

Ф.Ф. Борисков, В.М. Аленичев

РАЗРАБОТКА РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ГЕОТЕХНОЛОГИЙ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АДЕКВАТНОЙ ИНФОРМАЦИИ О ПРИРОДНЫХ СУЛЬФИДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ И ТЕХНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЯХ

Комплексная переработка отходов освоения сульфидных месторождений включает использование кислотных рудничных вод с высокой концентрацией металлов для приготовления выщелачивающих растворов. Качество «жидких руд» существенно повышается, расход кислоты снижается. Повышение фильтрующей способности отвалов приводит к увеличению скорости окисления минералов и увеличению концентрации сульфатов различных металлов в продуктивном растворе. Ключевые слова: сульфиды, окисление, сульфаты, кислотные рудничные воды, жидкие руды, переработка жидкого сырья.

При переоценке месторождений твердых полезных ископаемых в условиях рыночной экономики и действующих мировых цен минерально-сырьевая база Российской Федерации сократилась по всем видам полезных ископаемых на 30–80% [1]. При этом наблюдается снижение качества руд, обусловленное уменьшением массовой доли ценных компонентов практически во всех типах месторождений. Изменяется также минеральный и химический состав сырья, так как известные месторождения оксидных и карбонатных руд, например цветных металлов (медь, цинк, свинец) отработаны полностью.

В настоящее время в России основными источниками сырья для цветной металлургии являются месторождения сульфидных руд: медно-колчеданных, медно-порфирировых, медно-никелевых, свинцово-цинковых и др. Разработка сульфидных месторождений сопровождается резким нарушением природного равновесия из-за окисления сульфидов. Окисление обусловлено доступом кислорода с воздухом и по-

верхностными водами в горные выработки, отвалы вскрышных пород и отходов (хвостов) обогащения и сопровождается образованием экологически опасных токсичных веществ – серной кислоты, сульфатов цветных металлов и т.д. Токсичные вещества выносятся в окружающую среду длительное время. Этот процесс наносит значительные негативные социальные и экономические потери: площади загрязненных территорий расширяются, ценные для промышленности компоненты (медь, цинк), но экологически опасные для окружающей среды, теряются. Выделение тепла при окислении сульфидов раньше сопровождалось саморазогреванием руд и, как следствие, развитием подземных пожаров [2, 3].

Сульфидная минерализация, обнаруженная в морских отложениях, интенсивно изучается как будущий источник минерального сырья.

Металлургическая переработка сульфидного сырья сопровождается формированием экологически опасных техногенных аномалий с повы-

шенной массовой долей меди в почве до 0,28% (берег озера Серебры, г. Карабаш). Высокое содержание меди (0,13%) и никеля (0,28%) установлено даже в 5-ти км от источника газовых выбросов комбината «Североникель» [4]. Хранилища отходов разработки сульфидных руд являются источником загрязнения природных вод, поскольку концентрации сульфид-аниона (SO_4) и катионов металлов в почве под отвалами возрастает до 8 и 4% при $\text{pH} = 2-3$.

Уменьшение содержания меди и цинка за 30 лет в хвостохранилище Кировградского медкомбината (Свердловская область) соответственно с 0,36% до следов и с 3,0% до 0,59% привело к увеличению загрязненных площадей и потери ценных металлов.

Изучение химической обстановки на медно-колчеданных месторождениях Урала (Карабашском, Учалинском, Левихинском, Гайском и Чернушинском), позволило выявить механизм окисления сульфидов в техногенных образованиях, который оказался аналогичны химическим изменениям сульфидов в природных условиях при наличии кислорода. При этом исследовались хвостохранилища и отвалы вскрышных минерализованных пород, жидкая фаза рудничных вод (шахтных, подотвальных и др. стоков), состав хвостов и т.д. В результате было установлено высокое содержание серной кислоты $\text{pH} = 1,6-3,0$ [5] и металлов в рудничных водах, что почти в 10^5 раз превышало предельно допустимую концентрацию при сбросе в водоемы рыбохозяйственного назначения. Кислотные воды, представляющие собой «жидкие руды» с содержанием металлов до 5–200 раз больше промышленной концентрации их в водных растворах, пригодны для гидрометаллургической переработки [5, 6].

Комплексной переработки отходов освоения сульфидных месторождений

включает использование кислотных рудничных вод с высокой концентрацией металлов для приготовления выщелачивающих растворов. Медь, цинк, железо рудничных вод, суммируются с металлами, выщелоченными из отходов. Качество «жидких руд» существенно повышается, расход кислоты снижается.

Использование отвалов в виде усеченных пирамид небольшой высоты с большой удельной поверхностью, улучшает аэрацию, водопроницаемость и прогревание окисляемого сульфидного сырья при выщелачивании в теплый сезон. Повышение фильтрующей способности отвалов приводит к увеличению скорости окисления минералов, так как к ним в большем количестве доставляется кислород воздуха со свежими порциями воды взамен вытекающему раствору с дефицитом кислорода. Перерывы в орошении открывают доступ кислорода воздуха к глубоким частям отвала сырья при вытекании раствора из капиллярно-пористой среды отвала. Процессы окисления сульфидов развиваются в большем объеме, что приводит к увеличению концентрации кислоты и сульфатов различных металлов в продуктивном растворе. Оптимизация величины массовой доли серной кислоты в выщелачивающем растворе повышает извлечение металлов в продуктивный раствор: при $\text{pH} = 2(0,098\% \text{H}_2\text{SO}_4)$ извлечение меди в раствор в течение 5 минут увеличивается до 94%, цинка – до 63%, при $\text{pH} = 1(0,98\% \text{H}_2\text{SO}_4)$ – до 97% и 75%.

Развитие процессов окисления сульфидов с саморазогреванием руд сопровождалось раньше даже развитием подземных пожаров на месторождениях Урала, Текели (хребет Джунгарский Алатау, верховья р. Текели), Сарылах (Якутия). На месторождении Текели в локальных участках проявлялась техногенная магматическая стадия пожара с расчетной T до 1470 °C и вы-

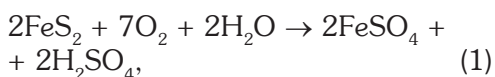
плавкой уникальных геологических образований – природных расплавов, названных шлакоштейнами. Борьба с пожарами на месторождениях сульфидных руд осуществлялась раньше профилактическим заиливанием пожароопасных участков месторождений глинистым материалом, теперь – применением противопожарных систем разработки.

Химические элементы сульфидов в колчеданных рудах, выходящие на поверхность Земли, с низкой валентностью Fe^{2+} , Cu^{1+} , S^{2-} и др. окисляются до Fe^{3+} , Cu^{2+} , S^{6+} кислородом, проникающим в руды с воздухом и водой. При окислении Fe^{2+} до Fe^{3+} формируется малоподвижный лимонит, который, как правило, остается на месте в виде «железных шляп», ниже которой образуется зона выщелачивания с концентрацией в ней барита, кварца и других плохо растворимых минералов. Подвижные продукты окисления в виде водорастворимых сульфатов проникают в сульфидные руды, залегающие ниже. При взаимодействии сульфата меди с первичными сульфидами (халькопирит, сфалерит и т.п.) образуются вторичные сульфидные минералы с высокой массовой долей меди (борнит, ковеллин, халькозин). Богатые по содержанию меди зоны вторичного сульфидного обогащения, плавно переходящие в первичные сульфидные руды, обнаруживаются обычно при бурении «железных шляп».

В техногенных образованиях с высокой дисперсностью (0,1 мм и меньше) скорость окисления сульфидов больше, чем в рудах, залегающих в природных условиях.

Металлосодержащие кислотные воды образуются при окислении сульфидных минералов:

- пирита



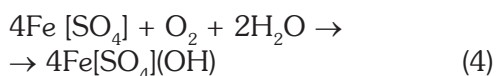
- халькопирита



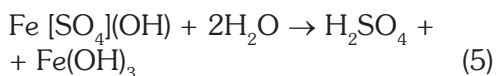
- сфалерита



Сульфат двухвалентного железа окисляется до трехвалентного гидроксид-сульфата



с последующим гидролизом его:



и образованием серной кислоты и гидроксидов железа, переходящего при дегидратации в бурый железняк. Подтверждением этому являются «рыжие» ручьи города Карабаш, поступающие с валов отходов в природные водотоки, окрашены взвесью $Fe(OH)_3$.

Сульфиды медно-никелевых и полиметаллических руд окисляются и гидролизуются по типам (1–5) с образованием сульфатов различных металлов и серной кислоты. При окислении главных минералов медно-колчеданных руд образуются гидроксиды железа, серная кислота, сульфаты меди, цинка и т.д.

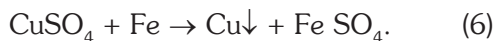
Разделение зон окисления и выщелачивания в техногенных отвалах не четкое, гидроксиды железа и водорастворимые сульфаты выносятся в окружающую среду атмосферными осадками. Проблема формирования зоны вторичного сульфидного обогащения в донных частях хвостохранилищ имеет важное научное и практическое значение и требует специального изучения.

Скорость образования продуктов окисления в сульфидсодержащих дисперсных отходах выше, чем в крупнокусковых отложениях. Например, в хвостохранилище Кировградской ОФ (Свердловская обл.) в первые годы

эксплуатации поступали пиритные отходы (0,1 мм и меньше) с массовой долей меди 0,36% и цинка 3,0%, а через 30 лет в них обнаружены только следы меди, а концентрация цинка снизилась до 0,59%. Первоначальное содержание меди в хвостах Карабашского медькомбината уменьшилось с 0,3% до 0,2% к настоящему времени.

Промедление с освоением хвостов наносит значительные негативные социальные и экономические потери из-за расширения площади территорий, загрязненных токсикантами, и безвозвратных потерь ценных компонентов. Поэтому, своевременная переработка пиритных хвостов является актуальной задачей. Одно из направлений – перевалка старых отвалов (хвостов) на гидроизолирующее основание, исключающее загрязнение подземных вод [7, 8].

Кислотные рудничные воды с высоким содержанием сульфатов раньше перерабатывались с получением меди осаждением ее на железный скрап:



После извлечения меди воды подвергались нейтрализации гидроксидом кальция («известковое молоко»), шламы осаждались в шламохранилище, вода отправлялась в природные водотоки. Сейчас гидрометаллургические заводы на медных рудниках ликвидированы, гидроксиды меди накапливаются в шламах. Только в Свердловской области имеется 10 шламовых полей [8], т.е. задача снижения экологической опасности кислотных рудничных вод, отвалов минерализованных сульфидами горных пород хвосто- и шламохранилищ решается пассивным методом – отчуждением для них значительных территорий.

Пассивный метод применим для отвалов, как, например Кировградского хвостохранилища, из которого природными процессами выщелочена зна-

чительная часть ценных компонентов. Для таких объектов необходим мониторинг дамб и применение других более радикальных методов, в частности – размещение токсичных отходов на гидроизолирующем экране. Однако экологические проблемы, связанные с самопроизвольным окислением сульфидов, решаются при этом не полностью. В районах с положительным балансом атмосферных осадков – превышением количества выпадающих осадков над испарением, что характерно для Среднего и Северного Урала, во время ливней жидкие руды, улавливаемые с помощью гидроизоляции, могут переполнить емкости, предназначенные для их приема. Чтобы исключить возможность излияния токсичных растворов (жидких руд) в природу, их необходимо перерабатывать по [9], так как традиционный метод борьбы с ними путем нейтрализации известью, как отмечалось выше, приводит к образованию вторичных отходов – шламов нейтрализации, переработка которых пока не осуществляется.

Новый метод переработки сульфидсодержащих отходов основан на результатах физического моделирования процессов окисления и образования водорастворимых форм меди и цинка с использованием лежалых (~60 дней) хвостов, взятых с поверхности отвала Учалинского хвостохранилища. Эти эксперименты показывают, что простой промывкой из лежалых хвостов можно получать высококонцентрированные растворы – богатые «жидкие руды» [6] с превышением ПК по меди в 4,2 и цинку – в 43,6 раз за счет реализации химического потенциала сульфидов, потерянных с хвостами, и сульфатов, образующихся в хвостохранилищах. Качество «жидких руд», получаемых предлагаемым методом, существенно повышается при комплексной переработке хвостов и

других сульфидсодержащих отходов освоения сульфидных месторождений с использованием кислотных рудничных вод с высокой концентрацией металлов для приготовления выщелачивающих растворов. Металлы, содержащиеся в рудничных водах, суммируются с выщелоченными из отходов.

Использование отвалов в виде усеченных пирамид небольшой высоты с большой удельной поверхностью, улучшает аэрацию, водопроницаемость и прогревание окисляемого сульфидного сырья при выщелачивании его в теплый сезон [10]. Повышение фильтрующей способности отвалов приводит к увеличению скорости окисления минералов, так как к ним в большем количестве доставляется кислород воздуха со свежими порциями воды взамен вытекающему раствору с дефицитом кислорода. Очевидно, что орошение хвостов 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 кислоты и сульфатов различных металлов в продуктивном растворе реакциями (1–3) и гидролизом сульфата трехвалентного железа с выделением кислоты по (4, 5), образование которой снижает расход кислоты для осуществления процесса выщелачивания.

Сернокислый раствор, получаемый при окислении сульфидов, подкрепляется серной или другими кислотами до концентрации, которая требуется для формирования выщелачивающего раствора, обеспечивающего оптимальные условия растворения минералов и выделения из раствора ценных компонентов при переработке его гидрометаллургическими или другими методами (ионная флотация, сорбция,

экстракция). Например, с увеличением содержания серной кислоты в выщелачивающем растворе повышается извлечение металлов в продуктивный раствор:

- при $\text{pH} = 2(0,098\% \text{H}_2\text{SO}_4)$ извлечение меди в раствор в течение 5 минут достигает 94%, цинка – до 63%;
- при $\text{pH} = 1(0,98\% \text{H}_2\text{SO}_4)$ – до 97% и 75%.

Повышению комплексности освоения сульфидсодержащих месторождений способствует подземное выщелачивание с закладкой сырья в отработанные горные выработки [11]. Для приготовления выщелачивающего раствора используются рудничные воды с высоким содержанием ценных компонентов. Этот метод позволяет осуществлять круглогодичное выщелачивание с использованием тепла недр Земли при глубине заложения отходов более 400 м. За счет температурного градиента ($3\text{ }^\circ\text{C} / 100\text{ м}$ глубины) при понижении глубины выщелачивания до 1050 м (условия Норильска) повысится температура (T) процесса переработки сырья до $+31,5\text{ }^\circ\text{C}$. Замкнутое пространство подземных камер позволяет проводить подземное выщелачивание при повышенном давлении [12], т.е. комбинированием использования тепла недр Земли и давления создается подземный автоклав. Выщелачивание в подземном автоклавном режиме также существенно повысит качество продуктивных растворов за счет суммирования концентраций ценных компонентов, содержащихся в рудничных водах и выщелоченных из техногенных образований. Использование отходов добычи и обогащения руд, гидро- и пирометаллургического производства в качестве закладки подземных пустот, образовавшихся в результате очистных работ, позволит также снизить отчуждение земель под размещение на них отвалов перечисленных выше отходов.

В заключение следует отметить, что использование металлосодержащих кислотных рудничных вод является

одним из перспективных направлений освоения сульфидных георесурсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Орлов В.П. Сырьевая база нефти и газа России: 1991–1994 г. // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 1995. – № 3. – С. 4–6.
2. Башкиров Б.Г. Новейшее минералообразование и физико-химические изменения руд и горных пород месторождения Текели. – М.: Недра, 1978. – 131 с.
3. Борисков Ф.Ф. Разработка автогенных инновационных методов освоения сульфидосодержащих отходов производства // Горный информационно-аналитический бюллетень. ОВ 11. – 2011. – С. 330–339.
4. Козин В.З., Колтунов А.В., Морозов Ю.П. и др. Совершенствование технологии нейтрализации шахтных вод Левихинского рудника // Известия вузов. Горный журнал. – 1997. – № 11–12. – С. 211–214.
5. Грязнов О. Н., Палкин С.В., Новиков В.П. и др. Дренажные воды – источник техногенного гидроминерального сырья на Урале // Известия вузов. Горный журнал. – 1997. – № 11–12. – С. 58–65.
6. Чуянов Г.Г. Хвостовое хозяйство обогащательных фабрик // Известия вузов. Горный журнал. – 1997. – № 11–12. – С. 130–174.
7. Рыбаков Ю.С. Охрана и предотвращение загрязнения водных объектов от стока с техногенных образований. Автореф. дис. ... доктора техн. наук. – Екатеринбург: Российский науч.-исслед. ин-т компл. использования и охраны водных ресурсов (РосНИИВХ). – 1998. – 40 с.
8. Петровская Н.В. Утилизация шламов станций нейтрализации рудничных вод медьдобывающих предприятий на основе брикетирования. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Екатеринбург: УГГА. – 2002. – 30 с.
9. Халезов Б.Д. Исследования и разработка технологии кучного выщелачивания медных и медно-цинковых руд. Автореф. дис. ... доктора техн. наук. – Екатеринбург: Ин-т металлургии УрО РАН. – 2009. – 54 с.
10. Борисков Ф.Ф., Борисков Д.Ф., Макараец Л.О. Патент РФ № 2215138, 7 Е 21 В 43/28. Способ приготовления раствора для выщелачивания сырья / заявитель и патентообладатель: Ин-т горного дела УрО РАН. № 2001120400/03, заявл. 2001, опубл. 2003. – БИПМ. – № 30 (II ч.). – С. 424.
11. Волков Ю.В., Борисков Ф.Ф., Соколов И.В. и др. Патент 2385956 Российская Федерация. МПК7 С 22 В 3/04, С 22 В 15/00. Способ подземного выщелачивания сульфидосодержащих материалов, заявитель и патентообладатель Институт горного дела УрО РАН. – № 2009119083; заявл. 20.05.2009; опубл. 10.04.2010, Бюл. № 10 (III ч.). – С. 547.
12. Борисков Ф.Ф. Патент 2429303 Российская Федерация. МПК11 С 22 В 3/04, Е 21 В 43/28 Способ подземного выщелачивания полезных компонентов из сырья / заявитель и патентообладатель Институт горного дела УрО РАН. – № 2009143040/02; заявл. 20.11.2009; опубл. 20.09.2011 Бюл. № 26. – С. 467. **ПАТ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Борисков Федор Федорович – доктор геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, e-mail: direct@igduran.ru,
Аленичев Виктор Михайлович – доктор технических наук, профессор, e-mail: alenichev@igduran.ru,
Институт горного дела Уральского отделения РАН.

UDC 541.183

DEVELOPMENT OF RESOURCE-SAVING TECHNOLOGIES BASED ON ADEQUATE DATA ON CONTENT OF NATURAL SULFIDES IN TECHNOGENIC DEPOSITS

Boriskov F.F.¹, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Senior Researcher, e-mail: direct@igduran.ru,
Alenichev V.M.¹, Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: alenichev@igduran.ru,
¹ Institute of Mining of Ural Branch of Russian Academy of Sciences, 620219, Ekaterinburg, Russia.

Integrated waste management development sulfide deposits include the use of acid mine water with high concentrations of metals for the preparation of leaching solutions. Quality «liquid ores» significantly increased, reduced acid consumption. Increased filtering ability dumps results in an increased rate of oxidation of the minerals and increase the concentration of various metal sulphates in a productive solution.

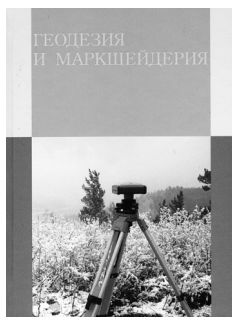
Key words: sulfide oxidation, sulfates, acid mine waters, liquid ore reprocessing liquid feed.

REFERENCES

1. Orlov V.P. *Mineral'nye resursy Rossii. Ekonomika i upravlenie*. 1995, no 3, pp. 4–6.
2. Bashkirov B.G. *Noveyshee mineraloobrazovanie i fiziko-khimicheskie izmeneniya rud i gornyx porod mestorozhdeniya Tekeli* (Recent minerogenesis and physicochemical alterations of ore and rocks at Tekeli deposit), Moscow, Nedra, 1978, 131 p.
3. Boriskov F.F. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. Special issue 11. 2011, pp. 330–339.
4. Kozin V.Z., Koltunov A.V., Morozov Yu.P. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal*. 1997, no 11–12, pp. 211–214.
5. Gryaznov O. N., Palkin S.V., Novikov V.P. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal*. 1997, no 11–12, pp. 58–65.
6. Chuyanov G.G. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal*. 1997, no 11–12, pp. 130–174.
7. Rybakov Yu.S. *Okhrana i predotvrashchenie zagryazneniya vodnykh ob'ektov ot stoka s tekhnogen-nykh obrazovaniy* (Protection and prevention of water bodies from contamination with wastewater from technogenic deposits), Doctor's thesis, Ekaterinburg, RosNIIVKh, 1998, 40 p.
8. Petrovskaya N.V. *Utilizatsiya shlamov stantsiy neytralizatsii rudnichnykh vod med'dobyvayushchikh predpriyatii na osnove briquetirovaniya* (Disposal of slurry from copper mine water neutralization station based on briquetting), Candidate's thesis, Ekaterinburg, UGGA, 2002, 30 p.
9. Khalezov B.D. *Issledovaniya i razrabotka tekhnologii kuchnogo vyshchelachivaniya mednykh i medno-sinkovykh rud* (Analyses and development of heap leaching technology for copper and copper-zinc ore), Doctor's thesis, Ekaterinburg, In-t metallurgii UrO RAN, 2009, 54 p.
10. Boriskov F.F., Boriskov D.F., Makaranets L.O. *Patent RU 2215138*, 7 E 21 B 43/28, 2003.
11. Volkov Yu.V., Boriskov F.F., Sokolov I.V. *Patent RU 2385956*, МПК7 C 22 B 3/04, C 22 B 15/00, 10.04.2010.
12. Boriskov F.F. *Patent RU 2429303*, МПК11 C 22 B 3/04, E 21 B 43/28, 20.09.2011.



НОВИНКИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ГОРНАЯ КНИГА»



Геодезия и маркшейдерия

Авторы: Попов В.Н., Букринский В.А., Бруевич П.Н. и др.

Год: 2007, 2015

Страниц: 453

ISBN: 978-5-98672-179-8 (в пер.)

- теоретические основы геодезии и маркшейдерии;
- опыт производства работ при проектировании, строительстве и эксплуатации горно-рудных предприятий, наземных и подземных сооружений различного назначения;
- особенности создания геодезических и маркшейдерских сетей;
- методы геодезических и маркшейдерских съемок с описанием приборов для измерения угловых и линейных величин на местности и в выработках;
- методы геометризации и подсчета запасов месторождений полезных ископаемых;
- сведения о сдвигении горных пород и земной поверхности под влиянием горных выработок и охране сооружений от их вредного воздействия;
- об устойчивости бортов карьеров и отвалов.