



DOI 10.22363/2312-8143-2018-19-1-80-91

УДК 504.55.054:622(470.6)

## ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУИРОВАНИЯ СИСТЕМ ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ МЕТАЛЛОВ

В.И. Голик<sup>1</sup>, Ю.И. Разоренов<sup>2</sup>, В.И. Ляшенко<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Северо-Кавказский горно-металлургический институт  
(государственный технологический университет)

Геофизический институт Владикавказского научного центра РАН  
*Российская Федерация, 362021, Владикавказ, ул. Николаева, 44*

<sup>2</sup> Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)  
им. М.И. Платова

*Российская Федерация, 346428, Ростовская обл., Новочеркасск, ул. Просвещения, 132*

<sup>3</sup> Украинский научно-исследовательский и проектно-изыскательский  
институт промышленной технологии  
*Украина, 52204, Днепропетровская обл., Желтые Воды, Бульвар Свободы, 3*

Актуальность работы объясняется возможностью вовлечения в отработку запасов, представленных бедными рудами, чему препятствует недостаточная изученность процесса выщелачивания. Подготовка руд производится без учета всех свойств полезного ископаемого и режима движения растворов, что удорожает горные работы, увеличивает потери полезных компонентов и ухудшает технико-экономические показатели. Целью работы является систематизация теории и практики использования технологий с выщелачиванием с оптимизацией по критерию полноты использования недр, накопленные в ураново-добывающей отрасли СССР. Сформулировано принципиальное отличие технологии выщелачивания металлов из руд как изменение фазового состояния металла непосредственно на месте залегания руд. Описаны особенности проектирования расположения и использования подготовительных и нарезных выработок из условия их повторного использования в процессе, дробления по условию обеспечения проникновения раствора реагента вглубь рудного куска, орошения как определяющего экономическую целесообразность применения технологии процесса, сбора растворов и предупреждения утечек для промышленной санитарии и жизнедеятельности. Обозначены особенности интенсификации процесса выщелачивания буровзрывным способом посредством деформирования массива выщелачиваемых руд работой взрывных газов и волны. Описана практика контроля полноты выщелачивания путем проходки выработок по выщелачиваемой руде. Отмечено, что подземное выщелачивание может занять приоритетные позиции при добыче полезных ископаемых, поэтому разработка научных основ его осуществления является одной из важнейших задач горнодобывающего производства, от решения которой зависит создание высокопроизводительных и безотходных схем извлечения полезных ископаемых из недр.

**Ключевые слова:** выщелачивание, руда, систематизация, недр, металл, проектирование, дробление, реагент, орошение, интенсификация, традиционная технология, запасы

### Введение

В экономике стран с развитой горнодобывающей отраслью отчетливо прослеживается тенденция исчерпания запасов сравнительно легкодоступных ме-

сторождений. Освоение же новых регионов добычи сопряжено с затратами, размер которых доступен не всем предпринимателям и странам [1–3].

Возможности сохранения показателей добычи металлов на необходимом уровне предоставляет использование отходов горного и обогатительного производства и добыча бедных и забалансовых руд с использованием новых технологий. Примером тому служит практика золотодобычи, где эффективно вовлекаются в разработку руды с содержанием 0,6–1,2 г/т, а также отходы горного и обогатительного производства с содержанием 0,3–0,6 г/т методами выщелачивания.

Переработка некондиционных ингредиентов горно-обогатительных производств не только увеличивает добычу металлов, но и оказывает комплексное влияние на состояние окружающей среды в регионе, что может создавать положительный эффект даже при убыточном производстве.

Возможность вовлечения в отработку месторождений полезных ископаемых, представленных бедными рудами, разработка которых в настоящее время традиционными технологиями нерентабельна, позволяет значительно расширить сырьевую базу промышленности.

Несмотря на имеющийся опыт и обилие работ в области выщелачивания, недостаточная изученность процесса препятствует широкому внедрению нового метода. Подготовка руд и собственно выщелачивание производится без учета всех свойств полезного ископаемого и режима движения растворов, что удорожает горные работы, увеличивает потери полезных компонентов и ухудшает технико-экономические показатели.

Целью работ, направленных на реализацию технологий с выщелачиванием, является систематизация теории и практики использования технологий с выщелачиванием с оптимизацией по критерию полноты использования недр.

Раньше другими вопросами подземного выщелачивания начали заниматься предприятия ураново-добывающей отрасли, наработки которой могут найти применение в других добывающих отраслях России и Зарубежья [4–6].

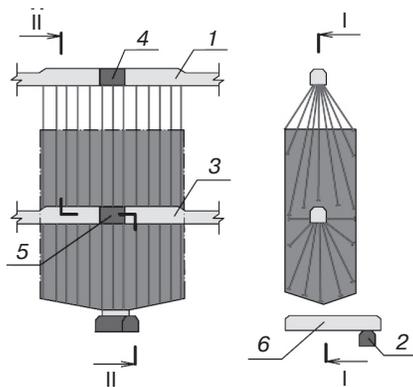
## **Результаты**

Системой разработки месторождения методом подземного выщелачивания называется совокупность горных выработок и порядок их проведения и эксплуатации, увязанный во времени и пространстве с переводом полезного компонента в раствор или определенный во времени и пространстве порядок формирования рабочей зоны в целях перевода полезного компонента в жидкую фазу для последующего извлечения из раствора.

Принципиальное отличие технологии состоит в изменении фазового состояния металла непосредственно на месте залегания руд.

На поверхность выдается лишь небольшая часть руды, поэтому появляется возможность снизить сечение подготовительных выработок и применить транспортные средства меньших размеров. С другой стороны, развитие технических средств происходит на базе совершенствования самоходного оборудования, которое требует увеличения размеров горных выработок, что может быть сопряжено при комбинировании схем подготовки с совмещением функций выработок.

Особенность проектирования подготовительных выработок заключается в использовании этажных и подэтажных штреков сначала для орошения, а затем для сбора продукционных растворов. Оно характерно и для использования скважин сначала для отбойки и дробления руд, а затем для подачи и сбора растворов. Схема совмещения функций скважин представлена на рис. 1.



**Рис. 1.** 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. 1.** Preparation of a block for leaching with a combination of workings: 1 — irrigative drill drift; 2 — lower storey drift; 3 — drill drift; 4 — upper cutting of the slot; 5 — lower cutting of the slot; 6 — stope]

**Дробление руды.** Качество дробления руды для выщелачивания определяет полноту и время извлечения полезного компонента из руды, и экономическую эффективность технологии. Для выщелачивания благоприятны рудные куски класса +0—50 мм. Если при традиционных способах могут считаться габаритными куски размерами 1000 мм и более, то для выщелачивания считаются негабаритом даже фракции +200 мм.

Это объясняется тем, что данная технология не предполагает контакта работающего с раздробленной рудой и ошибка при взрывном дроблении не может быть скорректирована в процессе выпуска, как это происходит при традиционной технологии.

Другая важная задача — равномерность уплотнения руды в блоке. Руда разрыхляется только в пределах определенного объема эллипсоида, а в остальном пространстве остается неподвижной, поэтому локальное компенсационное пространство для отбойки очередного слоя формируется за счет частичного выпуска руды из ранее отбитого слоя.

Это обстоятельство приоритетно при определении параметров буро-взрывных работ, потому что и недостаточное уплотнение и чрезмерное уплотнение препятствуют процессу инфильтрационного выщелачивания, лишая технологии ее преимуществ над традиционной.

**Орошение руды.** При выщелачивании скальных руд на месте залегания чаще всего применяется инфильтрационная схема, основанная на движении потока реагента от оросителей к дренажным устройствам под действием сил гравитации. Раствор не заполняет пустоты между кусками руды, а лишь покрывает их пленкой.

Растворы для орошения подают по буровым скважинам в массиве, с использованием разбрызгивателей типа форсунок и по скважинам, пробуренным по разрушенной массе и обсаженным перфорированными трубами. Лучшие показатели имеет третий вариант, но широкое его применение тормозится отсутствием надежных средств бурения скважин (известные механизмы позволяют бурить на глубину до 20–25 м). Все виды скважинных оросителей — точечные источники, радиус зоны влияния которых, редко превышает 1 м.

Особенность проектирования системы орошения заключается в том, что механизм проникновения раствора вглубь куска является результирующим и определяет экономическую целесообразность применения технологии в качестве альтернативы традиционной технологии.

**Сбор растворов.** Растворы собирают в нижней части блока — днище. Борьба с миграцией растворов за пределы рабочей зоны осуществляется с помощью противодиффузионных завес, создаваемых нагнетанием вяжущих материалов в разрушенные породы или гидроизоляции водонепроницаемыми материалами. На месторождении «Быкогорское» отбор утечек вакуумными насосами обеспечивал санитарную безопасность водолечебных курортов на расстоянии 6 км от рудника подземного выщелачивания металлов из руд.

Особенность проектирования данного элемента системы заключается в решении проблем как промышленной санитарии, так и жизнедеятельности в окрестных регионах.

**Интенсификация процесса.** Широкое применение нашел метод воздействия с помощью взрывных работ, поэтому при конструировании систем стараются сохранить подготовительные выработки при проведении взрывов и использовать их для целей интенсификации. Из всех известных методов интенсификации практическое применение нашел только буровзрывной посредством деформирования массива выщелачиваемых руд работой взрывных газов и волны. К нему в равной мере применимы требования сохранения оптимальной для движения растворов крупности минеральных отдельностей.

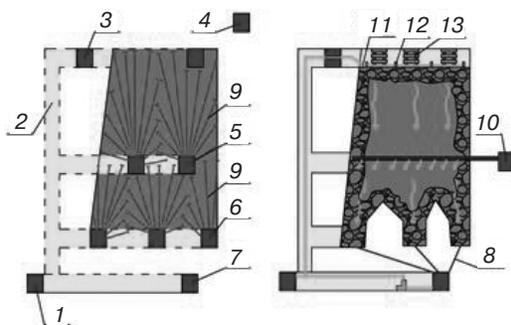
**Примеры выщелачивания руд.** При проектировании систем подземного выщелачивания может быть использована практика добычи урана подземным выщелачиванием сернокислыми растворами в течение более полувека.

Месторождение Восток (Северный Казахстан) представляет собой линзовидное рудное тело неправильной формы в интенсивно рассланцованных осадочных породах крепость 4–6 по шкале проф. М.М. Верхняя часть месторождения отработана системами с обрушением.

Схема подготовки и нарезки блока представлена на рис. 2.

Монтажный слой шириной 6 м, высотой 2–3 м был предназначен для бурения скважин и размещения оросительной системы. Подсечной слой был проведен с уклоном 5° к центру блока. Для гидроизоляции по площади днища блока укладывали поливинилхлоридную пленку толщиной 3 мм, защищенную сверху деревянным настилом и рудной подушкой.

Отрезной восстающий сечением 2×2 м был пройден на всю высоту блока, а на него с помощью взрывных скважин была образована отрезная щель шириной 2 м и длиной 5 м.



**Рис. 2.** Подготовка и нарезка блока выщелачивания: 1 — принимающий растворы штрек; 2 — восстающий; 3 — подающий растворы штрек; 4 — выработка; 5 — буровые штреки; 6 — дренажно-буровые штреки; 7 — дренажный штрек; 8 — дренажные скважины; 9 — взрывные скважины; 10 — промежуточный горизонт орошения; 11 — штрек орошения; 12 — верхняя подсечка; 13 — костровая крепь

**[Fig. 2.** Preparation and cutting of the leaching unit: 1 — drift receiving the solutions; 2 — raise; 3 — drift feeding the solutions; 4 — working; 5 — drill drifts; 6 — drainage-drill drifts; 7 — drainage drift; 8 — drainage wells; 9 — explosive wells; 10 — intermediate irrigation horizon; 11 — irrigation drift; 12 — upper cutting; 13 — chock support]

Скважины бурили станком НКР-100 м с монтажного слоя параллельно друг другу согласно падению рудного тела. До кровли нижней подсечки скважины не добуривали на 1,5 м.

Короткозамедленное с интервалом замедления между рядами 25 мс взрывание осуществлено электрическим способом по встречной схеме с дублированием детонирующим шнуром. Общий вес заряда составил 4200 кг, коэффициент разрыхления — 1,12.

Магазинированная руда выщелачивалась в течение 6,5 месяцев, после чего концентрация металлов в продукционных растворах снизилась ниже допустимого уровня.

Для уточнения параметров опытно-промышленного выщелачивания по за-магазинированной руде были пройдены рассечки до границ рудного тела с креплением неполными дверными окладами [7].

Обследованием выработок установлено:

- в зоне отрезной щели произошло переуплотнение руды;
- дробление массива на мелкие фракции происходило в зоне действия взрыва скважин, равной 2—3 диаметрам заряда;
- наиболее интенсивно растворы двигались по трещинам и переизмельченной руде ближайшей зоны действия взрыва, а также в районе лежачего бока, где массив был разрушен на фракции до 0,4 м.

Повторное взрывание массива было осуществлено взрывными скважинами диаметром 85 мм и 65 мм. Скважины заряжали гранулитом АС-4.

На I подэтаже взорвано 35 скважин диаметром 105 мм и 15 — диаметром 65 мм в три серии с замедлением между сериями — 25 мс. Подэтаж II подвергся повторному дроблению веерами скважин диаметром 65 мм. Компенсационное пространство в районе отрезной щели было образовано мелко-шпуровым способом. Взрывание осуществлялось шестью сериями с замедлениями 25 мс. На подэтаже

Ш повторное дробление произведено с помощью скважин в шесть серий с замедлением 25 мс.

На повторное дробление магазинированной руды затрачено 5120 кг ВВ. Удельный расход ВВ на вторичное дробление составил  $1,55 \text{ кг/м}^3$ , достигнутый коэффициент разрыхления — 1,43.

После повторного дробления магазинированной руды выщелачивание продолжалось 4,5 месяца с получением объема продукции, составляющего 1,22 объема, полученного за первый период выщелачивания.

На месторождении Звездное (Северный Казахстан) опытно-промышленный блок № 2 был заложен висячем боку рудной залежи. Длина блока составляла 60 м, ширина — от 26 м в центре до 10 м на флангах. Высота блока без учета блоковых целиков составляла 36 м. Продукционные растворы уловлялись системой из дренажных скважин и дренажного штрека.

Руда орошалась по скважинам, пробуренным из оросительного штрека, а также с поверхности магазинированной руды. Отбойка руды производилась восходящими скважинами с опережением отбойки верхнего подэтажа по отношению к нижнему подэтажу на величину линии наименьшего сопротивления (2,6 м).

Взрывание осуществлялось с внутривеерным замедлением и использованием ступеней 25, 30, 75 и 100 мс. Перед отбойкой каждого слоя в торцах дренажно-буровых штреков производился частичный выпуск отбитой горной массы для формирования объема компенсации.

Бурение скважин осуществлялось станками типа НКР-100, зарядание — пневмозарядчиками ЗП-5. Горная масса отгружалась погрузочно-доставочными машинами МПДН-1М.

Параметры подготовки блока выщелачивания буро-взрывными работами представлены на рисунке 3.

Руда обрушалась вначале на отрезную щель, образованную взрыванием вертикальных скважин на пройденный посередине блока отрезной восстающий, а впоследствии в «зажиме» от центра блока к западному флангу, а затем к восточному флангу. Величина заряда на одну ступень изменялась от 200 до 600 кг, а количество одновременно взрываемого ВВ достигало 2,5 т.

Выщелачивание блока № 2 продолжалось в течение 1 года. Орошение руды с промежуточного горизонта орошения по обуренным по магазинированной руде и обсаженным их перфорированными трубами скважинам желаемого результата не принесло. Содержание продукционных растворов снизилось до минимума, расход реагента практически прекратился.

Для выявления причин неудовлетворительных показателей процесса по магазинированной руде была проведена контрольная выработка длиной 28 м с документацией бортов выработок и отбором проб руды.

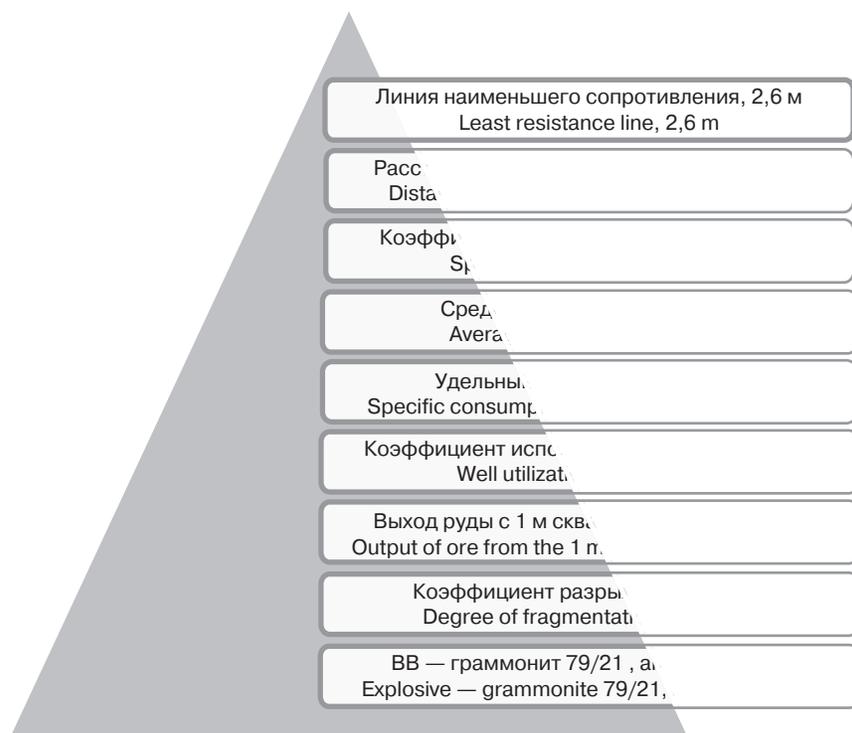
Исследованием установлено:

— выход негабаритного класса в 3 раза превысил расчетные данные, что подтверждает корректность оценки качества дробления лишь для зоны эллипсоида разрыхления;

— участок между буровыми штреками и междуштрековых целиков раздроблен неудовлетворительно;

— выявлены зоны переуплотненной переизмельченной руды с переотложениями солей и каналы повышенной фильтрации.

Для интенсификации процесса выщелачивания частично выщелоченная руда была обрушена из бурового штрека вертикальными взрывными скважинами. В центре блока в днище параллельными скважинами была образована отрезная щель высотой 6 м, на которую послойно взрывали веера скважин. Взрывная интенсификация процесса повысила содержание металлов в продукционных растворах на первые проценты.



**Рис. 3.** Параметры подготовки блока выщелачивания буро-взрывными работами  
[Fig. 3. Parameters of block preparation for leaching by drilling and explosive works]

Несомненными преимуществами метода выщелачивания металлов являются его экономичность, повышенная по сравнению с традиционным способом безопасность работ и сохранность внешней среды [8—13]. Он позволяет произвести доработку запасов, считавшихся до недавнего времени безвозвратно потерянными, на отработанных месторождениях в охранных целиках, зонах обрушения и др.

Обладая преимуществами технического и экологического плана, подземное выщелачивание в недалеком будущем может занять приоритетные позиции при добыче полезных ископаемых. Успех его освоения зависит от качества, в том числе, и подготовки руды в блоках выщелачивания [14—17].

Исследование горных аспектов выщелачивания и разработка научных основ его осуществления является одной из важнейших задач технологии горнодобывающего производства, от решения которой зависит создание высокопроизводительных схем извлечения полезных ископаемых из недр.

Опыт подземного выщелачивания балансовых и забалансовых руд, накопленный, прежде всего, в ураново-добывающей отрасли позволяет формировать научно — методическую базу для расширения области применения технологий выщелачивания металлов в других горных отраслях [18–20].

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] *Franks, D.M., Boger, D.V., Côte, C.M., Mulligan, D.R.* 2011. Sustainable Development Principles for the Disposal of Mining and Mineral Processing Wastes. *Resources Policy*. Vol. 36. No. 2. Pp. 114–122.
- [2] *Корнилков С.В., Яковлев В.Л.* О методологическом подходе к исследованиям в области освоения недр на основе системности, комплексности, междисциплинарности и инновационной направленности // *Горный журнал*. 2015. № 1. С. 56–60.
- [3] *Golik V.I., Razorenov Yu.I., Efremkov A.B.* Recycling of metal ore mill tailings // *Applied Mechanics and Materials*. 2014. Т. 682. С. 363–368.
- [4] *Ракишев Б.П.* Комплексное использование руды на предприятиях цветной металлургии Казахстана // *Горный журнал*. 2013. № 7. С. 67–69.
- [5] *Бубнов В.К., Спирин Э.К., Голлик В.И.* [и др.]. Теория и практика добычи полезных ископаемых для комбинированных способов выщелачивания. Целинград: Жана-Арка, 1992. 545 с.
- [6] *Голлик В.И., Брюховецкий О.С., Габараев О.З.* Технологии освоения месторождений урановых руд: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по горно-геологическим специальностям. М.: Федеральное агентство по образованию; Российский гос. геологоразведочный ун-т им. Серго Орджоникидзе, 2007. 131 с.
- [7] *Бубнов В.К., Голлик В.И., Капканщиков А.М.* [и др.]. Актуальные вопросы добычи цветных, редких и благородных металлов. Акмола, 1995. 601 с.
- [8] *Ляшенко В.И., Колоколов О.В.* Совершенствование технологии подземного выщелачивания при разработке рудных месторождений сложной структуры // *Науковий вісник НГУ*. 2006. № 7. С. 11–17.
- [9] *Ляшенко В.И., Голлик В.И.* Природоохранные технологии подземной разработки урановых месторождений // *Горный журнал*. 2006. № 2. С. 89–92.
- [10] *Воробьев А.Е., Разоренов Ю.И., Игнатов В.Н., Джимиева Р.Б.* Инновационные геотехнологии разработки месторождений горючего сланца и высоковязкой нефти: учеб. пособие для магистрантов, обучающихся по горно-геологическим и нефтяным специальностям. Новочеркасск, 2008, 214 с.
- [11] *Разоренов Ю.И., Голлик В.И.* Проблемы глубокой утилизации отходов переработки угля // *Маркшейдерия и недропользование*. 2013. № 4 (66). С. 52–54.
- [12] *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. Т. 9. № 6. С. 1210–1216.
- [13] *Комащенко В.И., Васильев П.В., Масленников С.А.* Технологиям подземной разработки месторождений КМА — надежную сырьевую основу // *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. 2016. № 2. С. 101–114.
- [14] *Голлик В.И., Полухин О.Н.* Природоохранные геотехнологии в горном деле. Белгород: ИД Белгород; НИУ Бел ГУ, 2013. 282 с.
- [15] *Дмитрак Ю.В.* Эффективность вибро-транспортирования материалов // *Научный вестник ЮИМ*. 2017. № 4. С. 24–29.
- [16] *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. С. 6–12.
- [17] *Качурин Н.М., Стась Г.В., Калаева С.З.К., Корчагина Т.В.* Геоэкологическая оценка эффективности защиты окружающей среды и природоохранительных мероприятий при подземной добыче угля // *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. 2016. № 3. С. 63–81.

- [18] Качурин Н.М., Стась Г.В., Левин А.Д., Рыбак В.Л. Аэродинамика породных отвалов угольных шахт // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2016. № 1. С. 23—33.
- [19] Sinclair L., Thompson J. In situ leaching of copper: Challenges and future prospects // Hydrometallurgy. 2015. Т. 157. Р. 306—324.
- [20] Jarvie-Eggart M.E. Responsible Mining: Case Studies in Managing Social & Environmental Risks in the Developed World. — Englewood: Society for Mining, Metallurgy and Exploration, 2015. 804 p.

© Голик В.И., Разоренов Ю.И., Ляшенко В.И., 2017

#### **История статьи:**

Дата поступления в редакцию: 01 октября 2017

Дата принятия к печати: 15 января 2018

#### **Для цитирования:**

Голик В.И., Разоренов Ю.И., Ляшенко В.И. Особенности конструирования систем подземного выщелачивания металлов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2018. Т. 19. № 1. С. 80—91. DOI 10.22363/2312-8143-2018-19-1-80-91

#### **Сведения об авторах:**

*Голик Владимир Иванович* — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры горного дела Северо-Кавказского государственного технологического университета. *Область научных интересов:* природоохранные и ресурсосберегающие технологии разработки месторождений полезных ископаемых. *Контактная информация:* e-mail: v.i.golik@mail.ru

*Разоренов Юрий Иванович* — доктор технических наук, профессор, проректор Южно-Российского государственного политехнического университета. *Область научных интересов:* природоохранные и ресурсосберегающие технологии разработки месторождений полезных ископаемых. *Контактная информация:* e-mail: yiri1963@mail.ru

*Ляшенко Василий Иванович* — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, начальник научно-исследовательского отдела Украинского научно-исследовательского и проектно-изыскательского института промышленной технологии Министерства топлива и энергетики Украины. *Область научных интересов:* природоохранные и ресурсосберегающие технологии разработки месторождений полезных ископаемых. *Контактная информация:* e-mail: inform@iptzw.dp.ua

## **SPECIAL FEATURES OF CONSTRUCTING SYSTEMS FOR UNDERGROUND LEACHING OF METALS**

**V.I. Golik<sup>1</sup>, Yu.I. Razoryonov<sup>2</sup>, V.I. Lyashenko<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> North-Caucasian Mining and Metallurgical Institute (State Technological University)  
44, Nikolaev str., Vladikavkaz, 362021, Russian Federation

<sup>2</sup> Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI)  
132, Prosveschenia str., Novocherkassk, Rostov Region, 346428, Russian Federation

<sup>3</sup> Ukrainian Research and Design Institute for Industrial Technology  
37, Boulevard Svobody str., Dnipropetrovsk region, Zhovti Vody, 52204, Ukraine

The relevance of the work is attributed to the possibility of engaging stocks of low-grade ores in mining, which is prevented by insufficient knowledge of the leaching process. Preparation of ores is carried out without accounting for all properties of minerals and modes of solution movement, which increases the cost of mining, increases the loss of useful components and degrades the technical-economic criteria.

The aim of this work is to systematize the theory and practice of using leaching technology with optimization of the mineral resources utilization criterion, accumulated in the uranium-mining industry of the USSR. The article contains the description of the processes carried out in mining practice for the first time.

Results. The fundamental distinction of the technology of leaching metals from ores as changing phase of metal explicitly in-situ is formulated. The features of layout design and the use of preparatory and development workings on the conditions of their reuse in the process, crushing by condition to ensure penetration of the reagent solution into the ore piece, irrigation as a process determining the economic purposefulness of the technology, collecting solutions and preventing leakage for industrial sanitation and human health are described. The features of intensification of the drill-and-blast leaching process by deformation of the volume of leachable ore with of explosive gases and stress waves are distinguished. Examples of accounting for special features of ore deposits leaching in the USSR are presented. The practice of monitoring the completeness of leaching by excavation workings on leached ore is described. A brief description of the benefits of leaching technology in cleaning up the stocks lost by the traditional technology is given.

Conclusion. It is noted that underground leaching may take priority positions in mining, so development of scientific basics for its implementation is one of the most important tasks of mining production, accomplishing which affects the creation of highly productive and waste-free systems of extraction of useful minerals from the subsoil. The experience of the ISL allows to create a methodological basis for expanding the scope of metal leaching technologies. The article contains the description of the processes carried out for the first time in mining practice.

**Key words:** leaching, ore, systemization, subsoil, metal, engineering, crushing, chemical reagent, irrigation, intensification, traditional technology, stocks

## REFERENCES

- [1] Franks, D.M., Boger, D.V., Côte, C.M., Mulligan, D.R. 2011. Sustainable Development Principles for the Disposal of Mining and Mineral Processing Wastes. *Resources Policy*. Vol. 36. No. 2. Pp. 114–122.
- [2] Kornilkov S.V., YAKovlev V.L. Methodology-based approach to the research in the area of mineral exploration and mining based on systematic, integrated, inter-disciplinary and innovation strategy. *Gornyi Zhurnal (Mining Journal)*. 2015. No. 1. P. 56–60. (in Russ.).
- [3] Golik V.I., Razorenov Yu.I., Efremkov A.B. Recycling of metal ore mill tailings // *Applied Mechanics and Materials*. 2014. T. 682. S. 363–368.
- [4] Rakishev B.R. Comprehensive resource use in the nonferrous metals industry in Kazakhstan. *Gornyi Zhurnal (Mining Journal)*. 2013. No. 7. P. 67–69. (In Russ.).
- [5] Bubnov, V.K., Spirin E.K., Golik V.I., et al. Teoriya i praktika dobychi poleznyh iskopaemyh dlja kombinirovannyh sposobov vyshhelachivaniya [Theory and practice of mining for combined methods of leaching]. Tselinograd: Zhana-ARKA, 1992. (in Russ.).
- [6] Golik V.I., Bryukhovetskiy O.S., Gabaraev O.Z. Tehnologii osvoeniya mestorozhdenij uranovyh rud [Technology of development of uranium ore deposits] // textbook for students of higher educational institutions enrolled in mining and geological professions; Federal Agency of Education, Russian State Geological Prospecting University named after Sergo Ordzhonikidze. Moscow, 2007. 131 p. (in Russ.).
- [7] Bubnov, V.K., Golik V.I., Kapkanschikova A.M. and others. Aktual'nye voprosy dobychi cvetnyh, redkih i blagorodnyh metallov [Relevant issues of production of non-ferrous, rare and noble metals]. Akmola, 1995. 601 p. (in Russ.).

- [8] Lyashenko V.I., Kolokolov, O.V. Sovershenstvovanie tehnologii podzemnogo vyshhelachivaniya pri razrabotke rudnyh mestorozhdenij slozhnoj struktury [Improvement of technology of underground leaching in development of ore deposits of complex structure]. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2006. No. 7. P. 11—17. (in Russ.)
- [9] Lyashenko V.I., Golik V.I. Prirodookhrannyye tekhnologii podzemnoy razrabotki uranovykh mestorozhdeniy [Conservation technologies of underground development of uranium deposits]. *Gornyi Zhurnal (Mining Journal)*. 2006. No. 2. P. 89—92. (in Russ.)
- [10] Vorob'ev A.E., And Razorenov Yu.I., Ignatov, V.N., Gimaeva R.B. Innovatsionnyye geotekhnologii razrabotki mestorozhdenij gorjuchego slanca i vysokovjazkoj nefi [The innovative geotechnologies of development of deposits of oil shale and heavy oil] // textbook for graduate students in geological and oil industry. Novocherkassk, 2008. 214. (in Russ.).
- [11] Razorenov Yu.I., Golik V.I. 2013. Problemy glubokoy utilizatsii otkhodov pererabotki uglya [Problems of deep utilization of coal processing waste]. *Marksheideriya i nedropolzovaniye [Mine surveying and subsurface use]*. 2013. 4 (66). P. 52—54. (in Russ.).
- [12] 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. Vol. 9. No. 6. P. 1210—1216.
- [13] Komashenko, V.I., Vasilyev, P.V., Maslennikov, S.A. Dependable raw materials base for underground mining the KMA deposits. *Izvestiya of the Tula State University. Earth Science*. 2016. No. 2. P. 101—114. (in Russ.)
- [14] Golik V.I., Polukhin O.N. Prirodookhrannyye geotekhnologii v gornom dele [Environmental geotechnology in mining]. Belgorod: ID Belgorod; NRU Bel GU, 2013. (in Russ.).
- [15] Dmitrak Y.V. The effectiveness of vibrosensitivity materials. *Scientific journal of UIM*. 2017. No. 4. P. 24—29. (in Russ.).
- [16] Dmitrak Yu.V., Kamnev E.N. The Leading Research and Design Institute of Industrial Technologies — A long way in 65 years. *Gornyi Zhurnal (Mining Journal)*. 2016. No. 3. P. 6—12. (in Russ.).
- [17] Kachurin N.M., Stas G.V., Kalaev, S.Z.K., Korchagina T.V. Environmental evaluating efficiency of environmental protection and environmental measures by underground mining. *Izvestiya of the Tula State University. Earth Science*. 2016. No. 3. P. 63—81. (in Russ.).
- [18] Kachurin N.M., Stas G.V., Levin A.D., Ribak V.L. Aerodynamics of waste coal mines dumps. *Izvestiya of the Tula State University. Earth Science*. 2016. No. 1. P. 23—33. (in Russ.).
- [19] Sinclair L., Thompson J. In situ leaching of copper: Challenges and future prospects. *Hydro-metallurgy*. 2015. Vol. 157. P. 306—324.
- [20] Jarvie-Eggart M.E. Responsible Mining: Case Studies in Managing Social & Environmental Risks in the Developed World. — Englewood: Society for Mining, Metallurgy and Exploration, 2015. 804 p.

#### Article history:

Received: October 01, 2017

Accepted: January 15, 2018

#### For citation:

Golik V.I., Razoryonov Yu.I., Lyashenko V.I. (2018). Special features of constructing systems for underground leaching of metals. *RUDN Journal of Engineering Researches*, 19(1), 80—91. DOI 10.22363/2312-8143-2018-19-1-80-91

#### Bio Note:

*Vladimir I. Golik* — Doctor of Technical Sciences, Professor of mining Department, North Caucasus State Technological University. *Research interests*: environmental and resource-saving technologies of mineral deposits development. *Contact information*: e-mail: v.i.golik@mail.ru

*Yury I. Razorenov* — Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-rector of South-Russian State Polytechnic University. *Research interests*: environmental and resource-saving technologies of development of mineral de-positions. *Contact information*: e-mail yiri1963@mail.ru

*Vasily I. Lyashenko* — Candidate of Technical Sciences, senior researcher, head of the research Department of the Ukrainian Research and Development Institute of Industrial Technology of the Ministry of Fuel and Energy of Ukraine. *Research interests*: environmental and resource-saving technologies of development of mineral de-positions. *Contact information*: e-mail: inform@iptzw.dp.ua