

УДК 622.775:621.791.8]:504.06

**Борисков Федор Федорович**

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

**Кантемиров Валерий Данилович**

кандидат технических наук,  
зав. сектором управления качеством  
минерального сырья,  
Институт горного дела УрО РАН  
e-mail: ukr07@mail.ru

**АВТОГЕННЫЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ  
ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ  
И ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ОСВОЕНИЯ ГЕОРЕСУРСОВ***Аннотация:*

Автогенные методы, исключая затраты энергии на переработку минерального сырья, повышают эффективность и экологическую безопасность освоения георесурсов. Они разработаны на основе использования природных температурных энергетических воздействий: холода зимнего сезона для дезинтеграции руды кристаллизационной силой льда путем замораживания технологических растворов в рудах при кучном выщелачивании руд и тепла недр Земли, температура которых повышается с глубиной геотермическим градиентом и применяется для интенсификации процессов подземного выщелачивания сырья.

*Ключевые слова:* автогенные геотехнологии, энергосбережение, экологическая безопасность, холод зимы, кристаллизационная сила льда, геотермический градиент, выщелачивание

DOI: 10.18454/2313-1586.2016.04.178

**Boriskov Pheodor P.**

candidate of mineralogical  
and geological sciences,  
senior researcher,  
The Institute of Mining UB RAS,  
620075, Yekaterinburg, 58 Mamin-Sibiryak st  
e-mail: [ukr07@mail.ru](mailto:ukr07@mail.ru)

**Kantemirov Valery D.**

candidate of technical sciences,  
the head of the sector of mineral raw  
material quality management,  
The Institute of Mining UB RAS  
e-mail: [ukr07@mail.ru](mailto:ukr07@mail.ru)

**AUTOGENOUS METODS OF INCREASING  
ECOLOGICAL SAFETY  
AND GEO-RESOURCES  
EFFICIENT DEVELOPMENT***Abstract:*

Autogenous methods, excluding energy costs on mineral raw materials processing, increase the efficiency and ecological safety of geo-resources development. They are worked out in terms of application natural temperature and energy impacts: cold of winter season for disintegration of ore by force of ice crystallization by freezing technological solutions in ores when heap leaching is conducted and subsurface earth heat, their temperature being increased with depth by geo-thermal gradient. This is employed for intensification the processes of subsurface raw material leaching.

*Key words:* autogenous geo-technologies, energy saving, ecological safety, winter cold, ice crystallization force, geo-thermal gradient, leaching

Процесс производства товарных руд и концентратов в России сопровождается образованием значительного количества отходов производства (вскрышные горные породы, забалансовые руды, хвосты обогащения, металлургические шлаки, шламы и т. д.), обусловленного:

1. Первым местом в мире по объему добычи минерального сырья (9,7 % мирового производства). По номенклатуре производимых товарных руд наша страна уступает только США и Китаю [1];
2. Постоянным снижением массовой доли ( $\alpha$ ) ценных компонентов, например, меди ( $\alpha_{Cu}$ ) и железа ( $\alpha_{Fe}$ ) до 0,3; 13 % и т.д. в рудах Михеевского [2], Качканарского месторождений;
3. Отчуждением значительных территорий земли в промышленно развитых регионах страны для складирования отходов производства;
4. Значительной долей в добыче и переработке минерального сырья колчеданных, медно-никелевых и других типов сульфидных руд, характеризующихся образованием значительного количества сульфидсодержащих отходов производства с повышенной

экологической опасностью. Только на Урале накопилось ~ 0,25 млрд т хвостов обогащения медно-колчеданных руд с  $\alpha_{Cu}$  до 0,3 – 0,5,  $\alpha_{Zn}$  до 0,5 – 1,0 % и запасами меди ~ 0,65, цинка ~ 1,04 млн т [1].

Сульфиды, потерянные с отходами производства при добыче и переработке руд, окисляются с образованием серной кислоты, сульфатов различных металлов и других токсикантов:

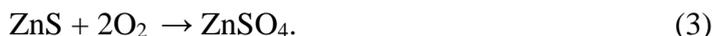
пирит



халькопирит



сфалерит



При окислении  $Fe^{2+}$  в сульфат  $FeSO_4$  до  $Fe^{3+}$  образуется сульфатгидроксид железа



при гидролизе которого возникает серная кислота и гидроксид трехвалентного железа



$Fe(OH)_3$  переходит в бурый железняк при некоторой дегидратации.

Продукты окисления сульфидов: серная кислота, сульфаты меди, цинка и другие токсиканты – выносятся из отвалов отходов в окружающую среду в течение многих лет и наносят существенный ущерб экологии [3, 4].

Сложные структурно-текстурные и минералогические особенности отходов (высокая дисперсность хвостов обогащения руд и шламов нейтрализации рудничных стоков, тонкозернистая и стекловатая структура металлургических шлаков и т. д.) сдерживают переработку этого минерального сырья традиционными методами, основанными на больших затратах энергии.

Для переработки сульфидсодержащих отходов производства разрабатываются автогенные геотехнологии [5], основанные на использовании методологии автогенного процесса А.В. Ванюкова – плавки сульфидных концентратов в жидкой ванне (ПЖВ) [6]. Источником энергии ПЖВ является теплота сгорания ( $Q$ ) сульфидов, достигающая 6 МДж/кг у пиритных концентратов – только до 1,37 раз меньше  $Q$  некоторых сортов бурого угля [7]. ПЖВ позволяет эффективно перерабатывать сырье с пониженным содержанием ценных компонентов, существенно снижает затраты энергии из коммерческих источников и повышает экологическую безопасность производства.

Сырьевые ресурсы Урала, кроме освоения сульфидсодержащих забалансовых руд, хвостов обогащения, шлаков, шламов и т. д., расширяются также включением в переработку металлосодержащих кислотных рудничных вод, подотвальных стоков и т. д. Количественные характеристики этого жидкого минерального сырья, образующегося самопроизвольно (автогенным путем – за счет внутренней энергии сульфидов, выделяющейся при их окислении), были установлены и обобщены в результате натурных наблюдений при изучении изменений геохимической обстановки при освоении медно-колчеданных месторождений Урала. Исследовались отвалы вскрышных минерализованных пород, подотвальные стоки на Гайском, Учалинском, Карабашском и Кировградском хвостохранилищах и Чернушинском месторождении. На всех этих объектах было установлено высокое содержание металлов в рудничных водах (таблица), которые являются жидкими рудами [8].

Концентрация металлов в рудничных водах превышает промышленную до 200 раз. Раньше шахтные воды с содержанием меди ~ 70 мг/л перерабатывались в гидрометаллургических цехах рудников (Дегтярский, Лёвихинский) с получением медного концентрата (цементной меди) с массовой долей меди ~ 20 %. Сейчас медьсодержащие шахтные

воды, в том числе и с артезианским изливанием из отработанных месторождений (Дегтярское месторождение), только нейтрализуются известью перед сбросом их в природные водотоки.

Таблица 1

**Содержание металлов в рудничных водах  
месторождений Урала**

Пробы рудничных вод	Содержание металлов, мг/л		
	Cu	Zn	Fe
Учалинский ГОК, подотвальная вода (ПВ), проба 1	270	165	117
Учалинский ГОК, ПВ, проба 2	786	3460	9050
Лёвихинское месторождение, шахтная вода	296	100	730
Гайский ГОК, шахтная вода	247	202	802
Гайский ГОК, ПВ	620	358	2066
Тарньерский рудник (Северный Урал), ПВ	1524	1882	679
Богородский пруд, г. Карабаш	2000	1500	-
Чернушинское месторождение, ПВ	10000	-	-
Промышленная концентрация металлов (ПК)	50	50	100
Превышение ПК (содержание металлов / ПК)	до 200	до 69	до 90

Для интенсификации процесса выщелачивания сульфидсодержащих отходов автогенным методом (на основе использования внутренней энергии сульфидов, выделяющейся при их окислении в отвалах) предлагается применять слои минерального сырья высотой до 2 м для увеличения удельной поверхности отвалов, аэрации, водопроницаемости и прогревания окисляемого сырья при выщелачивании в теплый сезон. На выщелоченный слой отходов укладывается другой слой. Повышение фильтрующей способности отвалов, уменьшение их высоты приводит к увеличению их удельной поверхности и скорости окисления сульфидов. К сульфидам в большем количестве доставляется кислород воздуха со свежими порциями воды взамен вытекающего раствора с дефицитом кислорода. Очевидно, что орошение сырья с паузами играет такую же роль. Перерывы в орошении открывают доступ кислорода воздуха к глубоким частям отвала сырья при вытекании раствора из капиллярно-пористой среды отвала. В этих условиях процессы окисления сульфидов развиваются в большем объеме, что приводит к увеличению концентрации серной кислоты и образованию сульфатов металлов в растворе. Путем увеличения высоты штабелей, размещением сульфидсодержащих отходов для выщелачивания их на отработанном слое уменьшаются земельные отводы под их размещение.

Продуктивные растворы, полученные при выщелачивании сульфидсодержащих отходов и содержащие сульфаты металлов ( $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{ZnSO}_4$ ) отправляются на переработку с получением, например, концентрата меди осаждением ее на железо (стружка и т. д.):



цинка – осаждением его сульфидом натрия:



Эффективность выщелачивания и качество жидких руд повышаются при использовании металлосодержащих рудничных вод с высоким содержанием металлов для приготовления кислотных выщелачивающих растворов.

Для интенсификации процесса кучного выщелачивания предлагается также использовать природные энергетические воздействия на сырье, например, холода зимнего сезона для замораживания выщелачивающего раствора в минеральном сырье, чтобы обеспечить дополнительную дезинтеграцию его кристаллизационной силой льда. Льдом, возникающим при замерзании выщелачивающего раствора расклиниваются полости, трещины и поры минерального сырья с увеличением их объема до 8 %. Сырье дополнительно разрушается без затрат энергии из коммерческих источников.

При замораживании цианидного раствора в руде зимой на установке кучного выщелачивания золота месторождения Майское (Хакасия) концентрация золота в продуктивном растворе увеличилась с 1 (перед замораживанием) до 4 г/м<sup>3</sup> (после замораживания), извлечение золота из руды в раствор – на 5 %. Суровый климат в северных и северо-восточных регионах России, богатых месторождениями полезных ископаемых, создает возможность широкого использования криогенной дезинтеграции руд в зимний период.

Скорость большинства химических реакций повышается до 2 – 4 раз при увеличении температуры ( $T$ ) на 10°C [9]. Температура в подземных горных выработках увеличивается в среднем на 3°C/100 м глубины геотермическим градиентом планеты Земля. Тепло недр Земли предлагается использовать для интенсификации подземного выщелачивания также автогенным методом – повышением температуры переработки сырья без затрат энергии и из коммерческих источников.

В шахте Гайского горно-обогатительного комбината  $T$  повышается до ~ 30° С на глубине 1 км. При выщелачивании сырья, например, хвостов обогащения сульфидных руд в камерах отработанных подземных горных выработок с повышенной  $T$  процесс переработки сырья существенно ускоряется и проводится в непрерывном режиме (рис. 1) [10]. Площадь земель, отведенных для хранения отходов производства, и вынос из них продуктов окисления сульфидов (кислотные воды, водорастворимые сульфаты меди, цинка и т. д.) в окружающую природную среду существенно уменьшаются.

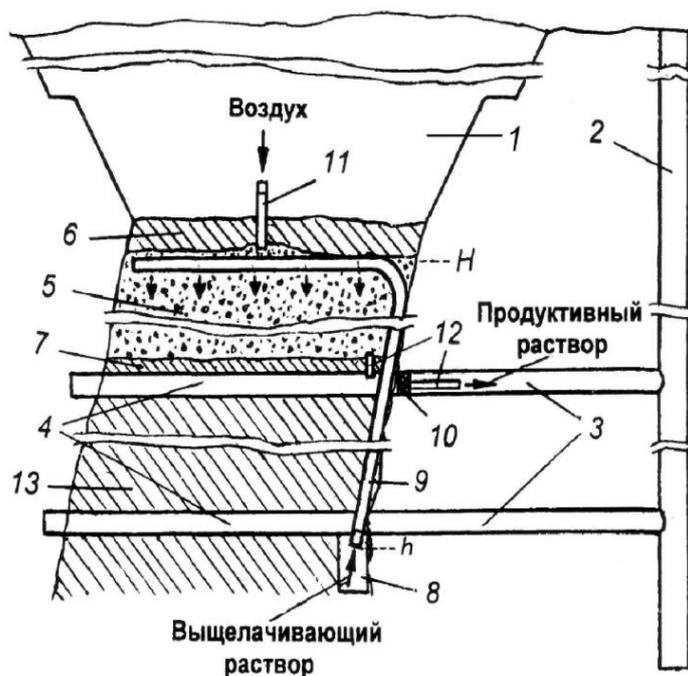


Рис. 1 – Подземное выщелачивание сырья с использованием тепла недр Земли:  
1 – карьер, 2 – ствол шахты, 3 – квершлаг, 4 – орт, 5 – отработанная камера с закладкой, 6 и 7 – потолочина и днище камеры, 8 – насос, 9 – подача раствора, 10 – переключатель, 11 – подача воздуха, 12 – вывод продуктивного раствора,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

Скорость выщелачивания сырья в камере подземной горной выработки и качество продуктивного раствора повышаются при использовании автоклавного режима – одновременном воздействии на сырье  $T$  и давления, создаваемого насосом 8 при закрытых патрубках 11 и 12 (рис. 1) [11, 12].

### Литература

1. Чантурия В.А. Перспективы устойчивого развития горноперерабатывающей индустрии России / В.А. Чантурия // Прогрессивные технологии комплексной переработки минерального сырья. – М.: Издательский дом «Руда и металлы», 2008. – С. 5 - 22.
2. Грабежев А.И. Рениеносные медно-порфировые системы Урала: гео-логическое положение, изотопно-петрографическая и возрастная зональность / А.И. Грабежев // Литосфера. – 2012. – № 4. – С.190 – 207.
3. Подуст А.Н. Техногенные образования как источник загрязнения окружающей среды / А.Н. Подуст // Техноген-98: вторая вставка и НТК по переработке техногенных образований: офиц. каталог: тез. докл. – Екатеринбург: Изд-во АСМ-Офсет, 1998. – С. 24 - 25.
4. Оценка экологической опасности хранения отходов добычи и переработки медно-никелевых руд / Маслобаев и др. // ФТПРПИ. – 2014. – № 3.
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 и др. - Екатеринбург: Изд-во «Кедр», 1993. - 80 с.
8. Дренажные воды – источник техногенного гидроминерального сырья на Урале / О.Н. Грязнов и др. // Изв. вуз. Горный журнал. – 1997. – № 11-12. - С. 58 - 65.
9. Некрасов Б.В. Учебник общей химии / Б.В. Некрасов. - М.: Химия, 1981. – 400 с.
10. Пат. 2385956 РФ. МПК<sup>7</sup> С 22 В 3/04, С 22 В 15/00. Способ подземного выщелачивания сульфидсодержащих материалов / Ю.В. Волков, Ф.Ф. Борисков, И.В. Соколов, Ю.Г. Антипин; заявитель и патентообладатель Институт горного дела УрО РАН. № 2009119083/02; заявл. 20.05.2009; опубл. 10.04.2010, Бюл. № 10 (II ч.). - С. 547.
11. Пат. 2429303 РФ. МПК<sup>7</sup> С22В 3/04, Е21В 15/00. Способ подземного выщелачивания полезных компонентов из сырья / Ф.Ф. Борисков; заявитель и патентообладатель Институт горного дела УрО РАН. - № 2009143040/02; заявл. 20.11.2009; опубл. 27.09.2011, Бюл. № 26. - С. 475.
12. Борисков Ф.Ф. Разработка автогенных инновационных методов освоения сульфидсодержащих отходов производства / Ф.Ф. Борисков // Горный информационно-аналитический бюллетень. - Отд. вып. № 11. - 2011. - С. 330 – 339.