется, в первую очередь, крупностью рудных кусков и типом

минерализации металла. Неполное соответствие применимости технологии и условий месторождения могут быть скорректированы [14] (табл. 1).

Выбор технологии с выщелачиванием металлов может быть осуществлен по ряду признаков (табл. 2).

Результаты освоения технологий с выщелачиванием позволяют говорить об экономико-экологических преимуществах их промышленного применения [15–17].

Эффективность разрушения горных пород для целей выщелачивания повышается при усовершенствовании способов бурения взрывных скважин. Например, для управления качеством выщелачивания актуальна разработка конструкций алмазных буровых долот с учетом влияния конструктивных особенностей инструмента, формы, компонентного состава твердосплавных пластин и их расстановки на рабочем торце долота. Повышение точности бурения способствует рациональному распределению энергии взрыва и равномерному дроблению горной массы с последующим улучшением фильтрационных свойств выщелачиваемого массива [18, 19].

Таблица 1. Приемлемость технологии выщелачивания металлов из руд.

Категория	Размеры, см	Недостатки	Процессы корректировки
<i>Вкрапленная минерализация</i>			
Неприемлемая	Более 10	Весьма малая скорость выщелачивания, повышенные потери	Оптимизация параметров отбойки, дробление при обогащении
Нежелательная	От 10 до 5	Пониженная скорость выщелачивания, потери	Дробление при обогащении
Оптимальная	От 5 до 2	Нет	Нет
Мелкая	От 2 до 1	Малая скорость фильтрации растворов, разубоживание попутными минералами	Интенсификация процесса фильтрации
Весьма мелкая	Менее 1	Весьма малая скорость фильтрации растворов, разубоживание попутными минералами	Окомкование вяжущими веществами
<i>Прожилковая минерализация</i>			
Оптимальная	Более 2	Нет	Нет
Мелкая	От 2 до 1	Малая скорость фильтрации растворов, разубоживание попутными минералами	Интенсификация процесса фильтрации
Весьма мелкая	Менее 1	Весьма малая скорость фильтрации растворов, разубоживание попутными минералами	Окомкование вяжущими веществами

Таблица 2. Типизация технологий выщелачивания металлов из руд.

Характеристика	Признаки		
	Высокая пригодность	Средняя пригодность	Низкая пригодность
Тип руд	Окисленные	Смешанные	Сульфидные
Минерализация	Прожилковая	Ассоциация металлов	Вкрапленная
Форма нахождения	Свободная	Смешанная	Вкрапленная
Образования на поверхности	Отсутствуют	Присутствуют незначительно	Присутствуют
Наличие вредных примесей	Растворимые металлосодержащие частицы	Незначительное количество	Значительное количество
Эффективная пористость	Более 20 % диаметра > 0,009 мм	От 1 до 20 % диаметра до 0,009 мм	Менее 1 % диаметра < 0,001 мм
Крупность руд	Более 60% фракций –25 мм	Менее 40 % фракций –25 мм	Менее 20 % фракций –25 мм
Крупность хвостов	Более 80 % фракций –0,074 мм	Более 50 % фракций –0,074 мм	Менее 50 % фракций – 0,074 мм
Коэффициент фильтрации	0,1–0,2 м/с	0,08–0,15 м/с	0,05 м/с
Возраст хвостов	Более 10 лет	5–10 лет	Менее 5 лет

Технологии с выщелачиванием по сравнению с традиционной технологией при равных условиях характеризуются увеличением технико-экономических показателей в разы. Так, на месторождении Быхогорское экономически приемлемая отработка велась еще 30 лет после отработки балансовых запасов по традиционной схеме.

Технологии с выщелачиванием в плане воздействия на окружающую среду принципиально отличаются от традиционных тем, что процесс извлечения металлов из руд происходит в замкнутом и контролируемом пространстве в отличие от стохастического неуправляемого процесса природного выщелачивания потерянного в недрах и складированного на земной поверхности минерального сырья [20, 21].

Выводы

Реальным шагом по решению проблемы безотходного и комплексного использования минеральных ресурсов недр является извлечение металлов путем их выщелачивания реагентами с изменением фазового состояния. Пригодность месторождений для целей выщелачивания может быть определена на основе типизации технологий, созданной по результатам промышленно-экспериментального освоения технологий с выщелачиванием. Практика применения технологии подтверждает целесообразность применения ее при отработке некондиционного для традиционных технологий сырья.

ЛИТЕРАТУРА

- Golik V. I., Komashchenko V. I. Nature protection technologies of management of a condition of the massif on a geomechanical basis. М.: KDU, 2010. 520 p.
- Голык В. И., Комашченко В. И., Дребенштетт К. Охрана окружающей среды. М.: Высш. школа, 2007. 270 с.
- Golik V., Komashchenko V., Morkun V. Innovative technologies of metal extraction from the ore processing mill tailings and their integrated use // Metallurgical and Mining Industry. 2015. № 3. P. 49–52.
- Каплунов Д. Р., Рыльникова М. В., Радченко Д. Н. Расширение сырьевой базы горнорудных предприятий на основе комплексного использования минеральных ресурсов месторождений // Горный журнал. 2013. № 12. С. 29–33.
- Kachurin N., Komashchenko V., Morkun V. Environmental monitoring atmosphere of mining territories // Metallurgical and Mining Industry. 2015. № 6. P. 595–597.
- Голык В. И., Комашченко В. И., Моркун В. С. Инновационные технологии комплексного использования хвостов обогащения переработки руд // Вісник Криворізького національного університету. 2015. Вип. 39. С. 72–77.
- Golik V., Komashchenko V., Morkun V., Zaalishvili V. Enhancement of lost ore production efficiency by usage of canopies // Metallurgical and Mining Industry. 2015. № 4. P. 325–329.
- Голык В. И., Полухин О. Н., Петин А. Н., Комашченко В. И. Экологические проблемы разработки рудных месторождений КМА // Горный журнал. 2013. № 4. С. 61–64.
- Голык В. И. Специальные способы разработки месторождений. М.: ИНФРА-М, 2014. 132 с.
- Golik V., Komashchenko V., Morkun V. Geomechanical terms of use of the mill tailings for preparation // Metallurgical and Mining Industry. 2015. № 4. P. 321–324.

- Голык В. И., Разоренов Ю. И. Проектирование горных предприятий. Новочеркасск, 2007. 262 с.
- Лизункин В. М., Морозов А. А., Бейдин А. В. Комбинированная геотехнология добычных работ с рентгенорадиометрической сортировкой и выщелачиванием урана из бедной рудной массы в подземных условиях // Горный журнал. 2013. № 8 (2). С. 89–93.
- Лизункин В. М., Морозов А. А., Гаврилов А. А., Лизункин И. В. Лабораторные исследования процесса выщелачивания урана серноокислыми растворами, активированными ультразвуком // ГИАБ. 2014. № 10. С. 123–129.
- Логачев А. В., Голык В. И. К вопросу об этапах разработки месторождений // Горный журнал. 2008. № 12. С. 41–43.
- Голык В. И., Комашченко В. И., Моркун В. С. Механохимические процессы извлечения металлов из некондиционных руд. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015. 250 с.
- Golik V., Komashchenko V., Morkun V. Feasibility of using the mill tailings for preparation of self-hardening mixtures // Metallurgical and Mining Industry. 2015. № 3. P. 38–41.
- Khasheva Z. M., Golik V. I. The Ways of Recovery in Economy of the Depressed Mining Enterprises of the Russian Caucasus // International Business Management. 2015. № 9 (6). P. 1209–1216.
- Разоренов Ю. И., Голык В. И. Проблемы глубокой утилизации отходов переработки угля // Маркшейдерия и недропользование. 2013. № 4 (66). С. 52–54.
- Голык В. И., Разоренов Ю. И., Страданченко С. Г., Прокопов А. Ю., Масленников С. А. Экспериментальное обоснование возможности извлечения металлов из хвостов обогащения угля // ГИАБ. 2012. № 5. С. 128–134.
- Golik V. I., Razorenov Yu. I., Efremkov A. B. Recycling of metal ore mill tailings // Applied Mechanics and Materials. 2014. T. 682. С. 363–368.
- Разоренов Ю. И. Оптимизация рудопотоков при разработке сложных рудных месторождений подземно-открытым способом: дис. ... д-ра техн. наук. Новочеркасск, 2000. 324 с.

REFERENCES

- Golik V. I., Komashchenko V. I. 2010, Nature protection technologies of management of a condition of the massif on a geomechanical basis, Moscow, 520 p.
- Golik V. I., Komashchenko V. I., Drebenshtedt K. 2007, *Okrhana okruzhayushchey sredy* [Protection of the environment], Moscow, 270 p.
- Golik V., Komashchenko V., Morkun V. 2015, Innovative technologies of metal extraction from the ore processing mill tailings and their integrated use. Metallurgical and Mining Industry, no. 3, pp. 49–52.
- Kaplunov D. R., Ryl'nikova M. V., Radchenko D. N. 2013, *Rasshireniye syr'evoy bazy gornorudnykh predpriyatiy na osnove kompleksnogo ispol'zovaniya mineral'nykh resursov mestorozhdeniy* [Expansion of the resource base of mining enterprises based on the integrated use of mineral resources of deposits]. *Gornyy zhurnal* [Mining Journal], no. 12, pp. 29–33.
- Kachurin N., Komashchenko V., Morkun V. 2015, Environmental monitoring atmosphere of mining territories. Metallurgical and Mining Industry, no. 6, pp. 595–597.
- Golik V. I., Komashchenko V. I., Morkun V. S. 2015, *Innovatsionnye tekhnologii kompleksnogo ispol'zovaniya khvostov obogashcheniya pererabotki rud* [Innovative technologies for the integrated use of ore processing enrichment tailings]. *Visnik Krivoriz'kogo natsional'nogo universitetu* [Bulletin KTU], no. 39, pp. 72–77.
- Golik V., Komashchenko V., Morkun V., Zaalishvili V. 2015, Enhancement of lost ore production efficiency by usage of canopies. Metallurgical and Mining Industry, no. 4, pp. 325–329.
- Golik V. I., Polukhin O. N., Petin A. N., Komashchenko V. I. 2013, *Ekologicheskie problemy razrabotki rudnykh mestorozhdeniy KMA* [Ecological problems of development of ore deposits of Kursk Magnetic Anomaly]. *Gornyy zhurnal* [Mining Journal], no. 4, pp. 61–64.

9. Golik V. I. 2014, *Spetsial'nye sposoby razrabotki mestorozhdeniy* [Special methods of field development], Moscow, 132 p.
10. Golik V., Komashchenko V., Morkun V. 2015, Geomechanical terms of use of the mill tailings for preparation. Metallurgical and Mining Industry, no. 4, pp. 321–324.
11. Golik V. I., Razorenov Yu. I. 2007, *Proektirovanie gornyykh predpriyatiy* [Designing of mining enterprises], Novocherkassk, 262 p.
12. Lizunkin V. M., Morozov A. A., Beydin A. V. 2013, *Kombinirovannaya geotekhnologiya dobychnykh rabot s rentgenoradiometricheskoy sortirovkoj i vyshchelachivaniem urana iz bednoy rudnoy massy v podzemnykh usloviyakh* [Combined geotechnology of mining operations with X-ray radiometric sorting and uranium leaching from poor ore mass in underground conditions]. *Gornyy zhurnal* [Mining Journal], no. 8(2), pp. 89–93.
13. Lizunkin V. M., Morozov A. A., Gavrilov A. A., Lizunkin I. V. 2014, *Laboratornye issledovaniya protsessy vyshchelachivaniya urana sernokislými rastvorami, aktivirovannyimi ultrazvukom* [Laboratory studies of the uranium leaching process by sulfuric acid solutions activated by ultrasound]. *GIAB* [Mining informational and analytical bulletin], no. 10, pp. 123–129.
14. Logachev A. V., Golik V. I. 2008, *K voprosu ob etapakh razrabotki mestorozhdeniy* [On the issue of the stages of field development], *Gornyy zhurnal* [Mining Journal], no. 12 pp. 41–43.
15. Golik V. I., Komashchenko V. I., Morkun V. S. 2015, *Mekhanokhimičeskije protsessy izvlecheniya metallov iz nekonditsionnykh rud* [Mechanochemical processes of metal recovery from sub-standard ores], Saarbrücken, 250 p.
16. Golik V., Komashchenko V., Morkun V. 2015, Feasibility of using the mill tailings for preparation of self-hardening mixtures. Metallurgical and Mining Industry, no. 3, pp. 38–41.
17. Khasheva Z. M., Golik V. I. 2015, The Ways of Recovery in Economy of the Depressed Mining Enterprises of the Russian Caucasus. International Business Management, no. 9(6), pp. 1209–1216.
18. Razorenov Yu. I., Golik V. I. 2013, *Problemy glubokoy utilizatsii otkhodov pererabotki uglja* [Problems of deep utilization of coal processing waste]. *Marksheyderiya i nedropol'zovanie* [Mine surveying and subsurface use], no. 4(66), pp. 52–54.
19. Golik V. I., Razorenov Yu. I., Stradanchenko S. G., Prokopov A. Yu., Maslennikov S. A. 2012, *Eksperimental'noe obosnovanie vozmozhnosti izvlecheniya metallov iz khvostov obogashcheniya uglja* [Experimental substantiation of the possibility of extracting metals from tailings of coal enrichment]. *GIAB* [Mining informational and analytical bulletin], no. 5, pp. 128–134.
20. Golik V. I., Razorenov Yu. I., Efremkov A. B. 2014, Recycling of metal ore mill tailings. Applied Mechanics and Materials, vol. 682, pp. 363–368.
21. Razorenov Yu. I. 2000, *Optimizatsiya rudopotokov pri razrabotke slozhnykh rudnykh mestorozhdeniy podzemno-otkrytym sposobom* [Optimization of ore flows during the development of complex ore deposits by underground-open method]. *Diss. na soiskanie d-ra tekhnicheskikh nauk* [Dissertation of the candidate of engineering sciences]. Novocherkassk. 324 p.

Владимир Иванович Голик,

v.i.golik@mail.ru

Виталий Иванович Комащенко,

komashchenko@inbox.ru

Юрий Иванович Разоренов,

yiri1963@mail.ru

Северо-Кавказский горно-металлургический институт

(государственный технологический университет)

Россия, Владикавказ, ул. Николаева, 44

Нияз Гадым оглы Валиев,

gtf.gd@m.ursmu.ru

Уральский государственный горный университет

Россия, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

Vladimir Ivanovich Golik,

v.i.golik@mail.ru

Vitaliy Ivanovich Komashchenko,

komashchenko@inbox.ru

Yuriy Ivanovich Razorenov,

yiri1963@mail.ru

North-Caucasian Institute of Mining and Metallurgy

(State Technological University)

Vladikavkaz, Russia

Niyaz Gadym ogly Valiev,

gtf.gd@m.ursmu.ru

Ural State Mining University

Ekaterinburg, Russia