

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ / ORIGINAL PAPERS

DOI: 10.17073/2500-0632-2020-4-349-357

К концепции шахтного подземного выщелачивания металлов**О. З. Габараев¹, А. О. Габараева¹, Н. Т. Дедегкаева¹, Ж. Болотбеков²**¹Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), г. Владикавказ, Россия²Кыргызский государственный университет геологии, горного дела и освоения природных ресурсов им. акад. У. А. Асаналиева (КГГУ), г. Бишкек, Кыргызская Республика

Аннотация: Актуальность проблемы восполнения выбывающих запасов для обеспечения минеральной безопасности России объясняется изменением экономической системы России, изменением географии добычи металлов и ослаблением минерально-ресурсной базы горного производства при переходе от открытого способа к подземному. Приведены сведения о шахтном выщелачивании металлов в историческом срезе. Показана роль российских ученых и научно-исследовательских организаций в исследовании процессов добычи металлов выщелачиванием. Приведены примеры применения технологии на рудниках СССР, СНГ и стран дальнего зарубежья с характеристикой особенностей осуществления. Сформулированы основные недостатки шахтного подземного выщелачивания: низкая скорость получения металлов и трудность осуществления контроля полноты процесса извлечения металлов в продукционный раствор. Отмечено, что при подземном выщелачивании даже хорошо раздробленных руд процесс длится годами, что снижает привлекательность технологии по сравнению с традиционными способами добычи металлов в равных условиях. Описаны известные и новые перспективные методы интенсификации процесса с целью увеличения скорости извлечения металлов в раствор. На примере Северокавказских месторождений Садонской группы показана целесообразность применения технологии подземного выщелачивания для доработки ныне потерянных для традиционной технологии запасов. Охарактеризована роль профессора Остроушко И. А. в изыскании и внедрении способов извлечения металлов, оставленных в отработанных пространствах рудников, в частности, путем извлечения металлов из сточных вод месторождений Садона. Даны сведения о современном состоянии использования технологии. Сделан вывод о недостаточности использования этой перспективной технологии в практике разработки вскрываемых руд в условиях отдельных регионов. Впервые уточнены детали общей концепции подземного выщелачивания: возможность применения шахтного выщелачивания руд не только в благоприятных условиях, но и при невыдержанных элементах залегания и неравномерной минерализации, возможность выщелачивания не только некондиционных для традиционных технологий руд, но и балансовых запасов, и сформулирована возможность подземного блокового выщелачивания как альтернатива традиционным технологиям в конкретных условиях, например, на месторождениях Северного Кавказа.

Ключевые слова: добыча металлов, шахтное подземное выщелачивание, продуктивный раствор, руда, интенсификация процесса, потерянные запасы

Для цитирования: Габараев О. З., Габараева А. О., Дедегкаева Н. Т., Болотбеков Ж. К концепции шахтного подземного выщелачивания металлов. *Горные науки и технологии*. 2020;5(4):349-357. DOI: 10.17073/2500-0632-2020-4-349-357

On the concept of in-situ metal leaching**O. Z. Gabaraev¹, A. O. Gabaraeva¹, N. T. Dedegkaeva¹, Zh. Bolotbekov²**¹North-Caucasian institute of mining and metallurgy (State technological university), Vladikavkaz, Russia²Kyrgyz state university of geology, mining and natural resources development named after acad. U. A. Asanaliyev, Bishkek, Republic of Kyrgyzstan

Abstract: The information on history of in-situ metal leaching method (ISL) was given. The role of Russian scientists and research organizations in research into ISL processes was shown. Examples of ISL application at the mines of the USSR, the CIS and non-CIS countries with the implementation features were given. The main disadvantages of ISL were formulated: low rate of metal production and difficulty in monitoring the completeness of metal recovery into pregnant solution. It was noted that underground leaching of even well-crushed ores lasts for many years. This, under otherwise equal conditions, decreases attractiveness of ISL in comparison with traditional methods of metal mining. Well-known and new promising methods of the leaching process intensification for increasing the rate of metal extraction into solution were described. As illustrated by the North Caucasian deposits of the Sadon group, the expediency of ISL use for extracting the residual reserves, which would not be extracted by the traditional methods, was shown. The role of Professor I. A. Ostroushko in development and implementation of methods for extracting metals remained

in the mined-out space of mines, in particular, by extracting metals from the Sadon deposits wastewater. Information on the current state of ISL application was given. The conclusion was made about insufficient use of this promising method in mining in some regions. For the first time, the details of the ISL general concept were clarified: the feasibility of ISL use not only in favorable conditions, but also at non-continuous geology and mineralization; ISL applicability for not only substandard ores (non-extractable by traditional mining methods), but also for balance reserves; ISL (block leaching) was proposed as an alternative to traditional mining methods in specific conditions, for example, at the North Caucasian complex ore deposits.

Keywords: metal mining, in-situ leaching, pregnant solution, ore, process intensification, lost reserves

For citation: Gabaraev O. Z., Gabaraeva A. O., Dedegkaeva N. T., Bolotbekov Zh. On the concept of in-situ metal leaching. *Gornye nauki i tekhnologii = Mining Science and Technology (Russia)*. 2020;5(4):349-357. (In Russ.) DOI: 10.17073/2500-0632-2020-4-349-357

Актуальность проблемы восполнения выбывающих запасов для обеспечения минеральной безопасности России объясняется изменением экономической системы России, изменением географии добычи металлов и ослаблением минерально-ресурсной базы горного производства при переходе от открытого способа к подземному [1–3].

О промышленном выщелачивании цветных металлов известно с XVI в. (Испания). Широкое освоение способа связано с добычей меди на руднике «Кананеа» в Мексике (1924 г.) и на Урале (1930–1940 годы). Подземное выщелачивание металлов из руд в России было предсказано академиком А.Е. Ферсманом.

В настоящее время подземное выщелачивание применяется для добычи цветных металлов в США, России, Франции, Японии, Австралии, ФРГ и др. странах [4–7].

Исследованиями по добыче полезных ископаемых методами выщелачивания на геотехнологических предприятиях ранее других начали заниматься ИПКОН РАН, ВНИИХТ, ВНИПИПТ, СКГМИ (ГТУ) и лаборатории предприятий атомной отрасли.

Опытно-промышленные испытания шахтного подземного выщелачивания были начаты на Блявинском руднике Медногорского медно-серного комбината в 1971 г. Наибольшие успехи достигнуты при выщелачивании меди, урана и золота на предприятиях атомной отрасли СССР.

Как правило, объектами подобных исследований служили руды месторождений, отработка которых традиционными методами была экономически нецелесообразна [8–11]. В 1970-х годах был

отработан первый блок балансовых руд, а в настоящее время Приаргунский комбинат выщелачиванием добывает половину своей продукции.

Еще в 1974 г. этим методом получали 20 % мировой добычи меди. Его доля в мировом производстве некоторых полезных ископаемых достигает величины 80% [12–15]. Только в США подземным выщелачиванием ежегодно добывают 300 тыс. тонн меди и 4 тыс. тонн урана.

Целью исследований по указанной проблеме являются в том числе обобщение и систематизация сведений о добыче металлов методами выщелачивания. Задачей исследования является обоснование технологически корректных, безопасных и экономически эффективных параметров технологий шахтного выщелачивания с использованием натуральных и лабораторных методов, включая ретроспективный анализ практики выщелачивания в первую очередь на предприятиях урановой отрасли.

Общая часть

Условия применения. Возможность применения технологий выщелачивания определяется в основном минералогическим составом руды и составом породообразующих минералов.

Процесс выщелачивания урана из кусковой руды можно разделить на два периода: начальный, когда уран извлекается с поверхностных и приповерхностных частей рудных кусков, и конечный, когда уран извлекается из глубины куска. Переход урана из руды в раствор реагента заключается в прямом взаимодействии поверхности минералов с растворителем, фильтрующимся через слой руды, и в диффузионном перемещении растворенных солей в подвижном поровом растворе (рис. 1).

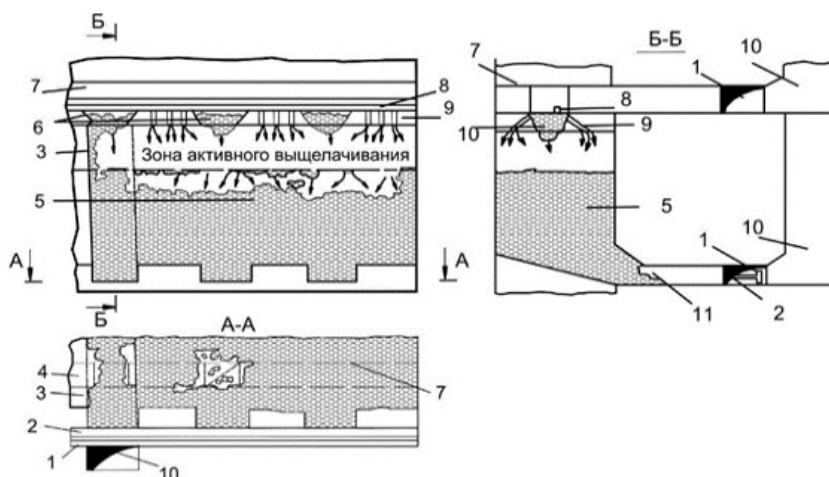


Рис. 1. Блок подземного выщелачивания металлов: план и разрезы:

1 – этажные штреки; 2 – приемник растворов; 3 – отрезная щель; 4 – отрезной восстающий; 5 – руда; 6 – рудоспуски; 7 – верхний штрек; 8 – трубопровод для подачи раствора; 9 – скважины для подачи раствора; 10 – восстающие; 11 – выпускные выработки

Fig. 1. In-situ metal leaching block: plan and sections:

1 – level drifts; 2 – pregnant solution receiver; 3 – slot; 4 – slot raise; 5 – ore; 6 – ore passes; 7 – upper gangway; 8 – solution supply pipeline; 9 – holes for solution supply; 10 – raises; 11 – drawpoints

Таблица 1

Типизация шахтных систем разработки выщелачивания (по Голику В. И.)

Typification of ISL methods (according to V. I. Golik)

Типы магазина	Варианты	Условия применения
В естественно-управляемых массивах	Из отбитой руды	Устойчивые вмещающие породы
	Из поданной извне руды	
В разрушенных массивах	Под несущими перекрытиями	Неустойчивые породы, склонные к обрушению
	Под разделяющими перекрытиями	
	Без перекрытий	
В искусственно-закрепленных массивах	С твердеющей закладкой	Породы любой устойчивости
	С деревянной крепью	
	С бетонной крепью	
В массивах из хвостов выщелачивания	Кольматированные продуктами выщелачивания	Породы, пригодные для выщелачивания
	С укреплением цементными растворами	
	С химическим укреплением	

Выщелачивание полиметаллических руд с низкой пористостью (менее 5 %) и незначительной проницаемостью растворов (менее 1 м/с) требует их предварительного дробления буровзрывным способом и магазинирования. В СНГ и за рубежом эффективна скважинная отбойка руд с короткозамедленным взрыванием в зажатой среде. В качестве компенсационного пространства используются очистные выработки, суммарный объем которых составляет 30 % объема вовлекаемых в отработку руд.

Условия применения систем разработки приведены в табл. 1.

Технологию шахтного выщелачивания с обрушением руд целесообразно применять при разработке руд различной крепости и устойчивости мощностью от нескольких до десятков метров. Она позволяет управлять как крупностью дробления руд, так и контурами обрушаемой камеры, поэтому может найти применение при разработке рудных тел с неvyдержанными элементами залегания и неравномерной минерализацией.

Практика шахтного выщелачивания. Опытно-промышленный блок впервые в мировой практике был отработан в крепких слоистых породах месторождения Восток на предприятии

МАЭП в Северном Казахстане. Особенность его заключалась в том, что выщелачивались не забалансовые некондиционные для традиционных технологий руды, а балансовые.

Параметры блока: длина по простиранию 60 м, высота 36–65 м, средняя мощность 20 м. Подготовительно-нарезные работы включали в себя проведение блоковых восстающих, штреков оросительного, бурового, дренажно-бурового и дренажного горизонта, буровых рассечек, сбоек и отрезного восстающего.

Для бурения скважин применяли станки НКР-100 М, при частичном выпуске использовали погрузочно-доставочные машины МПДН-1 и ЛБ 125/1000.

Отбойку руды осуществляли с двух подэтажей – бурового и дренажно-бурового вертикальными восходящими веерами скважин диаметром 85 мм по сетке 2,5×2,6 м.

Орошение блока производилось как секционно (попеременно восточная и западная половины), так и по всей поверхности, кроме того, в середине эксперимента был подключен промежуточный горизонт орошения на уровне бурового подэтажа. Орошение осуществляется через скважины-оросители в отбитой руде горизонтально, обсаженные перфорированными трубами.

Контрольными выработками по замагистинированной руде установлено:

- удовлетворительное дробление получено лишь в зонах выпуска;

- междуштрековые целики раздроблены на крупные обломки размерами более 300 мм и до 1 м;

- часть контура отбойки у бортов оказалась недробленной.

В блоке было произведено рыхление частично выщелоченной руды путем выемки целика, в результате чего образовалась пустота, которую погасили путем взрывания скважинными зарядами. Горная масса более чем на 50% была недоступной для выщелачивания.

Улучшению показателей выщелачивания способствует качественное дробление горного массива (рис. 2).

При подготовке руды этажным принудительным обрушением ее отбивали взрыванием зарядов глубоких скважин на всю высоту этажа. Эта технология перспективна для разработки мощных трещиноватых рудных залежей, не склонных к слеживанию, когда рудная минерализация приурочена к трещинам скола или тектоническим швам.

Такая технология применялась на урановом месторождении Северного Казахстана для отработки балансовых запасов системой слоевого обрушения. Выщелачивали забалансовые руды на двух горизонтах с высотой этажа 40 м. Отбойку руды производили глубокими скважинами.

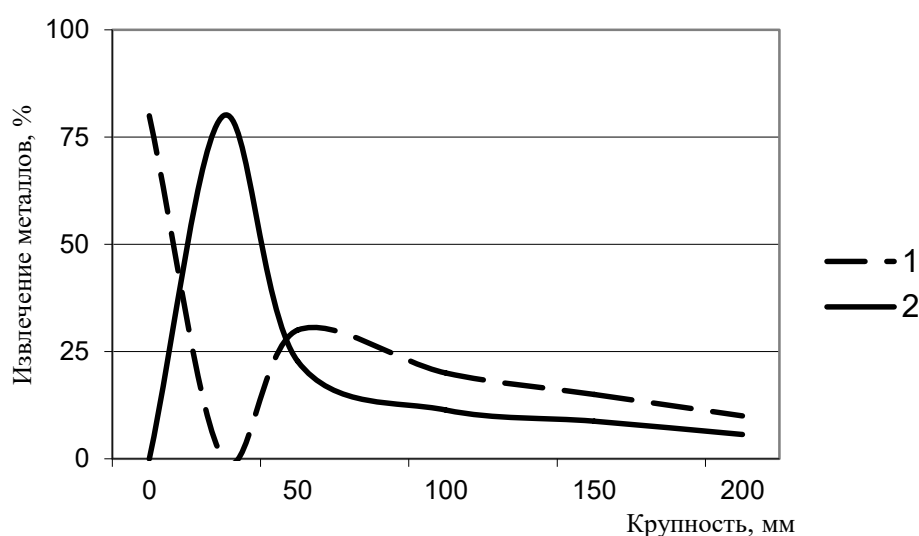


Рис. 2. Извлечение металлов из руд при подготовке:
1 – с магазинированием; 2 – с этажным обрушением

Fig. 2. Extraction of metals from ores using preparation:
1 – with shrinkage; 2 – with block caving

Для равномерного разрыхления горной (рудной) массы на нижнем горизонте образовывали горизонтальную подсечку высотой 12 м. Подсечные скважины взрывались с опережением на 1–2 ряда относительно скважин в камере. Буровые выработки верхнего горизонта использовались для прокладки по ним оросительных трубопроводов, а невзорванные части скважин – для орошения горной массы.

Во всех случаях стремились рационально совместить функции подготовительно-нарезных выработок (рис. 3).

Технико-экономические показатели системы приведены в табл. 2.

Подобной технологией отработано урансодержащее месторождение Северного Казахстана (Целинный горно-химический комбинат), приуроченное к интрузивному массиву, сложенному лейкократовыми гранит порфирами. Сближенные рудные тела жильного типа

имели мощность от 1–5 см до 0,5–1,5 м и крутое (80–90°) падение. Рудная минерализация была приурочена к различного рода трещинам. Руда и вмещающие породы имели коэффициент крепости 8–15 по М.М. Протодяконову.

На этом руднике использован вариант, при котором нижнюю подсечку образуют обрушением вееров нисходящих скважин из выработок верхнего горизонта и взрыванием концов дренажных скважин, пройденных с горизонта откатки.

Блоки характеризовались параметрами, м: высота 30–90; ширина 20–25; длина 30–40. Растворы подавались на горизонт орошения, где осуществлялась разводка оросительных систем. Продуктивные растворы улавливали с помощью скважин, пробуренных из выработок нижнего горизонта до зеркала подземных вод через 1,5–2 м.

Технико-экономические показатели процессов подготовки руд к подземному шахтному выщелачиванию приведены в табл. 3.

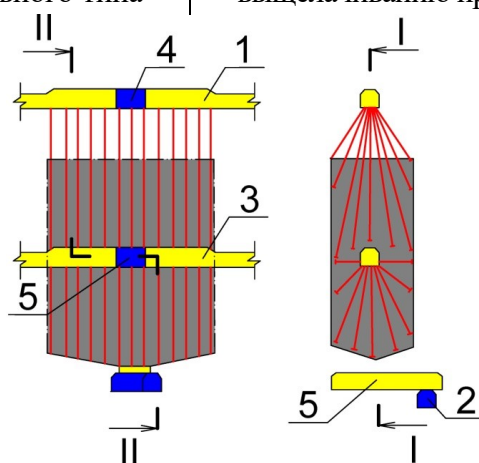


Рис. 3. Подготовка блока к выщелачиванию с совмещением функций выработок:

1 – оросительно-буровой штрек; 2 – нижний этажный штрек; 3 – буровой штрек; 4 – верхняя рассечка отрезной щели; 5 – нижняя рассечка отрезной щели; 6 – заходка

Fig. 3. Preparation of a block for leaching with combining mine working functions:

1 – sprinkling-drill drift; 2 – lower level drift; 3 – drill drift; 4 – slot upper crosscut; 5 – slot lower crosscut; 6 – cut

Таблица 2

Показатели технологии с этажным обрушением

Performance of block caving

Наименование	Показатели
Производительность труда забойного рабочего, м ³ /смену	17,7
Производительность бурения скважин, м/смену	12,1
Удельный расход ВВ, кг/м ³	1,2
Выход горной массы с 1 пог. м скважины	5,6
Удельный вес подготовительно-нарезных выработок, %	4–6

Таблица 3

Основные технико-экономические показатели

Key performance indicators

Наименование показателей	Величина
Производительность труда забойного рабочего, м ³ /смену	14–17
Производительность труда бурильщиков, м/смену	12,1
Удельный расход ВВ, кг/м ³	0,9–1,2
Удельный вес подготовительно-нарезных выработок, %	6–12

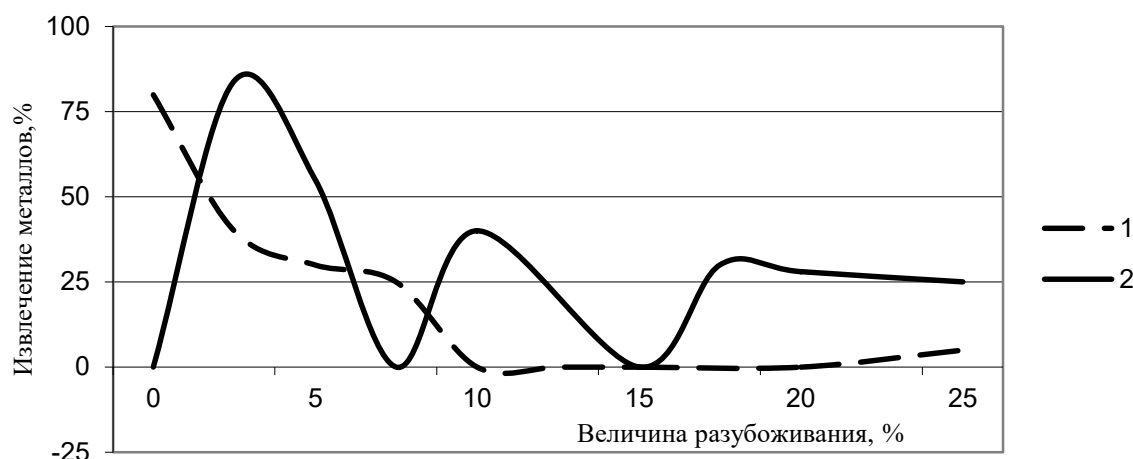


Рис. 4. Зависимость извлечения металлов от величины разубоживания руд при подготовке блоков:
1 – с магазинированием; 2 – с этажным обрушением

Fig. 4. Dependence of metal recovery on ore dilution during block preparation:
1 – with shrinkage; 2 – with block caving

Установлено, что на показатели извлечения металлов весьма существенно влияет разубоживание руд (рис. 4).

Интенсификация процессов выщелачивания. Основным недостатком шахтного подземного выщелачивания является низкая скорость получения металлов. При подземном выщелачивании даже хорошо раздробленных руд процесс длится 1–2 года, что значительно больше времени добычи традиционными способами. С целью увеличения скорости выщелачивания применяют методы интенсификации процесса.

Химические способы интенсификации выщелачивания имеют ограниченные возможности. Так, увеличение концентрации растворов кислот и щелочей более 5–8% не увеличивает скорость выщелачивания, а приводит к

выщелачиванию пустых карбонатных и силикатных пород, что снижает содержание металлов в концентратах и удорожает процесс. Количество металлов, которое окисляется под действием «парникового эффекта», можно рассчитать на основании минералогического состава руд и данных воздушной и гидрометаллометрических съемок.

Исследования влияния поверхностно-активных веществ на скорость выщелачивания показали, что увеличение ее возможно в 1,5–2 раза за счет добавок.

Биологические способы интенсификации выщелачивания по результативности значительно превосходят химические. Путем адаптации, а также используя мутагенные факторы, получают культуры новых бактерий с большей скоростью выщелачивания.

Физические способы интенсификации процессов выщелачивания обеспечивают увеличение скорости за счет активизации процессов окисления, уменьшения крупности руд и т.п., что позволяет эффективно производить добычу полезных ископаемых при кучном и подземном выщелачивании. Термическое воздействие увеличивает скорость выщелачивания в 2–3 раза при повышении температуры среды до +35 °С при бактериальном выщелачивании и до +80 °С – при химическом выщелачивании.

При воздействии электрическим током низкого напряжения скорость выщелачивания меди увеличивается в 2–3 раза. Воздействие током высокой частоты на сульфидные руды повышает скорость выщелачивания в 5–6 раз.

Основой механического способа интенсификации является перемещение кусков частично выщелоченной руды силой тяжести, воздействием взрыва, механизмами и машинами.

В практике выщелачивания производились опыты по рыхлению блоков выщелачивания взрыванием зарядов ВВ в отбитой руде и скважинах. Ударное воздействие взрывов невелико ввиду значительного (20–40%) объема пустот в материале, подвергаемом рыхлению, воздействие наблюдалось в зоне радиусом порядка нескольких диаметров заряда.

Применение технологий подземного выщелачивания возможно, например, для доработки Архонского, Садонского, Згидского, Холстинского и Фиагдонского месторождений (РСО-Алания). В их выработанном пространстве с суммарной площадью проекции на вертикальную плоскость 2,3 млн м², осталось в виде эксплуатационных потерь и в боковых оруденелых породах около 54 млн тонн рудной массы, отработка которой традиционными технологиями невозможна.

Несмотря на наличие исследований в области физико-химических технологий добычи металлов, некоторые их области изучены недостаточно. Это прежде всего применение

теории и передового опыта выщелачивания к условиям отдельных регионов.

С результатами исследований по рассматриваемой проблеме корреспондируют исследования по сопутствующим направлениям горного дела, включающим подготовку руд к выщелачиванию, осуществление контроля процесса и др. [16–20].

Заключение

Дефицит металлов для промышленности может быть восполнен расширением области применения технологий шахтного подземного выщелачивания металлических руд. Накопленный опыт разработки металлических месторождений позволяет детализировать концепцию развития прогрессивных природо- и ресурсосберегающих технологий добычи металлов подземным способом.

Обоснование корректных, безопасных и эффективных технологий шахтного выщелачивания включает в себя ретроспективный анализ практики выщелачивания на предприятиях урановой отрасли.

Технология шахтного выщелачивания с обрушением руд позволяет управлять крупностью дробления руд и контурами обрушаемых массивов при невыдержанных элементах залегания и неравномерной минерализацией в процессе разработки мощных залежей, особенно когда рудная минерализация приурочена к трещинам скола или тектоническим швам.

Опыт подтверждает возможность выщелачивания не только некондиционных для традиционных технологий руд, но и балансовых.

Технологии подземного выщелачивания могут продлить сроки эксплуатации месторождений с комфортными условиями отработки, например, на Северном Кавказе, отработка которых традиционными технологиями неэффективна.

Возможности технологий добычи металлов выщелачиванием могут быть расширены за счет творческого применения теории и передового опыта к условиям отдельных регионов.

Библиографический список

1. Разоренов Ю.И., Голик В. И., Куликов М. М. *Экономика и менеджмент горной промышленности*: учеб. пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по горно-геологическим специальностям. Новочеркасск; 2010.
2. Дмитрак Ю. В., Камнев Е. Н. АО «Ведущий проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт промышленной технологии» – путь длиной в 65 лет. *Горный журнал*. 2016;3:6-12.
3. Ghorbani Y., Franzidis J.-P., Petersen J. Heap Leaching Technology – Current State, Innovations, and Future Directions: A review. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*. 2016;37(2):73-119.
4. Jarvie-Eggart M. E. *Responsible Mining: Case Studies in Managing Social & Environmental Risks in the Developed World*. Englewood, Colorado: Society for Mining, Metallurgy and Exploration; 2015. 804 p.
5. Дмитрак Ю. В., Цидаев Б. С., Дзапаров В. Х., Харебов Г. Х. Минерально-сырьевая база цветной металлургии России. *Вектор ГеоНаук*. 2019;2(1):9–18.
6. Голик В. И., Буй Х. Н., Масленников С. А., Анищенко В. И. Использование свойств дискретных пород для оптимизации процессов погашения выработанного пространства. *Горные науки и технологии*. 2019;4(3):213-219. DOI: [10.17073/2500-0632-2019-3-213-219](https://doi.org/10.17073/2500-0632-2019-3-213-219)
7. Гавришев С. Е., Бурмистров К. В., Осинцев Н. А. Концепция устойчивого функционирования и развития горнотехнических систем в переходные периоды. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. 2019;(3):145-160.
8. Голик В. И., Разоренов Ю. И., Страданченко С. Г., Хашева З. М. Принципы и экономическая эффективность комбинирования технологий добычи руд. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2015;326(7):6-14.
9. Golik V. I., Doolin A. N., Komissarova M. A., Doolin R. A. Evaluating the effectiveness of utilization of mining waste. *International Business Management*. 2015;9(6):1119-1123.
10. Дзапаров В. Х. Угроза безопасности жизнедеятельности региона РСО-Алания. *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. 2009;3(27):75-76.
11. Ляшенко В. И. Природоохранные технологии освоения сложноструктурных месторождений полезных ископаемых. *Маркшейдерский вестник*. 2015;(1):10-15.
12. Oxley A., Smith M. E., Caceres O. Why heap leach nickel laterites? *Minerals Engineering*. 2016;88:53-60
13. Sinclair L., Thompson J. In situ leaching of copper: Challenges and future prospects. *Hydrometallurgy*. 2015;157:306-324.
14. Ляшенко В. И., Хоменко О. Е., Голик В. И. Развитие природоохранных и ресурсосберегающих технологий подземной добычи руд в энергонарушенных массивах. *Горные науки и технологии*. 2020;5(2):104-118. DOI: [10.17073/2500-0632-2020-2-104-118](https://doi.org/10.17073/2500-0632-2020-2-104-118)
15. Мельников И. Т., Гавришев С. Е., Михайлов А. Г., Пыталев И. А., Шевцов Н. С., Васильев К. П. Новый подход для оценки эффективности работы горно-обогащительных комбинатов. *Горная промышленность*. 2012;5(105):60-66.
16. Разоренов Ю. И., Белодедов А. А., Шмаленюк С. А. Определение потерь и разубоживания при разработке месторождений полезных ископаемых. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2009;(9):47-50.
17. Дмитрак Ю. В., Вержанский А. П. Тенденции применения оборудования для тонкого измельчения горных пород. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2000;(6):184-188.
18. Комащенко В. И. Применение современных способов инициирования и конструкций скважинных зарядов для повышения качества дробления массивов горных пород. *Устойчивое развитие горных территорий*. 2015;2(24):12-17.
19. Ляшенко В. И., Стусь В. П. Охрана окружающей среды в зоне влияния уранового производства. *Безопасность жизнедеятельности*. 2015;3:37-44.
20. 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;1:170-182.

References

1. Razorenov Yu. I., Golik V. I., Kulikov M. M. *Economics and management of mining industry: textbook*. Manual for graduate students with specialization in geology and mining. Novocherkassk; 2010. (In Russ.)
2. Dmitrak Yu. V., Kamnev E. N. JSC “Leading Design-and-Survey and Scientific Research Institute of Industrial Technology” – 65 years of development. *Gornyy zhurnal*. 2016;3:6-12. (In Russ.)
3. Ghorbani Y., Franzidis J.-P., Petersen J. Heap Leaching Technology – Current State, Innovations, and Future Directions: A review. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*. 2016;37(2):73-119

4. Jarvie-Eggart M. E. *Responsible Mining: Case Studies in Managing Social & Environmental Risks in the Developed World*. Englewood, Colorado: Society for Mining, Metallurgy and Exploration; 2015. 804 p.
5. Dmitrak Yu. V., Tsidaev B. S., Dzaparov V. Kh., Kharebov G. Kh. Mineral resource base of nonferrous metallurgy in Russia. *Vektor GeoNauk*. 2019;2(1):9–18. (In Russ.)
6. Golik V. I., Bui X. N., Maslennikov S. A., Anischenko V. I. Using Properties of Discrete Rocks to Optimize Backfilling. *Gornye nauki i tekhnologii = Mining Science and Technology (Russia)*. 2019;4(3):213-219. DOI: [10.17073/2500-0632-2019-3-213-219](https://doi.org/10.17073/2500-0632-2019-3-213-219) (In Russ.)
7. Gavrishev S. E., Burmistrov K. V., Osintsev N. A. The concept of sustainable functioning and development of mining systems in transition periods. *News of the Tula state university. Sciences of Earth*. 2019;(3):145-160. (In Russ.)
8. Golik V. I., Razorenov Yu. I., Stradanchenko S. G., Khasheva Z. M. Principles and economic performance of combining ore mining methods. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University, Geo Assets Engineering*. 2015;326(7):6-14. (In Russ.)
9. Golik V. I., Doolin A. N., Komissarova M. A., Doolin R. A. Evaluating the effectiveness of utilization of mining waste. *International Business Management*. 2015;9(6):1119-1123.
10. Dzaparov VKh. A threat to life safety in the North Ossetia-Alania region. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*. 2009;3(27):75-76. (In Russ.)
11. Lyashenko V. I. Environmental protection technologies for development of mineral deposits of complicated structure. *Mine surveying bulletin*. 2015;(1):10-15. (In Russ.)
12. Oxley A., Smith M. E., Caceres O. Why heap leach nickel laterites? *Minerals Engineering*. 2016;88:53-60
13. Sinclair L., Thompson J. In situ leaching of copper: Challenges and future prospects. *Hydrometallurgy*. 2015;157:306-324
14. Lyashenko V. I., Khomenko O. E., Golik V. I. Friendly and Resource-Saving Methods of Underground Ore Mining in Disturbed Rock Masses. 2020;5(2):104-118. DOI: [10.17073/2500-0632-2020-2-104-118](https://doi.org/10.17073/2500-0632-2020-2-104-118) (In Russ.)
15. Melnikov I. T., Gavrishev S. E., Mikhailov A. G., Pytalev I. A., Shevtsov N. S., Vasiliev K. P. A new approach for assessing performance of mining and processing complexes. *Russian Mining Industry*. 2012;5(105):60-66. (In Russ.)
16. Razorenov Yu. I., Belodedov A. A., Shmalenyuk S. A. Determination of losses and dilution in the course of development of mineral deposits. *Mining Information and Analytical Bulletin*. 2009;(9):47-50. (In Russ.)
17. Dmitrak Yu. V., Verzhansky A. P. Trends in the use of equipment for fine grinding of rocks. *Mining Information and Analytical Bulletin*. 2000;(6):184-188. (In Russ.)
18. Komashchenko V. I. Application of modern methods of initiation and designs of blasthole charges to improve the quality of rock mass crushing. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2015;2(24):12-17. (In Russ.)
19. Lyashenko V. I., Stus' V. P. Environmental protection in the zone affected by uranium production. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti* 2015;3:37-44. (In Russ.)
20. Kachurin N. M., Stas G. V., Korchagina T. V., Zmeev M. V. Geotechnical and aero-gasdynamic consequences of undermining of mining leases of Eastern Donbass collieries. *News of the Tula state university. Sciences of Earth*. 2017;1:170-182. (In Russ.)