

УДК 622.234.42:621.7

Борисков Федор Федорович

кандидат геолого-минералогических наук,
старший научный сотрудник
сектора управления качеством
минерального сырья,
Институт горного дела УрО РАН,
620075 г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58
e-mail: ukr07@mail.ru

**АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
АВТОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В
ТЕХНОЛОГИИ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ
МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ***Аннотация:*

Представлены инновационные направления использования автогенных процессов в новых технологиях освоения георесурсов – забалансовых руд цветных металлов и техногенных образований – обеспечивающие комплексное и более полное извлечение ценных компонентов из минерального сырья. Обоснованы перспективные автогенные геотехнологии, снижающие затраты энергии на переработку минерального сырья и повышающие эффективность и экологическую безопасность освоения георесурсов. Рассмотрены технологические схемы выщелачивания минерального сырья, основанные на использовании природных температурных энергетических воздействий, тепла недр Земли и генерации электроэнергии смесью сырья с выщелачивающим раствором.

Ключевые слова: автогенные процессы, энергосбережение, экзотермические химические реакции, холод зимы, кристаллизационная сила льда, геотермический градиент, выщелачивание, электрохимический способ

DOI: 10.25635/2313-1586.2018.01.077

Boriskov Fedor F.

Candidate of Geological
and Mineralogical Sciences,
Senior Research Worker,
Quality Control Sector of Mineral Raw Materials,
Institute of Mining of the Ural branch of RAS,
620075, Ekaterinburg,
Mamina-Sibiryaka, 58
e-mail: ukr07@mail.ru

**ASPECTS OF USING AUTOGENOUS
PROCESSES IN THE TECHNOLOGY
OF LEACHING MINERAL RAW
MATERIALS***Abstract:*

The article presents innovative trends of using autogenous processes in the new technology for the development of geo-resources – off-balance ores of non-ferrous metals and anthropogenic structures – which provide an integrated and more complete extraction of valuable components from mineral raw materials. Justification has been made of the promising autogenous geotechnologies reducing energy consumption for processing mineral raw materials and increasing efficiency and ecological safety of development of georesources. Technological schemes of leaching mineral raw materials based on the use of natural temperature energy effects, of the Earth interior heat, and of electricity generation by a mixture of raw materials with leaching solution have been considered.

Keywords: autogenous processes, energy saving, exothermic chemical reactions, winter cold, ice crystallization energy, geothermal gradient, leaching, electrochemical method

Автогенными называются технологические процессы, которые осуществляются без затрат посторонних источников тепловой энергии за счет внутренних энергетических ресурсов, при этом тепло выделяется за счет протекания экзотермических химических реакций.

Автогенные технологии нашли применение в металлургии. Они позволяют создавать технологические схемы, объединяющие в одном металлургическом аппарате процессы обжига, плавки и конвертирования и обеспечивающие при этом минимальные энергетические затраты, высокую комплексность использования сырья и предотвращение загрязнения воздушного и водного бассейнов. Существует ряд природных и технических условий для использования автогенных процессов при разработке эффективных технологий извлечения ценных компонентов из рудных георесурсов и техногенных образований.

В настоящее время разработаны автогенные геотехнологии интенсификации выщелачивания сырья, исключая затраты энергии на переработку сырья из следующих источников: холода зимы; тепла недр Земли; тепла экзотермических реакций «сульфиды (пирит) – расплав эвтектики щелочей ($T = 170$ до 230°C)»; электрического тока

устройств «электроды – сырье в растворе». Автогенные технологии могут быть эффективно использованы при переработке колчеданных, медно-никелевых и других типов сульфидных руд.

Для повышения извлечения золота при кучном выщелачивании предлагается использовать холод зимнего сезона для разрушения сырья кристаллизационной силой льда, возникающей при увеличении объема льда на 8 % при замораживании в руде водных технологических растворов [1].

Использование автогенных технологий на основе экзотермической химической реакции может применяться при переработке ванадиевого шлака. При этом реакция шлака с серной кислотой повышает извлечение ванадия с 78 до 97,96 %, что является эффективной альтернативой энергозатратного гидрохимического метода (табл. 1).

Таблица 1

Повышение извлечения ванадия автогенным выщелачиванием

Продукты	Распределение ванадия, %		
	Автогенный метод		Гидрохимический метод
	Извлечение	Массовая доля	Извлечение
Концентрат ванадия	97,96	4,7	78
Гипсовый осадок	1,58	0,084	-
Хвосты	0,46	0,024	22
Шлак	100	2,951	100

В ИГД УрО РАН разработан новый способ подземного выщелачивания минерального сырья с использованием тепла недр Земли.

Известно, что скорость большинства химических реакций повышается до 2 – 4 раз при увеличении температуры на 10°C [2]. Температура в подземных горных выработках за счет геотермического градиента планеты может увеличиваться в среднем на + 3° С на 100 м глубины. На основании этих данных основная идея разработанного способа заключается в использовании тепла недр для интенсификации подземного выщелачивания сырья при снижении затрат энергии из традиционных источников.

При реализации предложенного способа [3, 4] предполагается в качестве выщелачивающих полостей использовать выработанное пространство погашаемых горных выработок, где подземная камера после обустройства (герметизация выработки, монтажа системы орошения сырья и сбора продуктивного раствора) заполняется сырьевым материалом для выщелачивания. Выщелачивающий раствор готовится на основе кислотных металлосодержащих растворов (рН 2 – 4), использование которых приводит к повышению качества получаемых продуктивных растворов и снижению расхода кислоты. Для приготовления растворов рекомендуется применять кислотные подотвальные воды, например, Гайского ГОКа, содержащие, мг/л: медь – 620, цинк – 358, железо – 2066, что, соответственно, в 12, 4; 7,2 и 20,7 раз больше промышленной концентрации этих металлов в водных растворах (медь и цинк 50, железо 100 мг/л), пригодных для гидрометаллургической переработки.

Эффективность разработанного подземного способа выщелачивания и производства концентрированных продуктивных металлосодержащих растворов – богатых жидких руд – обеспечивается повышенной температурой недр Земли и непрерывностью процесса выщелачивания минерального сырья теплыми выщелачивающими растворами.

Разработанный способ предполагается использовать при переработке хвостов обогащения сульфидных руд в камерах отработанных подземных горных выработок, например, в шахте Гайского ГОКа (рис. 1), где температура среды, повышаясь до ~ 30°C на глубине 1 км, будет способствовать интенсификации процесса выщелачивания этого

вида сырья. Для повышения скорости выщелачивания и качества продуктивного раствора в камере подземной выработки одновременно осуществляется воздействие на сырье повышенной температуры и давления, создаваемыми насосом 8 при закрытых патрубках 11 и 12 (см. рис. 1) [3, 4], и тем самым создается автоклавный режим выщелачивания.

Предложенный способ подземного выщелачивания направлен на повышение эффективности переработки природного и техногенного минерального сырья, внедрение этого способа позволит существенно сократить площадь земель, отведенных для хранения отходов производства, и вынос из них продуктов окисления сульфидов в окружающую природную среду.

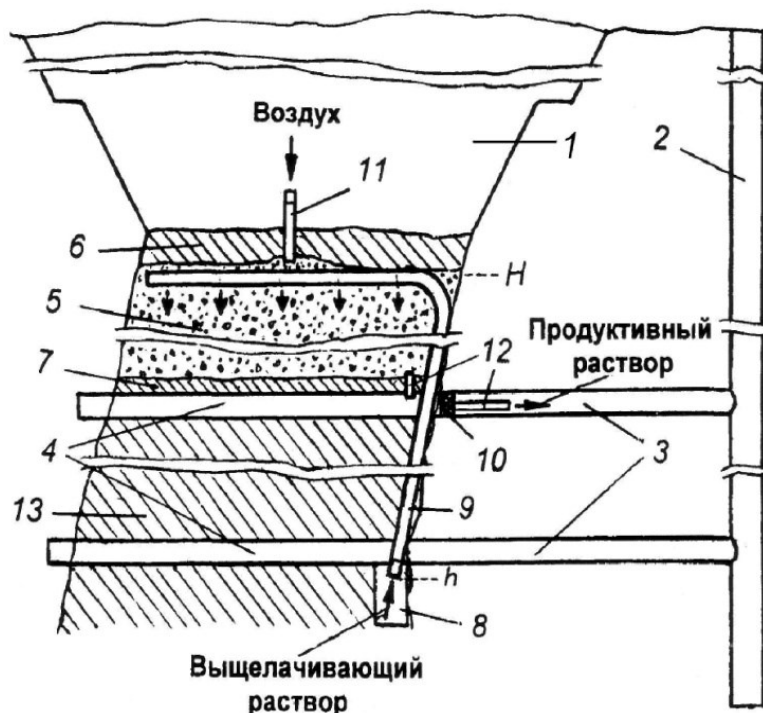


Рис. 1 – Подземное выщелачивание сырья с использованием тепла недр Земли: 1 – карьер; 2 – ствол шахты; 3 – квершлаг; 4 – орт; 5 – отработанная камера с закладкой; 6 и 7 – потолочина и днище камеры; 8 – насос; 9 – подача раствора; 10 – перемычка; 11 – подача воздуха; 12 – вывод продуктивного раствора; 13 – добычной блок, h и H – горизонты в руднике

Одним из направлений исследований является совершенствование электрохимических способов выщелачивания минерального сырья. В настоящее время разработан инновационный электрохимический способ выщелачивания минерального сырья, основанный на комбинировании высокочастотного (400 кГц) и постоянного тока. Однако этот способ пока не реализован из-за значительного расхода энергии (110 кВт·ч/т руды) и сложности применяемого оборудования [5]. С целью снижения расхода электроэнергии был предложен новый электрохимический способ выщелачивания сырья с использованием тока, который генерируется самой смесью сырья с раствором с помощью электродов, размещенных в этой смеси (патент РФ № 21809263, 2002). При этом на электродах возникают электродные потенциалы за счет образования двойного электрического слоя, который подобен устройству конденсатора. Соединение электродов проводником с сопротивлением приводит к образованию электрической цепи. Таким образом, при циркуляции электрического тока через сырье реализуется электрохимический механизм растворения с интенсификацией процесса перехода в раствор компонентов выщелачиваемого сырья (рис. 2).

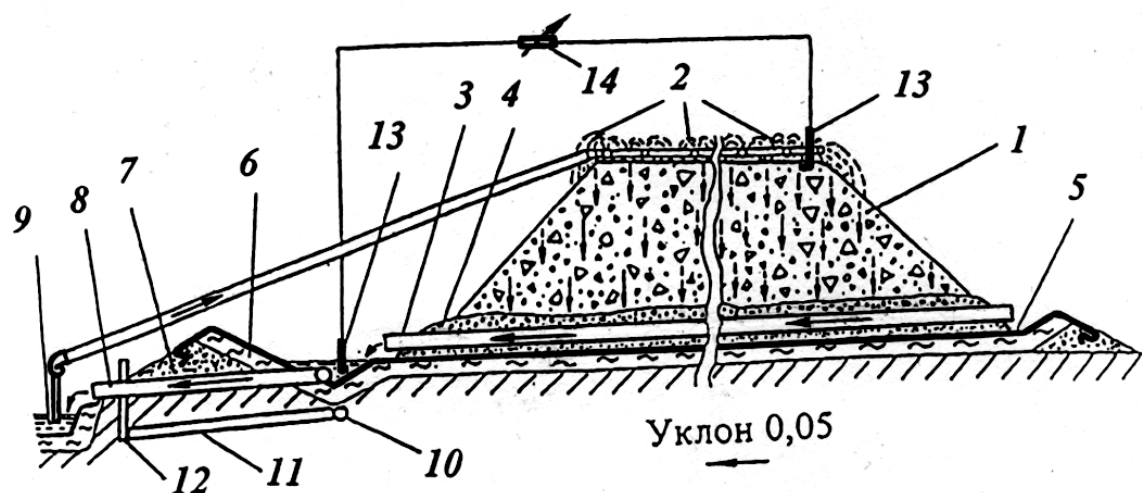


Рис. 2 – Схема кучного выщелачивания сырья с использованием электродных потенциалов:

- 1 – штабель сырья, 2 – система орошения, 3 – трубы дренажные, 4 – слой дренажный, 5 – пленка синтетическая, 6 – слой глины, 7 – дамба ограждающая, 8 – труба продуктивного раствора, 9 – емкость продуктивного раствора, 10 – перфорированная труба (дрена) для контроля за состоянием гидроизоляции основания штабеля, 11 – труба для приема подотвальных вод, 12 – скважина для отбора подотвальных вод на анализ, 13 – электроды, 14 – резистор с переменным сопротивлением

Для апробации предложенного электрохимического способа выщелачивания проводилось физическое моделирование кучного выщелачивания лежалых пиритных хвостов Учалинского ГОКа в 5 %-ом растворе серной кислоты с использованием симметричной системы «сырье в растворе – титановые электроды». При этом электродвижущая сила (ЭДС) системы достигала 0,2 В, $R = 100$ Ом, выщелачивание длилось 50 суток. Результаты моделирования показали, что извлечение из хвостов в продуктивный раствор выросло для меди с 62,5 до 72,4 %, для цинка с 86,4 до 89,1 %, содержание – соответственно, с 58,77 до 77,57 мг/л и с 84,3 до 132,58 мг/л.

Перспективным направлением также является переработка отходов и других георесурсов на основе автогенных геотехнологий, разработанных с использованием методологии автогенного процесса А.В. Ванюкова [6] – плавки сульфидных концентратов в жидкой ванне (ПЖВ), исключая затраты энергии из традиционных источников на ПЖВ [6, 7]. В качестве источника энергии используется теплота сгорания (Q) сульфидов в концентратах, достигающая 6 МДж/кг, что немного меньше (до 1,4 раз) Q некоторых сортов бурого угля. С применением ПЖВ, снижающей затраты энергии на переработку сульфидных концентратов, за счет освоения сульфидсодержащих забалансовых руд и отходов производства увеличиваются сырьевые ресурсы, например, хвостов обогащения колчеданных руд Карабашского района, в которых содержание ценных компонентов сравнялось с кондиционным сырьем.

Выполненные исследования и полученные патенты подтверждают эффективность извлечения ценных компонентов, в первую очередь цветных металлов, из сложных для освоения традиционными методами георесурсов – забалансовых руд и техногенного сырья, методами выщелачивания основанных на автогенных процессах. Широкое внедрение автогенных технологий выщелачивания позволит включить в переработку значительные объемы нового вида некондиционного сырья, позволит выделять из заброшенных в настоящее время техногенных образований ценное дефицитное сырье для металлургии и получать дополнительный экономический эффект.

Литература

1. Борисков Ф.Ф. Разработка автогенных инновационных методов освоения сульфидсодержащих отходов производства / Ф.Ф. Борисков // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2011. - ОВ № 11. - С. 330 – 339.
2. Некрасов Б.В. Учебник общей химии / Б.В. Некрасов. - М.: Химия, 1981. – 400 с.
3. Пат. 2385956 РФ. МПК⁷С 22 В 3/04, С 22 В 15/00. Способ подземного выщелачивания сульфидсодержащих материалов / Волков Ю.В., Борисков Ф.Ф., Соколов И.В., Антипин Ю.Г.; заявитель и патентообладатель Институт горного дела УрО РАН. - № 2009119083/02; заявл. 20.05.2009; опубл. 10.04.2010, Бюл. № 10 (II ч.). С. 547.
4. Пат. 2429303 РФ. МПК⁷С22В 3/04, Е21В 15/00. Способ подземного выщелачивания полезных компонентов из сырья / Борисков Ф.Ф.; заявитель и патентообладатель Институт горного дела УрО РАН. -№ 2009143040/02; заявл. 20.11.2009; опубл. 27.09.2011, Бюл. № 26.
5. Борисков Ф.Ф. Импульсные и автогенные методы переработки сырья / Ф.Ф. Борисков, В.Д. Алексеев. - Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2005. – 150 с.
6. Ванюков А.В. Плавка в жидкой ванне / А.В. Ванюков, В.П. Быстров, А.Д. Васкевич. - М.: Металлургия, 1988. - 208 с.
7. Плавка медно-цинкового сырья в печи Ванюкова / А.М. Халемский, А.В. Тарасов, А.Н. Казанцев, В.Д. Кинев. - Екатеринбург: Изд-во «Кедр», 1993. - 80 с.