

КОНТРОЛЬНЫЙ ЭКЗЕМПЛЯР

На правах рукописи

РАДЧЕНКО ДМИТРИЙ НИКОЛАЕВИЧ

**РАЗРАБОТКА КОМБИНИРОВАННОЙ ГЕОТЕХНОЛОГИИ ОСВОЕНИЯ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ МЕДНО-КОЛЧЕДАНЫХ РУД С КОМПЛЕКСНЫМ
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТХОДОВ ИХ ПЕРЕРАБОТКИ**

**Специальность 25.00.22 - Геотехнология
(подземная, открытая, строительная)**

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**



Магнитогорск-2004

Работа выполнена в Магнитогорском государственном техническом университете им. Г.И. Носова

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор
Рыльникова Марина Владимировна

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Волков Юрий Владимирович

кандидат технических наук
Биишев Леонард Зиннатович

Ведущая организация - **ОАО «Гайский ГОК»**

Защита диссертации состоится 20 мая 2004 г. в 15⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 212.111.02 при Магнитогорском государственном техническом университете им. Г.И. Носова по адресу: 455000, Челябинская область, г. Магнитогорск, пр. Ленина, д. 38, малый актовй зал. Тел.-факс: (3519) 29-84-26; 23-57-60.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова

Автореферат разослан «19» апреля 2004 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук



О.Е. Горлова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы

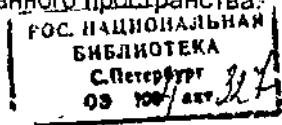
Длительное освоение медно-колчеданных месторождений Урала традиционными способами добычи привело к ощутимому истощению балансовых запасов и необходимости вовлечения в эксплуатацию более бедных руд, с увеличением объемов добычи, что неизбежно сопровождается ростом отходов их переработки. Так, при освоении подземным способом медно-колчеданных руд месторождений Подольской группы, будет выдано на поверхность более чем 200 млн.т руды, обогащение которой приведет к образованию около 180 млн.т тонкодисперсных отходов. Их размещение на дневной поверхности значительно ухудшит экологическую обстановку Республики Башкортостан и пограничных районов ввиду выноса пыли, сброса и миграции загрязненных стоков в природные водоемы.

В современных условиях качественно новой и принципиальной является идея замены существующего подхода к складированию отходов в хвостохранилищах на их утилизацию в подземном пространстве. Однако использованию текущих хвостов обогащения в качестве закладки препятствует присутствие в них полезных компонентов (меди 0,25-0,6 %, цинка 0,8-1,5 % и др.), эффективное извлечение которых возможно только физико-химическими методами.

Поэтому разработка технологии извлечения металлов из текущих хвостов обогащения методами выщелачивания на поверхности и в подземных условиях с последующим использованием отходов при закладке подземных камер является актуальной научно-практической задачей, решение которой позволит повысить полноту и комплексность освоения- месторождений и отказаться от строительства и использования хвостохранилищ.

Целью работы является повышение эффективности освоения месторождений медно-колчеданных руд подземным- способом на основе использования физико-химической геотехнологии для доизвлечения металлов из отходов переработки руд с их последующей утилизацией при закладке выработанного пространства.

Идея работы заключается в том, что эффективность освоения медно-колчеданных месторождений подземным способом может быть существенно повышена за счет формирования на поверхности и в выработанном пространстве из текущих хвостов обогащения добываемых руд малых техногенных месторождений с заданными характеристиками, позволяющими доизвлекать полезные компоненты методами кучного и подземного выщелачивания, с последующей утилизацией отходов при закладке выработанного пространства.



Задачи исследований:

- научно-методическое обоснование и разработка комбинированной геотехнологии на основе сочетания подземной добычи медно-колчеданных руд и выщелачивания полезных компонентов из отходов их переработки на поверхности и в подземных условиях;

- исследование закономерностей формирования технологических свойств продуктов совместной переработки текущих хвостов обогащения медно-цинковых руд и шлаков медной плавки;

- изыскание рациональных путей утилизации отходов переработки техногенных месторождений;

- обоснование параметров технологии и режимов выщелачивания меди из окомкованного медьсодержащего сырья в увязке с графиком отработки подземных первичных и вторичных очистных камер;

- оценка экономической- эффективности комбинированной геотехнологии, предусматривающей формирование и комплексное освоение техногенных массивов из продуктов совместной переработки хвостов обогащения медно-колчеданных руд и свежемолотых шлаков медной плавки с использованием отходов при закладке выработанного подземного пространства.

В качестве **объекта исследований** была выбрана технология комплексного освоения месторождений медно-колчеданных руд Урала и отходов их переработки.

В качестве методологии исследований- заложен принцип комплексного освоения недр комбинированной геотехнологией, предусматривающей технологическое сочетание подземной добычи руд и физико-химических процессов переработки отходов.

При решении поставленных задач использовался **комплексный метод**, включающий обобщение и анализ отечественного и зарубежного опыта утилизации отходов горно-металлургического комплекса; отбор представительных проб хвостов и шлака, определение физико-механических свойств сырья, минералогические исследования, рентгеноструктурный, атомно-абсорбционный и пробирный методы анализа, лабораторный эксперимент и технико-экономическую оценку.

Положения, представленные к защите:

1.Эффективность подземной разработки медно-колчеданных месторождений может быть существенно повышена при формировании на поверхности и в выработанном пространстве малых техногенных месторождений на основе использования низкотемпературного окомкования текущих хвостов обогащения и свежемолотых металлургических шлаков, позволяющих доизвлекать

полезные компоненты методами выщелачивания с последующей утилизацией отходов при закладке выработанного пространства.

2. Совместное окомкование текущих хвостов обогащения медно-цинковых руд и свежемолотого медеплавильного шлака крупностью - 0,044 мм в соотношении: 95 мас. % - хвосты обогащения, 5 мас.% - шлак, вода обеспечивает формирование из тонкодисперсных отходов прочных, пористых, устойчивых в кислых средах окатышей, пригодных для выщелачивания на поверхности и под землей.

3. Динамика механических свойств окатышей в процессе хранения характеризуется снижением по экспоненциальной зависимости пластичности (в течение первых трех суток на 30 %) и нарастанием прочности по линейной зависимости. Поэтому для сохранения структуры гранул укладку свежеприготовленных окатышей в кучу на поверхности необходимо производить в течение первых трех суток, пока они обладают максимальной пластичностью, а заполнение окатышами подземных камер целесообразно проводить после набора ими требуемой прочности в течение 90 суток.

4. Подземное выщелачивание окатышей, размещаемых в выработанном пространстве вторичных камер, целесообразно производить в течение всего года, а кучное выщелачивание на поверхности - в период положительных температур, при этом объемы отходов кучного выщелачивания должны обеспечить годовую потребность закладочного комплекса в заполнителе для закладки первичных камер, закладки днища и дозакладки пустот вторичных камер.

Научная новизна работы заключается в обосновании технологии комплексного освоения месторождений медно-колчеданных руд, предусматривающей сочетание подземной добычи руд с выщелачиванием на поверхности и в подземных условиях окомкованных текущих хвостов обогащения с использованием отходов при закладке выработанного пространства, а также в разработке методики формирования техногенных массивов, обосновании параметров выщелачивания из них полезных компонентов и утилизации отходов для закладки выработанного пространства.

Достоверность научных положений, выводов и результатов обеспечивается надежностью и представительностью исходных данных, сопоставимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований, обработанных методами математической статистики, использованием современного оборудования и апробированных методик.

Практическая значимость работы состоит в разработке технологических схем освоения техногенных месторождений, представленных тонкодисперсными текущими отходами обогащения и свежемолотыми медеплавильными шлаками, в комплексе с подземной

разработкой медно-колчеданных руд камерными системами с закладкой; обосновании параметров технологии и режимов технологических процессов, позволяющих вовлечь отходы производства в эффективную эксплуатацию, восполнить минерально-сырьевую базу горнодобывающих предприятий за счет дополнительного извлечения металлов, повысить полноту и экологичность освоения недр путем использования в закладке отходов производства и отказа от строительства и эксплуатации хвостохранилищ.

Реализация работы:

Основные положения диссертационной работы приняты к использованию при проектировании комплексного освоения медно-колчеданных месторождений Подольской группы Республики Башкортостан.

Апробация работы:

Основные положения и результаты работы докладывались и обсуждались на I и II Международных научно-практических конференциях «Комбинированная геотехнология: проектирование и геомеханические основы» (Магнитогорск, 2001 г.) и «Комбинированная геотехнология: развитие способов добычи и безопасность горных работ» (Магнитогорск, Сибай, Аркаим, 2003 г.); на Международном совещании «Развитие идей И.Н. Плаксина в области обогащения полезных ископаемых и гидрометаллургии» (Чита, 2002); на Международных научных симпозиумах «Неделя горняка» (Москва, 2002, 2003, 2004 гг.); на I Международной научно-практической конференции «Проблемы открытой разработки недр и обогащения полезных ископаемых» (Республика Казахстан, Житикара, 2003 г.); на VIII Международном конгрессе обогатителей стран СНГ (Москва, 2003 г.); на Международной научно-практической конференции «Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья благородных металлов» (Екатеринбург, 2002 г.); на Всероссийской конференции «Экологические проблемы промышленных зон Урала» (Екатеринбург, 2003 г.); на Международной конференции «Молодежь и наука: третье тысячелетие» (Красноярск, 2002 г.); на ежегодных научно-технических конференциях МГТУ им. Г.И. Носова.

Публикации:

Результаты работы опубликованы в 8 печатных работах.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ-Урал, (грант №01-05-96415).

Объем и структура работы:

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, библиографического списка из 128 наименований и содержит 155 стр., 45 рис., 32 табл.

Автор выражает глубокую признательность научным сотрудникам отдела теории проектирования освоения недр ИПКОН РАН, факультета горных технологий и транспорта МГТУ им. Г.И. Носова и техническим специалистам ОАО «Башкирский медно-серный комбинат» за ценные советы и оказанную помощь в выполнении работы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Повышение эффективности освоения медно-колчеданных месторождений является одной из остро стоящих перед горнодобывающими предприятиями Урала проблем, решение которой становится возможным при вовлечении в эксплуатацию отходов переработки руд для доизвлечения ценных компонентов и последующей утилизации отработанного сырья.

Огромный вклад в развитие теории и практики комплексного освоения месторождений с использованием отходов переработки руд внесли акад. К.Н. Трубецкой, В.А. Чантурия, Б.Н. Ласкорин, ученые С.И. Митрофанов, В.А. Бочаров, В.З. Козин, В.Г. Зотеев, В.Н. Уманец, М.И. Фазлуллин, Б.Д. Халезов, И.В. Шадрюнова, и многие другие. Ими разработаны многочисленные способы освоения техногенного сырья, которые направлены, как правило, на доизвлечение ценных компонентов из лежалых отходов и не исключают процесса их накопления.

Текущие отходы обогащения не перерабатываются на выходе обогатительной фабрики из-за особенностей их вещественного и гранулометрического состава, а также нахождения меди и цинка в тонких сродках с пиритом и вмещающими породами, преимущественно в классах крупности $-0,044+0$ мм, что определяет существующие способы их утилизации в хвостохранилищах для освоения в будущем. Вместе с тем, необходимость изыскания технологий, позволяющих вовлекать в освоение текущие отходы обогащения, является актуальной задачей.

Комплекс теоретических и экспериментальных исследований по изучению закономерностей формирования технологических свойств хвостов при их хранении в течение всего срока освоения медно-колчеданного месторождения был проведен на примере техногенных образований Башкирского медно-серного комбината. Пробы хвостов были отобраны с разных частей старогоднего и действующего хвостохранилища, а также на выходе с Сибайской обогатительной фабрики. Установлено, что с течением времени в хвостохранилищах происходят непрерывные процессы природного серноокислотного выщелачивания металлов (рН старогоднего хранилища 2,5-4) вследствие разложения сульфидов. Так, в текущих хвостах

доминирует сульфидная фракция состава: пирит 95-98 %, халькопирит около 1,5 %, сфалерит 2-2,5 %. В пробах, отобранных из действующего хвостохранилища, содержание сульфидной фракции намного ниже, чем в текущих хвостах, больше окисленных минералов. Исследованиями установлено, что за 35 лет после консервации старогоднего хвостохранилища содержание меди в зоне аэрации, по отношению к исходному, снизилось на 50 %, цинка на 73 %, железа на 22 %, серы на 30 %. Минеральный состав выветрелых хвостов слагают окисленные минералы меди и цинка, поэтому в перспективе процессы выщелачивания будут интенсифицироваться.

Для предотвращения потери качества исходного колчеданного сырья и снижения экологической нагрузки на регион исследовалась технология переработки текущих хвостов на выходе обогатительной фабрики. Так как методами обогащения доизвлекать ценные компоненты не представляется возможным, перспективной является физико-химическая геотехнология. Однако выщелачиванию текущих хвостов препятствует низкая проницаемость формируемого массива. Коэффициент фильтрации рабочих растворов для текущих хвостов в начальный период выщелачивания составляет 1,5 м/сут, за первые сутки, в результате седиментационного уплотнения тонкодисперсной массы снижается до 0,7 м/сут, а через 5 суток составляет 0,05 м/сут. За 30 суток выщелачивания извлечение меди из текущих хвостов не превышает 17 %. Поэтому для реализации процесса выщелачивания тонкодисперсного сырья необходим подбор технологических режимов, обеспечивающих доступ растворителя в массив.

Проведенная классификация методов интенсификации процессов выщелачивания (табл.1) показала, что оптимизация гранулометрического состава хвостов возможна методом окомкования, целью которого является получение прочных, пористых окатышей, устойчивых в кислых средах выщелачивания.

Предварительные исследования по окомкованию хвостов без связующих добавок показали, что значение структурной прочности сжатия по истечении 90 суток не превышает 0,05 МПа (рис.1-а). Полученные окатыши разрушались при смачивании их водой.

Исследования по перколяционному выщелачиванию окатышей, полученных при низкотемпературном окомковании с использованием различных видов связующих добавок (полимерных - «Акватрон», «DM 2072», минеральных - кислотостойкого цемента, цеолитсодержащих глин, гипса) и воды, позволили установить, что они обладают хорошими прочностными характеристиками, значение предела прочности по истечении 90 сут. достигало 1,2 МПа. Вместе с тем, их устойчивость в кислых средах возможна только при высоких расходах связующих добавок, причем процесс орошения сопровождается частичным закупориванием пор, как во внутренней части

конгломератов, так и на поверхности, что препятствует выщелачиванию металлов. Эксперимент показал принципиальную возможность получения окатышей устойчивых в серной кислоте и пригодных для сернокислотного выщелачивания с достаточным коэффициентом фильтрации растворов через массив окатанного материала 22-25 м/сут.

Таблица 1 - Классификация методов интенсификации процесса выщелачивания сульфидного сырья

Класс	Метод внешнего воздействия	Группа	Способ реализации
1	Химический	1.1	Оптимизация ионного состава раствора
		1.2	Использование комплексообразователей
		1.3	Добавление серфекгантов
		1.4	Предварительное окисление
2	Биохимический	2.1	Органические кислоты
		2.2	Бактерии
		2.3	Продукты жизнедеятельности микроорганизмов
3	Физико-химический	3.1	Электрохимическая обработка
		3.2	Механохимическая активация
		3.3	Акустические воздействия
		3.4	Автоклавная обработка
		3.5	Высокоэнергетические воздействия
4	Физико-технический	4.1	Управление геометрическими параметрами массива
		4.2	Оптимизация гранулометрического состава
		4.3	Выбор режима и способа орошения
		4.4	Рыхление, перемешивание
		4.5	Выбор местоположения массива
5	Комбинированный		Комбинация способов 1-4 классов

Изучение технологических свойств другого вида отходов переработки медно-колчеданных руд, позволило установить, что гранулированный шлак, содержащий 0,38 % меди, при тонком измельчении обладает вяжущими свойствами.

Проведенный факторный анализ совместного окомкования хвостов и шлака позволил разработать состав шихты для окомкования: текущие хвосты обогащения 95 мас. %, шлаки 5 мас. %, вода. В качестве центров грануляции дополнительно были исследованы серная кислота и жидкое стекло (рис. 1-6), применение которых позволяет получать более прочные окатыши в момент производства, однако окатыши получаются влагонепроницаемыми (жидкое стекло) и разрушаются при сушке (серная кислота).

Обязательным условием совместного окомкования хвостов и шлака является введение последнего в процесс свежемельченным (рис.1-г) крупностью $-0,044+0$ мм (рис.1-в). При продолжительности

паузы между измельчением шлама и окомкованием 1 сутки и более
 вяжущие свойства утрачиваются.

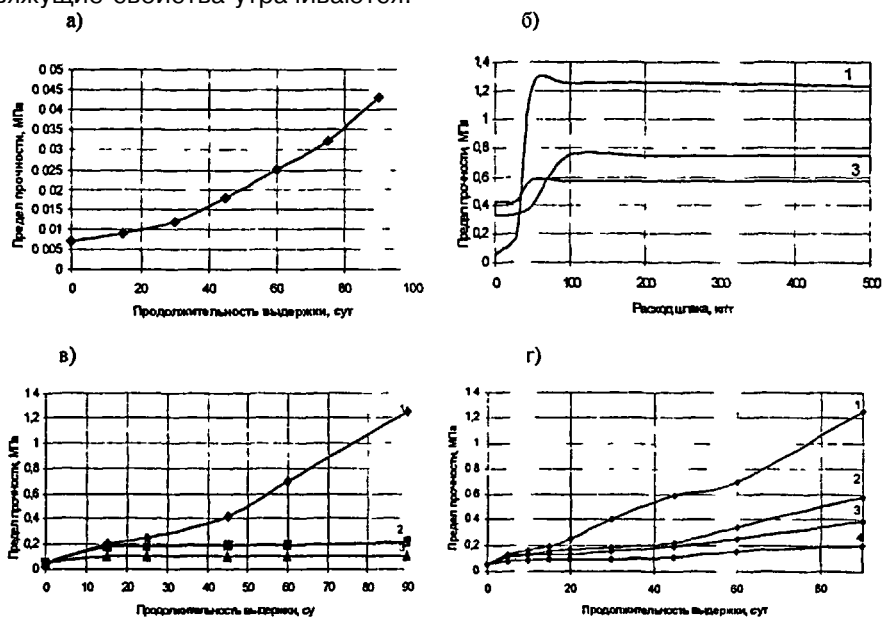


Рис.1. Факторный анализ процесса окомкования: а)-без добавок; влияние на прочность окатышей: б)-расхода шлама при использовании различных затворителей (1-вода, 2-жидкое стекло, 3-серная кислота); в) - крупности помола шлама (1 - -1+0,074 мм; 2- -0,074+0,044 мм, 3 - -0,044+0 мм); г)-продолжительности паузы между измельчением шлама окомкованием с хвостами (1-свежеизмельченный шлак; 2-пауза 1 час; 3-пауза 3 часа; 4-сутки выдержки)

Возможность переработки окатышей физико-химическими методами была подтверждена при их выщелачивании на примере извлечения меди (рис.2). Установлено, что при чередовании процессов активного выщелачивания и выстаивания массива обеспечивается за 70 суток извлечение более 60 % меди, содержащейся в отходах переработки медно-колчеданных руд и может быть существенно повышено при использовании других методов интенсификации (см.табл.1). В результате сквозное извлечение меди на горно-перерабатывающем комплексе может быть увеличено с 70-85 % до 90-93 %.

Результаты выщелачивания обеспечиваются высокой пористостью получаемых окатышей (рис.3), которая составляет 15 % в исходных структурах при среднем размере пор 50-70 мкм, и 17 % в

исходных структурах при среднем размере пор 50-70 мкм, и 17 % в окатышах после выщелачивания при среднем размере пор 80-100 мкм, что свидетельствует о выщелачивании металлов внутри окатышей.

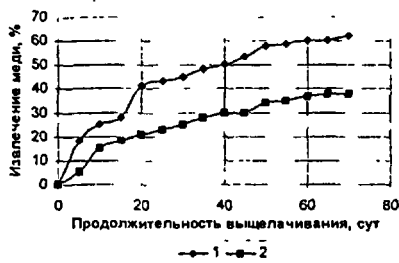


Рис.2. Влияние продолжительности выщелачивания меди из окатышей на извлечение в раствор в инфильтрационном (1) и фильтрационном (2) режиме

Таким образом, при совместном окомковании хвостов обогащения медно-цинковых руд и тонкоизмельченного шлака медеплавильного производства обеспечивается формирование прочных окатышей и становится возможным извлечение меди из хвостов и шлака,

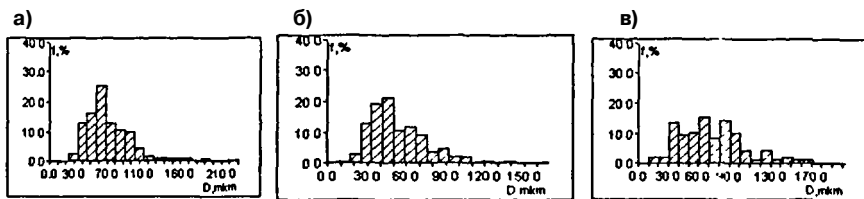


Рис.3. Распределение размеров пор в окатышах по результатам гранулометрического анализа: а - до выщелачивания, периферийная часть; б - до выщелачивания, центральная часть; в - после выщелачивания, центральная часть

Экспериментальными исследованиями по оценке возможности использования отходов выщелачивания после промывки водой для приготовления твердеющей закладочной смеси доказано, что отходы выщелачивания могут быть использованы в качестве инертного заполнителя. Анализ состава кеков показал, что соотношение крупных фракций $-20 + 0$ мм к тонким $-2 + 0,063$ мм составляет 1:1, наличие шламов, крупностью $-0,044 + 0$ мм не превышает 1,75 %. При расходе цемента 120 кг/м^3 в смеси состава: 1430 кг/м^3 - отходы выщелачивания, 450 кг/м^3 - вода, прочность закладки составляет 1,8 МПа по истечению 28 суток (табл.2).

Динамика механических свойств окатышей характеризуется нарастанием прочности в процессе хранения в нормальных условиях по линейной зависимости (рис.4-б). Прочность увеличивается в

течение 30 суток в 9 раз, 60 суток - в 17 раз, 90 суток - в 25 раз, при этом внутренняя пористость окатышей, необходимая для диффузионных процессов сохраняется

Таблица 2 - Влияние расхода цемента на прочность закладки из отходов выщелачивания

№ п/п	Расход цемента, кг/м ³	Возраст закладочной смеси сут			
		28	90	120	180
		Предел прочности на одноосное сжатие, МПа			
1	100	0,85	1,15	1,22	1,32
2	120	1,8	2,43	2,58	2,8
3	150	2,5	3,4	3,59	3,89
4	170	2,8	3,84	4,02	4,44

На основе проведенных исследований была разработана технологическая схема, которая предусматривает доизвлечение металлов методом выщелачивания слабыми растворами серной кислоты в кучах, располагаемых на поверхности вблизи обогатительной фабрики и закладочного комплекса, и во вторичных подземных камерах (рис.5).

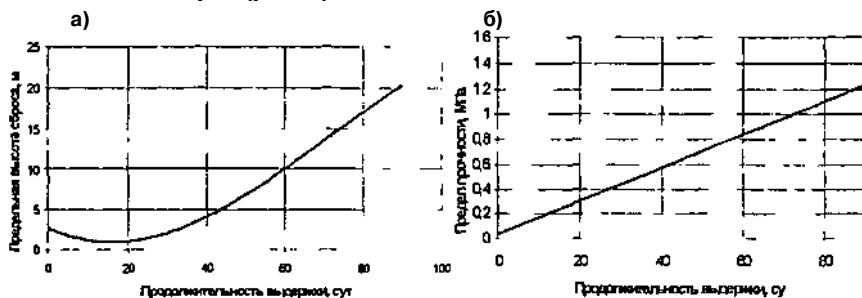


Рис. 4. Динамика механических свойств окатышей в процессе их хранения: а) относительные деформации при сбросе; б) динамика, набора прочности

Технологическая схема комплексного освоения месторождений медно-колчеданных руд включает следующие основные технологические узлы: подземная разработка камерными системами с комбинированной закладкой при двухстадийной отработке запасов блока; обогащение медно-цинковых руд флотационным методом; подготовка шихты из отходов обогащения и медной плавки к окомкованию; окомкование; формирование на поверхности штабелей кучного выщелачивания и их отработка, приуроченная к периоду положительных температур; складирование окатышей, предназначенных для выщелачивания в подземных условиях с целью

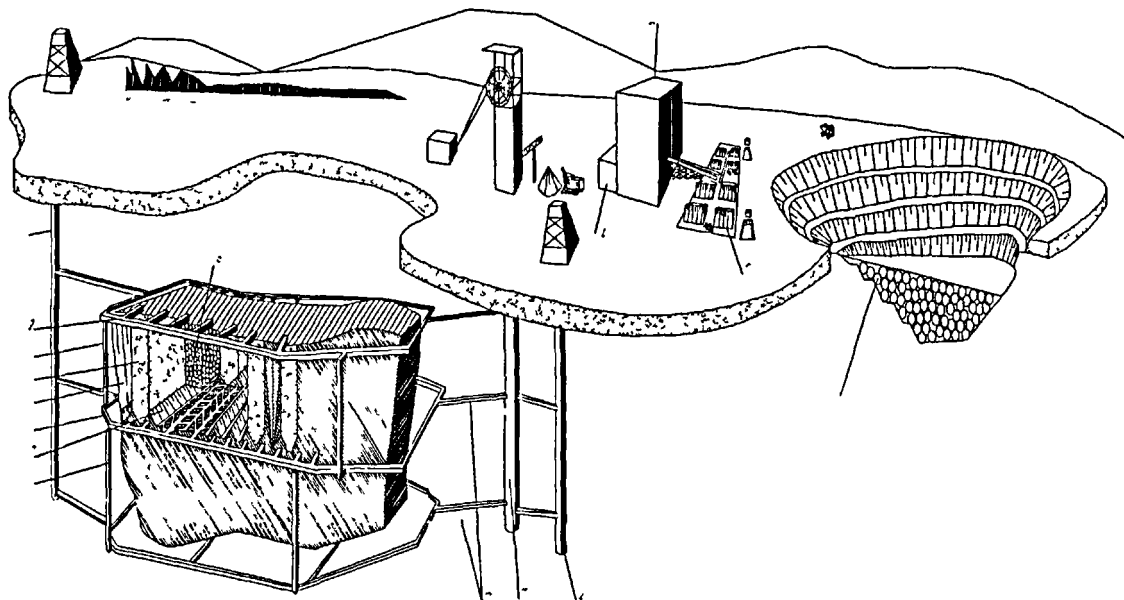


Рис.5. Технологическая схема освоения месторождения Юбилейное. 1 - вентиляционный ствол; 2 - вентиляционно-закладочный горизонт; 3 - вентиляционно-ходовой восстающий; 4 - камеры первой очереди; 5 - камеры второй очереди, 6 - откаточный штрек; 7 - траншейный орт; 8 - рудоспуск; 9 - массив окатышей; 10 - квершлаг; 11 - скиповый ствол; 12 - клетевой ствол, 13 - обогатительная фабрика, 14 - закладочная установка; 15 - площадка кучного выщелачивания; 16 - карьер

набора прочности; укладка их во вторичные камеры для подземного выщелачивания металлов, переработка продуктивных растворов методом цементации; приготовление твердеющей закладочной смеси для заполнения первичных камер, упрочненного днища и дозакладки вторичных камер.

Технология окомкования следующая, хвосты обогащения медно-цинковых руд после обезвоживания до влажности 8-10 % направляются в смеситель, куда подается свежемолотый шлак. Окомкование производится в барабанном окомкователе 3,6 x 10 м. Свободное перекачивание материала в течение 7-10 минут обеспечивает формирование достаточно прочных структур. Свежеприготовленные окатыши системой конвейеров подаются либо на площадку для кучного выщелачивания, либо на склад хранения окатышей для подземного выщелачивания, где для набора требуемой прочности хранение производится в течение 90 сут. Свежеприготовленные окатыши непрочны, но обладают хорошими пластическими свойствами, выдерживают сброс с высоты 3 метра (см. рис 4-а), поэтому для закладки куч предложен щадящий вариант отсыпки штабелей - конвейерный. Такой способ обеспечивает минимальные воздействия на закладываемый в кучу материал. Высота штабелей кучного выщелачивания может регулироваться в широких пределах, но с учетом интенсивности ведения работ на площадке кучного выщелачивания и характеристиками применяемого оборудования составляет 6 метров при длине и ширине отсыпаемого массива 100 и 20 метров соответственно

В подземных камерах второй очереди также формируется массив окатанного, но упрочненного в процессе хранения материала, который выдерживает сброс с высоты 20 метров Частичное разрушение окатышей при сбросе в камеру высотой 40 метров неизбежно, однако экспериментально установлено, что разрушение происходит без образования шламистых фракций (выход класса - 0,044 мм не превышает 4,3%) и требуемые фильтрационные свойства выщелачиваемого массива сохраняются.

Для выщелачивания в подземных камерах II очереди возводится упрочненное днище из твердеющей закладочной смеси, приготовленной на основе кислотостойкого цемента После твердения закладочного массива днище обустраивается из откаточных ортов системой наклонных скважин (5), которые обсаживаются пластиковыми трубами (рис 6) Монтируется система сбора и циркуляции продуктивных растворов, которая обеспечивает сбор последних в зумпф Транспортировка продуктивных растворов осуществляется по пластиковым магистральным трубам, расположенным в выработках откаточного горизонта (6,7), а оросительная трубопроводная система располагается в выработках

вентиляционно-закладочного горизонта (1, 2). После монтажа систем орошения и сбора продуктивных растворов на днище камеры отсыпается искусственная постель - слой кварцевого песка, необходимый для уменьшения раскола окатышей при падении. Окатыши отсыпаются в камеру погрузочно-доставочными машинами из заездов вышележащего горизонта, при этом рассыпаются под углом естественного откоса. Для повышения полноты заполнения камер могут быть использованы машины метательного типа.

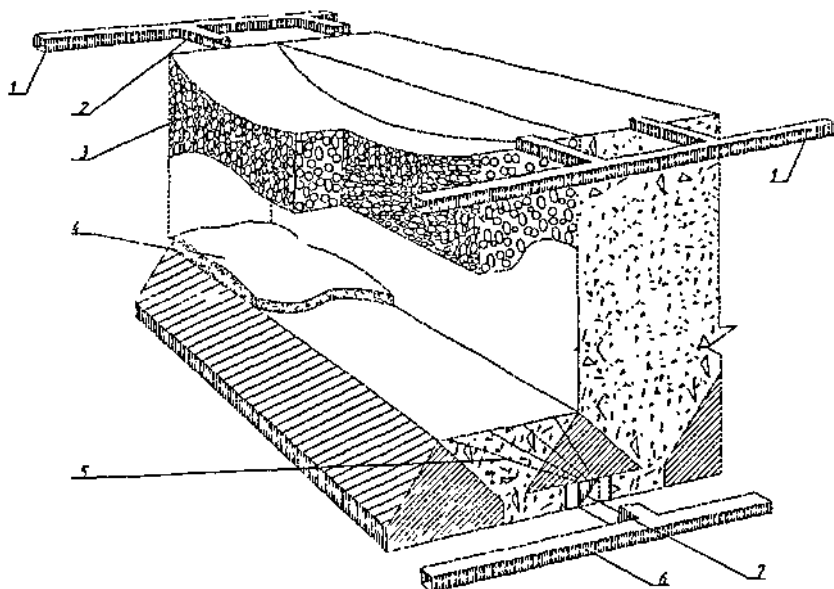


Рис. 6. Технология формирования массива окатышей во вторичных камерах после их- отработки: 1,2 - выработки вентиляционно-закладочного горизонта; 3 - отсыпaeмый массив окатышей; 4 - постель из кварцевого песка; 5 - скважины днища для сбора продуктивных растворов; 6,7 - выработки откаточного горизонта

После выщелачивания окатышей производится дозакладка пустот с подачей закладочной смеси под кровлю камеры, демонтаж систем орошения и сбора растворов и их перенос на другие камеры подземного выщелачивания. Выщелачивание в выработанном пространстве вторичных камер осуществляется круглый год, и шламы остаются в камерах в качестве сухого закладочного материала;

При приготовлении твердеющей закладки для возведения искусственных целиков в первичных камерах, формирования упрочненного днища вторичных камер и их дозакладки после завершения процессов подземного выщелачивания, в качестве

заполнителя закладочной смеси используются шламы кучного выщелачивания. При этом объем шламов сезонных процессов кучного выщелачивания должен быть достаточен для обеспечения годовой потребности закладочного комплекса в заполнителе. Балансовое распределение отходов переработки по технологическим процессам представлено на рис. 7. Возможność использования шламов кучного выщелачивания в строительной индустрии позволяет полностью отказаться от строительства и эксплуатации хвостохранилищ.

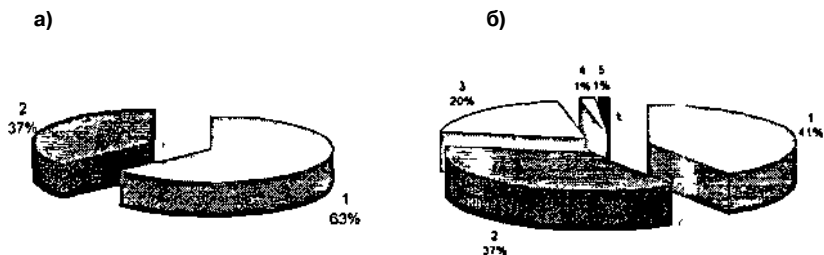


Рис.7. Баланс отходов переработки медно-колчеданных руд: а - распределение объемов окатышей, выщелачиваемых в подземных условиях (1) и на поверхности (2); б - распределение шламов выщелачивания: для сыпучей закладки в камерах II очереди (2), в твердеющую закладку камер I очереди (3), для упрочненного днища (4) и дозакладки пустот (5) камер II очереди, в строительную индустрию (1)

Предлагаемая технология комплексного освоения медно-колчеданных месторождений позволяет:

- увеличить уровень извлечения полезных компонентов и обеспечить горнодобывающие предприятия дополнительной товарной продукцией;
- реализовать сухой, экологически безопасный способ кратковременного складирования окомкованных хвостов на изолированных полигонах;
- контролировать качество складываемого в штабели минерального сырья на выходе с обогатительной фабрики;
- рассматривать сформированный массив не как хранилище отходов обогащения, а как техногенное месторождение, которое может быть эффективно освоено методами физико-химической технологии;
- реализовать процесс выщелачивания в модифицированных слабых растворах серной кислоты (2 %) путем целенаправленного формирования на дневной поверхности и в подземном пространстве малых техногенных месторождений;
- вовлечь в эффективное освоение другой потенциальный источник минерального сырья - техногенные стоки (подотвальные, шахтные воды), которые могут быть использованы в качестве растворителя полезных компонентов при выщелачивании;

- использовать кеки выщелачивания в качестве инертного заполнителя в твердеющей закладочной смеси для закладки первичных камер, возведения упрочненного днища и дозакладки вторичных камер, после завершения в них процессов выщелачивания;

использовать кеки подземного выщелачивания для поддержания выработанного пространства камер второй очереди;

- отказаться на горно-обогательном производстве от строительства и эксплуатации хвостохранилищ.

В свете комплексного освоения месторождений представляется перспективным формирование единого горно-обогательного комплекса по добыче и глубокой переработке медно-колчеданного сырья, где на одной промышленной площадке размещены рудник, обогащательная фабрика, площадка для кучного выщелачивания и узел переработки продуктивных растворов, а также закладочный комплекс по утилизации отходов кучного выщелачивания в закладке выработанного пространства подземных камер. В соответствии с технологической схемой из хвостов, окомкованных на выходе с обогащательной фабрики с использованием свежемолотого шлака формируются малые техногенные месторождения с заданными свойствами, которые могут быть эффективно освоены методами физико-химической геотехнологии с последующей утилизацией отходов при закладке выработанного пространства (см. рис.5).

На основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований разработаны технологические рекомендации по комбинированной геотехнологии освоения месторождения Юбилейное (Хайбуллинская горно-рудная компания) с использованием отходов переработки в едином горно-перерабатывающем комплексе. Внедрение безотходной технологии при производительности подземного рудника 1 млн.т в год позволит предприятию получить дополнительную товарную продукцию в виде цементной меди, содержащей 70 % металла, в количестве 3776,6 т/год, и кеков выщелачивания для реализации в строительную индустрию в количестве 326 тыс.т/год. Доход от реализации дополнительной товарной продукции составит 233,63 млн.р/год, от использования отходов выщелачивания для закладки выработанного пространства 20,79 млн.р/год, от сокращения экологических платежей 50,86 млн.р/год. Срок окупаемости дополнительных капитальных затрат в размере 265,61 млн.р составит 4 года при коэффициенте эффективности капитальных вложений 19,04 р/р. Высокая экономическая эффективность обусловлена, в первую очередь, сокращением экологических платежей ввиду отсутствия хвостохранилищ, а также возможностью расположения промышленных объектов на одной промплощадке, снижением себестоимости закладки и упрощением структуры закладочного комплекса. Данная технология

обеспечивает расширение минерально-сырьевой базы предприятий, полноту и комплексность использования ресурсов недр и высокий экологический эффект производства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации, являющейся законченной квалификационной работой, дано решение актуальной научно-практической задачи - разработана комбинированная геотехнология извлечения металлов из текущих хвостов обогащения методами выщелачивания на поверхности и в подземном пространстве с последующим использованием отходов при закладке подземных камер имеющая существенное значение для комплексного освоения медно-колчеданных месторождений.

Основные результаты приведенных исследований заключаются в следующем:

1. Разработана комбинированная геотехнология комплексного освоения руд медно-колчеданных месторождений с комплексным использованием отходов их переработки на основе доизвлечения полезных компонентов методами кучного и подземного выщелачивания с последующим использованием отходов при закладке выработанного пространства, отличающаяся высокой экологичностью и полнотой использования отходов производства - текущих хвостов обогащения, окомкованных со свежемолотыми медеплавильными шлаками, а также техногенных стоков и выработанного подземного пространства, при этом сквозное извлечение меди при камерных системах разработки с закладкой увеличивается до 95 % и имеется возможность отказаться от строительства и эксплуатации хвостохранилищ.

2. Установлено, что в процессе хранения отходов обогащения в хвостохранилищах происходит природное выщелачивание металлов, в течение 35 лет содержание металлов в зоне аэрации законсервированного хранилища снизилось на 20-73 %. Выщелоченные металлы мигрируют в окружающую среду, поэтому целесообразно их извлечение из текущих хвостов обогащения.

3. Проведена классификация методов интенсификации процесса выщелачивания, где в качестве основного классификационного признака использован способ интенсификации процессов, и доказано, что для выщелачивания металлов из текущих отходов обогащения целесообразно применять физико-технические методы интенсификации с целью обеспечения доступа растворителя в массив шламистого материала. Экспериментально установлено, что совместное окомкование текущих хвостов обогащения медно-цинковых руд и свежемолотого до тонины 100 % класса -0,044+0 мм медеплавильного шлака в соотношении 95 мас. % - продукты

обогащения, 5 мас. % - шлак, вода, в течение 7-10 минут, обеспечивает формирование из тонкодисперсных отходов прочных ($\sigma_{сж}$ до 1,25 МПа), пористых ($K_{пор} = 15 \%$), устойчивых в кислых средах окатышей, пригодных для выщелачивания на поверхности и под землей.

4. Установлено, что динамика механических свойств окатышей характеризуется снижением по экспоненциальной зависимости пластичности, в течение первых трех суток на 30 % (в течение 5 сут. в 1,25 раз, 10 сут. в 3 раза, 15 сут. в 4,5 раза) и нарастанием прочности по линейной зависимости (прочность увеличивается в течение первых 30 сут. в 9 раз, 60 сут. в 17 раз, 90 сут. в 25 раз). Поэтому для сохранения структуры гранул укладку свежеприготовленных окатышей в кучу необходимо проводить в течение первых трех суток, пока они обладают максимальной пластичностью, а заполнение окатышами подземных камер целесообразно проводить после набора ими требуемой прочности в течение 90 суток.

5. Доказано, что выщелачивание меди из массива окатанного материала целесообразно проводить в инфильтрационном режиме, при этом извлечение меди в раствор за 70 суток составляет 65 % при коэффициентах фильтрации 22-25 м/сут и температуре окружающей среды 20°C. Показателей извлечения меди из окатышей могут быть существенно повышены при использовании сульфата железа (III) (в 2,4 раза), органических оснований (карбамида в 1,13 раз, надсернистого аммония в 1,25 раз).

6. Определены параметры массивов окатанного материала, формируемые на поверхности и в отработанном подземном пространстве. Доказано, что формирование массива на поверхности, для кучного выщелачивания целесообразно проводить конвейерным способом, высота штабеля не должна превышать 6м; продолжительность выщелачивания меди модифицированными растворами серной кислоты в течение 60 суток обеспечит извлечение металла на 75 %. Процесс кучного выщелачивания приурочен периоду положительных температур окружающей среды. Формирование и выщелачивание массива во вторичных камерах при высоте этажа 40 м целесообразно проводить течение всего года, извлечение меди при этом достигает 90 % при продолжительности выщелачивания 100 сут.

7. Доказано, что твердеющая закладочная смесь, приготовленная на основе отходов выщелачивания дает широкий набор механических характеристик в различном возрасте твердения закладочного массива, что позволяет ее использовать для различных горно-технических условий разработки.

8. Экономическая эффективность внедрения комбинированной геотехнологии на месторождении Юбилейное Хайбуллинской

горнорудной компании при годовой производительности подземного рудника 1 млн.т/год определяется увеличением годового дохода на 233,63 млн.р./год. Срок окупаемости дополнительных капитальных затрат в размере 265,61 млн.р. составляет 4 года, при эффективности капитальных вложений 19,04 р./р. Высокий экологический эффект производства в размере 50,86 млн.р./год обусловлен отсутствием хвостохранилищ и полной утилизацией отработанного сырья в подземном пространстве и строительстве.

Основные положения диссертационной работы опубликованы в следующих работах:

1. Радченко Д. Н. Исследования технологии кучного выщелачивания меди из хвостов обогащения медно-цинковых руд // Комбинированная геотехнология: Развитие способов добычи и безопасность горных работ: Материалы II Международной конференции. - Магнитогорск, 2003. - С. 60-62.
2. Рыльникова М.В., Радченко Д.Н. Безотходная технология комплексного освоения медно-колчеданных месторождений подземным способом // Геотехнология-2004: Материалы II международной конференции. - Рудный, 2004 (принято в печать).
3. Влияние гранулометрического состава, пористости и серфектанта на фильтрационные процессы при кучном выщелачивании медных руд / Чантурия В.А., Шадрюнова И.В., Радченко Д.Н. и др. - Горный журнал. - 2002. - № 3. - С. 51-54.
4. Обоснование технологии кучного выщелачивания техногенного тонкодисперсного медьсодержащего сырья / Шадрюнова И.В., Радченко Д.Н. - Горн. информ. аналит. бюлл. - М.: МГГУ, 2004. (принято в печать по результатам симпозиума).
5. Закономерности формирования технологических свойств хвостов обогащения медно-цинковых руд при их хранении / Шадрюнова И.В., Сизиков А.В., Радченко Д.Н. и др. - Горн. информ. аналит. бюлл. - № 4. - М.: МГГУ, 2002. -С.191-194.
6. Совместная утилизация дисперсных отходов горно-металлургического комплекса / Шадрюнова И.В., Радченко Д.Н. - Горн. информ. аналит. бюлл. -№ 11. - М.: МГГУ, 2003. -С. 190-194.
7. Особенности технологических свойств гранулированного шлака медной плавки ЗАО «Карабашмедь» / Шадрюнова И.В., Радченко Д.Н., Матюшенко ГА - Горн, информ. аналит. бюлл. М.: МГГУ, 2003. (принято в печать по результатам симпозиума).
8. Шадрюнова И.В, Радченко Д.Н., Зверкова О.С. Переработка медьсодержащих техногенных месторождений методом кучного выщелачивания. // Молодежь и наука-третье тысячелетие: Сб.материалов межрегионального научного фестиваля. - Красноярск: КРОНС «Интеграция», 2002.-С.324-326.

Подписано в печать 19.04.04. Формат 60x84 1/16. Бумага тип.№ 1.
Плоская печать. Усл.печ.л.1,0. Тираж 100 экз. Заказ 321.

455000, Магнитогорск, пр. Ленина, 38
Полиграфический участок МГТУ

#-8156